
Comitato per la Edizione Nazionale delle Opere di

FEDERIGO ENRIQUES

ENRIQUES, FEDERIGO AND DE
SANTILLANA, G.

**Compendio di storia del pensiero scientifico
dall'antichità fino ai tempi moderni**

Zanichelli, Bologna, 1937.



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

F. ENRIQUES E G. DE SANTILLANA

1 9

COMPENDIO

DI

STORIA DEL PENSIERO SCIENTIFICO

DALL'ANTICHITÀ FINO AI TEMPI MODERNI



NICOLA ZANICHELLI EDITORE

BOLOGNA 1937-XV

Dono di **EURO D'AMICO ORSINI**
allievo della Classe di Scienze
† 4 maggio 1944.

L' EDITORE ADEMPIUTI I DOVERI
ESERCITERÀ I DIRITTI SANCITI DALLE LEGGI

Nº 668

PREFAZIONE

Fino da quando iniziammo la nostra « Storia del pensiero scientifico », di cui si è pubblicato il primo volume concernente l'antichità greco-romana, abbiamo divisato di raccogliere l'intera materia in un volume di più agile lettura, spoglio di ogni erudizione ingombrante, che ritragga in forma sintetica l'evoluzione di codesto pensiero e i motivi generali (d'ordine filosofico, artistico, religioso, ecc.) che l'accompagnano e la spiegano entro il quadro della civiltà.

Il disegno viene oggi realizzato dal presente Compendio: che anticipa così molta parte del lavoro analitico, di studio e di critica delle fonti, che andiamo proseguendo per fondare sulle basi più certe la nostra opera ricostruttiva. Pubblicare questo Compendio significa per noi esporre al pubblico lo schema generale del lavoro intrapreso, ed eventualmente supplire alle parti di esso che non ci sia dato di svolgere per intero in un prossimo tempo; quindi anche acquistare una maggiore libertà di sviluppo del nostro programma, rimandando, per esempio, le minute ricerche intorno alla storia del Medio Evo e del Rinascimento, per discutere l'evoluzione dei grandi problemi che toccano più da vicino la scienza contemporanea.

Così come si presenta, il Compendio vuole dunque offrire una visione storica del pensiero scientifico, che ne renda intelligibili

i progressi, facendo risaltare le mutue azioni e reazioni delle idee e dei motivi pratici e lo sforzo della ragione verso l'unità. Nonostante i suoi limiti, e forse anche per questi, esso dovrebbe rispondere nel nostro concetto al desiderato degli studiosi e degli uomini colti in generale di comprendere sinteticamente la scienza nel suo divenire, che è il suo più alto significato.

Il difetto delle citazioni, espressamente voluto per dare al trattato la veste più agile, viene in parte compensato da una bibliografia finale, che, quantunque contenuta anch'essa in stretti confini di sobrietà e d'economia, varrà pure a indicare i più importanti scritti altrui da cui abbiamo tratto profitto.

Per la raccolta e l'uso del materiale bibliografico, e per la consultazione delle fonti del nostro lavoro, è riuscito a noi sommamente utile l'organismo e la biblioteca della Scuola di Storia delle Scienze dell'Università di Roma, dove gli studiosi si aiutano a vicenda nelle loro ricerche, e in particolare, per l'aiuto prestatoci, ci è caro ringraziare l'assistente di questa Scuola, prof. Attilio Frajese.

Roma, Novembre 1936.

FEDERIGO ENRIQUES
GIORGIO DE SANTILLANA

PARTE PRIMA
LA SCIENZA ANTICA

I.

Luoghi e tempi della scienza antica.

La scienza antica, origine diretta della nostra, nasce in Grecia.

Nella storia di essa, come in generale della civiltà antica, si soglion distinguere in breve quattro periodi, ciascuno dei quali occupa all'incirca tre secoli:

a) il *periodo ellenico* propriamente detto, che comprende i secoli dal 600 fino al 300 a. C.; e corrisponde allo sviluppo libero delle città greche;

b) il *periodo ellenistico*, che comprende i tre secoli successivi fino al principio dell'Era Volgare, e risponde all'ellenizzazione di tutto il mondo orientale in seguito alla conquista macedone;

c) il *periodo greco-romano*, che occupa i primi tre secoli dell'era volgare, e infine:

d) il *periodo dei commentatori o della decadenza*, che va dal 300 al 600 d. C., e che non reca ulteriore sviluppo scientifico, ma solo una riduzione dell'antico materiale, nella forma di riferimenti e di notizie, che ci sono stati parzialmente trasmessi attraverso il medioevo.

Quando si parla della Grecia antica, ove si svolge il movimento della cultura nel primo periodo, non dobbiamo pensare soltanto alla penisola che costituisce oggi lo Stato greco, bensì a tutto il bacino del Mare Egeo e dell'Ionio, comprendente da un lato le coste dell'Asia Minore, e dall'altro quelle della Sicilia e dell'Italia

Meridionale, colonizzate dai Greci in due periodi successivi di espansione, il primo dei quali risale ai secoli XI e X a. C.

Sulle coste dell'Asia Minore sono da ricordare come centri di coltura le città poste sulla regione costiera che ha ricevuto il nome di Ionia: Mileto, Efeso, Colofone, Clazomene, Focea, e, nelle isole prospicienti, Samo e Chio.

In questa regione, che da un estremo all'altro misura appena un centinaio di chilometri, sorse primieramente la filosofia greca, per opera di studiosi che hanno vari caratteri comuni, se pur non si presentino ordinati in vere e proprie scuole: essi hanno ricevuto il nome di *naturalisti* (φυσιολογοί).

I più noti fra gli antichi naturalisti ionici (a cui si riferiscono date soltanto approssimative) sono:

TALETE di Mileto (circa 624-548);

ANASSIMANDRO di Mileto (nato nel 611, morto dopo il 545);

ANASSIMENE di Mileto (vissuto fra il 585 e il 528 o secondo altri fra il 553 e il 499);

ERACLITO di Efeso (530-470);

ANASSAGORA di Clazomene (500-428), che pure visse parte della sua vita ad Atene.

Due altri filosofi:

PITAGORA di Samo (580-504) e

SENOFANE di Colofone (580-488 ?),

non vengono menzionati di solito fra i naturalisti ionici, sia per il carattere diverso della loro speculazione, sia perchè la loro influenza si è esercitata specialmente in Italia.

Appunto nelle colonie italiche — nella cosiddetta Magna Grecia e nella Sicilia — si trovano i più importanti centri del movimento filosofico e scientifico, in un tempo che succede da vicino a quello dei naturalisti Milesii.

Codeste colonie italiche risalgono in generale ad un'epoca meno antica di quelle d'Asia Minore (VII e VI secolo), ed in parte anzi sono derivate dalla Ionia: la migrazione della filosofia si accompagna alla ripresa del moto coloniale durante il VI secolo, che segue l'avanzata persiana.

La filosofia italica si distingue esteriormente dalla ionica, per l'ordinamento delle scuole a forma di sette di tipo religioso, disciplinate secondo strette regole di vita. Inoltre in queste scuole fiorirono meravigliosamente le matematiche, ed in rapporto con tali studi il pensiero assurse ad un razionalismo più astratto, con caratteri mistici.

Il movimento della cultura italica è dominato soprattutto dalla *Scuola pitagorica* fondata a Crotona da PITAGORA di Samo, e fiorita tra il 532 e il 500, data approssimativa della distruzione della sede dell'ordine.

La scuola, che vedremo avere un carattere prettamente religioso, collegandosi al risveglio dell'orfismo nel VII secolo, ebbe diramazioni in varie città della Magna Grecia e della Sicilia, in alcune delle quali — come a Taranto — si vide temporaneamente instaurato il « governo dei filosofi ».

Fallito il loro primo tentativo di dominio, i discepoli dei Pitagorici si sparsero per il mondo greco, sicchè i circoli pitagorici diventano centri di diffusione dell'idea scientifica.

In epoca più tarda troviamo fra i pitagorici eminenti:

FILOLAO (vivente a Tebe verso il 400);

ARCHITA di Taranto, amico di Platone (430-365) ed

ECFANTO di Siracusa (circa 350).

Ma già nel V secolo dobbiamo segnalare, in diretta relazione con i pitagorici, e come una setta dissidente, la *Scuola d'Elea*, su cui influì Senofane di Colofone, il filosofo ramingo proveniente dalla Ionia:

PARMENIDE di Elea (nato intorno al 540, secondo altri verso il 515), a cui si ricollegano:

ZENONE d'Elea (nato verso il 504 oppure nel 490) e

MELISSO di Samo (nato verso il 480).

In seguito, in relazione più libera con la scuola pitagorica ed eleate, appare:

EMPEDOCLE d'Agrigento (490-430) la cui opera risente una diretta influenza dei naturalisti ionici e specialmente di Eraclito.

Invero, durante il V secolo, le relazioni intellettuali fra le di-

verse parti del mondo greco si fanno sempre più facili, in seguito agli eventi politici e allo sviluppo dei commerci. Melisso e Anasagora nella Ionia per i loro rapporti con la scuola di Elea e col siciliano Empedocle, mostrano appunto la solidarietà intellettuale che si è stabilita fra i centri più lontani della speculazione, nel mezzo del V secolo. E ciò risulta anche dai caratteri comuni che alla medesima epoca, o poco dopo, palesa il movimento della *Sofistica* con :

PROTAGORA d'Abdera in Tracia (485-410) e

GORGIA di Lentini in Sicilia (nato intorno al 480).

Ora, alla fine del V secolo, e più oltre nel IV, troviamo i più cospicui centri filosofici appartenere alla Grecia propriamente detta, in prima linea Atene, la quale dopo le guerre persiane si sta avviando alla egemonia; in Atene, centro del movimento letterario, punto di confluenza delle varie correnti di pensiero, nasce la grande scuola socratica :

SOCRATE ateniese (470-399);

PLATONE ateniese (428-347);

ARISTOTELE di Stagira (384-322) fondatore del Liceo nel 339.

Di qui si irraggiano anche altre scuole, che per opera di discepoli di Socrate, sorgono in città diverse (Megara, Elide, Eretria, Cirene).

Resta tuttavia fuori del movimento ateniese, e press'a poco alla stessa epoca socratica, la scuola di Abdera, dove pure si fondono in maniera caratteristica motivi ionici e pitagorico-eleati, e nella quale si esprime anche una reazione alla sofistica dell'abderita Protagora. Codesta scuola prende nome degli *Atomisti* :

LEUCIPPO di Mileto (contemporaneo di Empedocle) e

DEMOCRITO Abderita (460-360), il quale sembra aver esercitato sui contemporanei socratici, massime su Platone, un'influenza più grande di quanto generalmente si creda.

I nomi che abbiamo ricordato appartengono ugualmente alla storia della scienza e della filosofia, che a dir vero si distinguono difficilmente in questo periodo formativo: soltanto alla fine dell'età

ellenica, cioè nel IV secolo, appare una certa differenziazione, e soprattutto nei riguardi delle matematiche e della medicina. Così oltre i filosofi sopra ricordati, che hanno generalmente contribuito allo sviluppo delle matematiche (e ciò vale in ispecie per quelli che sono in rapporto coi pitagorici) sono da ricordare alcuni matematici come :

IPPOCRATE di Chio (intorno al 450);

TEETETO di Atene (vissuto fra il 450 e il 400); ed

EUDOSSO di Cnido (390-337).

E per la medicina basti nominare :

ALCMEONE di Crotone, medico pitagorico, vivente prima del 500 e

IPPOCRATE di Coo (460-377), maestro della medicina di ogni tempo.

Con la battaglia di Cheronea (338 a. C.) la Grecia cade sotto il dominio di Filippo il Macedone. Quattro anni dopo, Alessandro riuniva i Greci in un comune sforzo di conquista contro l'impero persiano, che veniva rapidamente distrutto (330); e riusciva così ad allargare smisuratamente i confini del mondo ellenico. Alla morte di Alessandro (323), l'impero si divideva fra i suoi diadochi.

Le corti dei nuovi reami, in cui s'incontrano e si fondono la civiltà greca e quelle d'Oriente, offrono un ambiente nuovo e favorevole al fiorire delle arti e delle scienze. Così sorgono centri cospicui di coltura in Alessandria, Pergamo, Rodi; mentre la coltura siciliana splende ancora a Siracusa, che già da tempo con la dinastia dei Deinomenidi, si è posta a capo della resistenza contro i Cartaginesi.

Tuttavia Alessandria resta per tutte queste città come faro della scienza, dove gli studiosi concorrono a cercare la guida dei celebrati maestri, e le opere raccolte nella grande Biblioteca; ai dotti Alessandrini gli scienziati di fuori comunicavano le loro più importanti scoperte, ed in essi vedevano quasi i depositari della tradizione scientifica.

Ma con la libertà della Grecia è finito anche il periodo filoso-

fico creativo della scienza ellenica. L'interesse prevalente per i problemi della vita pratica e morale ha distaccato a poco a poco la filosofia dalla speculazione scientifica: le scuole che sorgono ad Atene negli ultimi anni del IV secolo (scuola stoica 308; scuola epicurea 306) ritengono ormai della scienza solo quel tanto, che possa servir di premessa al loro sistema etico. Frattanto la scienza, abbandonate le pretese universali, si circoscrive con rigore di metodo entro il campo delle discipline particolari, le quali, come liberate, fioriscono adesso in tutto il loro splendore.

Fra i grandi scienziati del periodo ellenistico ricordiamo pochi nomi, alcuni dei quali, per l'epoca, entrerebbero nel periodo greco-romano. Citiamo dunque, fra i matematici:

EUCLIDE di Alessandria (fiorì verso il 300 a. C.);

ARCHIMEDE di Siracusa (287-212 a. C.);

APOLLONIO di Perga (fiorì verso il 170 a. C.);

degli astronomi e geografi:

ARISTARCO di Samo (c. 310-230 a. C.);

ERATOSTENE di Cirene (c. 284-200 a. C.);

IPPARCO di Nicea (osservò fra il 161 e il 126 a. C.);

CLAUDIO TOLOMEO di Alessandria (osservò fra il 127 e il 151 d. C.);

dei medici:

EROFILO di Calcedonia (nato verso il 300 a. C.);

ERASISTRATO di Ceo (c. 310-250 a. C.);

GALENO di Pergamo (130-201 d. C.).

L'unità statale originaria, la *polis*, dopo sanguinose lotte fratricide e sterili tentativi di confederazione, era venuta a perdersi nell'impero di Alessandro. Sparito questo, il mondo mediterraneo si trovò ripartito in organismi, quali l'Asia dei Seleucidi, l'Egitto dei Tolomei, gli « stati uniti » d'Etolia e d'Acaia, l'Italia romana. Fra queste grandi potenze si svolgeva adesso il gioco di equilibri e di rivalità, finchè Roma, dopo la sua vittoria su Cartagine, non si impose come dominatrice assoluta (Zama 204, presa di Corinto 146).

All'Urbe, che veniva ormai prendendo aspetto di capitale del mondo, affluivano le ricchezze d'Oriente, e i più raffinati prodotti della civiltà ellenistica. E Roma, con la sua sapienza di governo, fondeva gli apporti delle civiltà assimilate in una nuova sintesi imperiale.

I Romani non ebbero funzione propriamente creativa nella storia del pensiero. Essi valutavano la scienza in quanto poteva servire alla vita. Di qui la tendenza all'eclettismo in filosofia, e in scienza all'enciclopedia.

Fra i grandi enciclopedisti romani ricorderemo:

M. TERENZIO VARRONE reatino (116-27 a. C.);

AULO CORNELIO CELSO romano (fiorì nella I metà del I secolo a. C.);

L. ANNEO SENECA di Cordova (3 a. C. - 65 e. v.);

C. PLINIO SECONDO di Como (23-79 e. v.).

Una splendida esposizione della fisica epicurea ci è data da:

T. LUCREZIO CARO romano (96-55 a. C.);

mentre l'Impero ci dà numerosi trattati su discipline particolari, come quelli di:

VITRUVIO POLLIONE (I secolo e. v.) sull'Architettura;

G. MODERATO COLUMELLA spagnolo (I secolo e. v.) sull'Agricoltura;

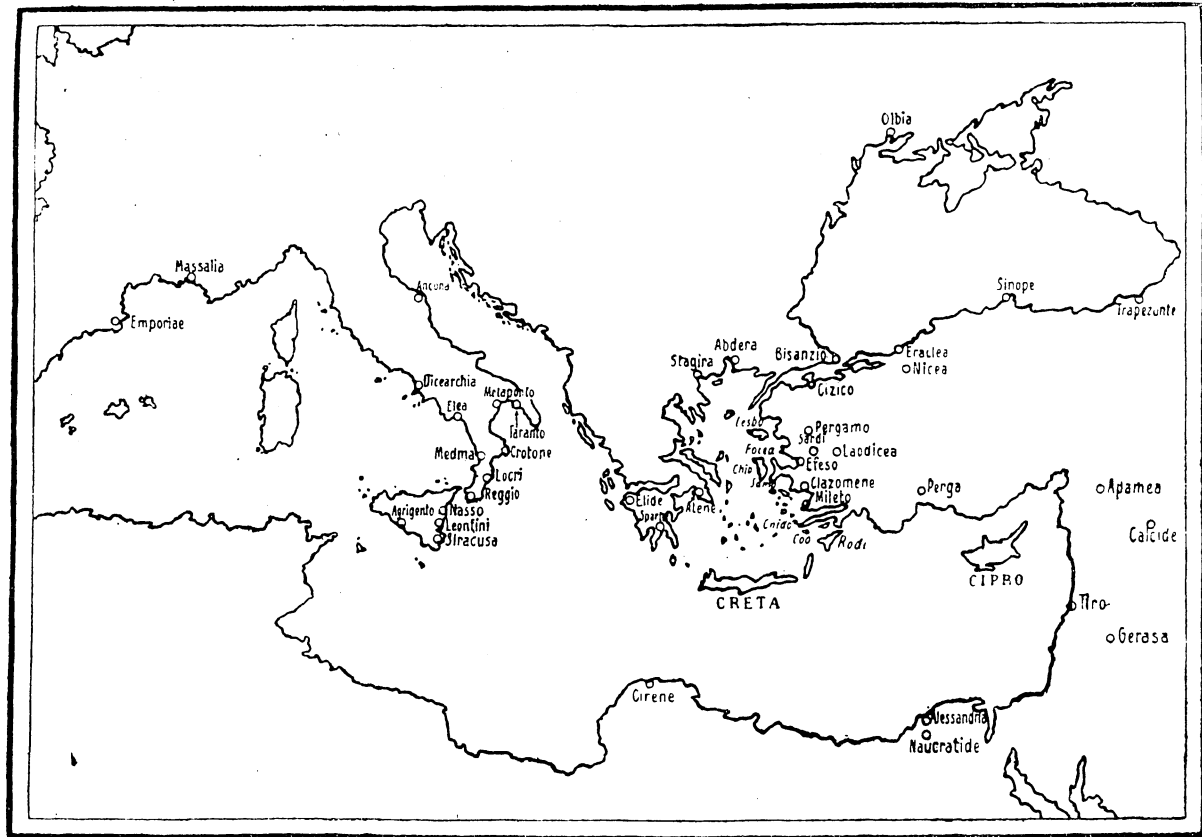
GIULIO FRONTINO (I-II secolo e. v.) sugli Acquedotti.

Ricorderemo poi alcuni grandi scienziati greci i quali rientrano propriamente nell'orbita della civiltà romana, sia per il tempo in cui vissero, sia per il carattere dell'opera loro: il geografo STRABONE di Amasia (c. 63 a. C.-c. 25 e. v.), l'astronomo e geografo CLAUDIO TOLOMEO e il medico GALENO già citati.

Passato il tempo degli Antonini, il rapido tracollo dell'Impero, dovuto a un complesso di cause sociali, economiche e religiose, precipita il decadere della coltura. Verso il 300 e. v. si è già perduto ogni vigore di pensiero scientifico e fin la capacità di comprendere i classici. A parte l'opera di alcuni critici eruditi, come PROCLO e SIMPLICIO, la letteratura scientifica si riduce a com-

pendi sempre più miseri ed a raccolte di opinioni slegate e frammentarie (*dossografia*) in cui si vanno disperdendo gli ultimi avanzi delle grandi raccolte delle scuole platonica ed aristotelica.

Con la fine dell'Impero d'Occidente (476 d. C.) si usa far terminare la storia del mondo antico. Parte dell'eredità intellettuale, soprattutto nel campo giuridico, è raccolta da Bisanzio, mentre l'Italia cade in preda alla dominazione della soldatesca barbarica. Ma con la chiusura della scuola d'Atene (529) viene a sparire l'ultimo vestigio della tradizione filosofica ellenica. Attraverso l'opera di alcuni dotti del VI secolo come BOEZIO e CASSIODORO, quello che resta della scienza antica viene raccolto dalla Chiesa; e chiuso nei monasteri, potrà sopravvivere ai secoli d'oscurità che verranno.



CARTA DEL MONDO GRECO.

IL PROBLEMA DELLA MATERIA E LE ORIGINI DELLA FILOSOFIA GRECA

II.

I primi naturalisti ionici.

TALETE E L'UNITÀ DELLA MATERIA. — Primo fra i naturalisti della Ionia, secondo la tradizione, fu Talete di Mileto, di cui è rimasta celebre la previsione d'un'eclisse di sole che, racconta Erodoto, avrebbe interrotto la guerra fra i Medi ed i Lidi. Pare sufficientemente accertato trattarsi dell'eclisse totale che gli astronomi calcolano avvenuta il 28 maggio 585 a. C. La notizia è sembrata per molto tempo inverosimile, giacchè non è possibile attribuire all'antico Milesio le conoscenze che abilitano a prevedere col calcolo un tale fenomeno. Ma quando si conobbe meglio la precisione dei calendari babilonesi e caldei, la cosa non apparve più così strana. Fra l'altro i Caldei avevano osservato un certo periodo di 223 lunazioni, entro cui le eclissi si ripetono con regolare frequenza. Su questa base era possibile prevedere un'eclisse almeno con probabilità di successo, come si apprende da una tavoletta cuneiforme :

« Al Re mio Signore, il tuo servo Abil-Istar. Pace al Re mio Signore, Nabù e Marduk gli siano propizi. Lunghi giorni, salute di corpo e gioia di cuore concedano i grandi Iddii al Re mio Signore. Relativamente all'eclisse di luna sulla quale il Re mi ha mandato.... l'eclisse ha avuto luogo.... Ma per quanto concerne l'eclisse di sole noi abbiamo osservato, ed essa non ha avuto luogo. Mando al Re ciò che ho veduto con i miei occhi. L'eclisse di luna che è avvenuta riguarda le nazioni e le loro divinità tutte :.... ma al Re mio Signore produrrà pace. Le disgrazie non si estenderanno al Re mio Signore ».

Talete può aver conosciuto il probabile evento d'un'eclisse solare direttamente dai Caldei o indirettamente dagli Egiziani: volle fortuna che l'eclisse attesa si producesse totale; onde si levò alta la sua fama!

Di Talete, dice Platone, « come di persona valente nella pratica, si ricordano molte ed abili trovate nelle arti e in altre attività ». Fu annoverato fra quelle personalità un po' leggendarie, tipi rappresentativi della sapienza etico-pratica, che sono i *sette saggi della Grecia* (1).

Commerciante e navigatore, Talete potè raccogliere nei suoi lunghi viaggi cognizioni geometriche ed astronomiche (in particolare sulla costruzione dei calendari), che diffuse nel mondo ellenico. Pure, se la tradizione fa cominciare con lui la filosofia e la scienza greca, non è tanto pei meriti ricordati, quanto perchè egli pose il problema dell'origine del mondo, indagando la natura (*physis*) delle cose, cioè la materia primitiva le cui trasformazioni danno luogo ai fenomeni dell'Universo.

La risposta di Talete, comunque gli sia stata suggerita, non cessa di esprimere un certo numero di osservazioni positive. Principio di tutte le cose è l'*acqua*, che ora si consolida nel ghiaccio e nella terra (nelle alluvioni dei fiumi), ora si evapora, diventando aria o anche un etere più sottile (fuoco), e che — reciprocamente — vien fuori dalla Terra stessa, nello zampillo delle sorgenti, e dall'aria condensata nelle nubi e nelle piogge. Qualche interprete

(1) Un aneddoto tradizionale, riferito da Plutarco nella sua *Vita di Solone*, ci aiuta a comprendere che cosa s'intendesse per « saggezza » al tempo di Talete e dei suoi savi compagni. Narra dunque Plutarco che Solone andò una volta a visitare Talete a Mileto, e si stupì che questi non avesse nè moglie nè figliuoli. Talete lì per lì non rispose; ma, pochi giorni dopo, istruì un tale a presentarsi all'amico, come se sbarcasse proprio allora da Atene. E chiedendogli Solone le ultime notizie, quegli disse: « Nulla di nuovo, se non i funerali di un giovane, che furono seguiti da tutta la cittadinanza, perchè, si diceva, era figlio di un uomo onorevole, il più virtuoso di tutti i cittadini, il quale non si trovava in patria, essendo in viaggio da molto tempo ». « Sventurato — disse Solone. — Ma qual è il suo nome? ». E da quel tale, che fingeva di averlo dimenticato, finì per apprendere che si trattava proprio del figlio suo. Allora Talete, che era presente, gli prese la mano sorridendo e disse: « Queste cose, o Solone, mi trattengono dallo sposare e dall'aver figliuoli. Ma tu, non ti turbare della notizia, perchè non è vera ».

più tardo della dottrina di Talete aggiungeva che l'acqua è origine della vita che da essa appunto trae il calore; infatti i semi degli animali e delle piante sono umidi; e si può aggiungere che il seme di queste cresce nella terra umida, e ci fa assistere ad una progressiva trasformazione dell'acqua nella materia solida che costituisce il fusto dell'albero. Ciò che dà forza vitale alle piante ed agli animali sembra anche capace d'animare la vita del mondo; e così l'acqua assume significato universale come materia cosmica.

La Terra galleggia sull'acqua, e un'altra massa d'acqua chiude la vòlta dei cieli. In questa rappresentazione si riconosce un'antica cosmogonia egiziana: il sole separa la massa liquida primordiale del *Nou* in due parti, una delle quali dà origine ai fiumi e all'Oceano, l'altra sospesa nell'aria forma la vòlta celeste: « le acque dell'alto » su cui navigano gli astri e gli Dei.

Il modo di pensare di Talete — anche illustrato dalle spiegazioni che abbiamo addotto per renderlo comprensibile — apparirà ingenuo; ma sopra l'ingenuità, un punto deve richiamare la nostra attenzione: il problema della natura delle cose presuppone l'identità o *unità della materia*, che si trova così arditamente affermata all'inizio di queste speculazioni. Tale principio costituisce il tratto caratteristico e l'elemento comune al pensiero dei più antichi filosofi ionici. Dopo Talete, nella stessa città di Mileto, Anassimene insegna che la sostanza primitiva è l'*aria*. Più tardi il pitagorico Ippaso di Metaponto ed Eraclito d'Efeso assumono il *fuoco*. Per tutti questi pensatori, pur facendo diversa scelta del principio, non è dubbio che la materia sia qualitativamente unica, perchè tutte le specie diverse si vedono trasformarsi l'una nell'altra nel grande osservatorio geografico e meteorologico del mondo.

L'unità risulta per loro da un principio razionale di permanenza implicitamente accettato, per cui l'intima natura delle cose persiste invariata attraverso l'apparenza dei cambiamenti. Ed il presupposto fa parte ancora della nostra logica scientifica: in tutte le trasformazioni fisico-chimiche, noi cerchiamo infatti ciò che rimane invariato (per esempio il peso) e che riteniamo attinente alla

sostanza delle cose, persuasi che in ultima analisi, attraverso il cambiamento, nulla si crei o si perda, sicchè per un ciclo conveniente di trasformazioni, ogni materia possa essere ricostituita: così accade per esempio dell'acqua, se vengano prima separati e poi ricongiunti i due elementi, idrogeno e ossigeno, che la compongono. C'è fra il nostro pensiero e l'antico, una differenza: che noi sembriamo disposti a rinunciare all'unità della materia, introducendo diversi *elementi* primitivi, fra loro irriducibili; ma in realtà questa è una rinuncia affatto provvisoria, che l'antichità pur conobbe (con Empedocle e Aristotele), la quale ci viene imposta dall'esperienza chimica, oggi superata con la teoria della costituzione elettronica degli atomi.

L'INFINITO. — Per spiegare lo sviluppo delle dottrine sulla natura delle cose, convien menzionare, accanto e prima dell'ipotesi dell'aria di Anassimene, un'altra più singolare teoria dovuta ad Anassimandro: la sostanza primitiva sarebbe l'*Infinito*.

Come mai l'Infinito potrebbe ritenersi una materia al pari dell'acqua o dell'aria?

Bisogna guardarsi dal pensare che un greco del VI secolo a. C. potesse dar senso a qualcosa che resti per noi incomprendibile: la ragione umana si ritrova sempre la stessa, attraverso i luoghi e i tempi, e senza questo presupposto fondamentale sarebbe vano studiare la storia delle idee.

Ma nella designazione d'Anassimandro, « infinito » è un aggettivo sostantivato, che designa una certa proprietà della sostanza primitiva. Alcuni intendono che significhi « indefinito », cioè « materia prima priva di qualità »; però quest'astrazione sembra troppo forte per l'epoca a cui si riferisce. È più probabile che Anassimandro ritenga la materia prima come infinita e *infinitamente diffusibile*, cioè suscettibile di espandersi dappertutto identificandosi collo spazio.

Questo requisito si ritroverà in tutte le soluzioni posteriori del problema della « natura ». Dopo Anassimandro si torna a discutere che cosa sia codesta sostanza, e come possa raffigurarsi in con-

creto. Anassimene sosterrà l'aria, ed Eraclito il fuoco; miscuglio d'aria e di fuoco sarà per taluni Pitagorici, cui sembra accennare Aristotele. Ma nessuno proporrà più la scelta d'un liquido come l'acqua e tanto meno della terra; un ripetitore, affatto secondario, dell'opinione di Talete sarebbe Ippone di Samo, eppur sembra che il suo principio fosse non l'acqua, bensì l'« umido »: cioè un miscuglio d'acqua e d'aria. Per soddisfare al requisito dell'infinità, postulato da Anassimandro, la sostanza primitiva — materia cosmica — deve essere un gas o qualcosa di più sottile, come viene pensato l'etere o il fuoco. Nei termini stessi del linguaggio d'Anassimene si accenna all'« aria infinita ».

Tuttavia Anassimandro non concreta la specie del suo principio: « non è nè l'aria nè l'acqua — dice Teofrasto — nè alcun altro dei cosiddetti elementi, ma una natura differente da questi che è infinita, dalla quale si generano i cieli e i mondi dentro di questi ». E Aristotele spiega che — codesti elementi portando le qualità opposte del freddo e del caldo, del secco e dell'umido, che si separano col nascere dei mondi — uno di essi non potrebbe essere infinito senza annullare gli altri:

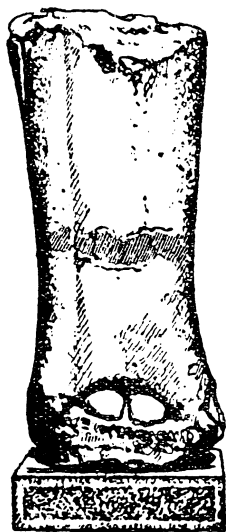
« Non ci può essere un corpo uno e semplice che sia infinito e distinto dagli elementi, come dicono alcuni.... Infatti ci sono alcuni che fanno questo corpo infinito diverso dall'aria e dall'acqua, affinché gli altri elementi non sieno distrutti da quello che è infinito. Poichè queste cose contengono i contrarii: l'aria, il freddo; l'acqua, l'umido; il fuoco, il caldo; così, se una fosse infinita, l'altra sarebbe tosto distrutta ».

ANASSIMANDRO. — « In quello da cui prendono principio le cose, sta anche la causa del loro perire; poichè non fanno che pagare ed espiare l'ingiustizia loro secondo l'ordine del tempo ».

Queste parole singolari e profonde di Anassimandro, il più antico frammento di prosa greca che ci sia pervenuto, e il solo della prima opera scientifica che sia stata scritta, ci rivelano il pensatore milesio intento alla ricerca di leggi universali, che per lui non si distinguevano ancora dalle leggi morali.

Anassimandro è, per la sua epoca, un gigante del pensiero. Della sua vita null'altro si sa, se non che riassunse a 64 anni la

sua scienza in uno scritto *Su la natura* (547 a. C.). Fu « concittadino e amico » di Talete. La tradizione ce lo raffigura vestito di abiti solenni, e conservante un portamento altero fin nelle piccole cure quotidiane, quasi eroe d'una tragedia che abbia per scena il mondo.



Avanzo della statua
eretta ad Anassimandro
dai Milesii.

Con franco ed ingenuo ardire le speculazioni di Anassimandro affrontano i problemi più formidabili, recandovi una grandiosa fantasia poetica e una logica diritta.

Vi si descrive il nascere e il perire dei mondi — grandi animali o Dei — che si ripetono a lunghi intervalli periodici nello spazio e nel tempo. Origine d'un mondo è « l'eterno moto » di cui parlano i dossografi: per esso i contrarii si separano dall'Infinito, come termini distinti e correlativi delle cose. Al centro si addensa la massa di acqua che in parte evaporandosi genera l'aria, in parte prosciugandosi si consolida a formare la Terra; verso la parte esterna si porta invece la materia leggera, ignea, raccogliendosi a costituire un involuppo di fuoco, quasi scorza del mondo, analoga alla scorza degli alberi.

Codesta scorza poi, rompendosi, dà luogo ad anelli o « ruote » di fuoco circondati d'aria, i quali attraverso dei fori lasciano ancora vedere la materia infiammata: sole e luna.

È probabile che Anassimandro pensasse alla nostra rivoluzione diurna (l'eterno moto che ci sta davanti agli occhi!) ed ammettesse che nella materia cosmica vi sieno, a lunghi intervalli, e senza fine nello spazio e nel tempo, degli analoghi moti vorticosi; poichè non è concepibile un moto circolare esteso all'infinito.

Comunque, un mondo che è nato deve perire: la Terra è stata giovane, un giorno scomparirà. Le conchiglie e i resti fossili sui monti sono testimoni dell'asciugarsi del mare, *bruciato* dal sole. Infine il processo di differenziazione che libera le qualità opposte

dalla materia primitiva, deve risolversi, entro un fisso termine, col ritorno allo stato primitivo omogeneo, che è la morte di tutte le cose, castigo ed espiazione della reciproca ingiustizia della loro esistenza separata.

Ci sono qui alcuni motivi della speculazione posteriore: dagli stessi fenomeni geologici muoverà duemila anni più tardi i primi passi la rinascente scienza italiana, con Leonardo e Fracastoro.

Accanto all'evoluzione dei mondi, Anassimandro disegna l'evoluzione della vita.

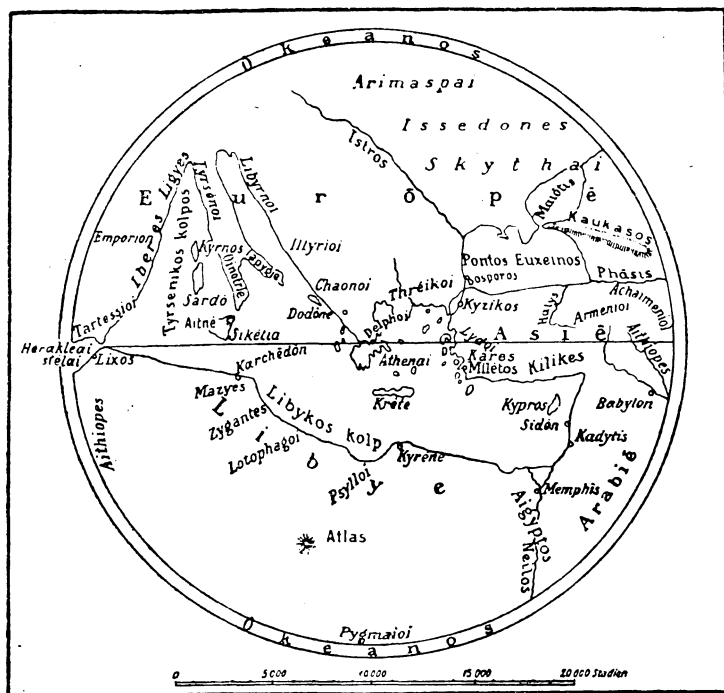
Gli animali nacquero dapprima nel mare, sotto l'azione del calore solare sull'elemento umido; i primi animali erano chiusi in una scorza spinosa. Col tempo vennero sulla terra ferma, e allora la scorza si ruppe ed « essi modificarono in poco tempo il loro modo di vita ».

L'uomo deriva dai pesci o da animali simili. Anassimandro indica precisamente i suoi antenati: certi *galei*, appartenenti alla famiglia degli squali. Sono interessanti le ragioni che se ne adducono: l'uomo, a differenza di altri animali, non è capace appena nato di procurarsi da sè il nutrimento, ed ha bisogno del latte materno; perciò se fosse stato prodotto tal qual è oggi all'origine delle cose non sarebbe sopravvissuto. Anassimandro suppone che sia nato entro i pesci e nutrito dapprima come i pescicani nutrono i loro piccoli.

C'è dunque nell'antico filosofo il primo germe d'un grande principio: l'evoluzione della vita per adattamento all'ambiente. Ma oltre all'idea geniale, fecondata ai tempi moderni da Lamarck e Darwin, si scopre anche in lui un materiale d'osservazioni biologiche accurate ed interessanti, raccolto poi e completato da Aristotele.

Anche la geografia ha in Anassimandro un precursore. Egli costruì per primo un modello dell'orbe terracqueo, da lui considerato piano e circolare, cercando a tale scopo di metter d'accordo le numerose indicazioni di distanze, e orientazioni di rotte e descrizioni di viaggi che convergevano a un grande porto come Mileto.

Ma a tanto non si fermava l'ambizione di Anassimandro, il quale per la prima volta tentava una vera sintesi scientifica: egli pensava di poter spiegare il nascere e il perire dei continenti, il regime dei venti delle piogge e delle maree; la proporzione teorica degli oceani



La Terra per i Greci del VI secolo
(ricostruzione approssimativa di H. Hermann).

e delle terre emerse; la forma e la grandezza del nostro mondo; questioni che saranno poi l'ossessione di tutti i grandi geografi greci.

Anassimandro ha osato anche stimare le distanze e grandezze degli astri. Ha assunto, evidentemente per ragioni di semplicità, le dimensioni del Sole eguali a quelle della Terra, ed ha posto il Sole stesso alla distanza di 27 volte il raggio terrestre, e la Luna

a 18 volte. Probabilmente egli non si fondava soltanto sulle virtù mistiche del numero 3, ma aveva ragioni scientifiche che gli sembravano buone.

Osserviamo soltanto questo: che una volta supposto il raggio solare uguale al terrestre, è possibile stimare la distanza del Sole secondo la sua grandezza apparente.

Un'altra questione astronomica viene giudicata da Anassimandro col giusto criterio della *ragion sufficiente*: come può la Terra } restare isolata nello spazio senza cadere?

La risposta ci è riferita da Aristotele:

« Alcuni dicono che essa (la Terra) sta ferma per la somiglianza (o simmetria), come fra gli antichi Anassimandro. Infatti non ha da muoversi nè in su nè in giù, nè dalle parti, poichè si trova nel mezzo e similmente rispetto agli estremi. Non essendo possibile che il moto si faccia in versi opposti, necessariamente sta ferma ».

Aristotele aggiunge che il discorso è più elegante che vero: tanto varrebbe pretendere che un uomo affamato e assetato debba restar fermo in mezzo a cibi e bevande, che lo circondino ad eguale distanza. Questa è l'origine del cosiddetto « Asino di Buridano », che si cerca invano negli scritti di Jean Buridan, scolastico del secolo XIV.

ANASSIMENE. — La magnifica intuizione della Terra libera nello spazio e immobile, rispetto a cui l'alto e il basso hanno senso puramente relativo, è lasciata cadere da Anassimene; sia che questi non abbia capito l'idea del suo predecessore, sia che non riesca ad ammettere che alla relatività geometrica si accompagni una relatività fisica. Egli fa della Terra una tavola, sostenuta dalla pressione dell'aria (che è la sua materia cosmica primitiva): gli astri non passano nel loro giro sotto la Terra, ma dalla sera alla mattina si muovono circolarmente attorno alla Terra stessa: il moto del cielo, che li trasporta, viene paragonato a quello d'un berretto da notte. Si ritrova qui un'antica rappresentazione caldaica.

Il cielo è materializzato: l'aria fredda all'estremità del mondo si consolida in una vòlta cristallina nella quale sono infisse le stelle:

mentre sole, luna e pianeti, quasi foglie aderenti, sono tenuti indietro dalla resistenza dell'aria. Le dimensioni del mondo si restringono in maniera assai singolare, perchè il suo raggio è fatto eguale a quello della Terra.

Tutte queste vedute indicano un apparente regresso. Ma quando alcune di esse — come la forma piatta della Terra e la distanza del sole — si vedon tramandate e conservate dai grandi filosofi posteriori della scuola ionica, per oltre un secolo, mentre i pitagorici in Italia già ammettevano la sfericità della Terra, non dobbiamo giudicarne così alla leggiera. Invero sembra che l'opinione dei Milesii fosse il portato di un tentativo di misura della distanza del sole, prendendo come punto di partenza la diversa inclinazione dei raggi di esso nei punti d'un meridiano (1).

Di Anassimene poco o nulla si sa, ed anche i suoi estremi restano dubbi. Per giudicare della sua opera conviene riflettere che, dopo un periodo di grandi idee, la scienza ha bisogno del lavoro più modesto di spiegazioni precise e di osservazioni particolari. Anassimene ha recato questo progresso in confronto ad Anassimandro.

Ma il progresso più importante portato da Anassimene è il suo concetto delle trasformazioni della sostanza primordiale. L'« aria » diventa « acqua » e poi « terra » (o solido) per *condensazione*, ed all'opposto si trasforma in « fuoco » (o etere) per *rarefazione*. Le qualità del caldo e del freddo sono associate rispettivamente al « condensato » e al « rarefatto ». Anche qui sembra che il filosofo abbia tenuto conto di alcune osservazioni fisiche familiari.

RELATIVISMO. — La Grecia possiede il genio della filosofia: le idee appena affacciate a proposito d'una questione particolare, tendono ad assumere un significato universale, estendendosi e trasferendosi ai più diversi campi in cui se ne cimenta il valore. La grande idea della relatività, incontrata da Anassimandro nella que-

(1) Se si assume la Terra piana, si è indotti ad effettuare una triangolazione che dà, per il Sole, la distanza del raggio terrestre.

stione dell'equilibrio della Terra, non poteva restare isolata. È come una scoperta che rovescia il senso comune: l'immagine di uomini colla testa all'in giù sorgeva naturalmente nella fantasia mobile dei Greci, e se anche il paradosso era tolto col restringere la superficie della Terra abitabile, le menti dovevano esserne scosse come ai tempi moderni dalla rivoluzione copernicana.

Lo stesso pensiero d'Anassimandro è già illuminato da quella scoperta: chi volesse tradurlo in termini moderni, potrebbe dire che la sua « natura infinita » è concepita come un *assoluto* esistente di per sè, mentre le cose o qualità che se ne separano hanno una esistenza *relativa*, le une come opposte alle altre. Si vede qui già adombrato il concetto pitagorico, che le cose risultino da un'armonia di forze o di principii opposti equilibrantisi.

L'impulso a cercare ovunque ciò che vi è di relativo diventa un tratto caratteristico della speculazione greca verso il 500 a. C. Esprimono a loro modo questo relativismo Sénofane ed Eraclito.

SENOFANE. — « Se Dio non avesse creato il biondo miele, i fichi sarebbero tenuti per la cosa più dolce ». Così Senofane di Colofone esprime la sua opinione sulle credenze comuni.

Quest'uomo non tenta sistemi filosofici. È un rapsodo errante, che ha abbandonato la sua patria ionica al tempo dell'invasione persiana (545 a. C.) e da allora percorre per molti decenni, infaticabilmente, le vie della Grecia, recitando nei banchetti le sue composizioni giambiche ed elegiache in cui critica vivamente i modi convenzionali di pensare e di sentire. « Omero ed Esiodo, dice, hanno attribuito agli Dei tutto ciò che presso gli uomini è onta ed obbrobrio: furti, adulterî e reciproci inganni... ». Ma sempre l'uomo tende a degradare al suo livello la divinità, e anche più basso se non la può comprendere: « Gli Etiopi fanno i loro Dei neri e col naso camuso: i Traci invece cogli occhi azzurri e i capelli rossi ».

Questa critica non sbocca in un relativismo assoluto, sì anzi nell'affermazione di un «Dio unico... che non somiglia agli uomini nè per la forma, nè per il pensiero... che tutto intero vede,

pensa e intende... », e di tale nuovo senso del divino è soffusa tutta quanta la satira, ora brillante, ora accorata, che Senofane fa delle vecchie favole e delle vecchie cosmogonie.

ERACLITO. — Di fronte a Senofane e ai Milesii, pensatori liberi e ragionatori audaci, si erge la figura ieratica di Eraclito d'Efeso. Questo discendente di re sacerdoti amava esprimersi in linguaggio oscuro, ad imitazione dell'oracolo « che non dice e non nasconde, ma accenna ». In verità, Eraclito sembra piuttosto un teologo che un fisico. Gli basta che il Sole sia grande quanto appare, e quasi non comprenda che il passaggio di questo sotto la Terra porti le tenebre, spiega l'avvicinarsi del giorno e della notte con le esalazioni chiare ed oscure del mare e della Terra: le prime si riaccendono ogni giorno in un nuovo sole.

In Eraclito appare già quell'atteggiamento antiscientifico, suggerito da motivi morali, che ritroveremo in Socrate. Il « molto sapere » di Pitagora e degli altri stima un'« arte cattiva » che può solo sviar la gente dalla vera « intelligenza », e portar disordine. Poichè egli ha in gran dispregio la plebe egualitaria, che crede di saperne abbastanza per dare a se stessa le leggi.

Certo non cerca le ragioni fisiche: il suo *fuoco* — natura primitiva delle cose — è una specie di forza vitale, principio di trasformazione e di moto, suggeritogli forse dalla consuetudine coi sacerdoti medici. Eraclito ha una visione dinamica della natura, tanto che, nello sviluppo successivo delle idee, l'eraclitismo sarà considerato una filosofia del Divenire in opposizione all'immobilità dell'Essere degli Eleati.

Egli scopre ovunque un contrasto di termini opposti che conferisce significato universale alla guerra, « madre di tutte le cose ». Le idee morali — la severa visione della vita che esprime la sua aristocratica personalità — coloriscono fortemente anche la fisica di Eraclito.

I principî sono quelli della tradizione ionica: una sostanza primitiva — qui il fuoco — si trova attraverso le trasformazioni della materia.

Ma il relativo non esiste di per sè, non c'è contrario senza il suo contrario. « Le coppie sono un intero e non un intero: cose unite e disunte, armoniche e discordi... ».

Pertanto le qualità opposte che conosciamo nella nostra esperienza hanno una realtà soltanto relativa: il giorno e la notte sono una cosa sola, e così la vita e la morte, la salute e la malattia. L'acqua di mare è salubre per i pesci, funesta per gli uomini....

Il fuoco s'ispessisce e scende al mare sotto forma di vortice o tromba marina solcata di lampi, il mare a sua volta va deponendo della terra. Inversamente dalla Terra e dal mare ascendono vapori umidi, i quali diventano nubi tornando a contatto col fuoco generatore di tempeste. « Il fuoco vive la morte della terra e l'aria la morte del fuoco; ma l'acqua vive la morte dell'aria, e la terra dell'acqua ». Così è chiuso il ciclo delle trasformazioni del mondo: « Nella circonferenza il principio e la fine si confondono ».

La doppia trasformazione (e quindi la relatività dell'alto e del basso) diviene per Eraclito il simbolo di una verità universale: « La via all'in su e la via all'in giù sono una e la stessa ».

Riappare così la concezione fondamentale dell'armonia, anzi dell'identità dei contrari: gli uomini « non sanno che ciò che varia è d'accordo con se stesso »; armonia di tensioni opposte come nell'arco e nella lira. Concezione che ritrovasi sott'altra forma nel pitagorismo.

Perchè canti la lira, perchè scocchi la freccia, occorre che siano tesi in senso contrario l'arco e le corde: ciascuna delle forze opposte, la rigidità della corda o la flessibilità dell'arco, è limite all'altra: nell'opporsi esse realizzano la legge suprema della Misura, quella stessa che tiene gli astri avvinti al loro cammino, sotto lo sguardo delle vindici Erinni. « Da quel che differisce nasce l'armonia più bella, e dalla discordia nasce ogni cosa ». « Unioni degli interi e dei non interi, convergenza e divergenza, accordo e disaccordo delle voci: da tutte le cose una sola, e da una sola, tutte ».

Lo slancio dello spirito verso l'assoluto porta il relativista a questo estremo: di annullare le apparenti differenze per vedere

la nascosta unità della natura. Questa metafisica era implicita nei postulati della scuola ionica: ma Eraclito ne scopre il fondo paradossale e gli conferisce un valore che oltrepassa la fisica.

Il suo stile oscuro ha dato esca fra i posteri a infinite discussioni, scoperte e rivendicazioni. La scuola romantica tedesca del secolo scorso lo ha messo fra i suoi precursori. Goethe e quanti seguirono la sua guida si sono ispirati a lui. Ma Eraclito non si può apprezzare nella giusta luce se non ricollocandolo nel mondo d'idee in cui visse. Agli opposti confini del mondo greco, un suo contemporaneo, uscito più sicuramente dai circoli pitagorici e con mentalità affatto diversa, giunge similmente ad una concezione unitaria del mondo, approfondendo il problema della materia. Ma per intendere il senso di questo sviluppo, che appartiene più propriamente al dominio della fisica, conviene dir prima della scuola pitagorica.

III.

I Pitagorici.

L'ITALIA « ILLUSTRE ». — Lo splendore della Ionia volge al tramonto, ma la scienza è ormai nata. Per trovare un nuovo sviluppo del problema della materia, legato ad una nuova visione del mondo, convien passare dalle città ioniche alle colonie greche della Sicilia e dell'Italia meridionale, « l'Italia illustre » come la chiama Sofocle nell'*Antigone*, che verso la fine del secolo sesto diviene il vero centro della coltura, e illumina l'Ellade tutta della sua luce.

PITAGORA E LA SCUOLA ITALICA. — Pitagora è nato a Samo verso il 572 a. C. o poco prima. Il racconto tradizionale dei suoi lunghi viaggi d'istruzione non deve essere privo di qualche verità. Pare anche ch'egli facesse il tentativo di esercitare un'influenza politica in patria, nei momenti che precedettero la tirannia di Policrate.

La città trovò sotto questi un regime ordinato, favorevole all'espansione dei commerci; si fecero anche grandi opere pubbliche, come l'acquedotto di Eupalino, meravigliosa testimonianza delle cognizioni tecniche dell'epoca. Ma Pitagora mal sopportava l'ambiente oppressivo della corte; venne in Italia e fondò a Crotone quella setta od ordine di carattere religioso che prese il nome di *Scuola Italica*. Aveva allora press'a poco quarant'anni.

L'insegnamento di Pitagora, ad un tempo morale e scientifico,

trovò largo seguito in un ambiente che già possedeva tradizioni di cultura, fiorendovi una scuola medica. E presto altre sedi dell'ordine furono fondate in diverse città della Magna Grecia e della Sicilia.

La stretta unione che regnava nella setta e il fanatismo invadente che l'animava conferiva ai Pitagorici un'influenza politica, cui il regime democratico delle Città poteva opporre poca resistenza; in breve essi si impadronirono del potere, instaurando un regime rigidamente aristocratico, con una politica esterna intollerante ed espansiva, quale si manifestò con la distruzione della ricca e potente Sibari.

Ma, pronta come l'ascesa, doveva giungere la fine dell'insolito regime. La discordia e la faziosità, inerenti alla mentalità politica dei Greci, non tardarono a risvegliarsi; verso il 500, la loggia pitagorica di Crotone fu incendiata e nell'incendio perirono la maggior parte dei notabili della setta. Secondo alcuni vi morì lo stesso Pitagora. Altri vuole che si fosse già ritirato a Metaponto e sopravvivesse ancora qualche anno. Intanto i suoi discepoli si disperdevano per l'Italia e per la Grecia, propagandovi le idee pitagoriche, che vennero così ad esercitare l'influenza più diffusa sui pensatori successivi. Vedremo d'altronde che esse recavano, col calore della fede religiosa e col soffio poetico, anche un intenso fermento di scienza. Qualcosa dello spirito pitagorico è passato dall'antichità anche nel nostro pensiero, e si trova alla base dello sviluppo scientifico moderno.

RELIGIONE. — Col Pitagorismo ci troviamo in un'atmosfera intellettuale del tutto diversa da quella della scienza ionica.

Allo spirito della Grecia omerica si era venuta sovrapponendo una nuova corrente, derivata in modo più o meno diretto dall'Asia, in cui si incontravano le aspirazioni morali dei poeti e la religiosità rinascente del popolo, nelle sue forme più primitive e naturalistiche. Era questo l'Orfismo, del cui aspetto originario poco sappiamo, a causa della sua pronta interazione con le altre religioni misteriche, e con la scuola pitagorica. Ma fin da principio,

certamente, esso fu penetrato di un senso pessimista della vita, contrastante singolarmente con l'idea convenzionale che ci si fa dello spirito greco.

Qui si vede la lotta tra il bene e il male, tra lo spirito e la materia, simboleggiata in un mito, per cui gli uomini debbono riscattare il peccato originale di un Dio ucciso. Dioniso Zagreo è dilaniato dai Titani che mangiano il suo cuore e sono folgorati da Giove; dalla loro polvere nasce l'uomo che nella creta mortale del corpo (elemento titanico) racchiude pure una scintilla divina, l'elemento dionisiaco che aspira a ricongiungersi col Dio risorto. Perciò questa scintilla, che è la più vera sostanza dell'anima, dovrà liberarsi dalla « tomba » del corpo trasmigrando attraverso molte vite successive d'espiazione e di purificazione. La via da seguire è minutamente descritta in un rigido rituale il cui scopo non è tanto di adombrare qualche verità, quanto di porre l'adepto nello stato d'animo voluto, e di fargli compiere gli atti necessari nell'ordine prescritto, affinché si scioglia la promessa d'immortalità.

L'adesione di una scuola filosofica, come la pitagorica, a tali forme propriamente magiche, può suscitare meraviglia in chi sia stato partecipe del senso di elevato razionalismo che pervade la scuola ionica. Si tratta effettivamente di una reazione all'indirizzo laico di questa, reazione che poco dopo vediamo apparire nella Ionia stessa, con lo sdegnoso appartarsi di Eraclito.

Pitagora, con la sua mistica, infonde vita nel corpo già vecchio del simbolismo: nulla fa maggior presa sugli spiriti che il ritorno a riti primitivi, di cui ancora l'anima collettiva sente tutto il valore. Di qui la strana serie di *tabù* adottati dalla scuola: astenersi dalle fave e dalla malva, astenersi dalla carne degli animali almeno in certe condizioni, non vestire di lana ma soltanto di lino, non sacrificare il gallo bianco, non rompere il pane; e tanti altri che hanno fatto la disperazione dei più ingegnosi commentatori, mentre non sono che un ponte gettato fra il pensiero nuovo e l'antica sacralità.

La religione pitagorica era apparentata all'orfica, se pure Apollo vi prendesse il posto di Dioniso. Certo v'era la credenza nella

« ruota delle nascite »: l'anima passa per successive reincarnazioni nel corpo d'animali e di uomini.

La via della salute, che deve condurre al finale affrancamento dalla « ruota delle nascite », era legata, per gli Orfici, a riti semi-barbari, quali sono le famose « orgie » del culto di Dioniso. Pitagora, senza abbandonare del tutto questi riti, introduce un'idea più elevata, ponendo Apollo al posto di Dioniso. Fu straordinariamente amato, dice Platone, per avere insegnato un modo di vita pitagorico, come già Omero aveva insegnato un modo omerico.

Il cammino della vita è la *filosofia*, cioè lo « sforzo verso la saggezza » inteso come fattore d'elevazione morale.

Ed è caratteristico del genio greco che l'attività artistica e scientifica — verso il bello e il vero — assumano qui un significato religioso. Come si purifica il corpo con le abluzioni e con le purgazioni, così l'anima si lava dall'immondezza del vizio e degli appetiti terreni, con la contemplazione delle armonie ideali, con la musica e con le matematiche. Gli adepti si applicavano anche all'astronomia, alla medicina, alla ginnastica, alla lettura d'Omero e d'Esiodo, che oltre a rispondere in diversi modi alla vita comune della confraternita, erano pur considerati come mezzi tendenti allo stesso fine.

LA TEORIA DELLE MONADI. — « Che vi è di più saggio? Il numero. Che di più bello? L'armonia ». Questi due articoli del catechismo di « perfezioni » degli acusmatici danno la chiave del pensiero della scuola.

« I cosiddetti Pitagorici, dice Aristotele nella *Metafisica*, avendo cominciato ad occuparsi di ricerche matematiche ed essendo grandemente progrediti in esse, furono condotti da questi loro studi ad assumere come principii di tutte le cose esistenti quelli di cui fanno uso le scienze matematiche. E poichè i primi che qui s'incontrano sono, per natura, i numeri, sembrò loro di ravvisare in questi molte più analogie con ciò che esiste o avviene nel mondo, di quante se ne possono trovare nel fuoco, nella terra e nell'acqua... Avendo poi riconosciuto che le proprietà e le relazioni delle armonie musicali corrispondono a rapporti numerici, e che anche in altri fenomeni naturali si riscontrano analoghe corrispondenze coi numeri, furono tanto più indotti ad ammettere che i

numeri siano gli elementi di tutte le cose esistenti, e che tutto il cielo sia proporzione e armonia » (1).

Un secolo dopo Pitagora, Filolao esprimeva questo pensiero dicendo che: « Tutte le cose conosciute posseggono un numero, e nulla possiamo comprendere e conoscere senza di questo ». Però il passo citato ed altri riferimenti fanno ritenere che la dottrina primitiva della scuola avesse un senso più materiale, a cui corrisponderebbe la formula « le cose sono numeri ».

Ma di nuovo qui — come per l'Infinito di Anassimandro — dobbiamo chiederci: che senso può avere una tale dottrina? In qual modo il numero può essere considerato come una specie di materia, al pari dell'acqua o dell'aria o del fuoco?

Per spiegare l'apparente non-senso siamo indotti — con Paul Tannery — a ricercare il significato che i Pitagorici potevano attribuire agli stessi numeri. Il numero non è ancora il puro astratto designante la quantità degli elementi che entrano a formare un insieme qualsiasi, e non è neppure quello che oggi si suol designare come « numero concreto ». Certo i Pitagorici usavano di tali numeri, parlando di 5 anfore o di 7 cavalli; ma nelle speculazioni filosofiche cercavano, in qualche modo, un significato naturale dei numeri. Si presentava loro l'ipotesi che tutti i corpi fossero formati di punti materiali o monadi, disposti in un certo ordine geometrico. La configurazione dei punti, col suo ordine, formava per loro un numero. Così essi parlavano di numeri figurati: per esempio, un gruppo di 9 punti disposti in tre file lineari a forma di quadrato, costituiva un numero quadrato. Analogamente consideravano numeri triangolari ecc. ed anche numeri solidi: cubici, tetraedrali ecc.

(1) Di qui il concetto del *cosmo*, che appare per la prima volta fra i pitagorici, a designare l'ordine dell'universo. Nell'accezione antica e letterale, la parola significa « decoro, ornamento »; e se ne ritrova l'eco nella espressione « cosmetico ». Quando i Romani si accinsero a tradurre il linguaggio filosofico greco, vollero *κόσμος* nel suo equivalente *mundus*, che pur servendo anche a indicare gli ornamenti, era essenzialmente il nome dato alla fossa sacra della città, porta degl'inferi per la quale gli spiriti degli antenati e della terra patria comunicavano col mondo di quassù.

La considerazione pitagorica non era solo geometrica, sì anche fisica. Il punto, elemento unitario delle cose, se da una parte conduceva alla loro rappresentazione geometrica, dall'altra era concepito come un corpicciuolo, unità materiale o *monade*.

Or dunque la formula paradossale « le cose sono numeri » viene a dire che ogni materia è composta di elementi o punti materiali, di piccola ma non nulla grandezza; e che dalla figurazione — numero e ordine — di codesti punti, fra loro identici e qualitativamente indifferenti, dipendono tutte le proprietà e differenze apparenti dei corpi.

C'è, come si vede, una grande idea: in un certo senso il principio della fisica matematica moderna. La teoria pitagorica pone infatti il problema di spiegare le differenze qualitative riconducendole a differenze di quantità. Aristotele mette in chiara luce questo principio, opponendogli la pregiudiziale che dopo di lui è stata ripetuta cento volte dai filosofi e che anche oggi si fa valere come obiezione alla filosofia meccanica. Alla quale obiezione si risponde: quando un certo stato di moto cessa di essere percepito come tale, per dar luogo a calore o altro fenomeno, si può ben dire che la nuova apparenza costituisce qualcosa di nuovo la cui conoscenza si aggiunge alla spiegazione quantitativa e la completa; ma ciò nulla toglie al valore di questa spiegazione. Si è scoperta insomma una corrispondenza fra un certo ordine di fenomeni qualitativi e un processo quantitativo, e attraverso la diversità si scorge così una profonda e non sospettata unità.

L'idea pitagorica delle monadi porta in germe questa feconda veduta, che dovrà maturare attraverso la filosofia democritea. Ora, per l'intelligenza storica, dobbiamo chiederci: come si può ricollegare la teoria delle monadi alle precedenti dottrine della materia, che abbiám visto affacciate dagli Ionici?

Non è difficile rispondere, partendo dall'ipotesi di Anassimandro. Una materia cosmica diffusibile — che potrà magari concretarsi in aria o fuoco, o in un miscuglio di aria e di fuoco — prende varie forme e stati, per condensazione e rarefazione. Così appunto l'aria di Anassimene diventa acqua quando è condensata per com-

pressione e maggiormente compressa si muta in terra (solido), invece rarefatta diventa fuoco. Ma, là dove ci è dato scorgere qualche fenomeno analogo — per esempio, nella condensazione del vapore ovvero nella cristallizzazione d'un liquido — non appare un fenomeno di massa: il vapore condensato o il liquido solidificato non si raccoglie da una parte, in massa compatta, anzi si vedono sparsi in tutto il corpo centri di condensazione (goccioline liquide o piccoli nuclei cristallini). Un'osservazione simile può aver suggerito ai Pitagorici questa veduta: la sostanza primitiva infinita — la matrice delle cose, che essi concepiscono come essenzialmente ignea — dà origine alla materia propriamente detta (e in particolare al solido che ne costituisce il tipo) per condensazione attorno ad un gruppo di punti o centri monadici; intorno ad ogni centro si forma un piccolo nucleo compatto, la monade, che rimane circondata e separata dalle altre da qualcosa di rarefatto, come vuoto, etere.

ARITMETICA E MISTICA DEI NUMERI. — Si vede così che l'ufficio attribuito al numero nella spiegazione pitagorica del mondo, ha — almeno originariamente — una base materiale: ne risulta però uno speciale interesse pei numeri e per le loro proprietà talvolta meravigliose, ed insieme la ricerca d'analogie in cui viene ad inserirsi un elemento mistico.

La conoscenza dei numeri e delle regole di calcolo è venuta in Grecia dai Fenici, ma Pitagora elevò l'*aritmetica* al di sopra dei bisogni del commercio, facendone oggetto di pura scienza. Le distinzioni dei numeri *pari* e *dispari*, dei numeri *amici* (ognuno dei quali è la somma dei divisori dell'altro), dei numeri *perfetti* (eguali alla somma dei loro divisori), dei numeri *lineari* o rettilinei e *piani* o rettangolari (cioè primi e composti) risalgono alla sua scuola.

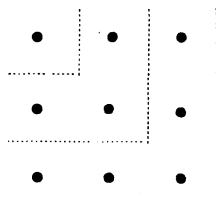
Connesso colla rappresentazione geometrica dei numeri è l'uso dell'*abaco*, tavola con pedine o palline scorrevoli, per eseguire i calcoli, che Pitagora avrebbe appreso dagli Egiziani. E da co-

desta rappresentazione deriva poi la regola per formare i quadrati come somme dei successivi numeri dispari:

$$1 + 3 = 2^2, 1 + 3 + 5 = 3^2 \dots$$

Invero se al numero quadrato n^2 , si aggiunge una linea orizzontale di n punti e poi una verticale di $n+1$, si ottiene

$$(n + 1)^2 = n^2 + (2n + 1)$$

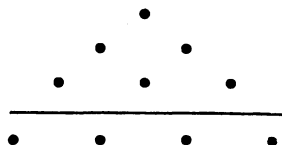


(cfr. figura); si trova quindi la proprietà espressa dalla formula

$$1 + 3 + 5 + \dots + (2n - 1) = n^2 \dots$$

Analogamente la formazione dei numeri triangolari porge la somma dei numeri naturali:

$$1 + 2 + 3 + \dots + n = \frac{n(n+1)}{2}$$



Ora la generazione dei quadrati dalle serie dei numeri dispari suggerisce di congiungere a codesti numeri l'idea del *perfetto*; invece se si procede in maniera analoga coi numeri pari si dà origine, non più a dei quadrati, ma a dei rettangoli: perciò ai numeri pari viene collegata l'idea dell'insufficiente o dell'*imperfetto*.

Ed ecco scaturire di qui alcune meravigliose analogie.

Per intenderne il senso ricordiamo che in ogni cosa i Pitagorici vedono una dualità o polarità di principî opposti: opposizione d'idee morali raccolta probabilmente da una tradizione religiosa orientale (lotta fra il Bene e il Male o fra l'Ordine e il Disordine); ed insieme rappresentazione fisica di forze contrastanti ed equilibrantisi, che sembra ricollegarsi — come già si è detto —

ai concetti d'Anassimandro. Aristotele ci ha tramandato una tabella che comprende 10 coppie di contrari.

Ora è notevole che fra gli opposti si distinguono due gruppi: il « bene », la « luce » ecc. stanno da una parte, col « limite » e col « numero dispari », di fronte al « male », alle « tenebre », all' « illimitato » e al « numero pari ». Alcune di queste analogie — probabilmente fra le più antiche della scuola — si spiegano colla teoria monadica della materia: il « limite » è concepito in maniera attiva come limitante, e perciò anche come il fuoco (o la sostanza luminosa) che limita la monade, poichè la condensazione della materia attorno ad un centro porta una zona rarefatta d'etere circostante. Ma come trovare un'analogia fra il « limite » e il « numero dispari » e « l'illimitato » ed il « pari »? La risposta sembra esser data dalla generazione dei quadrati mediante le somme di numeri dispari, e degli eteromechi (rettangoli) coi numeri pari: l'idea del perfetto porterebbe ad associare i primi al « bene » ed al « limite ». Il cosmo sarà limitato nello spazio, cioè sferico. E sarà limitato anche nel tempo: la vita di quel grande organismo che è il mondo si esaurisce in un certo ciclo, il *Grande Anno*, dopo di che tutto ricomincia esattamente uguale: tale è la legge dell'Eterno Ritorno.

Principio d'analogia, corrispondenza delle meravigliose proprietà dei numeri coll'ordine cosmico e coll'ordine morale: si sdrucchiola così nella mistica dei numeri.

L'infanzia del pensiero umano è facilmente portata a questa tendenza. Ma essa si esalta nella scuola di Pitagora, insieme col senso matematico. E questo è assai naturale, ove si apprezzi al suo giusto valore l'enorme sforzo intellettuale fornito dai Pitagorici della prima generazione, per dissociare i numeri dalle cose a cui sono legati, e conferir loro quasi un'esistenza astratta. Le nuove misteriose entità, che sembrano dominare il mondo dei fenomeni, come scorgerne chiaramente la natura? come porre limiti precisi alla loro potenza? Se le loro leggi reggono due ordini di realtà così diversi come quello dei suoni e quello delle figure, perchè non tutte le altre cose?

Ad ogni passo, il filosofo trova un nuovo elemento dell'armonia matematica soggiacente ai fenomeni: questa, una volta indovinata, gli permetterà di precorrerli colla mente. E l'armonia dovendosi ritrovare in ogni cosa, sarà la chiave di tutto l'universo. Il cubo è un'« armonia geometrica », perchè ha dodici spigoli, otto vertici e sei facce. Non diversamente dalle figure e dai suoni avranno un numero proprio anche la Giustizia e l'Occasione. L'intelletto sarà 1, perchè sempre immobile in se stesso; mentre 2 sarà il numero dell'Opinione sempre oscillante; il Matrimonio sarà 5, perchè unisce il primo numero pari col primo dispari: e così via.

Le mirabili proprietà osservate sui primi numeri, sul 3 per esempio e sul 7 (si era già avvertita la funzione critica delle settimane nel decorso delle malattie) fanno di questi dei numeri privilegiati o numeri filosofici, i quali debbono avere un significato particolare nel cosmo.

Il numero perfetto poi è il 10, in quanto, dice Filolao, manifesta meglio di ogni altro la virtù del numero: « perchè la Decade è grande, essa compie e realizza ogni cosa: principio e guida della vita, divina e celeste ed umana insieme...; senza di essa, tutto è indeterminato, misterioso, oscuro ». In essa è racchiuso ugual numero di pari e dispari; vi è l'unità col primo pari, il primo dispari col primo quadrato. È il fondamento dei numeri tutti. Risulta, fra l'altro, dalla somma del 3 col 7. Il 3 è il primo numero che abbia « principio, mezzo e fine ». Il 7 è il simbolo della saggezza, è Pallade, in quanto è nella Decade il solo numero che non sia generato da alcuno di quelli che essa comprende, e che non ne generi alcuno.

C'è in tutta la mistica dei numeri una mera superstizione, o una fallace apparenza dell'idea della semplicità della natura? Certo è che i numeri privilegiati si dovranno ritrovare nelle misure dell'universo e nelle distanze dei corpi celesti; dai loro semplici rapporti deriverà un'*armonia delle sfere*. « Armonia » significa originariamente accordo ideale di numeri; poi si immaginò che implicasse una musica cosmica, insensibile all'orecchio umano che vi è abituato, ma capace di dare all'anima la gioia ben nota a chi contempi in una notte serena il cielo stellato.

Anche i corpi celesti mobili, che i Pitagorici distinguono dalle stelle fisse, dovranno essere *dieci*; e perciò Filolao aggiunge ai pianeti conosciuti, alla Terra, al Sole e alla Luna, un'ipotetica *antiterra*, che probabilmente doveva anche spiegare le eclissi, dando per centro a tutto il sistema, non la Terra, ma un supposto fuoco centrale, « la divina Hestia ». Fino a che punto queste ipotesi apparentemente arbitrarie, rispondevano a più profondi motivi scientifici?

La domanda nasce già per Pitagora, se a lui si attribuisce la veduta della *Terra sferica*, che avrebbe suffragato con una ragione estetica: la sfera è la più bella delle figure solide.

Ma ragioni più propriamente scientifiche si scoprono avvolte nel pensiero mistico. Sembra verosimile che Pitagora voglia dare un senso razionale rigoroso alla concezione anassimandrea di una Terra circondata simmetricamente dall'universo stellare. Si trovano anche, presso la scuola pitagorica, tentativi di soluzione dei problemi posti dagli Ionici, ma in senso tutto diverso. Per esempio, l'esigenza di spiegare razionalmente l'uguaglianza media dei giorni alle notti sembra condurre alla strana ipotesi pitagorica che farebbe derivare la luce diurna non già dal Sole bensì da un emisfero luminoso che nel Sole stesso avrebbe un centro di riflessione, e che si alternerebbe con un emisfero oscuro rotando intorno alla Terra.

La teoria della Terra sferica si è conservata in Italia dagli eleati e dai pitagorici delle successive generazioni, mentre nella Ionia prevaleva ancora per oltre un secolo la concezione della Terra piatta; Platone la riprende e giustifica ancora in base all'argomento di simmetria di Anassimandro; ma proprio ai suoi tempi nuove osservazioni astronomiche portavano a risolvere la questione in modo positivo. Queste osservazioni sono ricordate da Aristotele, e sono di due ordini: 1°) vi sono delle stelle visibili nell'Alto Egitto e non più visibili in Grecia; 2°) nelle eclissi lunari appare l'ombra proiettata dalla Terra sempre sotto forma circolare.

RAZIONALISMO E MISTICISMO. — A questo punto siamo tratti a domandare: come si spiega lo strano miscuglio di sapere lumi-

noso e di stravagante oscurità, che appartiene ai creatori della mistica dei numeri ?

Il problema che qui sorge è importante per la storia della scienza e della filosofia, segnatamente per comprendere le relazioni fra logica e metafisica. Una spiegazione non superficiale della difficoltà si ottiene soltanto dal riflettere agli *intimi rapporti intercedenti naturalmente fra razionalismo e misticismo*: che appunto vogliamo mettere in luce.

Per comprendere l'unione di tali tendenze apparentemente opposte, si rifletta alle premesse psicologiche del razionalismo. In qual modo si è tratti a cercare nel pensiero il criterio o la misura della realtà esterna? Ciò avviene in forza della nostra disposizione originaria a proiettare fuori di noi le immagini o le idee che popolano la nostra mente: l'io cerca di ritrovare qualcosa di sè nel mondo circostante. Per questo motivo il poeta anima le cose, il filosofo e il matematico vengono a figurare una realtà intelligibile. La fiducia istintiva che prestiamo al ragionamento tende ad esprimersi in un *razionalismo metafisico*, per cui i rapporti logici delle idee assumono il valore di rapporti obiettivi fra gli enti (questa tendenza si scopre bene in quei sistemi moderni che prendono come tipo della causalità il rapporto fra le premesse e le conseguenze del ragionamento deduttivo). Soltanto in uno stadio più evoluto, il *razionalismo* assumerà un senso *positivo*, per cui — lasciando cadere ogni ipotesi metafisica intorno alla natura dei rapporti reali — si conserverà soltanto il postulato fondamentale della scienza, che la realtà è suscettibile d'una rappresentazione razionale.

Ma questo concetto positivo importa una limitazione della tendenza razionalistica, che può essere insegnata soltanto dall'esperienza. Come il fanciullo impara a poco a poco a scernere la realtà dalla illusione del sogno o della fantasia, anche il razionalista, fanciullo della storia, deve correggere a grado a grado la tendenza ingenua della mente a passare dal mondo delle idee a quello dei fatti. Colui che ricerca fuori di sè qualcosa di se stesso, non sa ancora fino a qual punto la proiezione del mondo delle idee riuscirà giustificata. E se, in una certa misura, l'esperimento rechi conforto

alla naturale tendenza dello spirito, è facile capire ch'ei possa trascorrere ad una fiducia illimitata: la determinazione critica dei limiti e delle condizioni verrà solo più tardi. Dunque l'impulso originale del razionalismo condurrà dapprima ad immaginare la possibilità d'una proiezione illimitata dell'io nel mondo esterno, donde la rispondenza del reale, non soltanto ai rapporti logici, ma anche alle associazioni sentimentali dei nostri pensieri: anzi queste ultime che si trovano a base dell'attività religiosa, manifesteranno una più forte tendenza ad esteriorizzarsi, in proporzione al loro più forte interesse affettivo. In questa luce, l'attività scientifica e l'attività mistica e religiosa rivelano una profonda unità, scoprendosi come differenziazioni d'una medesima tendenza primitiva dello spirito, che è pure d'ordine religioso: dalla quale deriva, in particolare, la ricerca o la creazione mentale d'alcunchè d'eterno e d'immobile nel cambiamento di tutte le cose: i più alti ideali della fede e gl'*invarianti* — oggetti e rapporti — della contemplazione scientifica, sono i due aspetti d'una medesima *realtà*, suprema aspirazione dell'animo umano, e si ricongiungono nella loro origine.

GEOMETRIA. — In connessione con la loro veduta matematica del mondo, e più specialmente — come vedremo — con la teoria monadica della materia, i Pitagorici svilupparono lo studio della Geometria. Secondo la tradizione questo studio — trasportato in Grecia da Talete — verrebbe dall'Egitto e sarebbe nato dalle necessità del catasto, in un paese dove le inondazioni del Nilo cancellano i limiti delle proprietà o danno adito a riduzione d'imposte dei terreni allagati. Certo molte conoscenze geometriche si trovano in tempi assai remoti, non solo in Egitto, ma anche in Babilonia, ed in India; così, per esempio, diversi casi particolari, e forse anche il caso generale, della relazione tra il quadrato dell'ipotenusa e i quadrati dei cateti del triangolo rettangolo, che costituisce il così detto teorema di Pitagora; ma dalla scuola pitagorica tali conoscenze vennero ordinate in sistema deduttivo, che è probabilmente il primo modello del genere: quelle lunghe catene di deduzioni che, movendo da osservazioni semplici ed evidenti, condu-

cono a grado a grado alla scoperta di proprietà più riposte e significative, dovettero appunto costruirsi, come opina lo Zeuthen, per lo scopo di fornire la dimostrazione generale dell'anzidetto teorema di Pitagora.

Col metodo deduttivo i progressi della geometria furono rapidi. Nello spazio d'un secolo, all'ingrosso fra il 550 e il 450 a. C., fu sostanzialmente acquisito il possesso della geometria elementare.

Come fosse costruito il più antico edificio della geometria pitagorica, non ci è dato sapere con esattezza. Ma certo vi entravano quelle proprietà di composizione e decomposizione delle superficie che costituiscono una specie di algebra geometrica (2° libro dell'Euclide) ed insieme vi interveniva il concetto dei numeri figurati. Il sistema dovette poi appoggiarsi sopra una generale teoria dei rapporti e della similitudine; alla quale serviva naturalmente come base la teoria delle monadi.

Infatti la monade — punto materiale esteso — appariva non solo elemento costitutivo dei corpi, ma anche delle figure geometriche: linee, superficie e solidi erano pensati come riunioni di punti. Così il paragone teorico di due linee si faceva immediatamente, definendo il loro reciproco rapporto o misura: se una linea contiene m punti e l'altra n , il loro rapporto è dato da m/n . Sol-
 tanto la scoperta delle grandezze incommensurabili doveva rivelare
 l'errore di questo ragionamento. E per verità la scoperta si fece nel-
 la scuola stessa, mercè la considerazione del triangolo rettangolo
 isoscele.

Se, in questo triangolo, si prende come l il cateto e si suppone che l'ipotenusa sia misurata da m/n , dovrà aversi per il teorema di Pitagora: $m^2 = 2 n^2$. Ma è lecito supporre che i due termini della frazione $\frac{m}{n}$, m ed n , non contengano insieme il fattore 2, cioè che n almeno sia dispari. Invece m , il cui quadrato è pari, sarà necessariamente pari: $m = 2 m_1$. Allora si dedurrà $m^2 = 4m_1^2$, ed $n^2 = 2n^2$, quindi anche n dovrebbe esser pari, contro il supposto.

Per il fatto di rovinare il fondamento stesso della misura, è verosimile che la scoperta degli incommensurabili sia apparsa agli

stessi suoi scopritori una verità scandalosa ed imbarazzante. La leggenda narra d'un geloso segreto con cui si volle circondarla; e proprio per avere violato questo segreto, Ippaso di Metaponto sarebbe stato punito dagli Dei, perendo in un naufragio. Bisogna dire però che altri e più fondamentali dissensi separarono Ippaso dalla scuola pitagorica. Attaccato al senso mistico delle dottrine tradizionali, piuttosto che all'insegnamento scientifico, egli si trovò a capo della setta dissidente degli *acusmatici* — seguaci delle « cose udite », cioè di un dogma espresso in articoli di fede — in opposizione a quella dei *matematici*.

Comunque, l'esistenza degli incommensurabili doveva portare ad una revisione dei principii su cui si fonda la scienza pitagorica. In accordo colla veduta astratta che oggi ci formiamo delle matematiche, parrebbe che la crisi avesse ad involgere soltanto le basi della geometria: il concetto idealizzato del punto, e la definizione del rapporto di due grandezze. Ma la geometria pitagorica era connessa con una teoria della materia o della « natura » delle cose; l'elemento dello spazio era la stessa unità pensata come elemento dei corpi. Si comprende perciò che dei pensatori, usciti dai medesimi circoli pitagorici, diciamo i filosofi della scuola d'Elea, vengano a rimettere in discussione tutto il sistema delle monadi: la critica loro, riprendendo e spingendo alle estreme conseguenze il monismo ionico, riuscirà da una parte a segnalare le difficoltà di codesto postulato per la costruzione della fisica, dall'altra a liberare una geometria veramente razionale, i cui enti sono concepiti per la prima volta come *idee*, oltrepassanti l'empirico.

IV.

Gli Eleati.

PARMENIDE. — Ciò che era Mileto intorno alla metà del secolo sesto, centro luminoso della filosofia ellenica, doveva diventare al principio del secolo seguente la piccola colonia di Elea, fondata dai foceesi verso il 540. Poichè nel 500 o poco dopo, vi fioriva l'iniziatore di un nuovo grande movimento di pensiero, Parmenide; il quale anzi sarebbe vissuto un poco più tardi, se si presta fede al racconto di Platone: che venne già vecchio ad Atene per le grandi feste Panatenee, ed ivi si incontrò con Socrate giovinetto. Era, dice, « di capelli bianchissimi, bello di aspetto e venerando, sui sessantacinque anni di età ». E con lui era il discepolo Zenone, che poteva averne quaranta, « anch'egli grande e di bella prestantza ».

Parmenide apparteneva ad una delle famiglie più ricche ed influenti della città: fu magistrato e legislatore; e per molto tempo i cittadini di Elea si riunirono una volta all'anno per giurar fede alla costituzione da lui dettata.

Conobbe certamente Senofane; ma il suo vero maestro in filosofia, il suo iniziatore sulle vie del pensiero, pare fosse proprio un pitagorico, Ameinia di Crotona, « povero ma nobile uomo » al quale più tardi elevò un *heroon* o tempio votivo in segno di riconoscenza.

Parmenide non rimase a lungo nella cerchia dei Pitagorici ortodossi. Altrettanto lo aveva affascinato il concetto pitagorico di un

ordine matematico, come fondamento del mondo reale, altrettanto gli sembrava difficile conciliare i principii dualistici dei Pitagorici col concetto dell'unità della materia che trovava a base della tradizione ionica, e che rappresentava ai suoi occhi un'esigenza della ragione.

LE PAROLE DELLA VERITÀ. — L'Eleate ha esposto le sue idee in un poema *Sulla Natura*, di cui ci sono stati conservati ampi frammenti. Esso s'inizia in tono profetico:

« Le cavalle che mi portano m'hanno condotto lontano, quanto il mio cuore poteva desiderare; perchè mi hanno portato e deposto sulla via famosa della Dea, che sola dirige l'uomo che sa, traverso ogni cosa. Lì sono stato condotto; chè i veloci corsieri mi trasportarono, e fanciulle mi mostravano la via. E l'asse, ardendo nel mozzo, — chè era stretto da ogni parte nelle ruote turbinose — dava un grande stridore, quando le figlie del Sole, desiderose di condurmi alla luce, si tolsero i veli dal viso e lasciarono la dimora della Notte.

Lì sono i portali, da cui si dipartono le vie del Giorno e della Notte, muniti in alto d'un architrave e in basso di una soglia di pietra. Le porte sono alte nell'aria, a due grandi battenti, e la Giustizia vindice tiene le chiavi che le serrano e le disserrano.

Le fanciulle le dissero dolci parole, e la persuasero argutamente a togliere dalle porte le sbarre che le chiudevano. E quando furono spalancate, lasciarono scorgere una profonda apertura; chè i loro battenti di bronzo, muniti di borchie e di punte, girarono l'un dopo l'altro nei loro cardini. Direttamente attraverso le porte le fanciulle spinsero i cavalli col carro: la Dea mi salutò con fare amichevole, mi prese la destra nelle sue mani, e mi disse queste parole:

' Sii benvenuto, o giovane, che vieni alla mia dimora sul carro trasportato da aurighi immortali! Non è un tristo destino, sono la giustizia e la rettitudine che ti hanno messo su questa strada lungi dal sentiero battuto dagli uomini! Ma occorre che tu sappia ogni cosa, sia il cuore impavido della verità ben ritonda, sia le vane opinioni dei mortali, che errano lontani dalla vera fede. Pure tu apprenderai anche questo — come [i mortali] avrebbero dovuto giudicare che sono le cose che loro appaiono — mentre tu vai traverso ogni cosa nel tuo cammino ' ».

Dopo questo ampio esordio l'animo del lettore si protende ansioso verso la rivelazione della Verità così solennemente annunciata. Ma il seguito del poema, di cui pure ci è conservata la massima parte, sembra fatto per deluderne l'aspettativa. Il poeta ci

apprende che si possono concepire soltanto due vie di ricerca, « una che l'Esistente è, e quindi che non può esser Niente; l'altra che non è, e così che debba esistere il Niente ». La prima è « la via della persuasione » che segue la Verità, la seconda « non ci istruisce affatto, poichè tu non puoi conoscere nè esprimere ciò che non esiste ».

Che cosa significa questo bisticcio? Per comprenderlo, giova tener presente che l'autore scrive sulla natura delle cose, cioè sul problema della materia primitiva. Secondo la tradizione ionica, egli assume una sostanza originaria unica, soggiacente alle diverse qualità fenomeniche. Ma i Pitagorici gli hanno insegnato che tale sostanza dev'essere priva essa stessa di qualità. Che cosa le rimane dunque? Soltanto la proprietà di *esistere*, e di occupare uno spazio. Perciò l'autore designa appunto il soggetto delle sue discussioni come *l'esistente*: qualcosa che si afferma esistere in senso corporeo, cioè come materia estesa.

Con questa chiave le parole di Parmenide diventano chiare. Le due ipotesi che si mettono di fronte l'una all'altra sono l'ipotesi che tutto sia pieno o che esista il vuoto: la Verità dell'autore è che la materia estesa deve riempire lo spazio, e identificarsi con esso, perchè il vuoto, cioè il non esistente, è inconcepibile.

LA MATERIA ESTESA. — Parmenide è un razionalista, anzi è il primo razionalista che si affacci nella storia del pensiero. Egli ritiene che la verità sia da scoprire, non guardando alle cose, come sono fatte, ma riflettendo intorno all'idea che ce ne formiamo. Perciò la sua teoria della materia non è fondata, come avviene più o meno per gli Ionici, su delle analogie sensibili, ma sopra un concetto razionale della materia stessa: che si oppone alla veduta delle monadi.

Abbiamo detto che, secondo i Pitagorici, le qualità della materia sono puramente apparenti, e dipendono in ultima analisi dal numero e dall'ordine geometrico dei punti materiali che la costituiscono; i punti, poi, ce li possiamo figurare come centri di condensazione della materia primitiva di Anassimandro. La critica di

Parmenide parte dal concetto che codesta materia primitiva sia priva di qualità, e non abbia altro attributo che l'estensione. Diventa quindi inesplicabile che possa comunque condensarsi o rarefarsi; in particolare non potrà nemmeno condensarsi intorno a dei centri, lasciando vuoti a delimitare le monadi fra di loro.

Alla materia di Parmenide, che viene concepita come spazio solidificato, si lega naturalmente l'idea dell'impenetrabilità; per conseguenza appare anche impossibile dividerla, penetrando con qualche cosa a separarne le parti. Dice l'autore:

« Non è divisibile, poichè tutto è simile a se stesso. Non c'è in alcun luogo un *più esistente* che possa rompere la sua connessione, nè un *meno esistente*; ma tutto è pieno dell'esistente ». Così tutto è perfettamente compatto: « l'esistente confina con l'esistente ».

Che cosa sarebbe il confine fra due parti contigue dell'« esistente » o dello spazio? Sarebbe una *superficie*; ma questa non è un velo di piccolo spessore, bensì un ente ideale privo di spessore che non toglie il contatto fra gli spazi confinanti.

« Ciò che non cade sotto i tuoi sensi [letteralmente: le cose assenti] contemplalo fermamente presente davanti alla ragione. Esso non separerà l'esistente dalla connessione con l'esistente, nè staccandolo da tutte le parti affatto regolarmente [come nel caso d'una superficie chiusa circoscrivente un solido], nè congiungendolo [come fa la superficie comune a due solidi contigui] ».

Con questa veduta Parmenide va oltre la fisica: il senso veramente razionale delle figure geometriche per la prima volta si svela ai suoi occhi. Ma di ciò più avanti.

Riassumiamo la dottrina fondamentale dell'Eleate. Essa pone una materia primitiva impenetrabile, cui s'accordano soltanto gli attributi geometrici: spazio pieno o *materia estesa*, come l'abbiamo già designata. Tale è in sostanza la concezione che, circa due-mil'anni dopo, Descartes doveva riprendere come postulato della sua fisica; anzi il nome di « *matière étendue* » è specificamente cartesiano.

Per un solo aspetto l'« esistente » parmenideo differisce dallo spazio del geometra: l'Eleate non sa concepirlo come illimitato

(« se gli mancasse il limite tutto gli mancherebbe ») e gli attribuisce la forma d'una sfera perfetta. Melisso correggerà più tardi l'incongruenza di questa maniera di pensare.

È POSSIBILE CAMBIAMENTO O MOTO? — Giova ora esaminare a quali conseguenze conduca l'ipotesi parmenidea, in relazione al problema del mondo.

Cerchiamo di metterci nella mente del filosofo. Egli vorrebbe spiegare il processo o il divenire del mondo come effetto di cause che debbono dar ragione degli avvenimenti; ma il mondo è pieno per lui di una sostanza materiale, uniformemente distribuita, sicchè le azioni reciproche delle parti di questa, cioè della materia sulla materia, possono costituire le sole cause pensabili di ogni avvenimento. Questa maniera di comprendere è in fondo anche la nostra: per esempio, anche per noi, una caduta di temperatura è causata dal contatto fra un corpo più caldo e un corpo meno caldo, e il movimento di un liquido in due vasi comunicanti proviene da una differenza di altezza del liquido stesso nei due vasi. In questi fenomeni e in altri consimili, vediamo sempre due corpi che agiscono l'uno sull'altro per effetto di una differenza, mentre non sappiamo immaginare che un'azione possa prodursi tra cose eguali (almeno a partire da un primitivo stato di quiete), non aparendoci una *ragione sufficiente* del cambiamento. Dunque Parmenide non poteva trovare nel suo universo la spiegazione di un cambiamento o di un divenire qualsiasi. Come potrebbe qualche cosa nascere o crescere?

« Quale origine gli cercherai tu? Come e da dove (l'esistente può essere) accresciuto?... Non si può dire nè pensare che sia dal non esistente: infatti non è dicibile nè intelligibile, perchè non c'è. Invero quale necessità l'avrebbe fatto cominciare più presto o più tardi, a venire dal nulla? Così è necessario che esista sempre o non esista affatto.

Nè la forza della persuasione permette di credere che dal niente possa generarsi qualcosa che non sia il niente stesso. Perciò la giustizia tiene nei suoi saldi legami il nascere e il perire. Il giudizio a questo riguardo sta in ciò: esiste o non esiste.... Se è nato una volta non esiste, e non esiste nemmeno se deve nascere nell'avvenire. Così svanisce il nascere, ed è inconcepibile il perire ».

Tuttavia, secondo la tradizione ionica, si vedeva una causa sistemica del processo cosmico nel moto di rotazione del mondo (l'apparente rivoluzione della sfera celeste), cui si connette, più o meno consapevolmente, l'idea di forze, quali sono le forze centrifughe. Anche senza andare troppo innanzi per questa via, Parmenide poteva cercarvi una ragione del cambiamento o del divenire cosmico, pur rispettando l'omogeneità della materia. Invece egli rifiuta anche il principio della soluzione, dichiarando che il mondo « è immobile nei limiti dei saldi legami ».

Qui gli Eleati (Parmenide, e i suoi discepoli Zenone e Melisso dopo di lui) sembrano spingere all'estremo il loro atteggiamento paradossale.

Parmenide negava il movimento: quante volte queste parole sono state ripetute come l'espressione della più assurda sfida al senso comune! Alla quale non pochi sono tentati rispondere come a Zenone avrebbe risposto il cinico Diogene, nella favola del Laerzio, levandosi in piedi a camminare!

Ma, ancora una volta, di fronte ad un assurdo attribuito a grandi filosofi antichi, dobbiamo domandarci quale ne sia il vero significato.

C'è infatti una tesi, da cui prende nome la nuova Dinamica einsteiniana, che solleva similmente le alte grida di spiriti poco critici, e che è facile confondere colla negazione del moto: il moto non significa nulla di per sè, ma soltanto variazione *relativa* della posizione delle cose: « Nulla di più positivo nel moto d'un uomo sopra un naviglio che nella quiete d'un altro che lo vede allontanarsi dalla spiaggia », dice Descartes.

Il testo stesso di Parmenide contiene dei passi in appoggio di questa interpretazione: egli non parla del moto dei corpi, bensì del mondo nella sua interezza, e dice:

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

Le spiegazioni dei commentatori, sebbene la relatività non venga ugualmente compresa da tutti, recano pure appoggio alla nostra tesi. La quale viene poi convalidata da due argomenti fondamentali:

1°) Zenone discepolo di Parmenide ci dà con lo *Stadio* una veduta relativistica del moto;

2°) l'influenza dell'idea eleatica si ravvisa anche nelle nuove teorie astronomiche di Filolao, che fa muovere la Terra attorno ad un fuoco centrale: e questo è il principio di una serie di speculazioni che conduce al sistema eliocentrico di Aristarco di Samo, il Copernico dell'antichità.

Concludiamo intanto. Parmenide, avendo compreso il senso relativo del moto, non può conferire significato al moto di rivoluzione del mondo, e perciò si chiude l'unica via di scampo che sembrava offrirglisi per rendere comprensibile la diversità e il cambiamento delle cose: dal primitivo stato iniziale d'una materia estesa omogenea ed in quiete, non vi è modo di passare ad altro. Il filosofo riconosce francamente questa impossibilità, che esprime nel suo linguaggio: il divenire del mondo non è *verità* (razionale), ma soltanto *opinione*, o apparenza sensibile, che al lume della ragione si palesa illusoria.

LE PAROLE DELL'OPINIONE. — Tuttavia la Dea ha promesso a Parmenide di spiegargli non soltanto la verità, sì anche « le opinioni dei mortali, che errano lontano dalla vera fede ». E così nel poema alle « Parole della Verità » seguono le « Parole dell'Opinione ».

Di fronte al vero, il senso comune non concepisce che il falso, e perciò si cercherà qui soltanto una confutazione di errori altrui. Con meraviglia si trova invece il tentativo di spiegare il processo cosmico secondo un ordine d'idee che si ricollega evidentemente ai Pitagorici, ma che l'autore stesso prende in una certa misura a correggere e a perfezionare: non si tratta dunque di puri errori da confutare, ma piuttosto di una conoscenza di secondo piano, che rimane nello stadio empirico, perchè non può accordarsi col principio razionale dell'unità della materia. Per riuscire in questa spiegazione, occorre assumere due principii opposti. Per intender bene il posto che una tale dottrina poteva avere nel sistema di Parmenide, giova richiamare per esempio il caso d'un medico che scriva un

trattato razionale delle malattie: dopo avere discorso della malaria o di altre malattie conosciute, il trattatista si trova di fronte al cancro, malattia del tutto ignota nella sua genesi e nel suo vero significato; nondimeno egli non può tacere, e vuole dire almeno del trattamento empirico che essa consiglia. Il processo cosmico, se pure incomprendibile per la ragione, è sempre un fatto sensibile che merita di essere considerato e spiegato almeno empiricamente.

Pur limitandoci ad un semplice cenno su questa parte della filosofia di Parmenide, non possiamo esimerci da una osservazione. Per spiegare il processo cosmico, l'autore introduce due principii opposti, che toglie in prestito dai Pitagorici: « la fiamma eterea o la luce, leggera e sempre eguale a se stessa, e per contro la tenebra oscura ed ineguale, greve e pesante ». Aver introdotto questa seconda forma (senza riuscire a dedurla dalla prima), questo è l'errore logico che l'autore stesso segnala in tale spiegazione. L'errore sta dunque nel ricevere un'ipotesi dualistica anzichè monistica, ma poi anche, e più specialmente, nell'attribuire esistenza positiva a qualcosa come il buio o il freddo, ecc., che significa soltanto l'assenza d'una qualità opposta (luce, caldo). C'è qui un'intuizione assai interessante.

Ma torniamo alla posizione del razionalista intransigente, prendendo atto delle dichiarazioni di Parmenide: il sensibile non ha valore di scienza; c'è una sola scienza *vera*, conforme a ragione, ed è la scienza della materia estesa, che ha carattere necessariamente statico.

Sorge così, dinanzi agli occhi del pensiero, la veduta di un mondo senza moto e senza vita, il regno squallido dell'eterno silenzio. La ragione si è offerta volonterosa al suicidio. Tuttavia la condanna del mondo sensibile, pronunziata in nome di un ideale che non riesce a comprendere e a sottomettere la realtà, vale ad attestare la fede del filosofo. Per non avere cercato di nascondere o di palliare l'insuccesso del suo sistema, indulgendo a deboli accomodamenti, e per la fede incrollabile nella ragione, che non gli ha consentito di indietreggiare di fronte ai paradossi che sembrano risulturne, Parmenide ha lasciato ai posteri un grande esempio.

I suoi successori saranno indotti da lui ad affrontare per nuove vie il problema della natura, serbando il culto delle esigenze del sapere.

GEOMETRIA RAZIONALE. — Intanto ad affinare queste esigenze, la geometria si spoglia di ciò che d'empirico rimaneva ancora nel sistema pitagorico, ed attraverso una critica rigorosa acquista piena consapevolezza del significato razionale dei suoi enti.

La superficie del geometra non è un velo dotato di piccolo spessore, la linea non è un filo più o meno sottile, il punto non ha estensione. Questi enti e le figure che con essi si costruiscono hanno un'esistenza puramente ideale, al di là del sensibile. Parmenide sembra averlo riconosciuto per la prima volta. Proclo commenta la definizione dell'Euclide « il punto è ciò che non ha parti » dicendo che essa è conforme al criterio di Parmenide, per cui « le definizioni negative convengono ai principii ». E nello stesso poema dell'Eleate abbiamo ravvisato un accenno alla superficie senza spessore, che non toglie la connessione degli spazi contigui, e — assente di fronte ai sensi — deve tenersi presente davanti alla ragione: tradotto ed interpretato in tal guisa, il fr. 2 ci sembra ricevere, per la prima volta, un significato intelligibile.

In un altro frammento il filosofo sembra alludere alle contraddizioni cui dà luogo il concetto del punto esteso, bastardo infinitesimo attuale, che, per il « volgo senza discernimento » degli scolari di Pitagora, sarebbe ad un tempo « lo stesso e non lo stesso », cioè, come sappiamo da Aristotele, pari e dispari, limitato ed illimitato, ecc.

Ma la veduta razionale degli enti geometrici è stata chiarita, nel suo contenuto matematico, dal discepolo di Parmenide, Zenone d'Elea.

I PARADOSSI DI ZENONE. — Zenone d'Elea, discepolo di Parmenide e di venticinque anni più giovane, ha dato risalto al lato logico e matematico delle dottrine del maestro, sviluppando quei celebri paradossi, mercè i quali intendeva rispondere ad avversari che in nome del senso comune deridevano le conseguenze della

dottrina parmenidea: come dice Platone, egli diede loro pan per focaccia, « e ci mise anche la giunta »; infatti egli dimostra che le stesse loro opinioni li espongono a conseguenze ancor più ridicole ed assurde, purchè si voglia approfondirne sufficientemente l'esame.

Zenone, come Parmenide, si occupò di pubblici negozii. E per avere congiurato contro Nearco e Diomedonte, tiranno della sua città, fu messo a morte con crudeli tormenti. La sua eroica fine viene raccontata in molti modi. Al principe che lo scherniva dicendogli « vedremo che ti insegnerà ora la filosofia » avrebbe risposto: « il disprezzo del tiranno ». Anche, secondo la leggenda, piuttosto che lasciarsi sfuggire il nome dei compagni, si sarebbe strappato la lingua e glie l'avrebbe gettata in faccia.

Gli argomenti di Zenone contro la « pluralità » (teoria geometrica delle monadi) si possono leggere in frammenti dello stesso autore, riportati da Simplicio, e in chiare testimonianze. Essi importano che, nell'ipotesi della « pluralità », cioè se le grandezze geometriche sono costituite di unità indivisibili eppure estese, costesse medesime grandezze appaiono insieme « piccole e grandi, piccole fino alla nullità e grandi fino all'infinito ».

« Se non vi è pluralità, gli enti sono tanti quanti sono, nè più nè meno. Ma, se è così, sono in numero finito. Viceversa, se vi è pluralità, gli enti sono infiniti, poichè vi sono sempre altri enti fra gli enti e di nuovo altri in mezzo a questi, e così gli enti sono infiniti ».

Che in questi argomenti si tratti effettivamente di negare l'estensione del punto (monade), lo conferma anche Aristotele:

« Se l'uno è indivisibile in sè, secondo l'assioma di Zenone sarebbe nulla. Infatti ciò che nè aggiunto, nè tolto, può fare una cosa più grande o più piccola dice non appartenere agli enti, naturalmente intendendo che l'ente sia grandezza, e in quanto grandezza corporeo; questo invero (il corporeo) è in ogni parte ente. Quanto alle altre cose, come la superficie e la linea, aggiunte faranno in qualche modo più grande o no ciò a cui si aggiungono, ma il punto e la monade in nessuna maniera ».

Giustamente il Tannery ricollega a questa polemica i famosi quattro argomenti di Zenone sul moto.

Il primo argomento dice che il moto è impossibile perchè per andare dal punto A al punto B, bisogna prima passare per il punto C che divide per metà la linea AB, e poi per il punto medio della linea CB, e così di seguito, all'infinito.

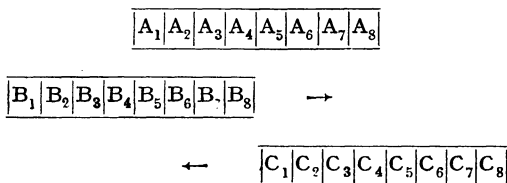
Il secondo argomento, in maniera più plastica, ci fa assistere ad una corsa del piè-veloce Achille con la lenta tartaruga. Nella gara Achille non potrà mai raggiungere la tartaruga, sol che le dia un vantaggio iniziale. Poniamo per esempio Achille nel punto A e la Tartaruga in T, distanti di 100 m., e assumiamo la velocità del più celere 10 volte maggiore di quella del più lento; affinchè Achille raggiunga la tartaruga, deve prima percorrere i 100 metri da A in T, e allora la tartaruga avrà percorso 10 metri andando da T a un punto più distante T'; poi Achille dovrà percorrere 10 metri da T a T', e frattanto la tartaruga percorrerà un metro andando da T' ad un nuovo punto T''; e così seguitando si vede che Achille è costretto a passare per una serie infinita di punti T, T', T'', T''' ecc., distanti 100, 100+10, 100+10+1.... metri, senza mai raggiungere la tartaruga.

Fermiamoci un momento ad esaminare questi due argomenti paradossali. In essi per molto tempo si è veduta soltanto la negazione del movimento. Abbiamo riferito la storiella secondo cui il cinico Diogene li confutava levandosi a camminare. Altri moderni Diogeni neokantiani hanno creduto di confutarli a loro volta spiegando che non è possibile nella realtà la divisione all'infinito delle lunghezze matematiche che l'argomento suppone, sicchè si avrebbe un teorema della meccanica razionale!

Ma, all'opposto, il ragionamento di Zenone vuol essere una riduzione all'assurdo della tesi monadica dei Pitagorici, e una dimostrazione della continuità della linea: se la linea è composta di punti, aventi una lunghezza elementare, sia pur minima, ϵ . Achille per raggiungere la tartaruga deve percorrere infiniti intervalli, ciascuno dei quali è almeno uguale a quel minimo di lunghezza ϵ , e pertanto lo spazio percorso risulta maggiore di qualsiasi lunghezza assegnata!

Nel terzo argomento di Zenone, detto della *freccia*, si fa

vedere analogamente che — come lo spazio lineare non è composto di « punti successivi » — nemmeno il tempo è composto d'istanti o tempuscoli elementari. Una freccia che vola per l'aria occupa in ogni istante un certo luogo. Quindi in ogni istante è in quiete. Come potranno molti stati di quiete successivi comporre un moto? Rispondono gli avversari che la freccia sta sempre passando da un punto a un altro. Va bene, ma allora cambia posizione anche entro l'istante, e questo andrà suddiviso, ai fini della rappresentazione, in più istanti successivi. La discontinuità del tempo si risolve in continuità. All'argomento si può dare una forma più capziosa: la freccia si muove nel luogo in cui è, oppure nel luogo in cui non è più o non è ancora? Casi assurdi: quindi la freccia che vola è in realtà immota.



Accenneremo infine al quarto argomento (lo *Stadio*). Si confrontano tre file parallele di punti materiali allineati a distanze uniformi. La fila *a* è immobile, e le file *b* e *c* si muovono in senso contrario con una stessa velocità *v*. Si domanda qual è la velocità di un punto materiale della serie *c*. Essa si ottiene considerando il tempo in cui un punto della serie passa davanti a due successivi punti della serie *a*: ma se il movimento venga riferito invece alla serie *b*, la stessa velocità, che era *v*, diventa $2v$!

Qui Aristotele rimprovera a Zenone di confondere il moto rispetto a corpi mobili con quello rispetto a corpi in quiete. E il Tannery crede di difendere l'Eleate ritenendolo incapace di siffatto errore. Ma si può dir questo un *errore*? Se Zenone — applicando ai singoli corpi il principio che Parmenide aveva affacciato per il mondo — negava il moto assoluto, è assai naturale

che la sua critica si traducesse in paradossi come quello sopra riferito: a chi ritenga la velocità un carattere del moto in sè, Zenone fa vedere che essa ha soltanto un significato relativo.

Abbiamo dunque lo sviluppo logico dell'analisi iniziata da Parmenide: il pieno riconoscimento della *relatività del moto*.

ANALISI INFINITESIMALE. — Ma ritorniamo allo scopo principale della critica di Zenone, per rilevarne il più profondo significato matematico. I paradossi che il filosofo mette in luce sono quelli che si trovano sulla via dell'analisi infinitesimale. La riflessione che riconosce l'idealità degli enti geometrici scopre, insieme al regno del pensiero, il mondo dell'infinito, e perciò conduce naturalmente a porre un nuovo ordine di problemi. Il primo argomento sul moto mostra già che una lunghezza finita si può presentare come somma d'un numero infinito di lunghezze decrescenti:

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

il secondo argomento, l'*Achille*, ci invita quindi a porre il problema di trovare la somma della progressione geometrica infinita

$$100 + 10 + 1 + \frac{1}{10} + \dots$$

ovvero di

$$1 + \frac{1}{10} + \frac{1}{100} + \dots$$

Si può ritenere che ai tempi di Zenone la teoria delle proporzioni, già sufficientemente sviluppata dai matematici, permettesse di risolvere questo problema determinando il punto d'incontro d'Achille con la tartaruga: ciò che per noi ora si riduce alla risoluzione di un'equazione di primo grado. Così dunque, se non da Zenone stesso, almeno da qualcuno dei suoi contemporanei, deve essersi scoperta in questa occasione la *somma della progressione geometrica infinita*

$$(1 + n + n^2 + \dots = \frac{1}{1-n} \text{ per } n < 1).$$

Questa felice induzione dello Zeuthen ha trovato conferma negli sviluppi successivi delle matematiche su cui più recenti documenti (Hei-

berg) hanno proiettato nuova luce: le scoperte e le speculazioni di Democrito recano traccia di quella conoscenza, ed anche del concetto d'integrale. Pertanto alla critica di Zenone si può associare il primo passo dell'analisi infinitesimale.

ORIGINI DELLA LOGICA. — Il metodo di Zenone, non meno che i suoi risultati, fa epoca nella storia della scienza. Egli ha inventato il procedimento di *riduzione all'assurdo*, così largamente usato dai geometri posteriori, e in particolare da Euclide.

Per dimostrare una proposizione A , si assume come ipotesi che valga la contraria, *non- A* , e se ne trae successivamente una serie di conseguenze, fino a che si giunga ad una contraddizione (assurdo). Dall'esser falsa la proposizione *non- A* si conclude che deve essere vera A .

Che questo metodo sia rigoroso nessuno contesta; ma i critici moderni sogliono giudicarlo come una via indiretta e poco naturale, repugnante all'intuizione, perchè porta a fingere figure impossibili ed obbliga a ragionare sopra di esse. Da questo motivo deriva in gran parte l'antipatia che lo Schopenhauer manifesta contro l'Euclide, di cui paragona le costruzioni a trappole, per imprigionare l'assenso dei discepoli. Tutt'al più si concede che la riduzione all'assurdo assolva il compito di invertire le proposizioni, facendo vedere che la negazione della tesi contraddice al teorema inverso, già stabilito.

Ma giova rilevare che la dimostrazione negativa per assurdo ha un posto essenziale ovunque un'eguaglianza (di superficie, volumi, ecc.) venga inferita da un ricorso all'infinito; il passo avventuroso che consiste nel sommare infinite grandezze o decomporre un tutto in infinite parti, si evita allora dimostrando — con un numero finito di passaggi logici — che le grandezze presunte eguali non possono essere diseguali, chè l'una non è maggiore dell'altra. Così facevano gli antichi col *metodo d'eshaustione*. E se i moderni evitano qui l'apparenza del ragionamento per assurdo, ciò accade perchè essi hanno già introdotto il concetto negativo dell'infinito, attraverso la definizione dei *limiti*.

Non a caso dunque le origini del procedimento di riduzione

alla'assurdo si trovano congiunte con quelle dell'analisi infinitesimale. Ma l'avvenimento acquista nuovo significato nella storia del pensiero, ove si avverta che qui stanno pure le origini della Logica.

Diogene Laerzio dà esplicitamente Zenone come inventore della Dialettica, cioè della Logica. E chi rifletta ne comprenderà facilmente il motivo. Quando si ragiona su qualcosa che sia rappresentabile o visibile, il ragionamento trova un controllo estrinseco nell'esperienza, e perciò non vi è luogo di esaminarne rigorosamente le regole; invece il procedimento di riduzione all'assurdo non offre la possibilità di simili controlli; il ragionatore è costretto a sottoporre i passaggi del suo pensiero ad una rigida disciplina; altrimenti il discorso perde ogni valore dimostrativo, svanendo come un castello di parole costruito sul nulla.

E si noti la particolare difficoltà che offre la scoperta della logica. Come chi respira normalmente non ha consapevolezza che il respiro è essenziale per vivere, così vi sono verità e leggi del pensiero tanto ovvie che è difficile scoprirle, non perchè su di esse cada dubbio, ma all'opposto perchè sembran troppo futili, per la loro evidenza.

Di tal natura è il canone elementare che si esprime col *principio di contraddizione*. Esso viene alla luce in una invettiva di Parmenide contro coloro per cui qualcosa può essere ad un tempo « lo stesso e non lo stesso »; per rilevarne il valore occorre dunque che il pensiero fosse indotto a fingere l'esistenza di alcunchè dotato di proprietà incompatibili fra loro: sembra infatti che la polemica sia diretta contro il punto esteso, preso come elemento dello spazio, il bastardo infinitesimo attuale dei Pitagorici!

Non ci stupisce ora che, attraverso i problemi infinitesimali, coll'uso del procedimento di riduzione all'assurdo, Zenone sia progredito nell'analisi del ragionamento: chè questa conoscenza ci appare strettamente legata alla costruzione di paradossi e di sofismi. Tuttavia è difficile dire fino a che punto egli sia proceduto innanzi su tale via. La sua dialettica verrà ripresa dai Sofisti, e specialmente da quelli della seconda maniera (razionalisti contro empiristi) che appartengono alla scuola di Megara.

Nella quale le tesi eleatiche riappaiono in un senso nuovo e formale, che prepara la teoria platonica delle Idee.

PSICOLOGIA DELLE SENSAZIONI. — Concetto razionale della geometria, Analisi infinitesimale, Logica, sono tanti indirizzi fecondi del pensiero che scaturiscono dal nodo della critica eleatica. Zenone più che ogni altro ha contribuito a sviluppare questi germi, contenuti nell'insegnamento del Maestro. Non pare invece che si sia preoccupato delle difficoltà inerenti alla Fisica. Ma gli viene attribuita un' *aporia*, che porta la scepsi parmenidea sul terreno proprio della psicologia delle sensazioni. Il rumore prodotto dalla caduta al suolo di uno staio di miglio, diceva, deve risultare dalla somma dei rumori che producono i singoli grani; ma la caduta d'un sol grano non produce rumore alcuno!

Con tali riflessioni si entra già nel campo dei problemi della conoscenza.

MELISSO. — Alla scuola d'Elea si collega anche un terzo personaggio: Melisso di Samo, che fu il vincitore degli Ateniesi nella battaglia navale del 441.

I frammenti che di lui rimangono, alcuni dei quali abbiamo già citato ed altri citeremo nel seguito, illustrano, spesso in modo suggestivo, la tesi di Parmenide; ma nella polemica sembrano tener di mira piuttosto la filosofia ionica che la pitagorica.

L'impossibilità che l'esistente (materia estesa) si condensi o si rarefaccia, e la sua impenetrabilità, sono chiaramente affermate:

« Non può essere condensato o rarefatto, perchè il rarefatto non può esser egualmente pieno come il denso, ma proviene da questo per il vuoto. Il giudizio intorno al pieno e al non pieno bisogna farlo così: se qualcosa ha posto per ricevere qualche altra cosa in sè, non è pieno; ma se non ha posto, è pieno ».

Il fr. 8, che contiene una bellissima critica delle sensazioni, sembra quasi introdurre alla veduta atomica, concludendo che se ci sono più enti, questi debbono essere [costituiti di materia estesa senza qualità] così come si dice dell'Uno:

« Se ci fossero più cose esistenti, queste dovrebbero avere le stesse proprietà, che io attribuisco all'Uno. Infatti se ci sono aria e acqua, aria e ferro, oro e fuoco, e se c'è vivo e morto, nero e bianco, e tutto ciò che gli uomini dicono essere vero: se le cose sono così, e se noi vediamo ed udiamo rettamente, allora ognuna di queste cose dev'essere come abbiám detto prima, cioè non potranno alterarsi o diventar altre, ma ognuna deve essere sempre ciò che è. Ora noi diciamo di vedere, udire e intendere rettamente, e tuttavia ci sembra che il caldo diventi freddo e il freddo caldo, il duro tenero e il tenero duro, e che il vivo muoia e nasca dal non vivo; e che tutto cambi e che niente sia oggi simile a ieri; e che il ferro, pur essendo duro, si logori al contatto del dito, e similmente l'oro e la pietra e tutto ciò che sembra essere solido, e dall'acqua farsi la terra e la pietra. Mostriamo in tal guisa di non vedere, nè conoscere ciò che esiste. Poichè queste cose non si accordano l'una coll'altra. Infatti se diciamo esservi molte cose aventi forma e forza propria, ci sembra che tutte cambino e si alterino da come ogni volta le vediamo. È dunque chiaro che non abbiám veduto giusto, e che erroneamente ci sembra esservi molte cose: non cambierebbero se fossero verità, ma ciascuna resterebbe come ci è apparsa. Perchè non c'è niente di più forte di ciò che veramente esiste. Ma se è cambiato, l'esistente è distrutto e il non esistente è nato. Così dunque: se ci sono molte cose debbono essere esattamente come l'Uno ».

In un punto caratteristico Melisso si allontana da Parmenide: il pieno non è limitato a guisa di sfera, ma si estende nello spazio all'infinito. Aristotele biasima quest'illazione, rimproverando al filosofo di passare con paralogismo dall'infinità del tempo all'infinità dello spazio, ma ne spiega poi il vero motivo: non si può concepire un pieno limitato, senza concepire insieme uno spazio vuoto che lo circonda e lo limita.

C'è qui una naturale esigenza della ragione, tanto naturale che vien fatto piuttosto di chiedersi come mai Parmenide l'abbia disconosciuta. La risposta è suggerita dalle stesse parole di questo filosofo e s'accorda con un tratto del genio greco; egli sentiva il bisogno di concepire il mondo come qualcosa di attuale e di perfetto in se stesso, e perciò repugnava dal pensarlo infinito.

Ma la correzione di Melisso ha un doppio valore. Da una parte essa s'accorda bene nella sua mente colla negazione del moto rivolutivo del mondo, perchè è impossibile immaginare un moto che s'estenda all'infinito; d'altra parte costituisce, come vedremo, la premessa del sistema d'Anassagora.

Si può domandare se all'infuori di codesto punto il filosofo di Samo rechi veramente un progresso sulle idee scientifiche parmenidee. La sua analisi non approfondisce alcuno di quei problemi matematici che formano oggetto della dialettica di Zenone. E quanto alla fisica — fuori dei motivi critici che abbiamo rilevato — non si vede che aggiunga qualcosa di nuovo.

Invece si scorge in Melisso la tendenza a passare dal terreno della fisica a quello della logica o della metafisica. Già il modo di argomentare che vediamo nel frammento sopra citato mostra bene questo passaggio. Se l'invarianza dell'esistente in Parmenide si lascia spiegare in una maniera più profonda come abbiamo fatto col principio di ragion sufficiente (perchè in un tutto omogeneo manca il motivo di un cambiamento), qui prende il disopra la formula verbale, che sembra implicare l'immutabilità di ciò che si dice *essere*. Inoltre l'immutabilità di ciò che *esiste* è concepita da Melisso non soltanto per ciò che esiste in senso corporeo, sì anche per le qualità delle cose. E poi anche per l'ordine o la legge dell'universo: « Un cambiamento dell'ordine cosmico è impossibile. Infatti l'ordine prima esistente non può distruggersi, e il non esistente non può nascere ». L'attribuzione all'ordine dell'idea d'esistenza non cessa d'essere notevole, se anche si giustifichi poi l'impossibilità del cambiamento dicendo che nulla può essere aggiunto, o tolto alle cose.

Comunque, sembra apparire in tutto questo un'evoluzione del pensiero eleatico, che forse tiene al ravvicinamento con Eraclito: è il principio d'una via che, attraverso un'interpretazione sempre più formale, perdendone a poco a poco il senso propriamente scientifico, conduce dalla fisica di Parmenide alla metafisica dei filosofi megarici e di Platone. Anche il passo in cui Melisso nega all'Uno la sofferenza, rivela una certa disposizione idealistica della sua mente.

INFLUENZA SUI CIRCOLI PITAGORICI. — La filosofia d'Elea, coi suoi paradossi, dà la spinta a tutti gl'indirizzi principali del pensiero ellenico successivo, come vedremo nel capitolo seguente.

Frattanto si è condotti naturalmente a cercare quale influenza più diretta possa avere esercitato sulla scuola affine dei pitagorici. La ricerca non è facile perchè le notizie intorno a questi sono mal sicure, confuse, e mescolate nel tempo: onde ci siamo astenuti dal distinguere nettamente le varie epoche nella nostra esposizione della dottrina pitagorica.

Dopo la fine della scuola di Crotone, i Pitagorici si erano concentrati a Reggio: di lì quasi tutti emigrarono in Grecia: solo a Taranto doveva risorgere sotto Archita il governo filosofico. FILOLAO e Liside si trovavano a Tebe poco prima del 400. Ma alla morte di Socrate (399) Filolao era già tornato in Italia. Nel IV secolo il pitagorismo aveva due centri: uno a Taranto, attorno ad ARCHITA, ed uno in Grecia, a Fliunte. Aristosseno, il quale fu allievo di questa terza generazione, ricorda i nomi di Echecrate, Diocle e Polimnasto di Fliunte e di Senofilo di Calcide, il quale visse ad Atene fino all'età di centocinque anni: tutti quanti discepoli di Filolao ed Eurito. Echecrate fu anche, insieme con Cebete e Simmia tebani, amico di Socrate.

Pochissimo si sa di questi pitagorici, come dei loro contemporanei astronomi d'Italia. I testi stessi che si attribuiscono loro sono generalmente contestati e ritenuti apocriefi dai filologi. In particolare le teorie attribuite a Filolao pare che siano opera della generazione successiva. Nondimeno è lecito vedere già una influenza diretta delle tesi eleatiche nei frammenti che appartengono più probabilmente a Filolao. Egli non dice più che « le cose sono numeri », ma che « tutte le cose conosciute posseggono un numero e nulla noi possiamo intendere o conoscere senza di questo ». È verosimile che riconosca ormai esplicitamente l'esistenza degli incommensurabili su cui scrive un libro il suo contemporaneo Democrito; e di questo riconoscimento entro la scuola pitagorica vorremmo addurre come prova un testo attribuito ad Archita di Taranto, sebbene appartenente agli scritti contestati dai filologi.

« La quantità multiforme si divide in: linea, superficie, corpo, spazio, numero e rapporto » (λόγος).

In ogni caso la teoria che vuole spiegare ogni cosa coi numeri, assume ora quel senso formale che, nei riferimenti di Aristotele sui Pitagorici, si trova spesso congiunta al senso materiale dei primitivi. D'altra parte si è già notata (a pag. 48) l'influenza della critica eleatica sugli autori, siano essi Filolao od altri, della teoria di una Terra girante attorno al Fuoco centrale: teoria evidentemente suggerita dalla relatività del moto.

V.

Le risposte al paradosso eleatico.

Empedocle e Anassagora.

LE TRE RISPOSTE. — La filosofia eleatica, svolgendo fino alle ultime conseguenze i motivi ionici e pitagorici, era riuscita ad una radicale negazione della realtà. Se esiste una materia unica, priva di differenze qualitative e puramente estesa; se questa costituisce da sola tutto l'esistente, e fuori di lei il vuoto è inconcepibile, come « non esistente »: allora il mondo costruito dal pensiero si riduce allo spazio figurato della geometria, ed in esso viene a mancare ogni ragione sufficiente della diversità e del divenire. Il sensibile diventa illusorio; la ragione stessa corre al suicidio nella contemplazione dell'immobilità, che è la morte eterna del Tutto.

Il senso comune d'ogni tempo protesta contro siffatti paradossi: le beffe dei contemporanei, come quelle dei posteri, non sono mancate ai valorosi campioni della filosofia negatrice. In una situazione disperata ciascuno crede di poter dare il buon consiglio; la prudenza ha sempre da insegnare qualcosa all'eroe temerario. Ma se questi l'ascoltasse non sarebbe più eroe.

Ciò è vero anche del coraggio speculativo con cui i filosofi affrontano l'assurdo ed il ridicolo, sdegnando i facili compromessi per tener fede alle ragioni profonde della propria logica. Appunto per tale coraggio Parmenide s'innalza nel pensiero di Platone, che lo dipinge colle parole d'Omero:

Augusto e terribile nella sua grandezza (').

(') *Teet.*, 183 e.

La logica eleatica produceva intanto questo risultato storico: per sfuggire all'assurdo bisogna riprendere l'esame delle premesse, istintivamente accettate. C'è un'ipotesi monistica che gli Ionici hanno assunto come base delle loro speculazioni: materia unica, che si spoglia naturalmente di tutte le qualità fuori dell'estensione; c'è l'inconcepibilità del vuoto che sembra contraddire all'idea stessa dell'esistenza; c'è anche la pretesa della ragione di giudicare del reale contrapponendosi al senso e oltrepassando tutti i quadri dell'esperienza. Tre punti fondamentali da rivedere e da discutere; tre vie che s'aprono alla filosofia posteleatica e che conducono a nuove posizioni e a nuovi problemi. Il pensiero greco le ha effettivamente percorse, e sono:

1°) le teorie pluralistiche della materia d'Empedocle e d'Anassagora;

2°) la dottrina atomica di Leucippo e di Democrito;

3°) l'empirismo che contrassegna la critica della conoscenza presso i sofisti, Protagora e Gorgia.

Sono tre risposte alla tesi eleatica; se anche esse conducono al di là del campo di questa speculazione, un unico filo direttivo le ricollega nella logica della storia.

PLURALISMO. — Il postulato « nulla si crea e nulla si distrugge » non è stato inventato dagli Eleati; lo abbiamo già ravvisato, come principio regolativo della speculazione ionica. Ma, sviluppato con rigore, esso rivela un senso nuovo ed un'esigenza più profonda. « Se in diecimil'anni l'universo avesse cambiato d'un capello, nella totalità infinita del tempo già sarebbe perito ». Così dice suggestivamente Melisso.

L'esigenza razionale è dunque: che non vi sia vero cambiamento. Ciò che è deve rimanere sempre eguale a se stesso. E allora, avevano concluso gli Eleati, la materia unica non può dar luogo a differenze: la diversità è pura illusione.

Allora, diranno i teorici del pluralismo, se la diversità non è illusoria, bisogna che la materia non sia affatto unica, cioè che esi-

stano qualità di materia tra loro differenti, e sempre uguali a se stesse: la materia sensibile resulterà così dal miscuglio di elementi irriducibili che non mutano, ritraendo i suoi aspetti dalle proporzioni di questi.

Empedocle d'Agrigento non spinge molto avanti questa veduta. Gli basta il semplice compromesso eclettico per cui dà valore di « radici » (elementi) ai quattro stati fisici della materia, già distinti dagli Ionici, secondo un'antica tradizione popolare: o più precisamente, come si conviene a un greco, a talune proprietà elementari e tangibili che egli vi connette. Terra, acqua, aria e fuoco, diventano per lui, non già stati trasformabili l'uno nell'altro, bensì corpi semplici, dotati di qualità immutabili, e componenti di tutte le diverse specie materiali.

Anassagora di Clazomene svolge in maniera molto più profonda la veduta pluralistica: le qualità della materia non sono mere apparenze, anzi *esistono* immutabilmente, nello stesso senso che all'esistenza ha conferito la critica eleatica. La materia risulta dunque da un miscuglio d'infiniti elementi: « secco », « umido », « bianco », « rosso », ecc.; in tutto c'è di tutto, e il miscuglio si ritrova fin nelle parti infinitesime; sono le qualità prevalenti che conferiscono a ciascuna cosa la sua apparenza.

« Le cose che si trovano nel mondo uno, non sono isolate; il caldo e il freddo non si lasciano separare coll'ascia ».

« Rispetto al piccolo, non c'è un minimo, ma c'è sempre un più piccolo, perchè l'esistente non può essere annullato per divisione. Così, rispetto al grande, c'è sempre un più grande, e il più grande è eguale al piccolo come pluralità, e in se stessa ogni cosa pensata come somma di infinite parti infinitesime è insieme grande e piccola » (Tesi di Zenone). « Ma se, come pluralità, il grande e il piccolo sono eguali, vi può essere dunque qualcosa di tutto in tutto, niente è isolato e tutto partecipa di tutto ».

Questa dottrina della materia è stata interpretata nel modo più profondo dal Tannery, che — per la prima volta — ne ha compreso il vero valore. Non ci sono particole elementari di diversa specie, ma c'è « di tutto in tutto »: per quanto si spinga avanti la divisione, non si trova mai nulla di puro. La grande idea originale, evidente-

mente suggerita dal pensiero di Zenone, è d'introdurre nella concezione della materia, l'infinitamente piccolo...: « il piccolo va pure all'infinito » (fr. 1).

IL PROFETA E LO SCIENZIATO. — Empedocle e Anassagora sono contemporanei: il primo, « più giovane d'età ma più vecchio per le opere », come dice Aristotele, è nato una diecina d'anni dopo il secondo, e questi intorno al 500 a. C. Sono vissuti in ambienti diversi e mostrano educazione scientifica e temperamenti mentali assai differenti.

Empedocle apparteneva a una delle famiglie più considerevoli d'Agrigento, ed ebbe in tutta la Sicilia grande rinomanza come medico e taumaturgo. Suo padre Metone aveva contribuito nel 470 alla caduta del tiranno Trasideo, e si narra che egli stesso rifiutasse la corona di re offertagli dai concittadini. Gli piacque invece di essere adorato, come veggente, quasi alla pari d'un Dio.

E in verità, non si considerava un semplice mortale, ma demone relegato in un'esistenza terrena.

Certo doveva essere dotato del fascino profetico. Era oratore; anzi Aristotele gli attribuisce l'invenzione della retorica, o arte di persuadere. Ἀλεξάνεμος, dominator dei venti, lo chiamavano i concittadini. Ed il suo genio gli conferiva un reale potere, quando liberava Selinunte dalla malaria col prosciugarne le paludi. A sessant'anni esule nel Peloponneso, morì, a quanto pare, vittima d'un accidente; ma si formò il mito d'una fine più straordinaria: precipitatosi nella lava incandescente dell'Etna, o rapito al cielo in una nube di fiamma....

Di fronte alla figura ieratica del Siciliano — medico, oratore, veggente — Anassagora ci sta dinanzi come un freddo uomo di scienza.

Il suo spirito matematico si rivela già nel concetto dell'infinitamente piccolo che abbiamo ravvisato nei frammenti sopra citati, anche se non si possa confermare il riferimento di Proclo attribuendogli qualche preciso progresso della geometria. Appartiene pure

a un intelletto matematico la sua veduta che la luna brilla soltanto di luce riflessa.

La vita d'Anassagora è rimasta come modello di devozione alla scienza. Di famiglia aristocratica, neglesse — a quanto dice Platone — il suo patrimonio per dedicarsi interamente allo studio. A quarant'anni dalla Ionia viene ad Atene, ove è accolto come ornamento nel circolo letterario di Pericle. È maestro ed amico di Euripide. La reazione che si disegna nella città prima della guerra del Peloponneso, colpisce in lui lo straniero e il libero pensatore, non meno che l'amico del grande uomo di Stato. Gli si rimproverava — orribile materializzazione del Dio Apollo — d'aver considerato il sole come « una massa infuocata più grande del Peloponneso ». Accusato d'empietà è costretto a lasciare Atene riparando nella nativa Asia Minore; e sembra sia morto a Lampsaco, a settantadue anni. I Lampsaceni gli eressero un monumento, dedicato all'Intelletto e alla Verità; e l'anniversario della sua morte fu per lungo tempo giorno di vacanza per gli scolaretti, dicesi dietro suo espresso desiderio.

Alle differenze d'abito e di temperamento fra Empedocle e Anassagora si legano naturalmente le differenze delle opere. Attraverso l'esposizione poetica del primo si scorge un interesse vivo per la realtà, espresso in una grande ricchezza di osservazioni, (la resistenza dell'aria compressa alla penetrazione, l'espiazione dai pori della pelle, ecc.). La sua curiosità di medico s'indugia volentieri sui fenomeni della vita, ed è certo nel campo della medicina che la teoria dei quattro elementi — combinandosi nella dottrina dei temperamenti colle opposizioni del caldo e del freddo, del secco e dell'umido — ha potuto rendere dei servigi pratici, che spiegano l'accoglienza fattale da Aristotele e il suo trionfo nella scienza antica.

In contrasto col linguaggio poetico immaginoso dell'Agrigentino, la prosa d'Anassagora è precisa, come conviene ad un geometra. E sopra ai particolari vi si ammira la potenza logica del disegno.

TRATTI COMUNI, OSSERVAZIONI ED ESPERIENZE. — Ma, quanto più grande è la diversità dell'ispirazione e dell'indole degli autori, tanto più ci colpisce l'intima parentela delle due opere: e non soltanto per ciò che vi ha di simile nella veduta pluralistica della materia, contrapposta al monismo eleatico. Sono gli stessi problemi, e in parte anche gli stessi principii, che sorgono, pei due filosofi, dalle stesse osservazioni o da un bisogno comune: sia che possa essersi esercitata una qualche influenza diretta dell'uno sull'altro, o piuttosto che ambedue ritraggano qualcosa da un medesimo ambiente di cultura.

Invero le influenze degli Ionici e degli Italicì appaiono egualmente — se pure in maniera e proporzione diversa — nei due fisici. Empedocle imita da vicino il discorso di Parmenide e professa molte dottrine dei Pitagorici (in particolare del medico Alcmeone di Crotona), ma s'ispira anche, visibilmente, ad Eraclito d'Efeso. Anassagora segue la più prossima tradizione ionica di Anassimandro, di Anassimene e d'Eraclito, eppur manifesta indubbiamente un'influenza italica, almeno degli Eleati, come pur si è rilevato innanzi. Egli s'incontra coll'Agrigentino nella spiegazione fondamentale del divenire, che risponde al concetto eleatico dell'esistenza:

« Gli Elleni giudicano male del divenire e del perire; poichè niente diviene o perisce, ma soltanto si mescola o si separa dalle cose esistenti. Perciò invece di divenire e perire, si dovrebbe dire comporsi e scomporsi ». — Empedocle dice press'a poco lo stesso nel fr. 8.

Egualemente i due filosofi negano il vuoto. Tuttavia Empedocle assume da Parmenide il Tutto finito e sferico (fr. 28 e 29), mentre Anassagora si trova d'accordo con Melisso nel ritenerlo infinito (fr. 1 e 2): e c'è qui una premessa necessaria del suo sistema cosmico, perchè — come vedremo — la rivoluzione iniziale che dà origine al mondo procede per lui estendendosi illimitatamente nello spazio.

Ma, anche dove s'accolgono i risultati dell'astratta speculazione eleatica, una nuova mentalità si rivela ora con la ricerca della prova sperimentale: Anassagora avrebbe tentato di provare che

non esiste vuoto coll'esperienza della clessidra e anche mostrando la resistenza alla compressione degli otri pieni d'aria. Il primo esperimento è descritto nei *Problemata* già attribuiti ad Aristotele, e viene richiamato in una pittura brillante d'Empedocle ⁽¹⁾:

Come quando una fanciulla
gioca con una clessidra di rifulgente rame,
finchè essa, frapponendo la bella mano all'orifizio della cannuccia
immerge (la clessidra) nel tenue corpo dell'argentea acqua,
non può l'umore accorrere nel vaso, ma lo scaccia
la mole dell'aria di dentro, cadendo contro i fitti forami,
finchè (la fanciulla) schiuda la via al denso flusso dell'aria; allora
venendo a mancare l'aria, destinata parte d'acqua v'accorre.

Un altro appello all'esperienza è da Aristotele attribuito ad Empedocle: volendo egli spiegare che i cieli non cadono sulla Terra, ricorre alla forza centrifuga, ed illustra il fatto col far girare una coppa d'acqua legata ad una corda. Vedremo che la forza centrifuga ha un posto anche più essenziale nel sistema d'Anassagora.

Ancora una somiglianza tra i due filosofi si riscontra a proposito della luminosità dei corpi celesti. Anassagora diceva che la luna non ha luce propria, ma la riceve dal sole e talvolta anche da altri corpi oscuri interposti; similmente il sole è eclissato dalla Terra. Ippolito riferendoci tali notizie aggiunge che Anassagora fu il primo a dare questa spiegazione delle eclissi e della visibilità del sole e della luna. Pure essa si ritrova nei fr. 42 e 48 d'Empedocle.

Ora la somiglianza dei nostri filosofi si prosegue, oltre la posizione iniziale e lo studio di problemi determinati, quando essi — non paghi di rendere genericamente comprensibile il divenire della realtà — tentano di spiegare il processo cosmico, riprendendo e sviluppando il concetto della tradizione ionica.

MATERIA E FORZA: SISTEMA COSMICO D'EMPEDOCLE. — La materia degli Ioni era tutt'animata; in mancanza d'un limite trac-

(1) Traduzione di E. Bignone.

ciato fra il vivo e il non-vivo, ogni cosa veniva a partecipare della spontaneità della vita. Ora, in due sensi, il pensiero acquista consapevolezza d'una differenza. L'osservazione dei fenomeni della vita è cresciuta in ragione dell'interesse che essi suscitano; e se ne ha una prova indiretta anche dagli esempi che ricorrono nei frammenti d'Anassagora (« come il capello potrebbe venire dal non-capello e la carne dalla non-carne ? ») D'altra parte l'analisi pitagorico-eleatica, riducendo il concetto di ciò che esiste all'estensione figurata, riesciva alla veduta d'un mondo morto, in cui viene meno ogni ragione di moto o di divenire. E anche quando è tolto, col'ipotesi pluralistica, il motivo profondo di questo paradosso, la materia resta sempre qualcosa che dev'essere mossa dal di fuori; in altre parole: del suo moto si domanda la causa.

Empedocle (che pure non repugna dall'animare tutte le cose) aggiunge per questo scopo, ai quattro elementi, l'Amore e l'Odio, che sono due forze materializzate: forza attrattiva e forza repulsiva, tra loro opposte, che dominano alternativamente due cicli della vita del mondo, eternamente ripetentisi:

E queste cose (gli elementi) nella lor continua mutazione non cessano mai
ora di ricongiungersi tutte in unità per l'Amore
ora invece ciascuna per sè d'esser rapite nell'inimicizia dalla Contesa.

Il ciclo in cui viviamo ha avuto principio nel caos dello « sfero » in cui tutto è intimamente commisto per virtù dell'Amore. Questo stato di perfetto equilibrio (che oggi diremmo « di energia libera minima ») potrebbe durare eternamente:

Ma esso eguale era tutto e d'ogni parte infinito,
Sfero ritondo che gode in sua solitudine avvolto.

Senonchè l'Odio entra in giuoco separando gli elementi, ed agisce dapprima sulla parte esterna del mondo, mentre l'Amore si rifugia al centro. L'aria fu separata in primo luogo portandosi in cerchio verso l'esterno, e condensandosi sotto l'azione del fuoco dette origine alla vòlta cristallina dei cieli. Sotto questa vòlta trovò posto il fuoco, e si formarono due emisferi, uno tutto composto di fuoco, l'altro d'aria con un po' di fuoco: la diseuguaglianza fra

questi emisferi dà origine al moto di rivoluzione del mondo. Quindi la terra si portò nel mezzo e, fortemente compressa dall'impeto della sua rotazione, lasciò scaturire l'acqua che, evaporandosi, generò le nubi. Le cose terrestri nacquero per condensazione da altri elementi, e l'Amore dette origine alle varie forme viventi. Il giorno e la notte resultano dall'avvicinarsi dell'emisfero luminoso col buio, sopra la superficie della terra da noi abitata: il sole è soltanto un effetto di riflessione del fuoco contenuto nell'emisfero diurno.

Quanto alle stelle, Empedocle ammette che sieno formate di fuoco: attaccate alla vòlta cristallina le stelle fisse, liberamente mobili i pianeti. Nella descrizione che precede convien rilevare l'accento (di Aetius) alla rotazione del mondo. Empedocle non spiega perchè i moti degli elementi che l'Odio porta « in direzioni diverse » si compongano in un moto rotatorio del mondo. Ma certo ei si raffigura questo come un effetto del moto nel pieno: se — entro il Tutto-pieno — delle masse separate dal miscuglio tendono a muoversi in una stessa direzione e con eguale velocità, può resultarne una rivoluzione di diverse sfere concentriche con velocità angolari diverse: le parti più interne ruoteranno più rapidamente. Comunque, nasce così un moto relativo, il solo che abbia significato e importanza secondo l'insegnamento di Parmenide.

Il moto nel pieno produce un'altra conseguenza mirabile già notata da Aristotele. L'odio che tende a separare gli elementi diversi, porta necessariamente la riunione dei simili: la forza repulsiva è, in un altro senso, attrattiva; per essa « la terra cresce la propria massa e l'aria cresce il volume dell'aria », « [il fuoco] si precipita in alto [verso il fuoco] ».

C'è qui una veduta di straordinario interesse. Gli antichi naturalisti che derivano il cosmo da un primitivo caos, ove le diverse qualità di materia sono confuse e commiste, dovevano domandarsi perchè queste si trovino oggi separate le une dalle altre e riunite nelle grandi masse omogenee della terra, dell'acqua e dell'aria. Un'idea grandiosa balenò al loro spirito. La legge che risponde alla precedente domanda — l'attrazione del simile pel simile — deve spiegare anche la caduta dei corpi pesanti sulla Terra e l'in-

nalzamento dei leggeri (gas, fiamma) nell'aria. Già dunque per i nostri antichi, la legge del peso rientra come caso particolare in un principio d'*attrazione universale*, che si ritrova (anche accompagnato da più soddisfacente spiegazione meccanica) in altri fisici contemporanei e posteriori ad Empedocle, fino a Platone. Soltanto Aristotele ci riporta alla veduta geocentrica, colla dottrina che gli elementi tendono a muoversi verso il loro luogo naturale.

SISTEMA COSMICO D'ANASSAGORA. — Il processo dell'evoluzione del mondo e le forze che qui entrano in giuoco, ricevono una spiegazione meccanica nel sistema d'Anassagora, che si basa sul concetto della forza centrifuga. Per un impulso iniziale del *Nous*, di cui avremo a discorrere, la materia cosmica, in cui tutte le qualità sono commiste, viene animata in un punto da un moto rotatorio: quindi la rivoluzione progredisce trascinandosi la materia circostante, e si estende così illimitatamente nello spazio. Non è difficile farsi un'immagine di questo processo, ove si pensi ad un moto rotatorio prodotto in un fluido viscoso: il vortice trascina progressivamente 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 del nucleo centrale del mondo (ove ora è la Terra) trascinare da occidente a oriente quelle regioni dell'etere che portano con sè la luna, e poi il sole e finalmente le stelle. Viene così spiegato — nel senso relativo che risponde alla critica eleatica — il moto di questi corpi. La rivoluzione del mondo crea la forza centrifuga, che agisce disegualmente sulle diverse qualità della materia e riesce quindi a separarle:

« le cose girano e sono separate dalla forza e dalla velocità. E la velocità fa la forza... ».

« Il denso e l'umido, il freddo e l'oscuro si riunirono dove ora è la Terra, mentre il raro e il caldo, il secco (e il luminoso) si portarono verso la regione esterna dell'etere ».

Da queste cose separate si solidifica la Terra. Infatti dall'acqua si separa il vapore, dall'acqua la terra, e dalla terra vengono

le pietre solidificate dal freddo. Queste sono proiettate (dalla forza della rotazione) più lontane dell'acqua. L'ultima affermazione di Anassagora è illustrata da Ippolito:

« Il sole, la luna e tutte le stelle sono pietre infiammate mosse circolarmente dalla rotazione dell'etere. Sotto le stelle stanno il Sole e la Luna, e anche altri corpi oscuri che li accompagnano nella rotazione ».

Ora la separazione delle qualità diverse, prodotta dal moto rotatorio, dà origine, come già abbiamo spiegato, all'attrazione del simile per il simile, principio cosmico generale che comprende la legge del peso.

La caduta dei gravi è dunque determinata dal fatto che la forza centrifuga sposta più difficilmente le masse più grandi e compatte (terra, acqua) in confronto delle più sottili (aria e fuoco) le quali, spinte all'infuori, lasciano un posto da occupare. Questa è una notevole spiegazione della gravità che, in forma rudimentale, prelude al tentativo di Descartes e di Huygens nel secolo XVII.

IL *Nous*. — Ora tutto il sistema meccanico d'Anassagora dipende dal moto di rivoluzione del mondo. Come si spiega quest'ultimo? Il filosofo è ricorso per ciò ad un atto creativo provvidenziale, alla « chiquenaude iniziale », con cui Voltaire spiegava l'origine del moto dei pianeti, nel sistema di Newton. Accanto alla materia confusa c'è una sostanza pura e separata, il *Nous* (ragione o materia pensante), che ha dato l'impulso primitivo e animato il moto di rotazione di un piccolo frammento di materia: ma la rotazione sembra proseguirsi naturalmente, per inerzia, trascinando la materia circostante e propagandosi così, indefinitamente, a sfere sempre più larghe. Quindi il processo cosmico tende ad un'organizzazione del Tutto che procede all'infinitamente grande, mentre opera separando le qualità della materia, col penetrare sempre più nell'infinitamente piccolo.

Il ricorso alla ragione è magnificato da Aristotele nella *Metafisica*: « Colui che primo, nella Natura come negli animali, disse la Ragione causa dell'ordine e della disposizione del Tutto, parve

quasi il solo uomo sobrio in mezzo ad una compagnia di ubriachi, che non sapevano quel che si dicevano ». E già Socrate, nel *Fedone* platonico, lodava per questo Anassagora, raccontando di essere stato un momento sedotto dalla sua parola.

Subito dopo lo stesso Socrate deplora che l'autore non si giovi affatto del nuovo principio per spiegare come tutto ha luogo in vista del meglio, e preferisca ricorrere a cause di ordine naturale: « ad arie, eteri, ed altre cose singolari ». Ma proprio in questo biasimo dobbiamo vedere il miglior titolo di lode per Anassagora, che — se avesse fatto come vorrebbe il filosofo ateniese — avrebbe parlato da teologo e non da fisico. Si lasci dunque a Socrate l'onore di avere sviluppato un'idea metafisica che il *fisicissimo* Anassagora ha soltanto adombrato, e si riduca l'interpretazione del *Nous* al vero significato che ha nel sistema di questo. L'autore ha preso coscienza dell'intuizione vitalistica che era nel pensiero tradizionale degli Ionici e specie d'Eraclito: tutti i viventi sono animati e tutti gli esseri animati, grandi e piccoli, sono messi in moto dal *Nous*. Il mondo — che la tradizione figurava pure come un grande animale — deve esser mosso in maniera simile. E così il *Nous* viene soltanto a colmare una lacuna del sistema meccanico. Ma della spiegazione meccanica il filosofo di Clazomene ha espresso l'esigenza, meglio dei suoi predecessori.

Di fronte a questa il *Nous* resta un *Deus ex machina*, un artificio, peggio che una confessione d'ignoranza. La logica del sistema porterà gli atomisti ad eliminarlo. Perciò basterà intendere più radicalmente l'inerzia della materia, cioè ammettere che il moto naturale — che già Anassagora vede prolungarsi indefinitamente verso il futuro — si estenda anche nel passato, *ab aeterno*, senza che occorra più il bisogno d'un principio qualsiasi.

SOPRAVVIVENZA DEI PIÙ ADATTI NELL'EVOLUZIONE DELLA VITA.
— Sia Empedocle che Anassagora riprendono l'idea d'Anassimandro dell'evoluzione della vita. Ma Empedocle esprime a questo proposito un'idea grandiosa, che giova discernere traverso l'espressione semplicista e paradossale.

Nel processo cosmico descritto dall'Agrigentino — per opera della forza attrattiva dell'Amore — appaiono dapprima organi isolati :

« molte tempie gemmarono prive di colli
ed erravano ignude braccia orbate di spalle,
vagavan solinghi occhi digiuni di fronti » ;

poi sorgono forme mostruose in cui questi organi sono combinati a caso, secondo le possibilità meccaniche delle combinazioni :

molti nascere con due petti e due volti ;
bovi con fronti virili, od al contrario sorgere
virili busti con teste taurine e commiste forme di maschi
e di femmine....

Il senso di queste parole non può esser dubbio e del resto ci viene chiarito da Aristotele : « Si può supporre che tutte le cose sieno accadute per caso, come se fossero state prodotte per uno scopo. Alcuni organismi si sono conservati perchè avevano acquistato spontaneamente una struttura adatta, mentre altri sono periti e periscono, come dice Empedocle dei bovi a faccia umana ». Troppo grande concessione al caso ! obietta Aristotele. Ma ognuno riconosce qui la grande idea della « sopravvivenza dei più adatti » che costituisce per Darwin il principio della selezione naturale e la causa dell'evoluzione della vita. Empedocle stesso accenna ad un esempio interessante dell'uso che si può fare di tale principio, e le monche parole del suo frammento 97 sono illustrate da Aristotele : per spiegare il passaggio degli invertebrati ai vertebrati, diceva che alcuni invertebrati voltisi indietro si spezzarono la spina dorsale ; questa variazione riuscendo utile, sopravvissero, e in tal guisa si formarono le vertebre.

Più tardi Epicuro doveva riprendere il concetto d'Empedocle, per rendere comprensibile l'apparenza di fini in un mondo materialistico, colmando così una lacuna del sistema meccanico di Democrito.

ANALISI DELLE SENSAZIONI. — Col dichiarare l'inganno dei sensi Parmenide poneva il problema dell'analisi delle sensazioni.

Meglio ancora egli traeva le conclusioni scettiche d'una riflessione sull'argomento che gli era suggerita dagli studi di ALCMEONE, medico pitagorico crotoniate: il quale aveva iniziato un esame particolare degli organi di senso e delle loro funzioni. Questo medico, che praticava la dissezione anatomica e aveva riconosciuto il primato del cervello come sensorio comune, scopriva già un elemento subiettivo nella vista e d'altra parte conosceva anche l'importanza dell'aria per l'udito. Alcune parole di lui che ci sono state conservate — « relativamente alle cose invisibili e alle cose mortali, gli Dei soltanto posseggono la certezza » — preludono alla scepsti eleatica. Zenone, col suo argomento del grano di miglio, insisteva — dopo Parmenide — sull'aspetto negativo di questa critica.

La mentalità d'Empedocle e d'Anassagora li portava ad abordar il problema, riprendendo l'esame d'Alcmeone, con intendimento più positivo. Abbiamo già detto che i nostri filosofi, pure accogliendo le principali tesi del razionalismo eleatico, cercavano d'accordarne la verità colle testimonianze dei sensi. Anzi di questi Empedocle dichiara apertamente il valore:

« Considera con tutte le tue forze in qual modo ogni cosa si renda chiara. Non accordare alla tua vista troppo credito in confronto all'udito o al gusto; e non rifiutare la tua fiducia ad alcuna parte del corpo che apra adito all'intelligenza... ».

Senza dubbio tale era anche il pensiero d'Anassagora, sebbene ei dicesse che « a cagione della debolezza dei sensi, non siamo capaci di conoscere la verità »: quest'affermazione significa soltanto che non possiamo discernere nella materia tutte le qualità che vi sono commiste, ma soltanto le prevalenti.

Il pensiero comune che ispira la ricerca dei nostri filosofi si può riassumere dicendo: la sensazione nasce da un'azione reciproca dell'oggetto e del soggetto, azione del simile sul simile per Empedocle, ed invece effetto di opposti per Anassagora. Ambedue tentano una descrizione particolareggiata degli organi di senso e delle loro funzioni; e Teofrasto ce ne dà notizia.

Per spiegare la sensazione a distanza, Empedocle ammette che

da tutte le cose partano degli effluvii; in particolare la luce è un fuoco che parte dai corpi e che s'incontra con un altro fuoco: la fine e dolce fiamma che l'« Amore » ha captato entro l'acqua dell'occhio e che esce dai piccoli fori della pupilla.

Così nasce la visione. Il suono deriva dall'urto dell'aria mossa che per l'orecchio si trasmette all'encefalo; ed Empedocle giunge a indicare come organo specifico dell'udito un « osso cornuto » capace di risuonare come una « campana », che è la nostra *chiocciola*. L'odorato viene dalla respirazione.

In modo generale la sensazione si produce quando i pori dell'organo di senso non sono nè troppo grandi nè troppo piccoli, così da lasciar passare l'effluvio del corpo percepito: il che accade precisamente quando questo è simile alle sostanze costituenti l'organo stesso.

Ma Anassagora — secondo Teofrasto — dice che la percezione è prodotta dagli opposti; perchè il simile non può essere affetto dal simile. Cerca di descrivere particolarmente i diversi sensi. Noi vediamo per mezzo dell'immagine che si forma nella pupilla; e nessuna immagine è proiettata sopra qualcosa dello stesso colore, ma soltanto su ciò che ne differisce... Nella stessa maniera anche il tatto ed il gusto discernono gli oggetti. Ciò che è caldo o freddo come noi non ci riscalda nè ci raffredda col suo contatto, e similmente non percepiamo per mezzo di loro stessi il dolce e l'amaro. Noi conosciamo il freddo attraverso il caldo... e odiamo e udiamo nella stessa maniera: odiamo per mezzo della respirazione, udiamo perchè il suono penetra nel cervello, attraverso un osso cavo, su cui cade il suono.

Anche qui, come si è già notato in altri casi, sembra di scorgere in Anassagora una veduta generale più profonda della psicologia della sensazione; ma forse egli non si spinge avanti come Empedocle nello studio dei particolari anatomici.

EPIGONI ECLETTICI. — A prescindere dall'influenza storica esercitata sulla scuola d'Abdera (Leucippo e Democrito), Empedocle ed Anassagora influiscono su taluni epigoni della scuola

ionica, che ne accolgono le dottrine avvicinandole ecletticamente a vedute più primitive.

Abbiamo già menzionato IPPONE DI SAMO che pare fosse affiliato alla scuola medica d'Italia (e perciò viene detto da alcuni di Crotone o di Reggio o di Metaponto): il quale ritornando all'intuizione di Talete, la modificava nel senso d'Anassimene, facendo nascere tutte le cose dall'umido, miscuglio d'acqua e d'aria.

DIogene D'APOLLONIA assumeva invece come sostanza primitiva l'« aria » cui attribuiva l'ufficio di materia pensante, che Anassagora aveva dato al *Nous*. Aristofane lo deride nelle *Nubi* mettendo in bocca a Socrate un'allusione amena: « miscuglio dei suoi sottili pensieri coll'aria che è loro simile ».

Notevole in questi epigoni l'interesse per le scienze della vita: in particolare Diogene Apolloniate si vede proseguire gli studi d'Empedocle e dei medici italiani sulla generazione, la respirazione ed il sangue. Una sua descrizione topografica delle vene del corpo umano ci è stata conservata da Aristotele e rimane prezioso documento delle cognizioni anatomiche del tempo.

ARCHELAO D'ATENE sembra essere stato particolarmente un anassagoreo, successore d'Anassagora nella direzione della scuola di Lampsaco. Egli si è interessato in ispecie di cosmologia.

Non vi è in questi epigoni eclettici un'idea nuova che possa veramente interessare la storia del *pensiero* scientifico.

VI.

La teoria atomica di Leucippo e di Democrito.

ATOMI E VUOTO. — Mentre Empedocle ed Anassagora tentavano di superare le difficoltà sollevate dalla critica eleatica, allontanandosi dal tradizionale monismo ionico coll'ipotesi di diverse qualità di materia, Leucippo di Mileto escogitava una nuova soluzione, ripresa e sviluppata poi da Democrito d'Abdera: la materia è ancora, come per Parmenide, una sostanza estesa priva di qualità, continua ed impenetrabile; ma non costituisce più una sola massa compatta, bensì viene a frantumarsi in tante masse di diversa forma e grandezza: gli *atomi* mobili nel *vuoto*. Questa nuova ipotesi sembra direttamente preparata dalla critica della scuola d'Elea, tanto che abbiamo visto Melisso concludere la sua polemica dicendo che « se vi fossero più enti, dovrebbero avere le proprietà dell'Uno ».

Del resto, il legame storico dell'atomismo con la filosofia eleatica risulta chiaramente dimostrato dalle testimonianze di Aristotele e di Teofrasto: Leucippo sarebbe uscito dalla scuola di Parmenide, e avrebbe udito specialmente Zenone. Avendo accettato la conclusione di questo — che, nell'ipotesi d'una materia estesa, omogenea ed impenetrabile, senza moto, riesce incomprendibile il moto e la diversità fenomenica — egli faceva all'esperienza la concessione che « il pieno non è uno solo; al contrario c'è un'infinità di masse piene, invisibili per la loro piccolezza. Esse si muovono nel vuoto — perchè c'è un vuoto — e con la loro riunione e separazione producono la generazione e la distruzione di tutte le cose ».

L'ipotesi atomica è nata dunque da un concetto a priori della materia (materia estesa impenetrabile, priva di qualità) o meglio dalla ricerca di accordare questo concetto con la realtà sensibile; ma gli atomisti hanno tenuto sott'occhio alcune particolari esperienze, atte a convalidare la loro teoria. Press'a poco sono le stesse idee generali e gli stessi fatti che si riassumono, o si riassumevano fino a poco tempo fa, nelle introduzioni dei trattati di fisica, dove — diceva W. Ostwald — fanno bella mostra di sè le *venerabili proprietà della materia*.

La materia è estesa, la materia è impenetrabile; se in uno spazio c'è una cosa, non ce ne può stare un'altra: com'è possibile dunque che un vaso pieno di cenere riceva press'a poco tant'acqua come se fosse vuoto?

La risposta è che la cenere non forma un tutto compatto, ma costituisce un insieme di particole separate da vuoti, e l'acqua va proprio in questi vuoti e non dov'è la cenere: allo stesso modo come la spugna s'imbeve d'acqua, grazie ai vuoti o fori, visibili nel suo tessuto.

Ebbene, per accordare la teorica impenetrabilità e la sensibile penetrabilità, basta ammettere in generale che la materia sia *porosa*. L'ipotesi dei *pori* era già stata introdotta da Empedocle per spiegare il fenomeno del miscuglio; ma i pori non erano per lui rigorosamente vuoti, bensì pieni d'aria o d'alcunchè che possa facilmente spostarsi quando vi penetri qualcos'altro.

Leucippo considera i pori quali veri vuoti, che rompono la continuità della materia. La loro esistenza si rivela, non solo, come si è detto, per la penetrabilità, sì anche per la *divisibilità* della materia. In questo punto le spiegazioni correnti dei trattati di fisica rendono con minore chiarezza e precisione il concetto antico, e quindi anche l'attuale didattica ha da imparare dalla storia. Cerchiamo di spiegarci in qual modo possa dividersi la materia, per esempio, che significhi tagliare col coltello un pezzo di legno: è naturale pensare che la lama del coltello penetri negli'interstizi o pori della materia legnosa. Se prendiamo a tagliare qualcosa di più duro, che abbia una testura più compatta, ci rappresentiamo che

la divisione riesca tanto più difficile, occorrendo all'uopo un tagliante più affilato o sottile. Dunque se si avesse un pezzo di materia assolutamente compatta, la resistenza che opporrebbe alla divisione dovrebb'essere addirittura infinita.

Questo è il senso originale della dottrina atomica. Si tocca il limite della divisibilità della materia quando si sono allargati tutti i vuoti che essa contiene, separando i frammenti di sostanza compatta; questi sono *atomi*, cioè indivisibili, *propter soliditatem* per dirla con Cicerone.

La discussione sulla divisibilità della materia si è continuata e ripresa, tante volte, anche da fisici moderni. L'ipotesi atomica è sembrata a molti contraddire alla chiara veduta che abbiamo d'una illimitata divisibilità geometrica, sicchè in queste discussioni si riaffaccia di tanto in tanto lo spettro dell'infinitesimo attuale.

William Thomson (Lord Kelvin) nelle sue belle conferenze popolari, una cinquantina d'anni or sono, discuteva l'argomento: non è già, diceva, che la possibilità della divisione s'arresti ad un certo grado di piccolezza (per ogni piccolo c'è sempre un più piccolo), ma si può concepire che un piccolo frammento di materia non possa dividersi ulteriormente senza mutare in maniera radicale le sue proprietà fisiche.

Nel pensiero dei Greci l'idea dell'atomo infinitesimo era stata già superata colla polemica degli Eleati contro le *monadi* pitagoriche; grazie alla quale il concetto della materia discontinua non poteva più associarsi ad una simile veduta dello spazio. Così l'atomo di Leucippo e di Democrito non è affatto atomo (indivisibile) per la sua piccolezza; se pure si sia costretti a ritenerlo invisibile nella materia circostante, nulla vieta che in altre condizioni, lontano da noi, si trovino anche atomi grandi quanto un mondo, come supponeva Democrito.

PROPRIETÀ DELLA MATERIA. — D'accordo col concetto Parmenideo, agli atomi non spetta alcun'altra proprietà fuori degli attributi della materia estesa: « Convenzione il colore; convenzione il dolce, convenzione l'amaro; in realtà soltanto gli atomi e il vuoto ». Così

parla esplicitamente Democrito, esprimendo la distinzione delle qualità primarie e secondarie, che fu ripresa dai fondatori della scienza moderna (Galilei, Descartes, Leibniz, ecc.) ed esposta dal Locke.

Del resto, come per i moderni, anche per gli antichi atomisti la riduzione delle proprietà della materia al numero, alla grandezza, alla forma e alla disposizione degli elementi, tende all'ideale pitagorico, cioè a tradurre tutta la fisica in termini matematici. Ben se n'è accorto Aristotele, che a siffatta tendenza repugna: « In qualche modo tutti gli enti fanno numeri e dai numeri. Se anche non lo dichiarano esplicitamente, questo voglion dire ».

A priori le innumerevoli forme e disposizioni degli atomi possono spiegare tutte le differenze qualitative o i caratteri sensibili delle diverse materie. Ma si trova anche, in Democrito, un tentativo di spiegazione concreta. Che un corpo sia più grave o più leggero (diversità di peso specifico) si spiega con la maggiore o minore estensione del complesso degli atomi, i quali lasciano nel primo caso meno vuoto che nel secondo. In modo simile sembra si debba tener conto della proprietà d'un corpo d'esser più duro o più molle. Tuttavia la durezza e il peso non vanno sempre insieme: il ferro è più duro del piombo, eppure meno pesante. Ciò risulta dalla diversa testura dei due metalli: nel primo gli atomi hanno forme più disuguali che lasciano più vuoto, ma sono tuttavia più addensati che nel secondo.

In modo analogo Democrito spiegava le altre proprietà della materia, e in particolare le proprietà chimiche. Per esempio ammetteva che gli acidi avessero degli atomi aguzzi, e che le punte si rendessero sensibili dal sapore pizzicante. Non sospettava l'estrema piccolezza degli atomi e perciò cadeva in un'ingenuità. Del resto l'idea, che oggi sembra infantile, era ancora accolta nel secolo XVII, tantochè un chimico come Nicola Lemery poteva dire: « Je ne crois pas qu'on me conteste que l'acide n'ait des pointes..., il ne faut que le goûter pour tomber dans ce sentiment, car il fait des picotements sur la langue ».

Notevole è la spiegazione del calore, che Democrito attribuiva

al moto rapidissimo degli atomi di fuoco, piccoli e di forma sferica, perchè — diceva — la sfera è fra tutte le figure la più mobile, intendendo che essa ha la maggior probabilità di passare nel vuoto lasciato da altri corpi, senza esser trattenuta o deviata dai loro urti. Questa teoria parve soddisfacente a Galileo, che la riprese per proprio conto, dando ai corpuscoli termici il nome d'« ignicoli ».

LEUCIPPO. — Di Leucippo, della sua vita e della sua produzione non si sa nulla di preciso, tantochè ne fu messa in dubbio perfino la reale esistenza. Anche sulla sua patria, che i più dicono Mileto, vi sono diverse indicazioni: Elea o Abdera. Ma sembra che stieno in relazione con la circostanza ch'egli fu — come si è detto — discepolo della scuola d'Elea, e verosimilmente fondatore di quella scuola d'Abdera in cui si formarono Protagora il sofista, e successivamente Democrito.

Gli scritti di Leucippo sono stati incorporati nella collezione delle opere del suo grande discepolo Democrito, che ha conquistato la più alta fama nella scienza antica.

DEMOCRITO. — Democrito è nato in Abdera, piccola colonia ionica della Tracia, intorno al 460 a. C., e in ogni caso quarant'anni dopo Anassagora e venti o venticinque anni dopo il suo concittadino Protagora, il più celebre fra i Sofisti. Perciò la filosofia democritea non offre soltanto un più alto sviluppo scientifico dei problemi della natura, ma rivela anche la coscienza di problemi nuovi, attinenti alla morale e alla teoria della conoscenza: per i quali motivi Democrito appartiene già alla reazione suscitata dalla Sofistica, prendendo posto accanto a Socrate e a Platone, di cui era un contemporaneo più anziano. (Cfr. cap. IX).

Sulla vita e la personalità di Democrito c'istruiscono numerose testimonianze, se anche in parte discutibili. Lunghi viaggi hanno messo l'Abderita a contatto con le civiltà dei popoli circostanti — degli Egizii, dei Caldei, dei Persiani e forse anche degl'Indiani — svegliando ed appagando insieme la sua sete di sapere:

« Fra i miei contemporanei nessuno ha viaggiato più di me: ho esteso le mie ricerche più lontano d'ogni altro, visitati più paesi e più climi, ascoltati più discorsi di uomini istruiti »;

ma nessuno l'« ha superato nella composizione di linee accompagnate da prove [soluzione di problemi geometrici], neppure fra gli arpedonapti [cioè geometri catastali] d'Egitto ».

Ed invero Democrito, in stretta parentela di spirito coi Pitagorici non meno che con gli Eleati, fu grande geometra. Oltre a lasciare alcuni libri di geometria, occupandosi in ispecie degli incommensurabili, scoprì il volume della piramide: con questa scoperta riferita da Archimede e con altre ricerche, di cui rimane qualche traccia, proseguiva le speculazioni d'analisi infinitesimale, che prendono inizio da Zenone.

La versatilità di Democrito è prodigiosa. Le opere attribuitegli, di cui rimangono coi titoli pochi frammenti, si riferiscono, oltrechè alle Matematiche: alla Cosmologia e alla Fisica, alla Botanica e alla Zoologia, alla Logica e alla teoria della conoscenza, all'Etica, alla Musica e alla critica artistica, e poi all'Agricoltura, alla Medicina, alla tecnica della Pittura e a quella della Guerra. « Egli sembra aver riflettuto su tutto » dice Aristotele, che ha occasione di discuterne continuamente le idee e le dottrine, e: « Nessuno prima di lui ha parlato, in maniera non superficiale, dell'accrescimento e del moto ».

Alcuni dei suoi frammenti (specialmente dei frammenti morali), rivelano la bellezza del suo stile già vantata dagli antichi. Del resto, i suoi criteri artistici sono indicati dal giudizio che gli attribuiva Cicerone, e in cui lo accomunava a Platone: « *Poëtam bonum neminem sine inflammatione animorum existere posse et sine quodam adflatu quasi furoris* ».

La vita di Democrito fu quella d'un saggio e quasi d'un asceta. Con passione voleva penetrare i segreti della natura: avrebbe dato « la corona del re di Persia per una scoperta scientifica ». Ma si lagnava che « la verità giace molto in fondo ». Si narra che disperdesse il suo patrimonio nei viaggi d'istruzione, e che in seguito si riducesse a vivere di un assegno che gli decretarono i concittadini.

Lontano dal tumulto delle passioni, e anche dall'amore, cercava, come bene supremo, la serenità dell'animo. Si parla di lui come del « filosofo che ride », in contrapposto ad Eraclito « che piange ».

Molte leggende sono fiorite intorno all'Abderita. Si è preteso che fosse stato istruito da preti e da magi, e in epoca posteriore gli si sono attribuiti perciò lavori di alchimia. Si è messo anche in relazione col suo grande contemporaneo, il medico Ippocrate di Coo, che dalla vicina isola sarebbe stato chiamato dai concittadini a visitare Democrito, il quale tutto assorbito dai suoi pensieri pareva divenuto pazzo. A questo incontro si riferisce una bella corrispondenza di Democrito ed Ippocrate, che è stata inclusa nel Corpo Ippocratico, ma si ritiene generalmente apocrifia.

LA TEORIA CINETICA DEL MONDO. — Nel concetto di Leucippo e di Democrito l'ipotesi atomica è chiamata non soltanto a spiegare le proprietà fondamentali della materia, sì anche a fornire una teoria cinetica del mondo e del suo divenire. Il processo cosmico trae origine dal moto degli atomi nel vuoto e dai loro urti.

Gli atomisti riescono a superare la critica relativistica di Parmenide e di Zenone, definendo il moto in sè come moto « rispetto al luogo »; appunto per questo scopo, dice Aristotele, essi hanno postulato che il vuoto abbia una certa realtà al pari del pieno: « Il Niente è qualcosa come l'ente ».

Questa proposizione ricorda l'ipotesi con cui i fisici moderni, dopo Newton, hanno cercato di dare un senso al moto assoluto, riempiendo lo spazio d'un *etere* immobile, rispetto al quale vengono definite le leggi del moto.

Ma gli storici, fino a ieri, hanno stranamente frainteso il sistema cinetico degli atomisti, confondendo Leucippo e Democrito con il loro tardo seguace Epicuro: han parlato perciò, e taluno ne parla ancora, di pioggia d'atomi, cadenti per il peso dall'alto al basso, discutendo se e come possano deviare per i reciproci urti dalla verticale.... La scuola d'Abdera era ben lungi da questa ridicola meccanica antropocentrica.

« *Ille (Dem.) atomos quos appellat, id est corpora individua*

propter soliditatem censet in infinito inani, in quo nihil nec summum nec infimum nec medium nec ultimum nec extremum sit, ita ferri, ut concursuibus inter se cohaerescant, e quo efficiantur ea, quae sint quaeque cernantur, omnia; eumque motum atomorum nullo a principio, sed ex aeterno tempore intellegi convenire »; così Cicerone ne riassume la dottrina.

Ciò che la rende difficile a comprendere non è la manchevolezza o l'oscurità dei testi dossografici, ma — diciamolo apertamente — l'incomprensione e l'ignoranza di quella prima legge fondamentale del moto che pure oggi sta alla base della Dinamica di Galilei-Newton: il principio d'inerzia.

Un punto materiale, su cui non agiscono forze, si muove indefinitamente di moto rettilineo uniforme. Le forze non sono cause del moto o della velocità, bensì della variazione di velocità o accelerazione. Per non avere inteso questo concetto essenziale della scienza moderna, un grande storico ricostruttore della filosofia greca, lo Zeller, — erigendo a principio che non sia concepibile un moto senza forza motrice — è giunto a rifiutare le testimonianze più esplicite che Democrito, a differenza d'Epicuro, non concedeva agli atomi l'attributo primitivo del peso: se si muovono, egli dice, bisogna che siano mossi da qualche forza, e non si può pensare che al peso!

La scienza dello Zeller, come se ignorasse la vittoria di Galileo sui peripatetici, ritorna al punto d'Aristotele. Il quale tuttavia si limitava ad esprimere ingenuo stupore di fronte ad una veduta che superava la sua intelligenza. « Leucippo e Platone dicono esser sempre il moto, ma non dicono quale ne sia la causa »; « Democrito delle cose che sempre sono o divengono non ritiene debba chiedersi la causa »: dove si vede proprio il principio della scienza moderna.

Se gli atomi si comunicano moto l'un l'altro urtandosi, bisogna pure che ci sia un moto di essi « secondo natura » osserva ancora Aristotele, e par giusto intendere che questo sia — per gli atomisti — il moto rettilineo che va all'infinito, contro la cui possibilità l'autore polemizza in più luoghi, e in ispecie in un passo

della *Fisica* che vuol ridurre all'assurdo l'ipotesi del moto nel vuoto:

« Inoltre nessuno potrebbe giustificare perchè un corpo, una volta messo in moto, dovrebbe fermarsi in qualche parte, piuttosto qua che là. Quindi deve, o restare in riposo, o conservare indefinitamente il suo moto nello spazio, finchè non gli si opponga una forza maggiore ».

Qual era dunque il sistema cinetico degli Abderiti?

Nel concetto fondamentale era quello stesso che i moderni hanno ripreso e messo a base d'una spiegazione meccanica del mondo, tentandone poi applicazioni particolari a diversi ordini di fenomeni, per esempio, nella teoria cinetica dei gas, da Daniele Bernoulli a Maxwell. Gli atomi si muovono per inerzia, di moto rettilineo e uniforme in tutte le direzioni, e vengono poi deviati, riuniti e separati, dai reciproci urti. Come conseguenza di ciò nascono e muoiono nello spazio infiniti mondi.

La genesi d'un mondo ha origine per Leucippo e per Democrito dall'urto eccentrico d'un atomo o d'un gruppo d'atomi connessi, che produce un moto rotatorio o vortice. Il vortice si estende trascinando con sè altri gruppi d'atomi e così il mondo cresce: ma diversi mondi possono entrare in collisione, l'uno venendo assorbito dall'altro ovvero distrutto, e si ha così un'evoluzione dei mondi.

PESO E GRAVITAZIONE. — La descrizione, non molto chiara, che ci è data del processo cosmico reca qualche notizia sulla legge del peso: per il fatto d'incontrare una certa resistenza o pressione degli urti, gli atomi di maggior dimensione vengono portati nel centro del vortice, i più piccoli verso la periferia del mondo; il peso rientra insomma in una legge d'attrazione del simile per il simile, che abbiamo già ravvisato nei sistemi d'Empedocle e d'Anassagora, ma che qui assume il senso d'una tendenza generale a ravvicinarsi degli atomi simili, soprattutto per la grandezza: « Ciascuno degli indivisibili è più pesante secondo il suo eccesso [di grandezza] ».

Invece fra i corpi composti sono più leggeri quelli che conten-

gono più vuoto. In una parola: il peso riesce proporzionale alla somma dei volumi degli atomi.

Tutto ciò è un effetto della formazione del mondo e quindi la legge del peso, o meglio la gravitazione, dovrebbe spiegarsi cinematicamente, come risultato degli urti fra gli atomi mobili nello spazio. Una spiegazione di questo genere appare una stretta esigenza del sistema di Leucippo e di Democrito; disgraziatamente i lavori di Democrito che dovevano contenere qualche maggior chiarimento del processo cosmico sono perduti, senza che i dossografi ce ne abbian tramandato frammenti o notizie. Eppure è facile rendersi conto che due corpi di considerevoli dimensioni, che subiscano gli urti d'innomerevoli corpuscoli, mobili in tutte le direzioni, debbono venire trasportati l'un verso l'altro, come se si attraessero: è una semplice idea che, per spiegare la gravitazione, fu messa avanti nei tempi moderni da Fatio de Duilliers e da Lesage (ipotesi dei cosiddetti « corpuscoli ultramondani »).

CASO E LEGGE. — Nel sistema cinetico degli atomisti tutto dipende da ragioni meccaniche e perciò regna nel mondo il più rigido determinismo. « Niente si fa a caso, ma tutto avviene per ragione e necessità » dice il solo frammento a noi conservato delle opere di Leucippo.

E nondimeno risuona ancora ai nostri orecchi il rimprovero tradizionale che ha trovato la sua espressione nel verso di Dante:

Democrito che il mondo a caso pone.

Ma questo rimprovero, che ha la sua radice nelle filosofie di Platone e d'Aristotele, significa soltanto che gli atomisti negano le *cause finali*. Aristotele formula esplicitamente l'obiezione: è incomprendibile che dal concorso di corpi che si muovono a caso, cioè senza uno scopo preordinato, esca fuori l'armonia del mondo e della vita. Ed è vero che gli atomi democritei si muovono in questo senso a caso, egualmente in tutte le direzioni, tantochè i moderni che hanno spinto innanzi lo studio del sistema sono stati condotti ad applicare le leggi del calcolo delle probabilità.

Come si vede il dilemma « caso o legge ? » è in se stesso equivoco, a cagione del doppio senso che ha il « caso ». Per i deterministi esso non esprime alcunchè « fuori legge », bensì qualcosa di relativamente imprevedibile: imprevedibile, ben inteso, per l'ignoranza in cui siamo di un vasto intreccio di cause molteplici e disperate. Di contro alla teleologia platonico-aristotelica gli Abderiti pensano che nel regno infinito delle cause meccaniche che costituisce l'universo, si avverino tutte le combinazioni possibili, e perciò anche mondi ed esseri organici in cui i meccanismi sembrano rispondere a dati scopi. Del resto non si vede che essi abbiano meditato a fondo su questa difficoltà del loro sistema, che è anche la grave difficoltà d'ogni sistema materialistico: più tardi Epicuro ha cercato di colmare la lacuna accogliendo l'idea d'Empedocle, che nell'evoluzione della vita introduce, come s'è visto, un principio di selezione naturale.

BIOLOGIA. — Democrito si è occupato anche di Biologia.

Intorno agli animali e alle piante ha espresso molte osservazioni anatomiche ed embriologiche precise. Sappiamo che ha disseccato animali, sia superiori che inferiori; in questi anzi, all'incontro di Aristotele, postulava l'esistenza di un sistema organico completo, anche se invisibile. A lui risale la divisione fondamentale della classificazione aristotelica in animali *con sangue* (vertebrati) e *senza sangue* (invertebrati). Spiega il sesso con la preponderanza del seme del genitore che lo trasmette. Svolge una concezione dell'eredità che precorre alla pangenese di Darwin. Conforme al criterio del rigido determinismo meccanico, professa una teoria dell'evoluzione della vita per cui l'uomo discende da vermicoli che sono nati dal limo. Ma, quando si fa a descrivere le strutture e gli organi dei viventi, si è stupiti di trovare un largo senso della finalità della vita. Infatti egli vede nell'organismo un concetto o sistema di concetti, la cui unità implica una stretta correlazione di parti, e — pur avendo un ignoto fondamento meccanico — si risolve nella subordinazione del tutto a funzioni rappresentabili come fini. Questo senso positivo della spiegazione vitalistica — che lo avvicina

al grande medico Ippocrate di Coo — si trova bene espresso in uno scritto *Sulla natura dell'uomo* che fa parte appunto del Corpo Ippocratico, se anche voglia ritenersi col Diels come un'imitazione. Ivi gli organi dell'uomo sono descritti in rapporto alle funzioni cui sono deputati, e la descrizione si chiude con parole che richiamano il carattere meccanico dei fenomeni di cui è sede la materia vivente:

« Ma la natura incorporea nei suoi recessi ha fabbricato le viscere d'ogni forma, di cui la morte sopravvenendo sopprime ben presto le funzioni ».

INFLUENZA STORICA. — L'influenza esercitata da Democrito sui contemporanei e poi sulle principali correnti del pensiero antico, costituisce un problema storico di alta importanza. La scuola democritea d'Abdera comprende pochi nomi: Metrodoro di Chio, Anassarco, Nausifane e Bione d'Abdera, di cui si ricordano soprattutto le vedute critiche sulla conoscenza preludenti alla scempi di Pirrone d'Elide. Ma essa ha pure spinto innanzi la scienza della natura. Per esempio, di BIONE si ricorda che indagò le conseguenze della sfericità della terra, riconoscendo che ai poli si deve avere un giorno di sei mesi.

L'influenza di Democrito sui grandi filosofi della scuola socratica, e specialmente su Platone, non è stata messa in rilievo fino a questi ultimi tempi: sembra tuttavia che si sia esercitata non solo sulle speculazioni naturalistiche del *Timeo*, sì anche nelle ricerche logiche volte a definire il concetto della scienza (*Teeteto*), di cui discuteremo più avanti.

Aristotele, come già si è accennato, ha lungamente studiato Democrito, se anche non ne abbia compreso le idee meccaniche più profonde: e certo ne ha tratto molto del ricco materiale che costituisce la sua vasta enciclopedia del sapere. Più fortemente Democrito ha agito sugli scolari d'Aristotele e massime su Stritone di Lampsaco, che fu direttore del Liceo per 18 anni, fra il 287 e il 268 a. C.

Fra le grandi scuole filosofiche, che sorgono al termine del

periodo ellenico, la scuola epicurea — sebbene il motivo principale della sua ispirazione risalga agli edonisti semisocratici — è considerata diretta erede del pensiero democriteo. Ma Epicuro, accogliendo e facendo propria l'ipotesi atomica con la concezione meccanica dell'Universo, ha avuto di mira soltanto di costituire un sistema di morale, che reca in gran parte la sua impronta originale. Egli non rivela alcun serio interesse per la scienza, anzi raccomanda di non occuparsene. E così nelle questioni più difficili fraintende il maestro; per esempio, non comprende il moto naturale per inerzia, e fa quindi muovere gli atomi per peso: pioggia o caduta degli atomi dall'alto al basso. Anzi — seguendo le speciose applicazioni del principio di ragion sufficiente in Aristotele — attribuisce loro una eguale velocità, ciò che renderebbe impossibili gli urti. Ma a questa esigenza, e pare anche al postulato della libertà del volere umano, egli sacrifica la veduta d'un rigoroso determinismo universale, concedendo agli atomi di deviare dalla verticale (il famoso *clinamen* di Lucrezio). Per questo aspetto si deve dire che, fra le scuole morali dell'antichità, non gli Epicurei, ma gli Stoici ereditarono il grande concetto del determinismo democriteo.

Le influenze più propriamente scientifiche dell'opera di Democrito si esercitano sugli scienziati del periodo ellenistico. Come tramite, si può richiamare il già citato peripatetico Stratone di Lampsaco che fu maestro d'Aristarco di Samo (il Copernico dell'antichità: cfr. cap. XIV) ed ebbe intimità con Eratostene di Cirene, bibliotecario ad Alessandria. Sono anche da annoverare specialmente alcuni grandi matematici ed astronomi, che vissero nella cerchia dell'Accademia platonica: EUDOSSO di Cnido, le cui teorie geometriche passano negli Elementi d'Euclide e ispirano più tardi Archimede; ed ERACLIDE PONTICO, congiunto a Democrito anche attraverso il pitagorico Ecfanto di Siracusa.

Nondimeno, l'intero sistema fisico e meccanico di Democrito non è stato ripreso e fruttuosamente sviluppato che duemil'anni più tardi, dai fondatori della scienza moderna.

VII.

I sofisti e la teoria empirica della conoscenza.

CHI ERANO I SOFISTI. — La parola « sofista » appartiene al nostro comune linguaggio e porta con sè un particolare significato dispregiativo: vuol dire un « giocoliere del discorso » che adopera con finezza l'arte del discutere, non colla coscienza di scoprire e dimostrare la verità, ma per qualche interesse nascosto o per la vana pompa di confondere e vincere l'avversario, impigliandolo in sottigliezze di parole.

Tale significato si ricollega direttamente ai Sofisti greci contro i quali, intorno al 400 a. C. (nella seconda metà del V secolo e nella prima del IV), condussero la memorabile battaglia Socrate, Platone e Aristotele. Ed allora non possiamo esimerci da una pregiudiziale. Se codesti falsi filosofi non proponevano alcun serio scopo ai loro brillanti esercizi dialettici od oratorii, se — maestri della gioventù — richiedevano onorarii esorbitanti per insegnare l'arte sottile « di far trionfare il discorso più debole », perchè mai ricercare una loro dottrina o dare un senso qualunque alla loro filosofia ?

Gli storici hanno dovuto spogliarsi di questi pregiudizii per scorgere nella Sofistica un movimento d'idee largamente significativo per la cultura ellenica, e comprendere nel loro valore e nelle relazioni proprie con la scienza e con la civiltà contemporanea, le dottrine dei suoi maestri. La revisione dei giudizi tradizionali fu iniziata da Hegel, e il vero senso di quei filosofi è apparso in chiara luce per opera dei positivisti inglesi, Grote e Lewes.

La critica storica ha dovuto accorgersi anzitutto che le nostre fonti d'informazioni sui Sofisti provengono quasi esclusivamente dai loro avversari, Platone ed Aristotele, e che sono date generalmente, non come notizie obiettive, ma anzi come parte d'una fiera polemica. Nondimeno i polemisti, e soprattutto Platone che è più vicino alle origini del movimento, mostrano in più modi di sentire l'importanza e la forza di coloro che han preso a combattere: a tale proposito alcuni passi, per esempio la difesa di Protagora nel *Teeteto*, sono altamente significativi.

In secondo luogo si è anche riusciti a comprendere i gravi interessi spirituali che erano messi in giuoco dalla propaganda di quei maestri. I quali, nella Grecia del V secolo esaltata dalle vittorie sui Persiani, nel pieno rigoglio della civiltà democratica, diffondevano per la prima volta la cultura nel popolo, e con essa recavano le più ardite idee innovatrici.

Ritorniamo più avanti su questo aspetto della Sofistica, considerandola come una « filosofia dei lumi », analoga a quella che l'Europa, e in particolare la Francia, han conosciuto nel secolo decimottavo. Qui sia chiarito intanto l'ufficio dei Sofisti nella vita greca e l'origine del loro nome.

In un momento in cui si era svegliata una forte coscienza della dignità dei cittadini e fiorivano nelle città le forme più libere di governi popolari, la scienza non poteva conservare quel carattere aristocratico che aveva avuto nei primi secoli della civiltà ellenica. Ora più non basta il vecchio ideale del sapiente che investiga per proprio conto gli ardui problemi della natura e comunica i risultati del suo studio ad una piccola eletta schiera di discepoli. Il popolo che sale vuole attingere alle fonti del sapere, e alla sua avida richiesta rispondono maestri salariati che — per la prima volta — percorrono la Grecia, insegnando ed educando. Questi maestri appunto si chiamarono « sofisti »: nome che propriamente significa « dotto » o « professore », e che soltanto più tardi, in seguito all'acerrima battaglia cui già abbiamo accennato, ha assunto il significato di dispregio e di ridicolo tramandatoci dalla tradizione.

Frattanto la stessa idea d'un compenso pecuniario per una prestazione intellettuale, urtava un certo senso aristocratico dei Greci, cui riusciva difficile concepire un lavoro retribuito che non fosse servile. Il pensiero doveva essere disinteressato: la storia ci ha tramandato le lacrime d'umiliazione versate da Isocrate, il grande avvocato, quando si vide per la prima volta costretto ad accettare una paga. Di tale sentimento traeva partito Platone, deridendo la presunzione dei Sofisti, venditori di parole. Ma le esigenze imprescindibili della vita hanno ormai trionfato su questo punto, nel concetto dei moderni.

Ora se i Sofisti erano, come abbiám detto, maestri e divulgatori di scienza, non è da aspettarsi di trovare in essi una filosofia o una dottrina uniforme: le più svariate idee potevano esprimersi nella loro propaganda intellettuale. Nondimeno, la Sofistica prende colore da alcuni indirizzi di pensiero dominanti, che si vedono rappresentati dai suoi uomini più insigni, ed anche da certe tendenze comuni, riflettenti in qualche modo l'esigenza stessa del loro insegnamento: che li conduceva — come vedremo — dalle scienze naturali alle scienze dello spirito.

Così nel primo periodo, Protagora, Gorgia e altri sofisti rappresentativi, sono filosofi empiristi, combattenti il razionalismo della scuola d'Elea. Poi, attraverso Socrate di cui pure studieremo la posizione particolare, si passa ad altri Sofisti, come quelli della scuola di Megara, che riprendono ed affinano la posizione razionalistica. E non si deve tacere che lo sviluppo dell'arte del discutere e del persuadere degenerò nel vano giuoco di parole che costituisce l'*eristica*. A tale degenerazione convengono meglio i caratteri tradizionali che dal volgo si ama ancora attribuire ai sofisti. E la polemica platonico-aristotelica si estende, in ogni caso, a tutti questi disputatori.

Premesse, per chiarezza, queste spiegazioni, vogliamo ora indagare il contenuto proprio della prima dottrina dei Sofisti, in rapporto alle difficoltà sollevate dalla filosofia eleatica. Considereremo poi l'aspetto sociale di questa Sofistica, per spiegare la

reazione a cui ha dato luogo con Socrate e comprendere quindi i nuovi indirizzi del razionalismo scientifico, che maturano con Democrito e Platone.

CHE COS'È LA VERITÀ? — La terza risposta al paradosso eleatico ci fa uscire dalla scienza naturale per condurci sul terreno filosofico della teoria della conoscenza. La critica dei primi Sofisti si svolge appunto in questo campo, nel senso dell'empirismo: maestri rappresentativi del nuovo indirizzo di pensiero sono PROTAGORA d'Abdera e GORGIA di Lentini.

Una tesi come quella di Parmenide che nega la realtà sensibile, doveva naturalmente suscitare una reazione: con qual diritto il pensiero si erige a giudice del reale, giungendo fino a dubitare di ciò che si vede e si tocca?

La protesta del senso comune riceve qui uno sviluppo scientifico attraverso l'analisi delle sensazioni.

Gli Eleati avevano distinto la « Verità » razionale dalla « Opinione » dei mortali, che esprime la conoscenza sensibile. Ora i Sofisti, Protagora e Gorgia, combattono questo concetto della Verità rilevando che ogni conoscenza è essenzialmente umana, ed esprime soltanto un contenuto sensibile.

La teoria di Protagora viene analizzata e criticata nel *Teeteto* platonico. Alla domanda che sia la scienza, il giovane Teeteto, guidato dall'interrogazione socratica, propone una prima risposta: « la scienza è sensazione ». E Socrate nota:

« Rischio di aver dato un giudizio non spregevole, poichè era l'opinione di Protagora. Sebbene egli la esprimesse in altro modo dicendo che *l'uomo è la misura di tutte le cose; delle cose esistenti, che (realmente) sono, e delle non esistenti, che non sono* ».

Questa formula famosa ha un significato assai chiaro. Parmenide cercava la natura delle cose in sè, e riteneva che tolta ogni altra qualità spettasse loro il requisito di « esistere »; Protagora risponde che l'esistenza non è una proprietà dell'oggetto in se stesso, ma è relativa all'uomo senziente, che per la sensazione afferma

il sentito. Così ogni cosa è in quanto appare e per colui cui appare: vi sono apparenze che han valore per un uomo singolo, ovvero per la città, o per l'uomo in generale; ma dal soggetto uomo non è possibile in alcun modo liberarsi.

Questa posizione filosofica ha un riscontro ben noto nel pensiero moderno. È la posizione di George Berkeley, ripresa e sviluppata nel senso dell'idealismo empirico da filosofi come Stuart Mill; e già la formula berkeleyana *esse est percipi*, si riduce infine al concetto protagoreo dell'*homo mensura*.

Protagora scrive i *Discorsi demolitori della Verità*: come mai un filosofo potrebbe seriamente proporsi di demolire la verità?

Ma proprio il termine « Verità » (*aletheia*) aveva ricevuto nel linguaggio parmenideo un significato tecnico: quella che Protagora combatte non è la verità del senso comune, ma la verità metafisica che pretende superare e contraddire il giudizio dei sensi. Al grido di « viva i fatti e abbasso la Metafisica! » i positivisti moderni hanno combattuto la stessa battaglia. Anche lo scritto d'Antifonte — un altro sofista, matematico e polistorico contemporaneo — doveva similmente rispondere alla domanda: che cos'è la verità? E in modo analogo si deve giudicare dell'opera di Gorgia « *Della natura o di ciò che non esiste* ».

Questo titolo sembra al Windelband una « farsa grottesca ».

Chi non si sentirebbe di sottoscrivere al giudizio dell'eminente storico tedesco, di fronte ad un uomo che scrive un trattato su ciò che non esiste?

Ma è ovvio a priori — e si conferma poi dai frammenti dell'opera — che si tratta qui di una polemica contro il concetto assoluto dell'esistenza, assunto da Parmenide. Questi aveva proseguito la ricerca della « natura delle cose » che — secondo la tradizione ionica — significava il sostrato o l'essenza di esse, immutabile nella apparente trasformazione della materia; e tale natura aveva postulato come alcunchè di esistente di per sè, al di là del sensibile. Era dunque logico, per un empirista come Gorgia, negare che possa darsi qualcosa di simile.

EMPIRISMO E RELATIVISMO. — I riferimenti di Platone su Protagora ed i frammenti del citato scritto di Gorgia si completano in qualche modo, lasciandoci scorgere i motivi più profondi del loro empirismo.

Platone ravvicina la tesi di Protagora alla dottrina di Eraclito. L'accento a qualcosa che il Sofista avrebbe rivelato ai propri scolari « in segreto » significa che il ravvicinamento è proprio del filosofo ateniese, il quale designa anzitutto Eraclito quale rappresentante tipico del pensiero relativistico: quel pensiero che abbiám visto nascere dalle speculazioni d'Anassimandro.

« Si tratta di una dottrina assai rinomata — dice Socrate — che nessuna cosa è per se stessa un intero; tu non puoi correttamente dar nome ad una cosa o ad una sua qualità: se, per esempio, la chiami grande, ecco che potrà anche apparir piccola, se pesante, leggera, e così via.... ».

In altre parole la dottrina protagorea sembra a Platone identificarsi, o meglio discendere dalla proposizione generale che « tutto è relativo ». Se ogni cosa è sempre relativa a qualche altra, tutte poi sono relative all'uomo come senziente. Infatti — prosegue a spiegare Socrate nel detto dialogo — ciò che noi diciamo esistere non è altro che il risultato apparente del moto, del mescolarsi o del divenire di tutte le cose. L'apparente essere — aggiunge più avanti — cioè il divenire, è dato dal moto, e il non essere o perire dalla quiete; così si produce il calore del fuoco che (secondo Eraclito) genera e governa tutte le cose. Appunto dal moto, dall'incontro di emanazioni che provengono dall'oggetto con altre dell'occhio, nascevano già per Empedocle le sensazioni del colore:

« o dica uno di qualche cosa che è, o dica che diviene, dovrà pur sempre dire che è o diviene per qualche altra cosa, di qualche altra cosa, rispetto a qualche altra cosa; ma che una cosa sia o divenga isolatamente per se medesima, questo non potrà dire.... ».

« Poichè dunque una cosa che agisce su di me in un dato momento è relativa a me e non ad altri, anche la sensazione di codesta cosa l'avrò io.... E vera è per me la mia sensazione, poichè è sempre un particolare momento del mio essere. Così io, come dice Protagora, sono giudice di ciò che per me è, che è, e di ciò che non è, che non è ».

PENSARE ED ESISTERE. — Questi argomenti, se pure li abbia esaminati meno a fondo, dovevano essere comuni anche a Gorgia, il quale pare studiasse, sulla scorta di Empedocle, questioni di Ottica, cercando di spiegare gli specchi ustori. Ma i frammenti dello scritto gorgiano c'indicano un altro aspetto della dottrina empiristica. L'autore si proponeva di dimostrare tre tesi, cioè che: 1°) niente esiste; 2°) se qualcosa esistesse sarebbe, ad ogni modo, non conoscibile; 3°) se anche potessimo conoscere qualcosa che esiste, questa conoscenza sarebbe incomunicabile.

Non possiamo troppo gustare la dimostrazione della prima tesi, fondata in parte sulle contraddizioni dei precedenti filosofi (sostenitori dell'unità e della molteplicità dell'esistente), in parte sul sofisma che prende la copula « è » come implicante un'affermazione d'esistenza: tuttavia giova ricordare che lo stesso sofisma ricorre pure frequentemente in Platone!

Ma, col secondo argomento, Gorgia scopre il motivo intimo del razionalismo parmenideo. Ciò che conduce Parmenide alla sua Verità, non è il senso, ma il pensiero; essere pensato ed esistere sono per lui la stessa cosa. E il Sofista obietta che possiamo pensare cose non vere: per esempio una corsa di carri sopra il mare. Il frate Gaunilone rispondeva nello stesso modo alla prova ontologica dell'esistenza d'Iddio ^{www} (1) proposta da Anselmo d'Aosta: se io immagino nel mare un'isola piena di delizie, segue forse che quest'isola pensata debba realmente esistere?

Intanto l'argomento di Gorgia pone il problema dell'errore, che affaticherà Platone nel *Teeteto*.

Anche la dimostrazione della terza tesi gorgiana reca alcunchè d'interessante. Per comunicare la conoscenza — egli dice — occorre servirsi di parole o di segni che hanno un contenuto sensibile, e un valore diverso da uomo a uomo. Perciò la conoscenza

(1) Il pensiero d'un Essere perfettissimo porta necessariamente l'esistenza di questo Essere; altrimenti si potrebbe pensare un « più perfetto » cui spettino, oltre le perfezioni del primo, anche quella d'esistere. Cfr. Anselmo, *Proslogion*, ed. A. Koyré, Vrin-Parigi, 1930.

di qualcosa di là del sensibile, sarebbe ad ogni modo non comunicabile.

POLEMICA ANTIMATEMATICA. — Gli Eleati avevano indicato come scienza conforme alla verità razionale — scienza di ciò che esiste o della materia estesa — la geometria: e gli oggetti di questa riconoscevano *entia rationis*, di là dal mondo sensibile. Questo era il tempio della metafisica eleatica, ed i suoi avversarii dovevano naturalmente tentare di svelarlo vuoto, mostrando che l'idolo a cui si bruciava incenso era un nome vano senza soggetto. Lo spirito che li muove si riconosce ancora nella polemica di Berkeley contro l'analisi infinitesimale di Newton.

Ci rimangono alcuni interessanti accenni ad una polemica antimatematica di Protagora e d'ANTIFONTE: polemica empiristica che si prolunga per tutta l'antichità fino a Sesto Empirico nel 3° sec. dell'era volgare.

Aristotele, riprendendo la tesi protagorea, dice:

« ... In verità le linee non sono quelle di cui parlano i geometri, poichè nessuna delle cose sensibili è così [rigorosamente] retta o curva. Realmente la circonferenza non tocca la retta [tangente] in un punto, ma [secondo una certa lunghezza] come diceva Protagora, ragionando contro i geometri ».

Nello stesso senso di Protagora sembra ragionare Antifonte. Il sofista pretendeva risolvere il problema della quadratura del cerchio, con l'iscrivere in questo successivamente dei poligoni regolari di 4, 8, lati. Se si prosegue il raddoppiamento dei lati, diceva, il poligono iscritto con un gran numero di lati finisce per confondersi (sensibilmente) con la circonferenza.

La polemica si estende d'altra parte, ed investe il problema se e quale specie di realtà spettino alle *idee*, forme o essenze delle matematiche. Alla tesi *realistica* dei Pitagorici, che avrà il suo più alto sviluppo nella filosofia platonica, si oppone il *nominalismo* di Antifonte:

« Colui che esamina degli oggetti grandi — dice nel libro « *Della Verità* » — non vede la grandezza davanti ai suoi occhi e non la riconosce nemmeno per mezzo del suo spirito ».

LOGICA E ANALISI DEL LINGUAGGIO. — Abbiamo ravvisato le strette analogie che intercedono fra i Sofisti e i positivisti moderni. C'è una mentalità filosofica comune, ma il metodo della discussione sembra diverso. Mentre i moderni amano far pompa dei fatti aborrendo dalle sottigliezze della dialettica, quegli antichi conducono spesso la battaglia col metodo stesso degli Eleati, che han preso a combattere. Anzi la tradizione, che viene consacrata attraverso la *Confutazione dei Sofisti* d'Aristotele, mette addirittura a loro carico l'abito degli argomenti logici fallaci, cui si è dato perciò il nome di « sofismi ».

A dir vero questa tradizione non risponde esattamente alla figura dei primi Sofisti, ma piuttosto di altri che sono venuti dopo di loro, quando lo straordinario interesse dato alla disputa, l'amore del paradosso e il desiderio di confondere l'avversario facendo mostra di abilità dialettica superiore, condussero alla degenerazione dell'*eristica*. Comunque, anche la ricerca di argomenti logici sottilmente fallaci, contribuisce naturalmente allo sviluppo della Logica. Accanto alla Retorica — arte del persuadere e del commuovere — inventata da Gorgia, la logica o dialettica, iniziata da Zenone, si affina in tal guisa come « arte del discorso ». Specialmente Protagora e PRODICO DI CEO insistevano sulla necessità di definire le parole con precisione e di usarle con proprietà.

Si rimprovera a Protagora come espressione di scetticismo nel peggior senso « sofistico », d'aver affermato che: « su ogni cosa vi sono due discorsi opposti ». Ma è assai probabile che Protagora, proseguendo Zenone, non abbia fatto che mettere in luce il valore delle « antilogie », per l'approfondito esame di ogni problema. Le sue *Antilogie* costituirebbero un antecedente storico dei Dialoghi di Platone.

Ma si può cercare nella formula di Protagora un senso logico più preciso, in accordo col suo relativismo. È verosimile che egli ammonisse sulle condizioni di validità del principio di contraddizione. Anche questo assioma parmenideo non ha un significato assoluto: ad una stessa cosa si possono attribuire predicati opposti, se essa viene considerata sotto diversi rapporti. In tal senso il prin-

cipio di contraddizione è precisato e limitato da Aristotele. Probabilmente questo limite è stato messo in rilievo da Protagora.

L'uso di sofismi veri e propri, nel senso che ancor oggi conserviamo della parola, cresce coi nuovi sofisti della scuola di Megara. Pure, spingendosi più oltre in questo giuoco verbale, questi filosofi hanno dato impulso anche più forte allo sviluppo della logica. Poichè infine anche il giuoco di parole esprime un senso acuto del valore formale del ragionamento. E, del resto, non è sempre un giuoco: argomenti come quello del mucchio di grano che rimane sempre un mucchio quando se ne tolgano tutti i chicchi uno dopo l'altro, hanno un vero significato filosofico in rapporto alla polemica fra razionalismo ed empirismo, in cui i Megarici riprendono la posizione eleatica. Ma di ciò più avanti.

PROTAGORA. — I Sofisti sono stati sfortunati: quasi tutto ciò che sappiamo di loro ci è giunto attraverso gli scritti del loro acerimo avversario, che è per giunta Platone. Ma pure attraverso il suo brillante e appassionato sarcasmo, i padri della Sofistica, Protagora e Gorgia, ci appaiono uomini di alta dignità morale, cittadini onorandi, penetrati dell'altezza del loro compito di legislatori del pensiero.

Protagora è nato ad Abdera fra il 485 e il 480 a. C., e perciò venti o venticinque anni prima del suo concittadino Democrito. Uscì verosimilmente dalla stessa scuola di Leucippo, o almeno fu in stretto rapporto con essa: ma altre influenze o la sua particolare mentalità lo fecero volgere verso l'empirismo.

Non restò a lungo nella città nativa. Anzi fu spesso ad Atene, in quello che Ippia diceva « il pritaneo della sapienza greca ». E visse quivi nell'intimità di Pericle, di Euripide e di altri grandi ateniesi. Del fanatismo che destava presso i giovani ci danno un'idea le prime battute del « *Protagora* » platonico. Il giovinetto Ippocrate irrompe nella stanza di Socrate « avanti l'alba, che ancora faceva buio », annunciando a gran voce l'arrivo del maestro. Protagora tien corte in casa di Callia: e due ali di ascoltatori riverenti si volgono in bell'ordine, seguendo i suoi passi, sempre tesi alla sua parola. Ogni suo detto viene accolto come un tesoro: egli se

ne compiace ingenuamente, e ascolta se stesso, svolgendo le sue ornate improvvisazioni morali.

La foga di codesta gioventù nei primi esercizi di pensiero fa pensare alla gioia e al piacere di un essere che, imprigionato fin dalla nascita, si lanci in un giorno in aperta campagna, ebbro d'aria e di libertà: « Il giovinetto che per la prima volta ha gustato a quella fonte — dice Platone — se ne rallegra come avesse trovato un tesoro di saggezza: si sente rapito di gioia. Felice, agita ogni discorso, ora raccatta insieme tutte le idee per farne una sola, ora le svolge e le sbriciola; mette nell'imbarazzo anzi tutto se stesso, poi tutti quelli che lo avvicinano, giovani, vecchi, coetanei, quali che siano, senza risparmiare il padre nè la madre, nè alcuno che voglia ascoltare; e non gli basta pigliarsela con gli uomini; qualunque essere vivente gli è buono. Non farebbe grazia neanche ai barbari, ove trovasse un interprete ».

La città di Turii, in Sicilia, chiamò Protagora a darle delle leggi. Tutte le città della Grecia erano rappresentate nella nuova colonia; e il vecchio sofista potè vedervi una bella promessa di quella grande confederazione ellenica, che aveva auspicata nei suoi eloquenti discorsi. La sua opera di legislatore fu molto apprezzata; e giustamente, se dobbiamo giudicare da un frammento che ci è stato conservato di un suo dialogo con Pericle, in cui enuncia chiaramente il concetto moderno della pena come mezzo sociale: intimidazione, e non cieca vendetta o espiazione rituale.

Ebbe l'amarezza di vedere la Grecia devastata dalla guerra fra le città sorelle. Quando, già settantenne, lesse in casa di Euripide il suo libro *Degli Dei*, un aristocratico irritabile sparse denuncia contro di lui per empietà. Protagora pensò bene di riparare in Sicilia: ma la nave naufragò, e il filosofo trovò la morte nei flutti. Il suo amico Euripide lo piangeva nel *Palamede*: « Lo avete ucciso, il tanto saggio, ahimè, l'innocente usignolo delle muse »...

GORGIA. — Della vita di Gorgia poco sappiamo. Si ritiene che sia nato a Lentini in Sicilia, intorno al 483. Sarebbe vissuto 108 o 109 anni, dunque fino al 375.

Era vicino alla vecchiaia, nel 427, quando venne ad Atene

con una delegazione della patria città e la sua arte oratoria gli guadagnò uno splendido trionfo. Altre volte i suoi discorsi sollevarono il più alto entusiasmo nella stessa Atene, a Delfo, in Olimpia e in diverse città della Grecia.

Il suo stile era brillante e ricco di paragoni coloriti, ma spesso artificiosi. Pure restano di lui alcune frasi scultorie. Magnificava l'illusione della scena dicendo che « l'ingannato è più saggio del non ingannato ». Parlava sarcasticamente di coloro che trascurano la filosofia per le scienze particolari: « somigliano a dei pretendenti di Penelope che ne corteggino le serve ».

Si è trovato di recente in Olimpia il piedestallo d'una statua con cui i suoi discepoli ed ammiratori lo raccomandavano alla memoria dei posteri: « Nessun mortale — dice l'iscrizione — ha mai immaginato un'arte più bella per educare gli uomini alle opere della virtù ».

Delle orazioni di Gorgia ci sono pervenuti alcuni frammenti. In particolare nel « Discorso Olimpico » e nella « Orazione funebre » per gli Ateniesi morti in guerra, l'oratore — come già abbi- am visto fare Protagora — inculcava ai Greci l'unione patriottica contro i barbari. « Le vittorie riportate contro i barbari — diceva a conclusione dell'ultimo discorso — chiamano canti di trionfo; ma quelle degli Elleni sugli Elleni solo canti di lutto ».

DA SOCRATE
A PLATONE E ARISTOTELE

VIII.

Reazione alla sofistica: Socrate.

FILOSOFIA DEI LUMI. — L'epoca che vede fiorire i Sofisti è la più splendida della civiltà ellenica. Le vittorie sui Persiani hanno risvegliato nel popolo greco la coscienza della sua unità spirituale e danno impulso potente a tutte le forme della vita. L'espansione e la divulgazione della mentalità scientifica coincidono col magnifico sviluppo delle arti e d'altra parte coll'intensificarsi dei traffici. Grandi opere tecniche danno una misura pratica del valore della scienza: citiamo per esempio la costruzione del porto del Pireo ad Atene, diretta da Ippodamo di Mileto.

Frattanto ad Atene stessa e nella maggior parte delle città, che ne seguono l'esempio, siamo in piena democrazia. È difficile oggi figurarsi che cosa significasse pel mondo greco quel regime democratico, grande e pazzo ad un tempo, in cui si disfrenano sublimi e basse passioni, tutte le ambizioni rissose dei cittadini, la retorica dei demagoghi, le insensatezze delle folle; ma dove pure domina un alto rispetto umano e si espandono, come in ambiente massimamente favorevole, le più possenti individualità: nella politica, nelle armi, nelle arti, nelle lettere, nella filosofia.

Tucidide ci ha lasciato della democrazia ateniese un magnifico elogio, nell'orazione funebre per i morti della guerra del Peloponneso, che pone in bocca a Pericle. Per contro Aristofane ne richiama con viva freschezza di colorito, gli aspetti più repugnanti

e ridicoli; e lo stesso Tucidide ci dà la più fiera requisitoria contro il regime democratico in atto, con la sua celebre descrizione delle atroci lotte di fazione a Corcira.

Il popolo greco, vivace ed intelligente, trovava nella vita cittadina un eccitamento spirituale; ciascuno si sentiva parte di un dramma quotidiano, nel quale gli era dato affermare la propria personalità e il proprio valore. D'altra parte il regime egualitario e la mutabilità delle fortune politiche facevano desiderare per contrasto quel riconoscimento e rispetto più durevoli che si tributavano agli artisti ed ai pensatori. Di qui l'armonioso e pieno sviluppo delle varie forme della civiltà ellenica. « Amiamo il bello senza inebriarcene, e filosofiamo senza mollezze ». Così Pericle riassume lo spirito di quell'epoca che doveva portare l'arte e la filosofia alle loro più alte espressioni.

In questo ambiente, come già abbiám detto, il popolo ricercava ansiosamente la cultura, e i Sofisti se ne facevano i divulgatori. Meglio ancora essi traevano dalla scienza della natura una nuova veduta della vita e dei problemi umani. « La scienza — dice il Windelband — divenne allora una potenza sociale, un momento decisivo della politica; ma appunto per questo, si mise alle dipendenze della vita pratica e specialmente politica ». Rispondendo al bisogno e all'avida curiosità dei discepoli, la critica dei maestri della Sofistica si esercitava, non solo e non tanto sul concetto razionale della scienza, quanto sulle credenze morali e religiose e sugli istituti tradizionali della società greca.

Vedemmo come la scoperta del « relativo » ai tempi d'Anassimandro esercitasse subito un'influenza sul pensiero religioso e morale di alcuni filosofi (Senofane, Eraclito) che vengono dopo di lui. Ma ora, una filosofia assai più radicale incontrandosi in un ambiente particolarmente favorevole, suscita od esprime una straordinaria revisione di valori. Infatti le nuove prospettive imperiali che si venivano aprendo alla giovane democrazia — l'incremento dei commerci e della ricchezza, l'estensione dei rapporti con altri popoli, l'eguaglianza di diritti in contrapposto all'accresciuta diseguaglianza di fatto — portavano, col mutamento dei costumi e dei

giudizi, aspirazioni ed idee ancora più audaci. Le quali trovarono la loro espressione nella critica dei Sofisti. La discriminazione tradizionale fra « natura » e « apparenza » delle cose, trasferita dall'ordine fisico all'ordine sociale, acquista un nuovo significato, cui risponde anche una nuova formula dell'antitesi: « per natura » e « per convenzione ». E già questa semplice antitesi ci indica lo spirito con cui dovevano apprestarsi ad esaminare i problemi umani, i filosofi che combattevano, in nome dell'esperienza, il precedente razionalismo: il loro atteggiamento è, a suo modo e nel senso comune della parola, anche più razionalistico. È lo spirito della « filosofia dei lumi » del secolo decimottavo, che prende vita nell'ambiente tanto più libero della Grecia del V secolo a. C.

Che cosa c'è propriamente di naturale nelle regole della condotta, nei precetti del culto, nelle leggi dello Stato? Che cosa invece d'arbitrario?

Domandando così alle vecchie fedi e ai vecchi istituti di giustificare il consueto assenso, i Sofisti adoperavano con acume un metodo d'esame, che sta in evidente rapporto con la filosofia empirica: ogni nozione ricevuta era rimessa in discussione, e trattata come cosa da spiegare nell'ordine psicologico; così le azioni e i sentimenti vengono ad essere stimati in concreto, secondo i motivi che li determinano. La buona condotta è giustificata dai più con la felicità che ne consegue. Nient'affatto; dice Polo, vi sono malfattori che hanno conseguito la felicità attraverso i misfatti. Secondo Licofrone, l'ordinamento dello Stato si basa sopra un *contratto sociale*, per cui i cittadini si garantiscono reciprocamente vita ed averi. La legge corrisponderebbe così all'interesse generale, o almeno alla difesa dei deboli contro le violenze dei forti, come sosteneva Callicle. All'opposto Trasimaco ritiene ch'essa risponda alla volontà dei più forti, i quali costringono i deboli a fare il loro vantaggio. Così l'analisi dei motivi scopre che la legge non è sempre benefica, anzi come « tiranna dell'uomo l'obbliga spesso ad andare contro alla natura ».

In queste discussioni si affacciavano le più ardite aspirazioni egualitarie (Licofrone, Alciamante, Falea), che sboccano più tar-

di nella predicazione del comunismo per opera dei Cinici. Euripide nei suoi drammi smonta il pregiudizio dell'illegittimità della nascita. Egli non accorda maggior peso al marchio della schiavitù: « Ciò che disonora lo schiavo è soltanto il suo nome; del resto un servo onesto non è inferiore a un uomo libero ». Anche le barriere della nazionalità cedono alla critica dei Sofisti (e dello stesso Socrate), preparando l'ideale cinico e stoico del cosmopolitismo. — « Voi tutti presenti — dice Ippia d'Elide — io vi riguardo parenti, fratelli e concittadini secondo la natura, e nonostante la convenzione ».

È ovvio che la critica distruttiva non si fermava di fronte alle credenze religiose, avvaloranti le distinzioni e i costumi tradizionali. Ma il dubbio investiva non soltanto i costumi ed i riti, sì anche i principii stessi della fede religiosa. Diagora di Melo avendo patito ingiustizia, cessò di credere alla giustizia degli Dei e scrisse i *Discorsi distruttivi*, deridendo i misteri. Onde nel 454 gli Ateniesi, eccitati da un misfatto sacrilego, misero a prezzo la testa dell'« ateo ».

Più misurati, ma per ciò anche forse più persuasivi per lo spirito pubblico, sono i dubbi affacciati dai filosofi. Prodicò di Ceo ricerca l'origine della religione. Protagora manifesta le sue idee nel circolo d'Euripide:

« Quanto agli dei — dice — non mi è dato sapere se siano o non siano, o quali siano; infatti molte circostanze ne impediscono la conoscenza: l'oscurità della domanda e la brevità della vita umana ».

REAZIONE. — Agli occhi dei custodi della morale e della fede, o dei conservatori in genere, siffatte critiche minacciano di dissolvere ogni autorità e quindi la vita della società tutt'intera. È l'eterno rimprovero dei tradizionalisti agli intellettuali e agli illuministi. E se anche una veduta storica più elevata possa scorgere nel lavoro dissolvente un senso liberatore ed una revisione di valori che avvia a più alta coscienza, bisogna convenire che l'intelligenza critica ha in questo progresso soltanto una parte, che rappresenta insomma un momento negativo da superare nell'evoluzione

delle idee morali. Si finisce per chiedere che l'analisi delle azioni o degli istituti oltrepassi il fatto singolo, e si volga invece a chiarire la connessione dei motivi; che non si arresti a considerare l'individuo, ma contempi l'ordine della società, in cui gl'individui vivono ed operano. Ed è difficile vedere come tale esigenza possa essere assolta da una filosofia in cui l'uomo viene assunto come « misura di tutte le cose », secondo la formula di Protagora: tanto più se il criterio della misura si riduce all'opinione o alla sensazione, secondo il concetto empirico di quella filosofia.

Il turbamento morale portato dalla critica dei Sofisti doveva suscitare la reazione più forte e decisiva nel gran centro d'Atene. Quivi la scienza demolitrice era stata propagata coll'educazione della gioventù e coll'eloquenza della parola nelle pubbliche discussioni. Il popolo ateniese, in un primo momento simpatizzante per quel che sapeva di avventura intellettuale, aveva prontamente assimilato le nuove idee portate da questi maestri stranieri ed atei.

Ma alla seduzione della novità seguiva un senso di disagio e di malcontento, quando tali uomini si vedevano festeggiati nei più alti circoli politici, accolti e protetti dal mecenatismo di Pericle. Le condizioni stesse dell'ambiente sembravano rendere l'ospitalità maggiormente pericolosa. Un regime di libertà e di democrazia riposa in ultima analisi sul presupposto d'un forte sentimento conservatore dei cittadini. Le vicende d'Atene — la sua espansione commerciale e l'imperialismo sorto dopo le fortunate guerre persiane — promuovevano naturalmente una larga trasformazione del costume: l'accoglienza delle idee nuove, piuttosto che effetto, doveva apparire la causa.

La divulgazione della scienza e della critica provocava ora questa conseguenza: che l'indirizzo stesso della filosofia venisse piegato ai bisogni spirituali e morali del popolo, e così che si andasse incontro ad un movimento anti-intellettuale. Socrate esprime questa reazione, nell'ordine del pensiero. Ma il sentimento si rivela già prima nella letteratura contemporanea, e ha lasciato altresì testimonianze non dubbie nei processi d'empietà, il più celebre dei quali doveva travolgere lo stesso Socrate. Le difficoltà della guerra

del Peloponneso e la sua fine disastrosa dovevano aumentare naturalmente la confusione degli spiriti.

La reazione comincia negli ultimi anni della vita di Pericle. Già si è detto come Anassagora, e più tardi Protagora, accusati, fuggissero da Atene. Tra i sofisti perturbatori del costume, Aristofane aveva dipinto proprio Socrate: e il cittadino Anito, ben pensante inacidito, portò contro di lui l'accusa di empietà e di corruzione dei giovani: in seguito alla quale egli, essendo stato condannato a morte, e avendo rifiutato la fuga preparatagli dagli amici, bevve la cicuta una sera di primavera del 399 a. C.

SOCRATE. — Apparteneva Socrate ai Sofisti, come giudicava Aristofane, o era all'incontro il loro più accanito avversario, siccome appare nei dialoghi platonici?

La distinzione netta è sempre difficile nell'ordine delle idee. Da un punto di vista esterno si può osservare che Socrate non era un professore stipendiato, come i sofisti, ma un uomo indipendente che credeva di avere un messaggio nuovo per la gioventù, e cercava di infondere in essa il suo ardore filosofico. Non per questo doveva sembrare ai suoi concittadini meno sovvertitore delle sane idee.

Coi Sofisti aveva certo in comune l'abito a discutere su tutto ed anche a confondere la dimostrazione della verità colla sconfitta dell'avversario; probabilmente con più audacia di loro chiamava in causa le azioni, i costumi, gl'istituti davanti al tribunale della ragione; con minore rispetto giudicava gli idoli della pubblica opinione, soprattutto il popolo sovrano, che i demagoghi erano soliti lusingare. Quanto a sovvertire i principii della morale ricevuta, egli si spingeva certo più avanti degli altri, suscitando aspirazioni di cosmopolitismo quali formarono più tardi l'ideale dei Cinici e degli Stoici. Tra gli scolari di Socrate, i cosiddetti semisocratici proseguono in diversi sensi i sofisti: il ripudio radicale di tutte le forme della civiltà fu predicato da **ANTISTENE** come ritorno alla « natura » dell'uomo, e da lui appunto derivò **DIogene** fondatore della setta cinica. **ARISTIPPO** di Cirene interpretava la morale utilitaria socratica come culto del piacere.

D'altra parte da EUCLIDE DI MEGARA — che riprese in senso formale i motivi della filosofia eleatica — deriva quella scuola di dialettici, alcuni dei quali vengono rappresentati da Platone come sofisti nel peggior senso della parola, uomini per cui la discussione degenera in un giuoco verbale (*eristica*). Tutte queste scuole subiscono forse egualmente l'influenza di Socrate e di Protagora o di Gorgia.

Nondimeno l'opposizione di Socrate ai sofisti suoi contemporanei non può essere messa in dubbio. Considerato uno di loro dal pubblico, e in qualche modo anche da molti dei suoi discepoli, si distingue da loro per una differenza sottile ma profonda, onde il suo insegnamento assume in più sensi valore di reazione, e diventa il principio della filosofia platonica.

Socrate, popolano ateniese, era nato verso il 470, dieci anni dopo Salamina. Giovane, aveva sentito il fermento dell'età periclea, quando Anassagora e Zenone, e più tardi i Sofisti, avevano fatto della città il campo di battaglia delle idee che venivano dai più diversi angoli del mondo greco. Egli stesso aveva seguito Archelao, discepolo di Anassagora, che era succeduto al maestro quando questi aveva dovuto lasciare Atene.

Ma Socrate non era un « intellettuale » alla maniera dei sofisti: la sua anima popolare, che la scienza aveva probabilmente staccata dalle credenze tradizionali, serbava pure alcunchè di religioso e d'appassionato, che della scienza stessa non poteva appagarsi. Pare che in gioventù fosse strettamente legato ai circoli orfici e pitagorici di Tebe e di Fliunte. Giunto sui quarant'anni ebbe una profonda crisi, della quale poco sappiamo. Abbandonò l'insegnamento sistematico che fino allora aveva professato sulla traccia delle vecchie scuole, e si dedicò ad una nuova missione educatrice e riformatrice. Lo studio della fisica non lo interessava più. Rimproverava ai naturalisti di spiegare i fenomeni « con aria, etere, acqua, ed altre simili cose strane » anzichè cercare lo scopo di tutto ciò che è od accade. La natura è buona cioè organizzata in vista del bene dell'uomo: l'esistenza della luce, dell'acqua, del fuoco e dell'aria attestano la sollecitudine per noi della Ragione

che ha costruito il mondo; il sole ci rischiara di giorno, ma la luna e le stelle ci illuminano di notte; la terra ci fornisce il cibo, il cambiamento delle stagioni tempera gli eccessi del caldo e del freddo. E l'opera servizievole degli animali, la struttura del corpo umano, gli organi di senso, ecc. sono tante prove della Provvidenza divina.

Con questo spirito teleologico, combattendo la spiegazione naturalistica, Socrate si contrappone, più che alla particolare filosofia dei Sofisti, alla scienza medesima.

Nel campo morale a cui soltanto negli ultimi anni s'interessava, discuteva volentieri alla maniera dei sofisti, dispiegando, non meno di loro, una sottile dialettica. Ma lo sforzo era inteso, non tanto a conoscere i moventi delle azioni, o a mostrare il valore relativo delle credenze umane — la « convenzione » — quanto a scoprire nell'animo ciò che è per essenza e « per natura » valore universale ed eterno. Questa scoperta, egli non voleva imporla come una conoscenza superiore, ma invitava ciascuno a rifarla per sé ed in sé, approfondendo l'esame di se stesso. In ciò sta il significato dell'*ironia*, con cui Socrate, professando di non saper nulla, conduceva altri a scorgere il vuoto della sua pretesa sapienza.

L'effetto che produceva sui concittadini, ce lo dice con grazia il giovane Menone, nel dialogo platonico che da lui prende nome:

« O Socrate, avevo già sentito dire, prima d'incontrarti, che tu non fai altro che dubitare, e mettere gli altri in dubbio. Ecco che adesso, a quel che mi pare, tu mi affascini e mi abbindoli come un vero incantatore, di modo che anch'io son fatto dubbioso. E se posso dirlo scherzosamente, tu mi sembri in tutto simile, per la faccia e per il resto, a quel pesce torpedine che intorpidisce chi lo tocca. Mi sembra che tu mi abbia fatto qualcosa di simile, chè in verità sono tutto intorpidito, di spirito e di parola, e non so che risponderti. Eppure, più di mille volte mi è capitato di discorrere della virtù davanti a ogni sorta di gente, e assai bene, a quanto mi pareva.... ».

La reazione di Socrate contro i sofisti si esprimeva in maniera assai singolare, e certo oscura per la maggior parte dei suoi concittadini: poichè egli si metteva a discutere non soltanto coi dotti, ma quasi col primo venuto, invitando tutti ad aiutarlo nella ricerca delle definizioni.

Socrate ritiene che il bene, la giustizia, le virtù ecc. non siano idee costruite dalla mente umana, secondo questa o quella esigenza psicologica, ma un dato che esiste di per sè, e che gli uomini possono riconoscere. Indagarne la definizione significa mettere in luce l'obbiettività delle norme che costringe il nostro assenso. Pertanto le regole della condotta verranno fondate razionalmente, derivando il dovere dal nesso logico per cui le idee più particolari, o i giudizi che vi si riferiscono, dipendono dalle idee più generali. In questo senso il filosofo ateniese cerca la salvezza in un razionalismo contrapposto all'empirismo dei sofisti.

IX.

Il razionalismo di Democrito.

La reazione contro l'empirismo dei sofisti, espressa da Socrate sul terreno morale, si allarga al campo della conoscenza per opera di Democrito e Platone: due filosofi separati da una trentina d'anni, che di solito vengono disgiunti nello studio storico, vedendosi esclusivamente nel primo il continuatore dell'indirizzo naturalistico, ma che Sesto Empirico accomuna nella polemica contro Protagora, a pro degli intelligibili.

ESISTENZA DEGLI INTELLIGIBILI. — Vedremo più avanti qual colore assuma la tesi platonica. Giova intanto spiegare il senso preciso della distinzione che qui occorre fra « intelligibili » e « sensibili », e così chiarire le origini del problema della conoscenza.

Nella comune opinione sembra evidente che i dati dei sensi — e quindi gli oggetti materiali definiti rispetto alla vista, al tatto, ecc. — sieno senz'altro oggetti del pensiero, soddisfacenti al principio di contraddizione, che Parmenide ha formulato come criterio dell'esistenza logica. Chi oserebbe dubitare che la realtà sensibile possa essere intrinsecamente contraddittoria? che, ad esempio, cose eguali ad una terza possano risultare disuguali?

Eppure il dubbio non sembrerà più assurdo, se si badi che i sensi non definiscono mai alcunchè di preciso, e che perciò anche l'eguaglianza sensibile importa soltanto « piccola differenza ». Un mucchio di grano diminuito d'un chicco, rimane sempre un mucchio

(sensibilmente) eguale all'intero, ma togliendo tutti i chicchi l'uno dopo l'altro, si riduce a nulla.

Questo argomento, se anche non appartiene in proprio agli Eleati, chiarisce nel miglior modo lo spirito di Parmenide e di Zenone. Esso viene esposto dai filosofi della scuola di Megara, neo-eleati che per molti aspetti sono considerati sofisti « della seconda maniera » in confronto agli empiristi « della prima ». Ed il suo valore consiste precisamente nel dimostrare che i principii logici del nostro ragionamento si applicano, non già alle cose sensibili così come ci appaiono, ma a quelle che supponiamo costituirne la vera realtà, sostanze metafisiche o finzioni dell'intelletto, comunque « oggetti del pensiero ».

Riflessioni di tal genere ci costringono a chiederci quale sia la realtà cui si riferisce la scienza. Per Parmenide non si dà scienza razionale del sensibile, ma soltanto d'una realtà intelligibile o verità soggiacente ai fenomeni, immutabile ed estranea al loro processo. Vi è quindi una sola scienza che contempla i rapporti invariabili della materia estesa: la geometria. All'opposto Protagora e Gorgia rivendicano il significato proprio della realtà percepita dai sensi, negando che esista al di là di questa una verità trascendente; la pretesa sostanza o natura delle cose sarebbe per loro una vuota finzione dell'intelletto, priva di valore.

Dopo siffatta critica non è più possibile ritornare al sogno d'un sapere razionale senza legame coll'empirico; per superare il dissidio, bisogna accordare il pensabile col sensibile, cioè « salvare i fenomeni » spiegandoli come apparenze d'un mondo riconosciuto dal pensiero. Questa è la esigenza nuova che la critica negativa dei sofisti impone ormai ad ogni costruzione razionale della scienza. Democrito e Platone cercano di soddisfarla in diversa maniera.

Democrito trova la ragione nel mondo perchè gli elementi primi della realtà — gli atomi che si muovono nel vuoto — sono pure forme geometriche (o com'ei diceva, con termine pitagorico, *idee*): spiegare i fenomeni e conoscerne le vere cause, significa ridurli al meccanismo degli atomi mobili ed urtanti fra loro.

LA SCIENZA « OPINIONE VERA ». — Qual è dunque l'oggetto della scienza? Non più, come per Parmenide, la pura verità razionale che trascende l'opinione dei mortali, cioè la conoscenza sensibile; ma nemmeno questa conoscenza o la semplice opinione, come verrebbe suggerito dalla tesi di Protagora. L'opinione deve essere spiegata e dimostrata rispondente a quella verità di cui esprime l'apparenza.

L'idea che la scienza abbia per oggetto « l'opinione vera » si affaccia e viene discussa in diversi dialoghi di Platone: le stesse dottrine del filosofo ateniese sembrano condurvi. Ma, nel *Teeteto*, la veduta è precisata in una formula che l'autore presenta come appartenente ad un pensatore sottile, e di cui offre interessanti illustrazioni. La formula dice che la scienza è *opinione vera accompagnata da ragione*: δόξα ἀληθής μετὰ λόγου.

Con grande verosimiglianza questa formula appartiene a Democrito ⁽¹⁾. I termini di essa sono antichi, derivando dal linguaggio tecnico della filosofia di Parmenide. Però il concetto è assai vicino a noi: non lontano dal « razionalismo sperimentale » che, nel pensiero moderno, si è elaborato traverso la scuola di Galileo. A dir vero, il nostro concetto include qualcosa di più: la possibilità di creare sperimentalmente il fenomeno in accordo colle previsioni teoriche, ed anche di correggere le ipotesi adottate, in seguito al cimento negativo dell'esperienza. Ma questo è soltanto uno sviluppo del motivo originale; ed almeno per quanto concerne la correzione o la ricostruzione induttiva delle ipotesi dai fenomeni, non si può escludere che l'idea entrasse, in qualche modo, nella logica di Democrito.

Ad una veduta logica induttiva, che doveva essere stata affacciata da filosofi anteriori, accenna invero Aristotele, negli *Analytica Posteriora* (I, 3), ove confuta coloro che attribuiscono alla dimostrazione un carattere relativo, ritenendo che i principii possano dimostrarsi dalle conclusioni, come queste da quelli, ciò che egli

⁽¹⁾ F. ENRIQUES, *La teoria democritea della scienza nei Dialoghi di Platone*, in « Rivista di Filosofia », n. 1, 1920.

dice costituire un circolo vizioso. Chi rifletta sullo spirito della fisica-matematica democritea, troverà assai plausibile la supposizione che l'autore criticato possa essere appunto il maestro d'Abdera.

RAZIONALISMO. — Certo questi si rendeva conto che la sua ipotesi meccanica dà luogo ad infinite possibilità differenti, le quali debbono avverarsi in condizioni e mondi diversi. Il motivo razionalistico parmenideo — il pensiero criterio dell'esistenza — assume per lui un significato più espressivo: ciò che è pensato deve esistere come parte della realtà universale; nello spazio e nel tempo infinito debbono dunque prodursi tutte le condizioni, e tutti gli ordini di fenomeni razionalmente possibili. Così esisteranno « mondi con più soli e lune » ed anche mondi dove la mancanza d'acqua renderà impossibile la vita, e così via. Similmente, tutte le forme geometriche dovranno trovarsi realizzate negli atomi, e saranno anche possibili « atomi grandi come un mondo ». « Una sola spiga di grano su un'immensa pianura — diceva il democriteo METRODORO DI CHIO — sarebbe cosa altrettanto straordinaria, come un solo mondo nell'infinità dello spazio ». Più tardi, nella tradizione epicurea, la realizzazione di tutti i possibili è designata da Lucrezio come *vis infinitatis*.

Trascorrere in tal guisa dal pensiero alla realtà, come il fanciullo passa a dar vita alle creature della sua immaginazione, può sembrare ingenuo e meraviglioso, ma esprime in ogni caso la poesia dello spirito matematico: ciò che il matematico costruisce nella sua fantasia non deve essere vana astrazione, bensì nome o segno di alcuna cosa che gli risponda nell'ordine reale, vicino o lontano.

E questa grandiosa poesia è, oggi come in antico, la fede animatrice della scienza razionale, che avvicina lo stato d'animo del razionalista a quello del mistico. L'idea di ritrovare nella natura le forme matematiche, ispira in fatto le più alte creazioni, agendo talora come stimolo inconfessato della ricerca: quante volte un'analogia formale induce i nostri fisici matematici a correggere o generalizzare una legge, riuscendo così ad una miglior comprensione dei

fatti! Così ancora, per citare un semplice esempio, l'astronomo si pone la domanda perchè mai nell'universo delle stelle non vengono superate certe masse, che restano in largo senso nell'ordine di grandezza del nostro sole: la cosa sembrerebbe incomprensibile se non si potesse dimostrare che il limite è portato da condizioni d'equilibrio della massa in cui agiscono in senso contrario gravità e pressione di radiazione, oltre il quale masse troppo grandi si spezzerebbero.

A ogni modo, Democrito bene comprendeva il valore di scoperta del pensiero e lo esprimeva nettamente con la formula: « il concetto criterio della ricerca » che passò poi nella logica degli stoici (cognizioni naturali innate = anticipazioni dell'esperienza).

Si aggiungeva il tentativo di giustificare la fede razionalistica. Parmenide non ne aveva sentito il bisogno, parendogli che bastasse enunciarla: « fuori dell'essere in cui esso si esprime, dove troverai il pensiero? ». Ma la critica di Protagora aveva sollevato il dubbio che i concetti, idee o forme, possano rappresentare una costruzione mentale, siano semplificazioni, astrazioni o falsificazioni del sensibile, e perciò soltanto ombre della realtà.

Per rispondere, Democrito ha ripreso e approfondito l'analisi protagorea delle sensazioni, in una maniera che — pur riuscendo oggi affatto insoddisfacente — attesta ancora una volta la serietà del ricercatore. Più tardi i dialettici Megarici passarono oltre, lusingandosi di dimostrare il principio in questione con un puro argomento logico. Ogni possibile — diceva Diodoro Crono — è reale, perchè un possibile che non si realizzasse mai non sarebbe affatto possibile. Dove si vede espresso in forma sofistica il profondo motivo del razionalismo.

La giustificazione democritea si basa sull'ipotesi che degli *eidola* o piccole immagini si distacchino dai corpi e, colpendo i nostri sensi, l'impressionino press'a poco come la luce impressiona una lastra fotografica: l'anima o intelligenza è quasi un organo di senso cui giungono i più fini idoli rappresentativi delle forme atomiche; e così in generale il pensiero è direttamente suscitato dalla reale esistenza degli oggetti corrispondenti.

Dice precisamente Democrito in un frammento dell'opera perduta *Sulla logica o Sui Canoni* :

« Vi sono due forme della conoscenza : una pura o legittima ed una adombrata o spuria. Appartengono a quest'ultima forma : la vista, l'udito, il gusto, l'odorato e il tatto. Ma la conoscenza pura è completamente distinta ».

Ed aggiunge che essa è relativa ad un organo più raffinato, cioè al pensiero, che prende il posto d'un vedere o d'un udire o gustare o tastare nel più piccolo.

Questa veduta porta la conseguenza che le immagini sottili, corrispondenti alle conoscenze intelligibili, possano liberarsi dalla mescolanza delle immagini più grossolane che colpiscono i sensi, attraverso sensazioni ripetute; e quindi in rapporto alle diverse e discordi impressioni d'una molteplicità d'oggetti vengano a fissarsi nel pensiero i caratteri comuni che definiscono il concetto. Così è aperta la via alla dottrina d'Aristotele : le idee derivano dalle sensazioni, ma posseggono un valore più alto come veri modelli delle cose; il criterio della scienza è riposto nel sensibile comune anziché nel proprio.

X.

Platone.

IL DRAMMA DELLA FILOSOFIA. — A differenza di Democrito, Platone (428-347) non sembra interessarsi alla scienza se non per i motivi artistici, religiosi e morali che vi si collegano.

La figura del grande ateniese deve esser compresa anzitutto nell'ambiente letterario della sua epoca. Quando egli viene a maturità — cogli inizi del 4° secolo — la potenza di Atene è rovinata dalla guerra del Peloponneso; e con essa sono passati i tempi gloriosi della democrazia. Tutti i motivi della reazione dominano la mente del pensatore aristocratico. Il quale, tenendosi (più o meno volontariamente) a parte dalle fazioni politiche, dalle miserie e dai nuovi pericoli che minacciano la patria, si volge a rimeditare e ad esprimere in nuovi modi le grandi idee che agitano la cultura del suo tempo.

L'arte aveva raggiunto proprio ad Atene il suo apogeo, e la letteratura aveva espresso i più grandi capolavori. La prosa greca era già formata verso la metà del 5° secolo, che vede fiorire gli storici, Erodoto (484-428) e Tuciddide (471-400), e svolgersi magnificamente l'eloquenza. Il teatro, con Sofocle, Euripide e Aristofane, aveva messe in scena la vita e le passioni degli uomini. Attraverso le sottili disquisizioni dei Sofisti, anche la prosa scientifica aveva raggiunto un certo grado di maturità. In particolare gli scritti dialettici di Zenone d'Elea e le *Antilogie* di Protagora, forse anche altri scritti dei Megarici, avevano dato esempio dell'esposi-

zione di ragioni opposte intorno ad un argomento disputato, nella maniera del dialogo. Gli spiriti e le forme di tutta questa letteratura, il senso del dramma e della storia, trovano la più compiuta incarnazione artistica nei *Dialoghi* di Platone, dove lo stesso movimento della scienza diventa oggetto di contemplazione e di riflessione: l'antitesi delle idee, agitati gli interessi più alti della vita umana, si dispiega miticamente come il conflitto delle forze animatrici della Società, a quel modo che Omero faceva muovere dagli Dei contendenti sull'Olimpo i guerrieri che combattevano sotto le mura di Troia.

La gioventù di Platone fu dominata dalla persona e dal pensiero di Socrate. Dopo la morte di questi, egli intraprese lunghi viaggi, che lo misero in contatto con altre scuole, e in particolare con quei matematici d'Italia che continuavano la tradizione pitagorica: primo fra tutti Archita, il quale doveva anche intervenire a salvarlo quando il suo sogno di creare lo Stato ideale lo ebbe coinvolto in una congiura contro Dionisio II di Siracusa.

L'attività filosofica ed educativa di Platone si svolse però tutta quanta nella scuola da lui fondata ad Atene nei giardini di Accademo, e che prese perciò il nome di *Accademia*.

In essa il maestro rimeditò e svolse per lunghi anni le sue dottrine nel cerchio dei discepoli; nè abbandonò fino all'ultimo, come appare nella *Repubblica* e nelle *Leggi*, il suo sogno della città ideale: sempre fiso a quell'unità in cui si fondessero l'individuo, lo Stato e l'Universo, che diverrà la Città di Dio.

All'Accademia sono legati i nomi di alcuni fra i maggiori pensatori e matematici del tempo di Platone: quali Eraclide, Teeteto, Eudosso, Callippo.

La vita dell'istituto, attraverso varie trasformazioni, si prolungò per ben 9 secoli; conservando così la tradizione della scienza platonica: tradizione che venne a interrompersi solo nel 529 d. C., quando Giustiniano imperatore chiuse la scuola d'Atene e dichiarò la discussione filosofica incompatibile con l'ortodossia cristiana.

Motivo dominante del pensiero di Platone sembra essere il contrasto fra l'immutabile imperativo logico degli Eleati, e l'eterno

flusso delle cose, mostratogli dal maestro eracliteo. Su di lui agiscono però tutti gl'indirizzi vivi della speculazione, e in ispecie il pitagorismo. Le idee dibattute dai predecessori non sono per lui astratte esigenze del pensiero, sì anzi valori viventi e motivi d'azione. La dialettica sottile nasconde appena il sentimento d'amore o d'odio dell'autore. La sua sintesi, più che logica, è poetica. Questo sia detto non nel senso moderno e un po' spicciolo della parola, ma come lo intendeva lo stesso Aristotele, il quale giudica lecito che alcuni cerchino la verità nei ragionamenti dei matematici, e altri « nella grave testimonianza dei poeti ». « Feci a modo mio della musica — dice Socrate, nel *Fedone* — poichè la filosofia è la più alta musica ».

Il metodo socratico è l'anima dei dialoghi platonici, ove con arte tanto più meravigliosa quanto meno appariscente si discute sui sommi principii e sulla definizione dei concetti; e Socrate dirige la discussione. È difficile dire fino a che punto l'autore dei dialoghi ripeta o si tenga vicino al pensiero del maestro, da cui certo va allontanandosi nelle ultime opere. Comunque, la ricerca assorge per lui ad una teoria delle Idee, che si rivela in stretto rapporto con la mentalità pitagorica ed eleatica.

EVOLUZIONE DEL PENSIERO PLATONICO. — I filologi sono riusciti a ricostruire, con diversi criteri ingegnosi, se non proprio l'ordine cronologico dei *Dialoghi*, almeno la successione dei principali gruppi in cui possono distribuirsi.

Nei primi dialoghi non c'è ancora una teoria delle Idee. Ci sono soltanto delle discussioni al modo socratico, in cui si propone di definire che cosa sia il coraggio (*Lachete*) o la temperanza (*Carmide*) o la pietà (*Eutifrone*), ovvero il bello (*Ippia maggiore*), o l'arte (*Jone*), o la retorica (*Gorgia*).

La fervida aspirazione al bello rivela già il temperamento poetico di Platone, che non può appagarsi nel rigido moralismo del suo maestro.

Platone filosofo prosegue la reazione di Socrate contro i Sofisti dalle speculazioni morali e politiche sollevandosi ad astruse que-

stioni metafisiche, e riprendendo i motivi religiosi e scientifici della filosofia pitagorica.

La stessa esigenza della polemica ingaggiata coi sofisti sul terreno morale lo spinge a ricercare e valutare il fondamento delle nostre conoscenze. Socrate opponeva all'empirismo dei Sofisti il concetto comune delle idee morali; ma quale autorità normativa potrebbe riconoscersi a tali idee se esse stesse nascessero dai dati sensibili?

Platone trova nelle cognizioni matematiche qualcosa che la mente intuisce, almeno in apparenza, di là dal senso: « gli Elleni — dice — sono molto ignoranti; la maggior parte di loro non sa che esistono grandezze incommensurabili »; e vuol dire: il pensiero matematico riesce a scoprire verità che, al pari di questa, non potrebbero mai essere acquisite con l'esperienza.

Che cosa sono gli enti matematici? La critica eleatica ha già riconosciuto che essi non sono gli oggetti rappresentati nella realtà sensibile. Pure fanno parte a loro modo di una realtà intelligibile; la mente non può darli ad arbitrio, anzi li vede come qualcosa di dato e di necessario fuori di sè. Le *idee* hanno una propria *esistenza*.

Il filosofo che — alla maniera di Socrate — vuol comunicare o dimostrare la scienza del Bene e della Suprema Bellezza, ha scoperto che l'esigenza del suo razionalismo etico s'identifica con la logica del razionalismo matematico. La questione « se possa insegnarsi la virtù », discussa una prima volta nel *Protagora*, ritorna nel *Menone*; e qui si affaccia la tesi delle conoscenze innate, sotto la forma mitica della *teoria della reminiscenza*: secondo cui non faremmo che *riscoprire* verità già note all'anima nostra in qualche altra esistenza anteriore.

L'atteggiamento razionalistico di Platone si esplica in ciò, che egli scorge come mondo della verità non già il mondo delle cose sensibili, ma il mondo delle idee. Il termine *idea*, accolto anche da Democrito, significava pei matematici « forma » o « schema ». Platone gli assegna il senso nuovo di « qualità » o « specie »; queste *esistono* per sè, come oggetti d'un mondo ideale, che risponde al

pensiero, cioè sono enti che soddisfano ai principii dell'invariabilità logica. D'altra parte esse esprimono anche ciò che vi ha di comune nelle classi naturalmente costituite di oggetti materiali o di organismi viventi. Dunque i caratteri fissi o comuni della specie, e non le variazioni accidentali degli individui, vengono a formare il vero scopo della scienza.

Platone non approfondisce propriamente il problema della scienza stessa, come possa fondarsi, ma ne coglie l'aspetto formale. E in questo senso il risultato della sua riflessione reca un acquisto perenne alla filosofia scientifica.

Riferiamoci, per esempio, ad un minerale che cristallizzi nella forma cubica. Domandiamo al possessore di una moltitudine di cristalli che ci mostri un cubo. Egli prende a caso un cristallo, e noi vi scopriamo qualche angolo smussato o altra irregolarità. Un cubo con un angolo smussato non è più un cubo, diremo. E il possessore cerca invano fra i suoi esemplari il cubo perfetto. Pure il cubo esprime bene ciò che vi ha di comune e di regolare in quelle figure accidentalmente irregolari. Il mineralogista parla ancora il linguaggio platonico quando dice che tutti partecipano della forma cubica, o che tendono ad avvicinarsi all'*idea* del cubo: questa è invero la legge, oggetto della scienza, che scopre l'ordine nel disordine della varietà fenomenica.

L'« idea » platonica trova la sua origine non soltanto nelle forme matematiche, sì anche nell'ideale dell'arte greca, la quale nelle sue rappresentazioni sempre cerca di sollevarsi ad un tipo di bellezza o di forza; che intende a darci, per esempio, non questo o quel guerriero, ma quasi il guerriero in sè, richiamando alla vista i caratteri della specie rappresentata. Per Platone, che anche nelle matematiche guardava il lato estetico, il tipo cercato dall'artista ha un'esistenza altrettanto reale come il cubo, che idealizza le diverse forme degli anzidetti cristalli. E nello stesso modo ogni specie di oggetti o d'organismi viventi deve avere il suo tipo ideale che non si confonde con nessuno degli individui della specie, ma armonizza in sè le qualità peculiari di tutti. Noi serbiamo ancora questa maniera di vedere, quando parliamo per esempio dell'uomo

normale che ignora le perturbazioni della malattia, sebbene purtroppo nessun mortale raggiunga mai questo tipo.

Si badi: tipo normale non vuol dire *tipo medio*. La media di molte figure quasi cubiche non è per nulla un cubo. E tanto meno l'uomo normale (tipo di organismo che cede soltanto all'esaurimento dell'estrema vecchiaia) potrebbe assomigliarsi a quell'uomo medio del Quételet di cui scherzosamente si è detto che « muore a un'età media, d'una malattia media ». Il tipo è una norma che innalza la realtà ad un ideale semplificato e più perfetto, proprio come accade nella rappresentazione artistica.

Ma il modello dei tipi e delle idee che Platone si tiene dinanzi è pur sempre offerto dalle matematiche:

« Quelli che si occupano di geometria e d'aritmetica — dice — assumono il pari ed il dispari, e le figure e tre specie di angoli, e altri simili supposti nelle dimostrazioni; e come avendone certa scienza questi supposti li prendono per base, e quasi fossero evidenti non pensano affatto a darne alcuna ragione nè a se stessi, nè agli altri; anzi, di qui partendo, ordinatamente dimostrano tutto il resto giungendo infine a ciò che si proponevano di dimostrare.... Essi si valgono, perciò, di figure visibili, e ragionano su di esse, non ad esse pensando, ma a quelle di cui queste sono le immagini, ragionando sul quadrato in se stesso e sulla diagonale, anzichè su quello o quella che disegnano; e così tutte le figure che formano o disegnano, quasi ombre o immagini specchiate dall'acqua, tutte le adoperano come rappresentazioni, cercando di vedere attraverso di esse i loro originali, che non sono visibili se non dall'intelligenza idealizzatrice.... ».

Similmente nel mito della « caverna », che è esposto nella stessa *Repubblica*, gli oggetti materiali vengono figurati come copie imperfette delle idee, e paragonati alle ombre portate sul fondo d'una caverna da uomini passanti davanti ad essa; un osservatore che volga il capo alla luce dell'apertura potrebbe credere alla realtà di codeste ombre.

CONFUTAZIONE DELL'EMPIRISMO. — Abbiamo detto che la teoria delle Idee esprime una veduta razionalistica in opposizione all'empirismo. La dottrina di Protagora è esaminata e confutata profondamente nel *Teeteto*. In questa confutazione s'incontrano

argomenti che sono consueti anche oggi nelle dispute su tale soggetto. Se il criterio della verità è riposto nella sensazione, allora — dicono Socrate e Teeteto nel dialogo — dovrebbe anche esser vero tutto ciò che crediamo di vedere o di udire o comunque di sentire nei sogni o nella pazzia :

TEET. « ... Io non saprei come mettere in dubbio che non abbiano opinioni false coloro che sono pazzi o che sognano, quando c'è per esempio fra quelli chi crede d'essere un dio, e fra questi chi s'immagina di avere le ali e di volare nel sonno ».

SOCR. « ... Più volte credo tu abbia sentito persone chiedere qual prova si potrebbe dare a dimostrazione che siamo svegli, se uno per esempio ora stesso ci venisse a domandare se dormiamo o se sia sogno tutto ciò che stiamo pensando, oppure se siamo svegli, e proprio da svegli ragioniamo fra noi ».

TEET. « ... Di fatti questi ragionamenti che abbiamo fatto ora, niente impedisce che potremmo credere di farli fra noi anche dormendo; e quando in sogno ci pare di raccontar sogni, assai singolare è la somiglianza di quel che ci capita dormendo con quel che facciamo da svegli ».

Più avanti si affaccia il concetto della « previsione », cioè quello che oggi si direbbe il criterio pragmatistico della realtà :

« Anche per le cose future diremo, o Protagora, che l'uomo ha in sè la misura del giudizio, e quali pensa tali anche effettivamente saranno per colui che ha pensato? Prendiamo, per esempio, il caldo: se uno, non medico, pensa di se stesso che sarà colto da febbre e quindi patirà questa specie di calore, e un altro, medico, pensa il contrario, come diremo che andrà a finire la cosa?... ».

« E per sapere se un vino riuscirà dolce o aspro avrà peso, credo, l'opinione del vignaiolo, non quella del citarista ».

Così ancora per un'esecuzione musicale, se dovrà riuscire accordata o scordata, e per il cibo che si sta preparando, se darà piacere o no a chi avrà da mangiarlo, ecc.

Ma il dubbio circa la verità o falsità delle nostre opinioni turba Platone, non solo per l'errore che può nascere nei sensibili, sì anche per la possibilità d'essere ingannati dal nostro stesso pensiero. È il grave problema dell'errore, che commuove naturalmente un razionalista.

« (Il pensare) è un dialogo che l'anima fa con se stessa su ciò che viene esaminando. Bada, come un ignorante io cerco di spiegarti la cosa :

ma insomma l'anima quando pensa, io non la vedo sotto altro aspetto che di persona la quale conversi con se stessa, interrogando e rispondendo, affermando e negando.... ».

« Ebbene, vedi un po' di ricordarti se mai una volta dicesti a te stesso che assolutamente il bello è brutto, o l'ingiusto è giusto.... o se invece, neanche in sogno, avesti il coraggio di dire che il dispari è pari, o altra cosa di questo genere ».

Donde il tentativo di spiegare l'errore per falso scambio fra sensazione e conoscenza, o fra conoscenza e conoscenza. Ma il problema conduce a discutere che cosa sia la scienza.

ESSERE E DIVENIRE. — Per Platone è essenziale distinguere ciò che esiste sempre e che non ha origine (le idee) da ciò che è generato e soggetto al mutamento o al divenire (le cose sensibili); la vera scienza si riferisce soltanto al primo genere che è comprensibile dall'intelletto e dal ragionamento, mentre il secondo è oggetto d'opinione coll'aiuto della sensazione irrazionale. Così la scienza platonica rimane geometrica e statica.

Come si è accennato, il problema di conciliare l'invarianza e l'unità delle idee con la diversità e col divenire del mondo fenomenico è stato lungamente meditato da Platone. Egli ne sente tutta la difficoltà e la drammatizza, opponendo alla tesi eleatica quella dei discepoli d'Eraclito, che scorgono ogni cosa prolungarsi in un'altra, e fin gli opposti scambiarsi tra loro nel fluire incessante della realtà.

In un primo momento Platone ha creduto risolvere il contrasto, attribuendo la varietà e il divenire dei sensibili, il nascere e il perire, ai singoli individui nell'ambito della specie, quasi come perturbazione o allontanamento accidentale dal tipo ch'essi si sforzano di realizzare: la realtà intelligibile rimane esente da movimento, in armonia con l'aspirazione suprema dell'anima religiosa che vuole riposare in una Verità e in una Bellezza eterna ed immutabile.

Ma in tal guisa si riesce a comprendere tutt'al più la diversità accidentale, o le oscillazioni degli individui intorno ad un tipo fisso, non il divenire che è proprio della vita degli esseri organici ed anche del cosmo. Perciò lo stesso Platone ha dovuto modificare la

sua prima veduta, massime quando la sua riflessione si è portata sul processo cosmico. La scienza moderna ha superato la difficoltà passando dalla geometria alla meccanica, col porre in luogo dell' Idea platonica la *legge*, che è rapporto fisso e tipico di successione; dove tuttavia sopravvive il concepimento d'una scienza che ricerca, non le particolarità dei singoli fenomeni, ma ciò che vi ha di generale e caratteristico nelle classi di fenomeni. Platone non è arrivato a questa visione, che avrebbe potuto essergli suggerita dal quadro della scienza democritea. Il discepolo di Socrate, repugnante al meccanicismo, ha accolto invece una spiegazione teleologica, per cui le Idee vengono concepite come fini.

Questo concetto appare già nel *Fedone*. In uno degli ultimi dialoghi, il *Timeo*, che è una descrizione del processo cosmico, si vede addirittura operare Dio, o il Demiurgo (in altre parole la Mente), per plasmare la materia — che obbedisce dal suo lato ad una propria necessità — secondo un disegno ideale di semplicità e d'armonia. Qui lo spirito di Platone — superata la comprensione eraclitea del sensibile — sembra voler affrontare più decisamente Democrito di cui già nel *Teeteto* ha discusso la teoria della scienza. Il filosofo ateniese parte accoglie, ma molto respinge delle vedute dell'Abderita. La riduzione della qualità alla categoria della quantità gli appare un impoverimento della realtà intelligibile. Il moralista non sa rinunciare a scorgere nel mondo fisico, delle forze, operanti sul tipo della volontà umana. Infine il pitagorico, che vive in Platone, si attacca piuttosto al lato mistico che al lato scientifico delle dottrine della scuola. Ne viene che il *Timeo* non tanto ha valore di scienza, quanto di costruzione religiosa, e come tale influisce più tardi largamente sulla cosmologia cristiana.

IDEALE LOGICO. — Qui viene opportuno d'osservare che la stessa debolezza del filosofo ateniese — il trascorrere la linea sottile che separa il razionale dal mistico — colorisce di poesia la sua visione dell'ordine logico delle matematiche. La scuola platonica educa al culto del rigore; alimentando l'illusione d'un pen-

siero che crea senza bisogno di ricorrere a modelli sensibili, essa sostiene ed accresce la forza del ragionamento. « Qui non entri chi non è geometra » vuolsi fosse scritto all'ingresso dell'Accademia platonica. Matematici come Teeteto ed Eudosso non hanno dovuto apprendere da Platone il rigore delle teorie aritmetiche e geometriche; ma è verosimile che la maggior cura data a tale esigenza riveli un indiretto influsso dell'ideale estetico della scuola platonica.

D'altra parte, codesto ideale potrebbe anche apparirci come esprimente appunto l'esigenza che matura nella revisione critica dei principii da parte dei matematici contemporanei. Platone spinge il concetto del rigore logico alle sue ultime conseguenze. Le idee matematiche non sono apprese coi sensi, ma piuttosto ricordate dall'anima che le ha conosciute in un mondo anteriore.

Questa teoria della reminiscenza è spiegata nel *Menone* col l'esempio del servo che Socrate spinge a ritrovare da sè il teorema di Pitagora per i triangoli rettangoli isosceli. Il modo come l'uomo incolto è condotto a scoprire la verità geometrica, indica appunto ch'egli ne ha già il possesso virtuale, come di nozioni che gli occorra solo trar fuori dalla memoria. Del resto, già si è accennato, la reminiscenza è soltanto la forma mitica che prende nella mente di Platone il postulato delle *idee innate*: le idee non sono qualcosa che si elabori dalle sensazioni, come vuole l'empirismo, anzi immagini d'una verità ultrasensibile che, per natura, è conosciuta nella sua purezza dal pensiero.

A quanto pare, uno sviluppo del sapere logicamente perfetto dovrebbe costruirsi sulla base di semplici definizioni o di assiomi logici:

« La geometria e le scienze annesse, dice la *Repubblica*, sognano rispetto all'esistente, ma è impossibile che lo vedano ad occhi aperti, finchè si valgono di postulati e li tengono fermi, senza potersene render conto ».

È un ideale della perfezione matematica, che si ritrova nel pensiero moderno, fino a Leibniz.

VALORE FORMATIVO DELLE MATEMATICHE. — Il significato di Platone nella filosofia perenne è lo sforzo verso l'ideale: nessuno ha espresso così altamente l'aspirazione suprema dell'anima umana a congiungere in una sola unità il vero, il bello ed il buono.

Il senso del sublime che è in questa filosofia, il suo spirito mistico, ha agito sui neopitagorici e neoplatonici dell'età ellenistica, e poi sui Padri della Chiesa (Sant'Agostino). Invece il postulare indefinito della ragione di là del materiale e del sensibile, ha animato nell'antichità gl'intelletti matematici, e più tardi gli spiriti scientifici della Rinascita, contro il fiacco empirismo degli scolastici.

Il nostro sistema d'insegnamento conserva tradizionalmente alle matematiche il posto che loro ha conferito Platone. La Repubblica ideale in cui egli disegna il regno dei filosofi gli offre occasione ad esporre un programma d'educazione dei guardiani o reggitori dello Stato, che risponde al modo di classificare le scienze dei Pitagorici.

Questo sistema educativo comprende le discipline matematiche: aritmetica, geometria (piana e solida), astronomia e teoria della musica. E tali studi sono domandati più che per la loro utilità pratica, per uno scopo essenzialmente formativo. Senza di esse non è possibile « essere Dei, nè semidei, e nemmeno uomini compiutamente ». Debbono riaccendere quell'occhio dell'anima che « rovinato e accecato da ogni altro genere d'occupazioni, più che diecimila occhi corporali deve serbarsi incolume, perchè con esso unicamente si vede la verità ».

Perciò della scienza dei numeri si chiede che sia coltivata « non a scopo di compra e vendita, come mercanti e rivenditori » ma per educare l'intelligenza, poichè « s'innalza l'anima obbligandola a ragionare intorno ai numeri considerati in sè, non accettando di ragionare se altri ricorra a numeri associati a corpi visibili o tangibili ». E della geometria si nota che « questa scienza è tutto il contrario di quanto parrebbe dalla terminologia usata da coloro che la professano. È una terminologia troppo ridicola e misera; perchè, quasi si trattasse di pratica e di scopo pratico, parlano sem-

pre di quadrare, di prolungare e di aggiungere o d'altre simili operazioni. Mentre invece tutta la scienza si coltiva a scopo di conoscere ».

Anche l'astronomia e la teoria della musica vogliono essere studiate secondo il medesimo spirito, cioè per elevare la mente alla contemplazione d'armonie ideali, leggi di proporzione e di numero, che sono assai più belle « delle meraviglie del cielo che sono nel regno del visibile ».

Aggiunge Platone che l'aritmetica e la geometria e tutta l'educazione preparatoria deve essere impartita ai giovani senza sforzo, chè nessun insegnamento forzato s'impiana mai saldamente nell'animo. L'anima si educa e si prova soltanto nella libertà dell'esercizio creativo, che ha anche un valore morale, come conveniente all'uomo libero.

L'ACCADEMIA. — A quarant'anni Platone, di ritorno dalla Sicilia, fondò una scuola nei giardini dedicati ad Academo, che fu detta perciò Accademia. Non era esattamente quel che s'intende oggi con questo nome; ma una consociazione rivolta alla ricerca scientifica e all'insegnamento. Vi erano anche regole di convivenza e di collaborazione, che le davano un certo colore pitagorico: vi erano corsi pubblici e simposii privati ove si discutevano fra pochi amici i problemi « esoterici » o riservati dell'alta filosofia. Ma l'ideale dell'Accademia era la libera ricerca del vero: molti sono i dotti che ne sono usciti o hanno avuto con essa relazioni. Matematici quali Eudosso, Amicle, Ateneo, Filippo di Opunte, filosofi quali Eraclide e Speusippo testimoniano dell'attività della prima generazione.

L'Accademia doveva durare ininterrottamente — attraverso varie trasformazioni d'indirizzo — per ben nove secoli, fino al 529 d. C. Nessuna università moderna è in grado ancor oggi di vantare una così lunga vita.

XI.

Aristotele e l'Enciclopedia del sapere.

L'IDEALE DEL PROFESSORE. — Il razionalismo sperimentale di Democrito e il razionalismo formale di Platone si comporranno un giorno nel concetto della scienza moderna, instaurato da Galileo. L'antichità non è giunta ad una sintesi così profonda. Il discepolo di Platone che ha tentato di armonizzare la teoria delle Idee colla realtà empirica, ha preso bensì da Democrito il ricco materiale delle conoscenze naturalistiche, ma non è riuscito a intendere l'alto senso della sua fisica matematica.

Aristotele, nato nel 384 a. C. a Stagira, piccola colonia ionica della Tracia, era figlio del medico Nicomaco. Venuto ad Atene, studiò all'Accademia e vi rimase, come discepolo prediletto dal maestro, dai diciotto fino ai trentacinque o ai trentotto anni. Ne uscì dopo la morte di Platone, e si ritirò alla Corte di Ermia, tiranno di Atarneo in Asia Minore. Presso quest'uomo singolare, un tempo schiavo, poi ministro e studioso all'Accademia, e finalmente principe ambizioso e intrigante, Aristotele passò alcuni anni. Alla fine Ermia cadde vittima di un agguato tesogli dai Persiani per la sua politica filomacedone. Aristotele fuggì a Mitilene, portando con sè la nipote di Ermia, che divenne poi sua consorte. Nell'isola di Lesbo il filosofo rimase circa due anni, finchè nel 342 fu chiamato da Filippo di Macedonia a educare suo figlio, il giovane Alessandro che doveva poi esser detto il Grande.

Alessandro divenuto re serbò al maestro affetto inalterabile. I moralisti dei tempi posteriori, allettati dalla rara e miranda congiunzione storica del grande conquistatore col sommo filosofo, han-

no avuto molto da dire sulla intima collaborazione dei due. In realtà non si vede bene quale ne sia stato il frutto. L'attività scientifica di Aristotele sembra esser rimasta indipendente, e il regale alunno da parte sua tenne certo in poco conto i consigli politici del maestro. Nell'incontro delle due grandi figure è piuttosto il simbolo tragico di due età che si guardano senza comprendersi: il saggio conservatore intento a restaurare la *polis* e a ribadire la distinzione fondamentale fra greco e barbaro, e l'avventuriero, l'eversore delle tradizioni, che parte in guerra a diffondere la greicità per il mondo.

Tornato ad Atene dopo l'avvento di Alessandro, Aristotele vi istituì una scuola nei giardini sacri ad Apollo Liceo. All'organizzazione dei corsi, e allo svolgimento della sua vasta e sistematica attività professorale, dedicò gli anni di attività più fervida.

Morto Alessandro, il filosofo fu uno dei colpiti dalla reazione antimacedone. « Atene, disse, non deve macchiarsi ancora una volta di un delitto contro la filosofia ». E si rifugiò a Calcide in Eubea, dove morì poco dopo, all'età di 63 anni.

Di fisico Aristotele vien descritto come piccolo e corpulento, e afflitto da continui dolori di stomaco. Vesti e modi erano di un uomo di mondo elegante e raffinato. Una certa naturale fierezza, il suo fare di superiorità sarcastica gli fecero molti nemici: ma nessuna ombra ne è rimasta sulle sue qualità morali, chè anzi tutto concorre a mostrarci in lui un carattere simpatico e generoso. Tutt'al più gli si può rimproverare di non citare abbastanza gli autori da lui utilizzati. Ma a quei tempi non ci si faceva una idea precisa della proprietà letteraria.

Il Liceo, assai più che l'Accademia nei riguardi di Platone, s'identifica coll'opera d'Aristotele, sia perchè fra i numerosi scritti di lui ci rimangono soltanto le lezioni o gli appunti ch'ei redigeva ad uso degli scolari (sono perduti i dialoghi di cui gli antichi vantavano lo splendido stile), sia perchè l'istituto d'insegnamento risponde allo stesso fine cui mirò tutta l'attività scientifica del fondatore: cioè a comporre l'enciclopedia del sapere.

Erano passati i tempi in cui la scienza appariva come una forza rivoluzionaria, nella critica dissolvitrice dei sofisti, e d'altra parte

era anche superato il momento socratico della reazione antiscientifica. Ora per la conservazione stessa della Società diventava necessario mettere in valore i progressi acquisiti dalla cultura, riconoscendo il posto della scienza e sistemandone i risultati. Di qui appunto sorge il bisogno d'una Enciclopedia del sapere, in cui, accanto alle nozioni fisiche e naturalistiche, anche le idee morali e politiche trovino un collegamento e ricevano un ordine: in armonia con le tradizioni e con le esigenze della civiltà che sono chiamate ad esprimere.

Questo compito è stato concepito da Aristotele secondo uno spirito nettamente conservatore ed assolto in un'opera colossale, con una costruzione che ha esercitato la sua autorità a distanza di 1500 anni sulla scolastica, e che, per certi aspetti, ha potuto servir di modello anche ad epoche più recenti. È un carattere di code-st'opera di riassumere in sè le ricerche dei secoli precedenti e perciò di riuscire, più che uno sforzo individuale, la sintesi d'un lavoro scientifico collettivo. L'autore ravvicina le spiegazioni diverse proposte da diversi ricercatori, e quelle di carattere popolare appartenenti al senso comune, e cerca in generale di conciliarle con criterio eclettico, imprimendo loro il suggello della propria forma.

La conciliazione potrà magari essere superficiale, il senso comune prendere il disopra sulla critica più penetrante: ad ogni modo tutto riceve un posto preciso nell'ordine del sistema. Aristotele risponde così al compito che si è assunto come « professore », chiamato a dare ragione di tutto. La sua scienza soddisfa ad ogni modo alle tendenze mentali di coloro che aspirano piuttosto a classificare i risultati e i problemi che a scoprire e sciogliere le difficoltà più profonde. Del resto essa ha anche intrinsecamente più valore per quanto si riferisce alle discipline descrittive e classificatorie.

LE OPERE. — Il contenuto dell'opera aristotelica verrà qui brevemente indicato.

Lasciamo da parte i *Dialoghi*, scritti probabilmente durante la sua permanenza all'Accademia, i poemi e le lettere, di cui rimangono pochi frammenti, per descrivere i trattati scientifici che formano la quasi totalità delle opere a noi pervenute, restando da

aggiungere il libro sulla costituzione ateniese recentemente recuperato, che faceva parte della grande raccolta sulle *Costituzioni*.

Come base dell'edificio si può ritenere l'*Organo*, trattato di Logica, che è rimasto a fondamento di tutti gli sviluppi posteriori su questo soggetto.

L'edificio stesso si svolge a partire dalla *filosofia prima* che indaga la teoria generale delle cause e delle essenze delle cose (Forma e Materia, Atto e Potenza, ecc.) e che ha ricevuto il nome di *Metafisica*. Questo nome designa soltanto la errata posizione che fu attribuita al trattato nell'edizione delle opere aristoteliche di Andronico da Rodi: « i libri che vengono dopo la Fisica ». In realtà, secondo l'ordine del sistema, la metafisica precede tutti gli sviluppi della scienza della natura, i quali sono contenuti nei seguenti trattati:

Physica

De Caelo

De Generatione et Corruptione

Meteorologia

Historia Animalium

De Partibus Animalium

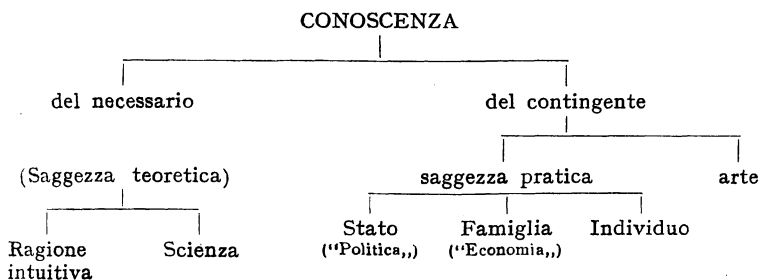
De Generatione Animalium

(gli *Anatomica* sono perduti)

e nel *De Anima*, cui sono uniti i *Parva Naturalia*.

A questi trattati seguono: l'*Estetica*, che si divide in *Retorica* e *Poetica*, e infine l'*Etica* e la *Politica*.

Aggiungiamo che le opere d'Aristotele rispondono ad una classificazione dello scibile sulla quale non ci indugeremo, ma che si può riassumere nel seguente schema di Ross:



LOGICA. — La logica di Aristotele costituisce una sistemazione organica dell'arte del ragionamento: essa attinge da un lato alle riflessioni dei matematici intorno ai principî e all'ordine della loro disciplina, e d'altro lato alle discussioni dei sofisti, in particolare della scuola di Megara: è difficile misurare quale sia in confronto a questi predecessori il contributo proprio dell'autore. Ma è notevole il suo atteggiamento nei riguardi della dialettica platonica; la ricerca delle definizioni viene rimandata all'arte della persuasione, che mira soltanto al verosimile (*topica*), laddove l'ordinamento della vera scienza dimostrativa riceve un trattamento proprio nella cosiddetta *analitica*.

L'autore prende come punto di partenza l'analisi delle forme verbali, cercando attraverso la struttura del linguaggio l'espressione dei modi generali del pensiero (*Categoriae* e *De Interpretatione*). Quindi — negli *Analytica Priora* — analizza e classifica i tipi elementari del ragionamento deduttivo, che vengono ricondotti agli schemi del *sillogismo*; in tal guisa si rende possibile il controllo di una deduzione comunque complicata, scomponendola in successivi passaggi semplici.

La deduzione ha soltanto un valore relativo: per costruire la scienza non basta dedurre, occorre *dimostrare*; su che cosa si fonderà la dimostrazione? Rispondono a questo problema gli *Analytica Posteriora*, spiegando quale sia l'ordine di una scienza dimostrativa, sul modello delle matematiche. La dimostrazione fa capo ai principî della scienza, che si distinguono in:

- 1) *Termini* o definizioni,
- 2) Supposizioni d'esistenza delle cose designate dai termini,
- 3) Proposizioni immediate che occorre necessariamente conoscere per apprendere qualsiasi cosa, le quali (secondo i pitagorici) vengono chiamate *assiomi*; infine anche

4) *Ipotesi* o *postulati*, che si introducono necessariamente nell'insegnamento delle matematiche o anche nella discussione, domandando al discente di ammettere l'esistenza di qualche cosa di cui non abbia un'idea adeguata.

Questa classificazione dei principî è certo dei matematici dell'epoca, e si ritrova negli *Elementi* d'Euclide, dove la distinzione fra assiomi e postulati risulta meglio chiarita al lume del commento di Proclo (411-485 d. C.). Ma ciò che sembra appartenere in proprio ad Aristotele è la concezione che l'ordinamento della scienza dimostrativa risponda a qualcosa di necessario e di naturale: per dir così, i principî sono di diritto divino, e si debbono respingere le opinioni di due specie di avversarî, i quali pretendono:

1) che non vi siano principî, e che la dimostrazione riesca impossibile, dando luogo ad un regresso all'infinito;

2) o, all'opposto, che il procedimento della dimostrazione sia affatto relativo, sicchè i principî possano provarsi partendo dalle conclusioni, così come le conclusioni dai principî: ciò ch'egli dice dar luogo ad un circolo vizioso.

Non ci è dato sapere con sicurezza chi fossero i sostenitori di tali opinioni: abbiamo già accennato alla congettura che la seconda appartenga a Democrito. Comunque, è interessante avvertire che il relativismo logico, più della veduta aristotelica, si avvicina alle concezioni moderne; e che l'idea di giustificare le premesse ipotetiche di una teoria mediante la verifica sperimentale delle loro conseguenze, ha preso una grande importanza con lo sviluppo dell'astronomia e della fisica. Però in Aristotele la veduta dogmatica dell'ordine del sapere si accorda con quei motivi morali per cui in ogni campo egli tendeva a contrastare e a restringere il relativismo della speculazione anteriore.

IDEOLOGIA. — Il concetto della scienza dimostrativa suggerito dalle matematiche appare solo formalmente esteso alle discipline fisiche e naturalistiche. Anzitutto manca la possibilità d'una applicazione propria del pensiero matematico, poichè Aristotele nega che le qualità delle cose possano ricondursi a differenze quantitative secondo la grande veduta pitagorico-democritea.

Il matematico — dice Aristotele nella *Metafisica* — specula sull'astratto, privando le cose dei caratteri sensibili opposti che loro appartengono. Fra le cose e gli enti matematici c'è — per

adoperare un paragone tipicamente aristotelico — la differenza che passa fra « curvo » e « camuso »: questo è un termine che implica la concavità soltanto se può riferirsi ad un naso; quello può definirsi senza riferimento ad alcuna realtà. Negata così la possibilità di applicazione delle matematiche, A. non fa nemmeno il tentativo di dedurre da principî universali la realtà degli oggetti o dei fenomeni individuali. Per lui una siffatta deduzione è a priori impossibile.

Infatti bisogna distinguere ciò che è o accade *per natura*, dai prodotti dell'arte che sono opere dell'*intelligenza* dell'uomo ed anche da ciò che tiene al *caso* e si svolge in un dominio indeterminato, restando per noi profondamente oscuro.

Nella mente del filosofo questi sono tre ordini di realtà sovrapposti: di ciò che è opera dell'arbitrio umano si dà ragione coi fini che l'uomo si è proposto; e analogamente si fa per la natura — a cui si attribuiscono criteri molto umani — e quindi per le grandi classi di oggetti e di fatti che lasciano apparire una regola (sia pure turbata accidentalmente dallo spontaneo e dal fortuito).

Non v'è scienza che del generale. Questa veduta — che noi accogliamo nel senso che le cause semplici producono, per interferenza, complicazioni difficili a valutare — resta per Aristotele un limite teorico della spiegazione scientifica. Poichè questa si riduce ad assegnare le essenze delle cose, cioè a fissare i caratteri delle *Idee* (generi o specie) a cui appartengono, concepite come *cause finali* del loro sviluppo. Il determinismo non ha un valore assoluto: la legge del terzo escluso non si applica agli eventi particolari del futuro.

Per intendere il concetto aristotelico convien riportarsi alla reazione di Socrate contro i naturalisti. Socrate chiedeva che ciò che esiste o avviene nel mondo si spieghi, non già mediante cause meccaniche, ma con l'idea del Meglio, presa in senso relativo all'uomo. Questa veduta è adottata da Platone in un senso più largo. L'intero sistema delle Idee, che costituisce il mondo intelligibile, fa capo all'idea del Bene: principio estetico di armonia universale, che supera di gran lunga la ristretta misura dell'utile umano.

In un primo significato codesto principio sta soltanto a limitare le possibilità del reale, subordinandole a leggi matematiche semplici. Ma tale concetto pitagorico vien già superato nel *Fedone* da una veduta più estesa per la quale si spiega, non soltanto l'essere, ma anche il divenire delle cose, e particolarmente di quelle che vivono, ravvisando nell'Idea, o tipo della specie, la norma dello sviluppo degli individui.

Non è qui il luogo per approfondire le idee direttive dell'opera aristotelica. Basterà dire che Aristotele ha della scienza un ideale deduttivo, ispirato in gran parte alla veduta della finalità dominante i fenomeni della vita. La sovrapposizione di questo concetto teleologico alla spiegazione meccanica costituisce il carattere più saliente della fisica e della cosmologia aristotelica; e da esso in gran parte dipende che spesso le spiegazioni aristoteliche in questo campo riescano erronee o anche puramente verbali.

Come esempio ricordiamo la teoria del moto, che parte anzitutto dalla distinzione fra il mondo incorruttibile delle stelle, e il mondo sublunare, luogo delle cose che nascono e muoiono. I cieli stellati si muovono di vari moti naturali circolari che fanno capo al Primo Motore immobile: e l'autore tenta di combinarli in modo da spiegare le apparenze irregolari del moto dei pianeti, secondo lo schema delle *sfere omocentriche* di Eudosso di Cnido. Invece nel mondo sublunare si tratta di spiegare da una parte il moto naturale dei gravi che tendono verso il basso o piuttosto verso il centro della terra, e quello dei leggeri che tendono all'alto o alla superficie terminale; e d'altra parte il moto violento dei corpi lanciati.

Il moto naturale viene spiegato da Aristotele come tendenza dei corpi al *proprio luogo*, mentre la prosecuzione del moto violento, in seguito ad impulso ricevuto, sembra all'autore doversi ad una spinta del mezzo ambiente: nel vuoto un moto siffatto dovrebbe riuscire impossibile. Ed Aristotele ci dà a questo proposito una vigorosa polemica contro Democrito, assumendo a priori come assurda la continuazione indefinita del moto, che è appunto il principio d'inerzia scoperto dall'Abderita.

La costruzione generale di Aristotele, specialmente per quanto

riguarda la fisica, si può esprimere dicendo che egli dà una metafisica del senso comune, sovrapposto alla fisica delle apparenze. Perciò gli scienziati del Rinascimento hanno avuto a combattere questa costruzione da un duplice punto di vista, sia approfondendo le esigenze razionali del pensiero matematico, sia sfidando gli scolastici discepoli d'Aristotele a spingere più avanti l'appello alle verifiche sensibili, affrontando il cimento di una ragionata esperienza.

LA STORIA NATURALE. — Da ciò che precede appare quanto manchi ad Aristotele, anche in confronto a Democrito, per quel che riguarda il concetto di una scienza razionale qual è la teoria fisico-matematica, intesa ad esprimere con *leggi generali* le possibilità dei fenomeni. Ma non sarebbe giusto limitare il nostro giudizio a questo aspetto del sapere, senza accennare al campo in cui egli rivela la sua propria grandezza, che è quello della *storia naturale*, e specialmente della sistematica zoologica.

È chiaro anzitutto che l'osservazione sensibile e il rispetto ai fatti, in contrasto con lo spirito delle costruzioni a priori, doveva dare il miglior frutto nello studio dei viventi; e che qui anche l'intuizione finalistica trova un impiego più utile.

Infatti la disposizione anatomica degli organi, non meno che i fenomeni fisiologici, appaiono rivolti allo scopo ben definito della conservazione e dello sviluppo della vita. Non si può contestare che « la natura accorda sempre ciascun organo, o solo o più sviluppato, a quegli animali che se ne possono servire, come le zanne, i denti, le corna, gli sproni e tutte le altre parti che servono per la salvezza o per la lotta », o che gli animali reagiscono in generale agli stimoli nel senso della loro utilità organica.

I libri di Aristotele sugli animali sono la prima opera zoologica nel senso scientifico, ed altresì la più perfetta che ci abbia lasciato l'antichità: si è detto da naturalisti autorevoli che non è stata superata per giustezza e per abbondanza d'osservazioni, nè per l'intelligente sistematica, fino ai tempi moderni; tanto che, per trovare un vero progresso, occorre giungere ad Aldrovandi, a Gessner e a Linneo.

È difficile precisare quanta parte di questa scienza sia frutto della ricerca personale di Aristotele: chè in questo campo egli non solo ha usufruito dei precedenti indagatori, bensì anche ha raccolto largamente le conoscenze popolari. Ma si deve fare un merito allo Stagirita di avere combattuto un pregiudizio che — malgrado l'esempio di uomini come Empedocle e Democrito — pare fosse allora comune fra i filosofi contemporanei. In un brano rimasto celebre, egli segnala l'importanza e dignità della ricerca naturalistica, quasi giustificando il suo ardire di farne oggetto di considerazione filosofica. Il suo stile abitualmente piano e dimesso assume ad un'ampiezza che rivela l'intimo fervore:

« Delle cose che sono in natura, alcune sono ingenerate ed immortali per tutti i secoli, altre partecipi del nascere e del perire. Ma codesta parte nobile e divina meno ci è dato contemplare, in quanto assai poco di essa è accessibile ai nostri sensi.... mentre le cose mortali, come le stirpi e gli esseri animati, che ci sono vicine e familiari, possiamo conoscerle più pienamente, in quanto chiunque abbia voglia di indagare a fondo può studiare molti esemplari di ciascun genere. Sia l'uno che l'altro studio ci attira: ma poichè [delle cose celesti] abbiamo già trattato, e abbiamo dato la nostra teoria, ci rimane da discorrere della natura animata, nulla tralasciando, secondo le nostre forze, nè di ciò che è più vile, nè di ciò che è più nobile; poichè anche nelle parti men grate al nostro senso, l'artefice natura largisce delle gioie non meschine (*ἀμύχανον*) a chi sappia intender le cause ed abbia mente filosofica. Sarebbe infatti assurdo e irragionevole, se dovessimo provare maggior piacere a contemplare le immagini di tali cose, quando siano prodotte dall'arte pittorica o dalla plastica, che non a contemplare le cose stesse, costruitesi naturalmente: poichè allora ci è dato anche scorgere l'operazione delle cause. Non bisogna dunque disprezzare, come farebbero dei bambini, lo studio degli animali inferiori; in tutte le cose della natura vi è del meraviglioso: e come si narra dicesse una volta Eraclito a certi che eran venuti a visitarlo, ed esitavano vedendolo intento ad asciugarsi vicino al fuoco, e lui li invitò ad entrare di buon animo, poichè anche lì, disse, erano gli dei: allo stesso modo dovremo noi accingerci senza ripugnanza allo studio di ciascuno degli animali. In ciascuno di essi appare la bellezza naturale, poichè son costruiti per opera della natura in modo che nulla sia fatto a caso, ma ogni cosa invece in vista di qualche scopo: e il fine in virtù del quale è o si compie qualche cosa ha funzione di bellezza ».

Certo assai prima di Aristotele le scienze naturali avevano dovuto formare oggetto di studio, specie in relazione alla biologia

dell'uomo e agl'interessi della medicina (cfr. cap. XV). ALCMEONE di Crotone, medico appartenente alla scuola pitagorica, aveva cominciato a rendersi conto, con la dissezione, della struttura degli animali; e la farmacopea contenuta nelle parti più antiche della collezione ippocratica ci rivela una notevole conoscenza di piante, sia locali che straniere.

D'altra parte ERODOTO di Alicarnasso (484-428) aveva espressamente avvalorato, in confronto all'ideale razionalistico, quella scienza descrittiva il cui programma si esprime in una grande inchiesta (« *historia* ») sulle cose e sui fatti che possono soddisfare la curiosità o gl'interessi degli uomini. La sua geografia recava invero molte notizie sugli animali e sulle piante, ma spesso fuori della realtà, riprendendo il favoloso delle leggende locali.

Un senso più realistico si trova piuttosto fra i pittori e specialmente fra quelli (detti *zoographoi*) che s'indugiavano a ritrarre antilopi e uccelli, e soprattutto numerose varietà di pesci, notando con gran cura i particolari del corpo.

Di così abbondante materia familiare al comune del popolo, non risulta che la scienza traesse molto profitto. La prima trattazione sistematica l'abbiamo in un libro di medicina pratica, il *De Dieta*, che fa parte della collezione ippocratica (vedi Cap. XV). Dopo l'introduzione teorica, si viene a trattare della natura dei cibi: e a questo proposito si dà una lista ordinata di animali commestibili, disposti per gruppi. I rettili e gli insetti mancano del tutto. Si è chiamata questa la *classificazione coica*; è un nome un po' ambizioso per un semplice elenco. I mammiferi sono divisi in domestici e selvaggi: e questi ultimi si trovano enumerati per ordine di grandezza. Poi vengono gli uccelli (terrestri ed acquatici) e finalmente i pesci. Questi sono rappresentati da non meno di venti specie, su un totale di 50; si dividono in: a) pesci di spiaggia; b) pesci d'alto mare; c) pesci cartilaginei (ora diremmo selaci); d) pesci abitatori del limo; e) pesci d'acqua dolce. Caratteristica in questo sistema è la distinzione dei pesci dagli altri vertebrati, e di questi dagli invertebrati.

Un tale schema è ben poca cosa, non solo rispetto a quello che

si trova in Aristotele, ma anche in confronto alle ricerche sull'anatomia e fisiologia dell'uomo, quali sono esposte nelle opere contemporanee. Pure, spigolando nel Corpo ippocratico, si incontrano molte osservazioni e riflessioni acute di biologia generale: specialmente speculazioni sull'embriologia, sull'eredità ecc., che si proseguono nei più vicini precursori del filosofo, come Democrito, osservatore anche più acuto di Aristotele per certe parti delle forme viventi.

Aristotele ha rimeditato e personalmente valutato tutto ciò che nelle discipline biologiche era stato fatto dai suoi predecessori e specie dai medici, talvolta anche rifiutando conquiste positive: per esempio il « primato » del cervello come organo della sensazione, già riconosciuto fin da Alcmeone e da Ippocrate di Coa. Ma il valore scientifico della sua biologia viene dalla infinita pazienza e meticolosità con cui egli ha raccolto e vagliato i dati fornitigli dal popolo per la sua vasta *Storia degli animali*, nulla trascurando e nulla stimando troppo umile o insignificante. Aristotele sapeva che vi è più di una specie di pesci che si costruiscono il nido, mentre Cuvier ne conosce ancora una sola: sapeva che il tuorlo dell'uovo si liquefa durante l'incubazione; sapeva perfino — e certo pochi si curerebbero di saperlo — per che verso la gallina deponga l'uovo. *Prudens quaestio dimidium scientiae*.

È impossibile d'altra parte, quando si segua il popolo, non cadere in errori gravi. Allo Stagirita accade spesso di accogliere senza critica talune opinioni tradizionali, talvolta leggendarie. Citiamo, per esempio, le capre che respirano per le orecchie, l'avvoltoio fecondato dal vento, il cervo catturato con la musica, la salamandra che resiste al fuoco; e poi animali e piante favolose, come l'unicorno, il cordilo, la mandragora. Alcuni di questi sono espressioni allegoriche degli arcani religiosi d'Egitto, e si ritrovano più tardi in Horapollo, il sacerdote egiziano dell'epoca alessandrina. Errori più strani sono quelli che contraddicono direttamente alle più ovvie osservazioni. Così per esempio: che l'uomo soltanto proverebbe dei battiti di cuore, che gli uomini avrebbero più denti delle donne; che il cranio della donna, contrariamente a quello dell'uomo, avrebbe una sutura circolare, ecc.

Sui pesci e sui molluschi in ispecie Aristotele ha un mondo di cose da dirci: e le sue dissezioni rivelano particolari che furono poi ritrovati solo da Cuvier: per esempio, l'embrione di seppia che si sviluppa in contrasto apparente con quanto avviene nel pulcino, « con la testa attaccata al tuorlo »; o la *placenta vitellina* che si trova in certi squali. Ma vi è un altro particolare che lo stesso Cuvier non ha saputo afferrare. In certi cefalopodi, al momento della fecondazione uno dei bracci si allunga, e diventa un cordone attorto, che viene introdotto nella cavità del mantello della femmina. Cuvier lo aveva preso per un verme parassita, ma Aristotele lo descrive correttamente.

È stato detto con giustezza, che una tale opera d'insieme non può essere che una « somma » d'osservazioni anteriori. Ma questo non vuol dire che Aristotele stesso non vi abbia contribuito personalmente: e il modo in cui sa raccogliere i dati rivela in lui un maestro.

Il problema fondamentale della biologia aristotelica è la classificazione dei viventi. Questo ordinamento ha per il sistema un senso filosofico come *scala naturae*, in cui tutti gli organismi compongono una gerarchia di forme, che ha per sommo vertice l'uomo. Il sistema va inteso in senso statico, escludendo ogni evoluzione dalle forme inferiori alle superiori. Ma l'ordine ideologico si ritrova nello studio particolareggiato e comparativo degli organismi salendo induttivamente alla teoria dalle osservazioni di fatto. Qui Aristotele ha affacciato diversi criteri di classificazione: ed ascriviamo a suo merito di avere posto alcune esigenze fondamentali, anche se queste si presentino fra loro in parte discordi, l'ideale logico venendo sovrappreso dalla molteplicità dei dati.

Così egli tratta una volta degli animali nella loro individualità ordinandoli secondo la perfezione delle forme, e descrivendone le abitudini; un'altra volta dei diversi organi e delle loro correlazioni, procedendo nell'ordine di queste, e studiando in via subordinata gli animali che le possiedono; qui ritroviamo la nostra « morfologia comparata ». Le *Parti degli animali* sono dunque un seguito, dire-

mo quasi la sistemazione scientifica, della *Storia degli animali*. Ma vi è ancora un'altra via: chè si può discorrere delle grandi funzioni (o azioni, o potenzialità) dell'organismo e ricollegarle quindi alle parti che in ogni creatura sono a ciò destinate. Abbiamo quindi la serie dei trattati di Fisiologia: i *Parva Naturalia*, sulla *Respirazione*, sull'*Incesso*, sul *Sonno e la Veglia*, e finalmente il più erudito, il più forte di tutti, il grande trattato sulla *Generazione degli animali*.

Così è tracciato il grande quadro della scienza biologica: che per il filosofo mette capo alla ricerca dell'essenza della vita, nel *De Anima*.

Il principio teleologico, nel senso più largo, è applicato da Aristotele sistematicamente. Nel *De Partibus Animalium*, egli s'innalza alla bella veduta di una legge di compensazione organica, quella stessa riproposta ai tempi nostri da Geoffroy St. Hilaire, e che egli sviluppò con ampiezza di esempi: gli *anaima* (senza sangue) hanno umori al posto del sangue; i peli dei quadrupedi corrispondono alle penne degli uccelli, alle scaglie dei pesci. Le branchie dei pesci sono analoghe ai polmoni. E se una parte del corpo ha sviluppo preponderante, questo dovrà aver luogo a spese di un'altra parte:

« Dappertutto la natura rimette da una parte ciò che toglie dall'altra.... Essa non può spendersi ugualmente da due parti ». Per esempio lo sviluppo delle chele in certi granchi si fa a scapito delle zampe.

Nel *De Partibus Animalium* si trovano ancora le leggi seguenti:

- a) Divisione del lavoro fisiologico;
- b) La complessità della vita varia con la complessità della organizzazione;
- c) Nessun animale ha più di un mezzo di difesa veramente efficace;
- d) Nessun insetto dittero è munito di pungiglione;
- e) L'attività di crescita e l'attività generativa stanno fra loro in proporzione inversa;

f) Lo sviluppo dell'embrione va dall'omogeneo all'eterogeneo;

g) Lo sviluppo è un passaggio dalla forma generale a quella speciale.

S'intuisce quale somma di osservazioni intelligenti si asconda nella formulazione di leggi simili.

IL LICEO. — Gli allievi che si raccolsero attorno ad Aristotele nel Liceo costituiscono, insieme col maestro, la prima grande scuola di eruditi. Primo scolarca dopo Aristotele fu TEOFRASTO, che continuò il lavoro del maestro nel campo delle scienze naturali, coltivando la botanica e la mineralogia, secondo uno spirito sempre più positivo. A Teofrasto successe STRATONE di Lampsaco, il quale si discostò più radicalmente dall'ortodossia peripatetica per riavvicinarsi a Democrito: rifiutava infatti le cause finali per attenersi alla causalità meccanica, e non credeva ai « luoghi naturali ».

Questi che abbiamo nominato, insieme a EUDEMO lo storico delle matematiche, ad ARISTOSSENSO il musico e a DICEARCO il geografo, sono i più eminenti discepoli della scuola peripatetica. In epoca posteriore meritano speciale ricordo: Andronico da Rodi (circa 70 a. C.) che ha riordinato gli scritti d'Aristotele; e poi i commentatori: Alessandro d'Afrodisia, nel III secolo dell'e. v., Giovanni Filopono e Simplicio nel VI secolo.

Il Liceo ha certo esercitato grande influenza come centro organizzatore degli studi scientifici e storici e dell'insegnamento; in confronto dell'Accademia esso doveva sottomettere gli allievi ad un più stretto ordine di lezioni, dando l'esposizione dogmatica delle diverse discipline: è quanto di più somigliante offre il mondo antico alle Università moderne. Servì anche di modello all'istituto scientifico che si fondò ad Alessandria, e che Stratone fu chiamato a dirigere. Si imitarono nel nuovo centro la biblioteca (di cui vuolsi anzi che il primo nucleo fosse formato dalla libreria d'Aristotele), le collezioni e il sistema organizzato per cui gli sforzi dei ricercatori si aiutano e si completano a vicenda.

L'ETÀ ELLENISTICA

E LO SVILUPPO DELLE SCIENZE PARTICOLARI

Il secolo che ha dato, con Aristotele, l'enciclopedia del sapere, ha pur veduto iniziarsi la differenziazione delle scienze particolari. A poco a poco si comincia a comprendere che taluni ordini di problemi — p. es. nelle Matematiche, nell'Astronomia, nella Medicina — possono trattarsi indipendentemente dalla pretesa di una spiegazione metafisica universale, sulla base di semplici intuizioni, traducibili in principii più precisi. D'altronde il volgersi della filosofia agli scopi morali, allontanandosi dalla scienza della natura, viene ad avvalorare i motivi teorici e tecnici che promuovono il particolarismo scientifico.

Il processo di differenziazione, che si vede già in atto nel IV secolo a. C., riesce a darci la più alta sistemazione delle diverse discipline, durante l'età ellenistica, sicchè la storia delle singole scienze assume il suo vero significato in rapporto agli sviluppi di questa età: della quale conviene anzitutto ritrarre i caratteri generali.

XII.

Il mondo ellenistico.

Un intellettuale del tempo di Pericle avrebbe potuto pensare che l'avvenire dell'umanità era ormai assicurato. Il libero fiorire dell'arte e della letteratura, la libera speculazione che affrontava

vittoriosamente i più alti problemi, la libera esplicazione dell'attività politica del cittadino nel quadro dello Stato-città, sembravano ormai patrimonio comune, inalienabile, del mondo ellenico: palladio di civiltà sempre riconosciuto, malgrado ogni alterna vicenda di passioni e di eventi, dalle cento città della Grecia.

E anche dopo gli errori e le sciagure della guerra peloponnesiaca, Platone e Aristotele avevano serbato qualcosa della fede dei loro padri: sebbene, delusi e maturati dalla dolorosa esperienza, disegnasse il primo un governo di filosofi, e cercasse il secondo di ricavare dallo studio comparato delle costituzioni greche quella formula d'equilibrio fra libertà e autorità che si potesse in qualche modo imporre alla incurabile follia dei concittadini.

Ma contro i fati che urgevano, vane erano state le nostalgie dei dotti come le irruenti invettive di Demostene. Un « semibarbaro », Filippo di Macedonia, aveva saputo imporre con la spada la sua soluzione egemonica. Sul campo di Cheronea (338) si era infranto l'ultimo sforzo delle libertà cittadine. Le insanabili atroci discordie delle città greche avevano avuto un termine nella comune servitù: lo Stato urbano cedeva allo Stato territoriale.

Con la fulminea conquista dell'impero persiano, Alessandro era poi venuto a spalancare alla Grecia le porte dell'Asia.

Nel breve periodo del suo impero (336-23) il giovane conquistatore si era sforzato con ogni mezzo di fondere l'elemento greco-macedone col persiano in maniera durevole. « Quello che Zenone di Cizio predicava — dice Plutarco — Alessandro attuò. Infatti, non come Aristotele gli aveva consigliato, trattando i Greci da egemoni e i Barbari da despota, e degli uni prendendo cura quali familiari ed amici e gli altri forzando come bruti o come piante, riempì il suo impero di molte guerre e di esili e di nascoste fazioni discordi, ma, persuaso di esser venuto per volere divino come ordinatore e conciliatore del mondo.... insieme conferendo i più disparati elementi come in un cratere d'amicizia, e mischiando le vite i costumi le nozze e le diete, a tutti impose di considerare patria la Terra ».

La morte immatura di Alessandro (323) lasciò l'opera incom-

piuta; e dopo un periodo di sanguinosa confusione (323-277), l'impero si trovò ripartito in modo più o meno stabile in pochi grandi aggruppamenti, sotto le dinastie fondate dai generali macedoni che avevano seguito il Conquistatore: gli Antigonidi in Macedonia, i Seleucidi in Asia, e in Egitto i Tolomei.

Il mondo greco era ormai profondamente trasformato.

Gli avventurieri in grande stile come Lisimaco, Cassandro, Antigono, Demetrio Poliorcete, che per anni desolarono il mondo greco, avevano diffuso gli usi e l'ambiente della regalità orientale: il fasto, gli intrighi, la politica di palazzo, tutto un nuovo ordine di concezioni sociali. E mentre le vecchie e robuste colonie d'Italia, con a capo Siracusa, restano tenacemente attaccate alle tradizioni, sorgono in Oriente centri di prosperità opulenta, ma di grecità assai dubbia: Pergamo, Laodicea, Apamea, Antiochia, Seleucia, la nuova Efeso; e in Egitto il grande emporio del commercio mediterraneo, l'Alessandria dei Tolomei.

I nuovi regni dell'Oriente ellenistico erano grandi potenze nel senso moderno, disponevano di mezzi che possono paragonarsi ai nostri. Il più piccolo di essi, la Macedonia, era quattro volte più esteso della massima confederazione del IV secolo, la Lega peloponnesiaca.

I principi dei nuovi regni avevano così agio di sviluppare una politica conforme alle loro ambizioni. Desiderosi di consolidare il potere, intraprendevano grandi lavori pubblici, radunavano intorno a sè il fiore dell'arte e della tecnica greca. Le Corti di Alessandria, di Pergamo, di Antiochia divenivano centri di coltura e di splendore. Fioriva e si affermava in esse quell'arte sofisticata e movimentata, che è come il barocco del mondo antico.

Fra tutte primeggiava Alessandria. Tolomeo I Soter, grande politico ed accorto statista, si era impadronito dell'Egitto sin dal 323, ed aveva saputo tenerlo stretto in tutto il periodo delle guerre di successione. L'Egitto era il paese più ricco e popoloso del bacino mediterraneo.

Tolomeo seppe conferire alla sua capitale uno splendore pari all'importanza, chiamandovi architetti, artisti, scienziati, letterati da

ogni parte della Grecia. Sotto la direzione di Demetrio del Falero, di Zenodoto grammatico e di Stratone di Lampsaco (v. pag. 144) sorsero il « Museo » dove potevano vivere e insegnare i dotti, e la Biblioteca in cui si concentrava tutto il materiale scientifico e bibliografico che era divenuto ormai necessario alle discipline particolari. Nel 48 a. C. essa conterrà già 700.000 volumi.

In quest'ambiente, e secondariamente in altri grandi centri della vita ellenistica sotto la protezione delle Corti, il genio greco fiorisce nelle sue più compiute creazioni scientifiche: in particolare i grandi trattati di geometria e d'astronomia restano modelli di perfezione nei secoli. E accanto al magnifico sviluppo della scienza teorica, si compiono anche vaste opere d'erudizione e di sistemazione del sapere, come la geografia d'Eratostene, mentre si organizzano anche gl'insegnamenti tecnici, nelle scuole di alcuni grandi ingegneri, come Erone e Ctesibio. I mezzi economici di Alessandria soccorrono naturalmente a tutto ciò.

Ma chi voglia comprendere i motivi di questa superba fioritura è tratto a guardare, oltre l'ambiente esterno, le condizioni intime del lavoro degli studiosi: come abbiamo detto, dimesse le pretese universalistiche, il pensiero si circoscrive ora entro campi di ricerca precisi e — sulla base di semplici postulati — riesce a rispondere a problemi determinati. Così il distacco dalla filosofia sembra una liberazione della scienza che, proprio per aver rinunciato a conoscere la natura delle cose, acquista consapevolezza del suo reale oggetto e forza di attingere i più importanti risultati positivi.

In pari tempo i larghi mezzi di studio, i più frequenti contatti degli studiosi riuniti nel Museo, e la pratica dell'insegnamento che disciplina insieme maestri e scolari, concorrono al formarsi d'una scuola nel senso moderno: non più scuola filosofica che riceve impulso dall'idea metafisica d'un Capo, ma scuola scientifica in cui intelligenze diverse accomunano i loro sforzi, creando e conservando la tradizione del metodo.

Nondimeno è facile immaginare che questi motivi mal possano bastare per lungo tempo a mantenere il progresso della scienza, se l'interesse dei problemi non si riaccenda per una sempre viva vi-

sione filosofica, e il lavoro della classe ristretta degli studiosi non tragga alimento da una soggiacente cultura del popolo. In tali condizioni non può sorprendere che i fiori rapidamente sbocciati del genio scientifico vengano presto ad appassire: isterilendosi l'immaginazione, in cui germina la curiosità della ricerca creatrice, venendo meno l'ardire dell'intuito divinatorio (che è, in certo modo, l'eroismo del pensiero), l'intelletto rischia di chiudersi e disseccarsi nella esigenza di quel rigore, che pure forma, in principio, la garanzia di solidità delle sue costruzioni. Nell'atteggiamento della scuola matematica di Alessandria verso i geniali metodi inventivi di Archimede, e nello spirito critico un po' arido d'Ipparco, si possono scoprire i primi segni della decadenza che già nel secondo secolo a. C. sta per succedere alla grandezza della scienza ellenistica.

Infatti lo splendore d'Alessandria non deve trarci in inganno. Le fonti della vita greca sono ormai inaridite. Sono venuti meno i motivi intellettuali profondi, coevi alla stirpe; la visione tragica, l'ispirazione poetica, la costruzione filosofica. Per ogni opera umana, e tanto più nel dominio della intelligenza, fermarsi significa immancabilmente decadere.

Al declinare del genio ellenico concorrono molti fattori: le stragi delle guerre d'egemonia, la denatalità, e soprattutto l'abbandono della terra. La coltura greca era di origine essenzialmente regionale ed agraria. Il cittadino piccolo proprietario e agricoltore, la sua vita, il suo culto inseparabili dalla terra natia. A questo forte fondo rurale attingevano sempre fresche energie le colonie sciamate in terra d'oltremare, e fiorenti di nuova civiltà.

L'emigrazione che segue le conquiste d'Alessandro è tutt'altra. La campagna greca è ormai spopolata; l'urbanesimo e la schiavitù hanno compiuto la loro opera deleteria. Dalla vita della piccola *polis*, così individuale e fortemente differenziata, si è passati a una turba cosmopolita, senza fedi nè leggi, a una società che è ovunque la stessa, da Siene a Trebisonda, dalla Mesopotamia a Marsiglia. I successori di Alessandro popolano l'Asia di istituzioni municipali, ginnasi, accademie e scuole di retorica; ma queste forme esterne e artificiali non possono rifare la gente: servono solo ad uccidere quel

che rimaneva delle culture precedenti, e a popolare le menti di ibridi connubî d'idee e di nozioni mal digerite. La stessa ricchezza e potenza dei grandi centri ellenistici — e più tardi della Roma imperiale — sono causa della rapida rovina del mondo antico, che si palesa anzitutto nello stesso ordine economico.

Verso la metà del II secolo, sotto la tirannia di Tolomeo Fisonne, la scuola d'Alessandria perde il suo primato. La cultura scientifica trova per qualche tempo un nuovo centro a Rodi. La visione di più larghi orizzonti, nel mondo che i Romani hanno impresso ad unificare, sembra suscitare un risveglio del pensiero: ma è rinascenza effimera, e piuttosto movimento di divulgazione che approfondimento del sapere.

Nel quadro dell'impero romano, durante i primi tre secoli dell'era volgare, si conserva apparentemente intera la tradizione e l'intelligenza delle opere scientifiche; e gli stessi Romani si sforzano di comprenderne e adoperarne i risultati. Ma la virtù creativa era spenta, e non poteva riaccendersi in un ambiente estraneo al genio di contemplazione artistica che era stato l'anima dell'ellenismo. A grado a grado si rivela che le menti divenute incapaci di creare non sanno più nemmeno comprendere. Ancora pochi secoli e la tradizione sarà spezzata.

XIII.

Le matematiche.

Abbiamo veduto che la scuola pitagorica ha sviluppato rapidamente, in poco più d'un secolo, il corpo delle dottrine che Ippocrate di Chio raccoglieva nel primo trattato scritto sugli Elementi della Geometria. Qui appaiono conosciute, in sostanza, tutte le proprietà fondamentali che Euclide esporrà nei sei libri planimetrici dei suoi « Elementi », e che anche oggi costituiscono la Geometria elementare del piano. Ma assai diverso apparisce l'ordine dell'esposizione: certo le « proporzioni » non dovevano essere trattate in modo rigoroso, per quel che concerne il caso incommensurabile; e così — messa da parte questa difficoltà — potevano venire adoperate anche per la dimostrazione di teoremi che più tardi si è stimato conveniente rendere indipendenti da codesta teoria.

Frattanto i geometri incontravano anche problemi d'ordine superiore, come la *duplicazione del cubo* e la *trisezione dell'angolo*, e il più celebre di tutti: la *quadratura del cerchio*.

Narra un alessandrino:

« Quando il dio annunziò ai Delii per mezzo dell'oracolo che se volevano liberarsi dalla peste, dovevano costruire un altare che fosse doppio di quello esistente, i loro artefici vennero in grande perplessità, non sapendo trovare il modo di costruire un solido doppio di un altro simile. Andarono quindi a chieder consiglio a Platone; e questi rispose spiegando il significato dell'oracolo: non già che il dio volesse un altare due volte più grande, ma che, indicando ai Greci un tale compito, voleva far loro vergogna della loro ignoranza delle matematiche e del

loro disprezzo per la geometria ». Si vuole, aggiunge lo scoliaste, che Platone suggerisse loro di rivolgersi a Eudosso ed Elicone.

Da questa leggenda in cui rivivono le origini rituali della geometria, è venuto al problema della duplicazione del cubo il nome di problema di Delo. In ogni caso le leggende testimoniano della celebrità presto acquisita da un problema che si affaccia come analogo alla duplicazione del quadrato, ma non può essere risolto, come questo, col semplice uso della riga e del compasso.

IPPOCRATE DI CHIO riportò la difficoltà dallo spazio al piano riconducendo la ricerca della duplicazione, o in generale della moltiplicazione del cubo, all'inserzione di due medie proporzionali fra due segmenti a e b : se infatti si trovino due segmenti x e y per modo che

$$a : x = x : y = y : b,$$

resulta

$$a : b = a^3 : x^3 \text{ cioè } x^3 = a^2 b;$$

in particolare prendendo $b = 2 a$,

$$x^3 = 2 a^3$$

Con ciò il problema è soltanto trasformato e niente affatto risoluto. Noi sappiamo oggi perchè la risoluzione di esso sia impossibile, nel senso della Geometria elementare, cioè adoperando soltanto le costruzioni della riga e del compasso; ma di questa impossibilità i Greci stessi ebbero almeno l'intuizione, poichè li vediamo ricorrere a costruzioni (curve o superficie) più elevate. Per esempio, essi ottenevano la duplicazione del cubo (e la trisezione dell'angolo) mediante le cosiddette *inserzioni*; dove si tratta di mandare per un punto dato una retta su cui due linee date (rette o cerchi) intercettino un segmento di lunghezza data. ARCHITA di Taranto immaginò per lo stesso scopo una costruzione spaziale; IPPIA d'Elide risolse il problema della trisezione dell'angolo mediante una curva, che fu detta poi *quadratrice*, perchè vale anche ad effettuare la quadratura del circolo.

Il risultato più importante dello studio degli indicati problemi,

fu la considerazione delle curve che si ottengono come *sezioni coniche*, cioè segando con un piano un cono di rotazione. I nomi con cui anche oggi si distinguono queste curve — *ellisse*, *iperbole* e *parabola* — ci vengono da APOLLONIO di Perga che — nel III secolo a. C. — ne sistemò la teoria; ma le origini di questa risalgono a MENECEO nel V secolo; e, prima di giungere ad Apollonio, molti geometri la elaborarono: in particolare Euclide ed Aristeo.

Lo spirito di rigore dei matematici greci, che si alimenta e si esprime colla filosofia platonica, ha dato luogo ad un movimento critico, cui partecipano molti uomini lavorando nei circoli scientifici dell'Accademia. Tra questi grandeggia EUDOSSO di Cnido (celebre anche per la sua descrizione del moto dei pianeti mediante le cosiddette *sfere omocentriche*), il quale ha dato assetto logico alla questione degl' incommensurabili, e così ha fondato la teoria generale delle *proporzioni*, e fornito la dimostrazione rigorosa dei primi teoremi su aree e volumi che non si ottengono col semplice criterio della somma o differenza di figure congruenti: per tale scopo escogitando il cosiddetto *metodo d'eshaustione*. In sostanza Eudosso supera la difficoltà dell' infinito, mostrando che le aree o i volumi paragonati, (per esempio i volumi di piramidi o di coni o cilindri con basi ed altezze eguali che non appaiono somme di un numero finito di parti congruenti) non possono essere l'uno *maggiore* dell'altro, riuscendo assurdo che vi sia una differenza; perchè nei casi di cui si tratta fa vedere che questa (che è una grandezza fissa, e per ipotesi non nulla) dovrebbe essere piccola quanto si vuole.

Il frutto del movimento critico del IV secolo fu raccolto da EUCLIDE che, ad Alessandria, verso il 300 a. C. scrisse i suoi famosi « *Elementi* »: libro classico che offre un ordine d'esposizione quasi perfetto e rivela bellezze e finezze meravigliose, ond'è rimasto come modello della trattazione geometrica attraverso i secoli, e fino ai nostri giorni.

Per un altro verso le questioni trattate da Eudosso, che cadono nell'ambito dell'*Analisi dell'infinito* dovevano ricevere uno svol-

gimento da ARCHIMEDE di Siracusa (287-212 a. C.) che ha lasciato lavori impareggiabili sulla misura del rapporto fra la circonferenza e il diametro ed è riuscito a determinare il volume e la superficie della sfera.

Quest'uomo straordinario è forse il genio matematico più alto che sia comparso nei secoli; e le matematiche intese, non solo come pura speculazione teorica, sì anche in rapporto alle applicazioni tecniche, trattando, accanto alla geometria, la Statica: i problemi d'equilibrio delle macchine semplici, e quelli che concernono i corpi pesanti immersi in un liquido. La spinta che il corpo immerso riceve dal liquido (il cosiddetto *principio d'Archimede*), vuolsi sia stata scoperta da Archimede in occasione d'una frode commessa ai danni del re di Siracusa: la corona d'oro, data a riparare ad un orefice, era stata restituita sostituendo parte del metallo con un peso eguale d'argento. Il re insospettito ricorse al sommo geometra che trovò il modo di riconoscere la frode, osservando che un corpo di dato peso immerso nell'acqua diminuisce di peso in ragione del suo volume, (secondo la misura che si definisce come *peso specifico*): così l'oro diminuisce di $1/19$ e l'argento di $1/10$. Narrasi che questa idea sia venuta ad Archimede nel bagno: sorpreso della propria scoperta egli sarebbe balzato fuori, gridando « Eureka! » (ho trovato!).

Molte altre leggende si legano alla memoria del grande siracusano: in particolare quelle che traggono origine dalla strenua difesa ch'egli fece della patria assediata dai Romani. Nonostante questa difesa il console Marcello riuscì a prendere la città nel 212 a. C. Egli aveva dato ordine di salvare la vita di Archimede, che altamente ammirava, ma un soldato — dicesi — lo uccise senza riconoscerlo, poichè intento a tracciare figure sopra la sabbia, non avrebbe risposto alla sua parola.

EUCLIDE, ARCHIMEDE ed APOLLONIO, nel III secolo a. C., portarono le matematiche greche ai più alti fastigi, lasciando opere immortali da cui la scienza moderna doveva riprendere i suoi progressi. Tuttavia le matematiche continuarono ad essere coltivate du-

rante l'epoca ellenistica. Si citano in particolare Nicomede inventore della curva detta *concoide* e Diocle inventore della *cissoide* che servono per la risoluzione dei problemi di 3° grado; Ipsicle che aggiunse un 14° libro ai 13 degli « Elementi » d'Euclide; Zenodoro, autore dei problemi sugli *isoperimetri*; ERONE, il meccanico, che ha dato la nota formula esprimente l'area d'un triangolo di lati a, b, c

$$\left(\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)} \right) \quad p = \frac{1}{2}(a+b+c)$$

Convieni anche ricordare che il *calcolo delle corde* degli archi circolari presso gli astronomi IPPARCO (c. 150 a. C.) e CLAUDIO TOLOMEO (c. 100-150 d. C.) segna gli inizi della trigonometria: un noto *teorema* di Tolomeo sul quadrilatero iscritto nel cerchio equivale al *teorema d'addizione* dei seni.

Possiamo abbracciare con uno sguardo d'insieme l'opera matematica del periodo ellenistico, mercè la raccolta, in gran parte conservataci, di PAPPO d'Alessandria (circa 300 d. C.), che visse al termine di questo lungo periodo. In complesso, dopo il III secolo a. C., non si realizzarono alti progressi. Tuttavia, proprio nel momento in cui lo spirito creativo sembra cedere alla produzione di critici e di commentatori, (cioè verso il 300 dell'e. v.) sorge un genio aritmetico meraviglioso qual è DIOFANTO d'Alessandria, da cui i moderni hanno appreso i difficili problemi della *teoria dei numeri*.

Nel quarto secolo dell'era volgare la scienza greca volge ormai al tramonto. Il pensiero, che non sa più creare, perde a poco a poco anche l'intelligenza delle opere precedenti; e perciò, in quest'epoca di decadenza, il lavoro si riduce alla composizione di riassunti o commenti sempre più miseri, che tuttavia hanno per noi una grande importanza storica, perchè attraverso di essi si è trasmessa ai posteri l'eredità della scienza antica.

XIV.

L'Astronomia.

La teoria astronomica dei Greci si è sviluppata sul fondamento dei dati accumulati in lunghi secoli di osservazione dai sacerdoti egiziani e soprattutto caldei.

Questi erano riusciti a costruire effemeridi dei cicli luni-solari, ed anche planetari, di una precisione non superata nemmeno da Ipparco e da Tolomeo. Ma la loro scienza rimase sempre descrittiva e pratica, basata su formule empiriche: scienza da calendari; e infine null'altro occorreva a degli astrologi quali essi erano. Ben altro era l'ideale dei Greci. Il vero astronomo, dice Platone, non sarà intento, come i pastori, solo al levare e al tramontare degli astri: ma cercherà un ordine geometrico dei loro moti, fondato sulle orbite circolari: « le quali speculazioni non possono essere prontamente afferrate da una persona qualunque, ma richiedono menti di penetrazione non comune ».

I PITAGORICI. — Il primo sistema geometrico del mondo ha origine nella scuola pitagorica. Si parte dal principio che l'irregolarità dei moti planetari, rispetto al moto uniforme della volta celeste, viene spiegata con l'ammettere che i pianeti si muovono di moto uniforme proprio su cerchi propri quasi fossero attaccati a sfere indipendenti, come Pitagora fu primo a proporre.

E mentre poco innanzi Anassimandro aveva audacemente affermato l'isolamento della Terra nello spazio, e quindi la relatività delle direzioni, ecco verso questo tempo introdursi l'idea della « re-

latività del moto », che abbiamo visto nascere dall'analisi della scuola d'Elea. Sotto l'influenza di questa critica i Pitagorici della generazione successiva non si peritano di mettere in dubbio l'immobilità della Terra. Così nasce l'ardito sistema cosmico di FILOLAI (circa 400 a. C.). Nel mezzo dell'Universo non sta più la Terra, ma il fuoco centrale, la « divina Hestia », Focolare del Mondo, Trono di Zeus. Qui risiede il principio che regge il mondo, poichè solo al centro può risiedere la forza che ne collega le varie parti in un organismo; il quale — d'altronde — è limitato da un cerchio di fuoco eterno, l'« Olimpo », dove gli elementi si trovano in tutta la loro purità.

Nello spazio fra il fuoco centrale e il fuoco esterno sono le orbite e sfere dei corpi celesti: la più lontana è la sfera delle stelle fisse, poi vengono ordinatamente quelle dei cinque pianeti, del Sole, della Luna, della Terra, e infine d'un astro ipotetico, « l'Antiterra », che non possiamo vedere, perchè in opposizione costante alla Terra, della quale abitiamo l'emisfero rivolto verso l'esterno. Questo corpo rispondeva al criterio estetico-mistico di portare a 10 (la *Tetraktys*) il numero delle sfere celesti, e serviva anche a spiegare, con la sua interposizione, i fenomeni d'eclissi lunare.

Il sistema di Filolao costituisce un primo tentativo di render conto dei moti dei pianeti e dell'alternarsi delle stagioni. Dopo Filolao, altri Pitagorici, Iceta ed Ecfanto, semplificavano l'ipotesi: congiungendo la Terra con l'Antiterra in un unico corpo sferico, rotante attorno all'asse polare.

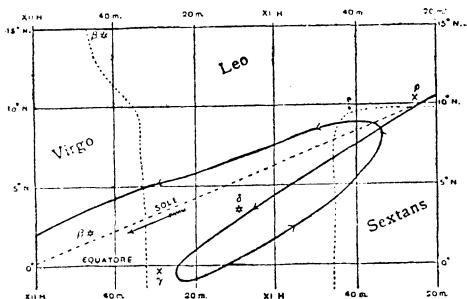
EUDOSSO. — Resta che il sistema filolaico non può spiegare in alcun modo le stazioni e retrogradazioni dei pianeti sulla sfera celeste.

Questa lacuna doveva esser sentita negli stessi circoli pitagorici: Platone non fece che segnalargli all'attenzione degli astronomi, chiamandoli a « trovare con quali combinazioni di moti regolari e uniformi si possono rappresentare le apparenze osservate nel movimento dei pianeti ». Secondo lo spirito del razionalismo post-eleatico, la teoria deve dunque « salvare i fenomeni ».

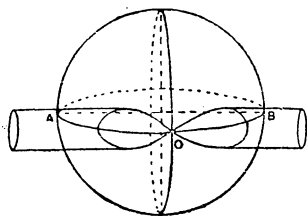
Il problema fu risolto da Eudosso di Cnido, il « divino » Eudosso, spirito universale, del quale abbiamo già parlato come grande geometra.

Eudosso partiva dal principio allora universalmente accettato, che la composizione del mondo doveva essere ordinata secondo una legge unica e generale: la quale, a difetto di concezione dinamica, non poteva essere che geometrica.

Il moto della sfera celeste, del Sole e della Luna ci suggerisce, come tipo generale di movimento, il circolare ed uniforme: e le



Percorso apparente di Mercurio sulla volta celeste nel periodo di tre mesi.



L'ippopede di Eudosso e la sua costruzione per mezzo di un cilindro tangente ad una sfera.

anomalie osservate sul corso dei pianeti dovevano, secondo l'assioma dei Pitagorici e di Platone, risolversi in combinazioni di moti circolari ed uniformi.

Tale assioma conservò la sua piena validità fino ai tempi di Keplero. I pianeti erano immaginati come fissi su sfere ideali, ruotanti uniformemente.

Un'altra condizione fondamentale, suggerita certo da un criterio di semplicità, era che queste sfere dovessero essere omocentriche, cioè aggirarsi attorno a un centro unico del mondo, che era poi la Terra. Solo più tardi, e costretti dalla necessità, gli astronomi fecero posto a concezioni così poco naturali come quella di astri moventisi attorno a centri fittizi. La condizione di omocentricità, pur soddisfacendo nello stesso tempo al criterio di semplicità e alla nostra intuizione geocentrica, complicava straordinariamente il pro-

blema: poichè bisognava pur trovare qualche modo per spiegare il moto apparente degli astri « erranti », cioè dei pianeti.

Eudosso immaginò dunque che ogni corpo celeste fosse portato da una sfera girevole su due poli, e dotata di rotazione uniforme. A render conto delle variazioni di velocità dei pianeti, del loro stare e retrogradare, e del loro deviare a destra e a sinistra nel senso della latitudine, tale ipotesi non bastava; e convenne supporre che la sfera del pianeta giri sopra un asse collegato o imperniato sopra un'altra sfera, concentrica alla prima, girante a sua volta con moto uniforme intorno a due poli diversi dai primi. Ma non bastando neppur questa seconda sfera, bisognò sopporla montata su una terza analoga, di asse ancora diverso. Così si potevano spiegare i moti del Sole e della Luna. Per i pianeti occorreva ancora una quarta sfera: si avevano dunque 26 sfere concentriche, e 27 con quella delle stelle fisse.

Ma anche così, il problema geometrico poteva ben apparire insuperabile. Basta dare un'occhiata al grafico del cammino di un pianeta sulla sfera celeste. Quale combinazione di moti circolari uniformi potrà dare delle figure così complicate? Il problema (che per noi sarebbe assai facilitato dalla trigonometria), fu risolto dal genio di Eudosso col semplice uso della geometria elementare della sfera.

Non possiamo qui rintracciare la catena delle sue deduzioni che fu genialmente ricostruita dallo Schiaparelli. Ci limiteremo a dire che Eudosso dimostrò come, componendo due rotazioni uniformi di periodo diverso, fosse possibile ottenere una certa curva a forma di 8, da lui detta *ippopede*: la quale curva spostandosi poi sull'eclittica genera tutti i moti apparenti di stazione e retrogradazione dei pianeti.

ARISTOTELE. — L'ipotesi di Eudosso piacque ad Aristotele, il quale cercava una teoria dei Cieli per il suo sistema. Senonchè Eudosso aveva ragionato da puro geometra, e ad Aristotele occorreva una teoria fisica: senza di essa la sua sintesi universale sarebbe rimasta incompleta. Le sfere omocentriche si prestavano mirabil-

mente all'idea fondamentale della sua dinamica cosmica, secondo cui la forza motrice dell'universo doveva essere collocata alla circonferenza (il *primo mobile*) e propagarsi fino al centro. Ma come connetterle fra di loro? Gli astronomi non gli davano alcun aiuto, poichè per essi le sfere di un pianeta formavano un insieme soddisfacente ad ipotesi proprie, senza legame con il sistema delle sfere di un altro: e la prima sfera di ogni pianeta aveva sempre il moto di quella delle stelle fisse. Per dare al sistema una consistenza meccanica, Aristotele fu condotto a materializzare le sfere e ad incastornarle una nell'altra in un ordine fisso di successione, chiudendo l'universo, come dissero i posterì, in vòlte di cristallo.

Ma qui sorgeva una nuova difficoltà: occorre trovare un meccanismo speciale, che impedisse al moto degli astri esterni di comunicarsi agli interni. Per questo scopo, Aristotele intercalò, fra l'ultima sfera di ciascun pianeta e la prima del pianeta successivo, un certo numero di sfere nuove, dette *reagenti*, che ripetevano esattamente il moto delle sfere planetarie, ma in senso inverso, in modo da annullarlo. Per conseguenza la prima sfera del pianeta sottostante si ritrova ad esser animata del moto di quello delle stelle fisse, come vuole la teoria.

Per ottenere l'apparenza di un sistema fisico, Aristotele giungeva così ad un macchinoso congegno di 55 sfere, che restò alla base dell'insegnamento peripatetico, e che si ritrova più tardi fino nel secolo XVI.

IL MOTO DEI PIANETI INTERNI ATTORNO AL SOLE: ERACLIDE. — Ai tempi di Archimede, le sfere eudossiane appartenevano al sistema ufficiale del mondo scientifico. Eppure fin dall'inizio era stata posta la grave obiezione che ne scuoteva l'edificio, quella cioè che si deduce dalla variabilità di splendore dei pianeti, principalmente di Marte e di Venere ⁽¹⁾. Questa conduceva ad am-

(1) Marte è in certi periodi una stella di prima grandezza, in altri di quarta. Il rapporto della massima alla minima luce nelle opposizioni e nelle congiunzioni medie è di 24:1. Si era osservato che anche il diametro lunare varia di circa 1/12.

mettere una variazione nelle loro distanze dalla Terra, assolutamente inconciliabile con l'ipotesi che tutte le sfere siano concentriche alla Terra.

Il passo decisivo in questo senso fu compiuto da un filosofo discepolo di Platone, e del quale assai poco sappiamo, se non che in un corpo debole e deforme racchiudeva un ingegno vasto ed ardito: Eraclide d'Eraclea, detto Eraclide Pontico.

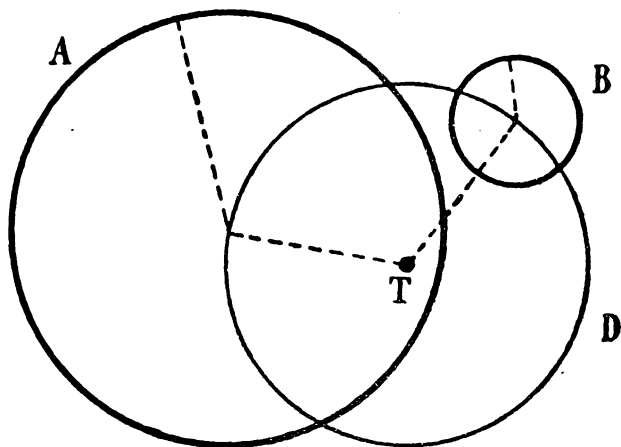
Studiando i moti di Mercurio e di Venere, osservando le loro digressioni alternate e regolari a destra e a sinistra del Sole, Eraclide intuì che il centro della loro circolazione non poteva essere la Terra, bensì un altro punto collocato nella direzione del Sole: e quale altro punto poteva essere, se non il Sole medesimo?

Con questo si veniva a rinunciare alla armoniosa simmetria delle sfere eudossiane: ma in compenso si otteneva un meccanismo semplice ed evidente per i moti dei pianeti inferiori.

Quali vedute avesse Eraclide intorno al movimento dei pianeti superiori, non ci è dato congetturare: ma certo, il suo sistema conteneva in sè diverse idee fondamentali che davano all'astronomia una orientazione nuova. Il moto delle stelle fisse veniva riportato, secondo l'idea pitagorica di Filolao modificata da Iceta e da Ecfanto, alla rotazione diurna della Terra attorno al centro del mondo: così si trovavano d'un tratto liberati da una enorme complicazione, tutti i moti planetari, ridotti alle loro rivoluzioni proprie attorno alla Terra. Mercurio e Venere descrivevano epicicli attorno al Sole: è il Sole, così nobilitato a centro di pianeti, girava a sua volta attorno alla Terra.

Restava da spiegare il moto di Marte: a chi sia dovuta la nuova Teoria, non si può dire con precisione: ma probabilmente appartiene a qualche filosofo pitagorico, e non è escluso che vi abbia collaborato lo stesso Eraclide. Le epoche del massimo splendore di Marte coincidono con quelle delle opposizioni: se ne conclude che il punto dell'orbita più vicino alla Terra è quello che si trova opposto al Sole. L'orbita, insomma, comprendeva la Terra, ma aveva il suo centro *fuori* di essa: così appare per la prima volta il concetto di *eccentro*. Partendo da questo concetto, fu possibile

agli astronomi ricostruire il moto di Marte, accordandolo con le variazioni di splendore: l'orbita del pianeta si sposta tutta quanta in modo analogo all'eccentrico di una macchina: e poichè il suo centro, situato fuori della Terra, si spostava in modo da esser sempre in direzione del Sole, nulla impediva di ammettere che si tro-



Eccentri ed epicicli: A) eccentro mobile; B) epiciclo; D) deferente; T) centro della Terra e del Mondo.

vasse nel Sole stesso. Così risultava esteso il sistema di Eraclide: Marte diveniva anch'esso satellite del Sole.

Verso il IV secolo ci appare dunque già formato un sistema, che diciannove secoli più tardi sarà riinventato da Tycho Brahe.

I Greci del III secolo erano in grado di intendere l'alto valore teoretico della costruzione di Eraclide; se dunque le fecero il viso dell'armi, è perchè essa urtava alcune convinzioni profondamente radicate negli spiriti di quel tempo. Da una parte essa non piaceva ai peripatetici, i quali non vedevano come quell'intrico di epicicli e di eccentrici potesse materializzarsi in sfere cave; mentre dall'altra scontentava i puri geometri, in quanto rovinava l'armoniosa simmetria delle sfere concentriche di Eudosso. Essa doveva appa-

rire esteticamente inferiore: e queste considerazioni avevano gran peso presso gli astronomi greci.

Per sciogliere la difficoltà i geometri erano disposti a ridurre il tutto a un insieme di epicicli, sacrificando magari le tradizioni e facendo circolare gli astri attorno a centri ideali; ma vi fu chi tentò arditamente un'altra via. Di questa e delle sue singolari fortune vogliamo ora discorrere.

IL SISTEMA ELIOCENTRICO DI ARISTARCO. — Un matematico vissuto nel I secolo a. C., Gemino di Rodi, così pone la differenza tra fisica e astronomia: « Quando si sia rappresentata l'anomalia nel moto dei pianeti per mezzo di eccentri e di epicicli (che è il problema dell'astronomo), non è ancora fatto tutto; rimane il problema del fisico, di scegliere cioè, fra le ipotesi capaci di spiegare i movimenti, quella che si accorda con la dottrina fisica del mondo ». Questo è anche il criterio che guidò Aristarco di Samo, il « Copernico dell'antichità ».

Aristarco, nato verso il 310 a. C., fu allievo di Stratone di Lampsaco, detto non a torto « il fisico » per avere orientato il suo insegnamento peripatetico nel senso democriteo. Egli fu grande astronomo; ma la sua fama presso gli antichi era dovuta soprattutto ai suoi calcoli delle grandezze e delle distanze del Sole e dei pianeti. La sua più grande idea non fu giustamente intesa: lo stesso Archimede, al quale dobbiamo quasi tutte le poche notizie che ci sono pervenute, non mostra di comprenderne il valore.

Aristarco, partendo dal sistema che abbiamo attribuito ad Eraclide, aveva trovato che tutto si ristabiliva in un ordine di simmetria, qualora si mettesse al centro del mondo il Sole e si facesse della Terra un pianeta come gli altri. L'idea poteva sembrare stravagante: ma si accorda perfettamente col concetto della relatività del moto. Nessun criterio geometrico ci può imporre di far muovere i cieli anzichè la Terra: e dal punto di vista fisico, l'ipotesi sembra giustificata, poichè al centro di tutte le orbite planetarie non si trova un punto ideale qualunque, ma la massa del Sole di cui già si incomincia a comprendere la grandezza. Rivive così lo spirito dell'an-

tica intuizione pitagorica che assumeva il Fuoco solo degno centro del mondo (1).

Un geometra qual era Aristarco non dovette aver difficoltà a spiegare con la nuova ipotesi il moto apparente dei pianeti. Nulla ci resta del suo trattato; ma sappiamo che la Terra era da lui posta tra Venere e Marte, e che era animata, oltre che dal moto di traslazione annuo, anche da quello diurno di rotazione, su un asse inclinato sul piano di rotazione annua. Restava una difficoltà: se la Terra si muove lungo un circolo, dovrebbe darsi un'apparenza corrispondente di moto nelle stelle fisse: la cosiddetta *parallasse*. Questa esiste effettivamente; ma era impercettibile agli strumenti del tempo. Aristarco dovette quindi ammettere che la sfera delle stelle fisse fosse a una distanza enorme: e ciò egli espresse immaginosamente, dicendo che il raggio dell'orbita terrestre sta alla distanza delle stelle fisse, come il centro di un cerchio alla sua circonferenza; frase un po' pedantesca criticata da Archimede, poichè voleva soltanto esprimere l'ordine di grandezza del rapporto.

Il sistema di Aristarco non ebbe favore presso i contemporanei, nè presso gli astronomi delle generazioni successive. L'opposizione ad esso veniva anzitutto dai geometri. La sua semplicità, essi dicevano, è illusoria. Aristarco aveva ammesso che tutti i pianeti, compresa la Terra, descrivessero orbite circolari, esattamente centrate sul Sole. E già qui i calcoli coincidevano con l'osservazione solo fino a un certo punto. Ora misure recenti davano anche per il Sole una anomalia apprezzabile. L'orbita della Terra avrebbe dunque dovuto essere eccentrica: e così probabilmente anche quella degli altri pianeti. D'altra parte, la Luna continuava a girare attorno alla Terra, descrivendo un epiciclo rispetto al Sole. Dove andava a fi-

(1) Eraclide Pontico fu senza dubbio un precursore del sistema ticoniano. Si deve a lui anche la prima idea di un sistema eliocentrico? La tesi, proposta dallo Schiaparelli, è stata accolta con favore. Tuttavia, lo stesso Schiaparelli ha dovuto concedere l'impossibilità di provarla a partire dai testi. Tutto quello che si può dire è che da vari indizi non appare improbabile che l'idea eliocentrica sia comparsa già in Eraclide, o almeno nei circoli, cui egli appartenne, dei nuovi pitagorici: « quelli d'Italia — come li chiama Aristotele — che fanno della Terra uno fra gli astri ».

nire, dicevano i geometri, la vantata simmetria e semplicità del sistema? Valeva la pena di togliere la Terra alla sua antica onorata posizione di centro del mondo, per costruire poi un edificio in cui fossero sgraziatamente mischiati i soliti ingredienti, eccentri ed epicicli? A che pro sconvolgere le tradizioni, urtare il senso comune e le intuizioni più elementari, portare le stelle a una distanza quasi infinita e incomprensibile, per poi dover rinunciare all'ipotesi fisica fondamentale, e rassegnarsi a far circolare gli astri, Terra ivi compresa, attorno a centri ideali? Tanto valeva tornare all'antico, e valendosi di un teorema recente che stabiliva l'equivalenza geometrica di eccentri mobili ed epicicli, stabilire un sistema geocentrico, in cui tutti gli astri circolino intorno a centri ideali, descrivendo epicicli rispetto alla Terra.

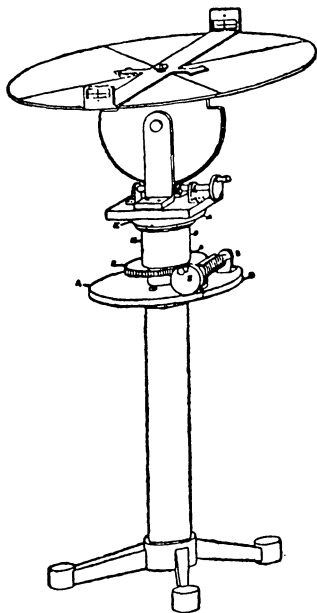
Plaudivano gli aristotelici conservatori, i quali vedevano il modo di dar significato materiale a una tale teoria, incastonando sferette secondarie, che portavano l'astro, nello spessore delle sfere principali concentriche: si rasserenavano i filosofi della Stoa, i quali avevano visto minacciati i fondamenti della loro fisica: tanto che Cleantho d'Asso, col suo zelo da pugilatore convertito, avrebbe voluto iniziare contro Aristarco un processo per empietà: e con lui consentivano anche i seguaci sempre più numerosi delle teorie mistiche e astrologiche importate dall'Oriente, in cui una tradizione venerabile assicurava alla Terra la dignità di centro del mondo.

Non ci soffermeremo qui sui tentativi di sistemazione che seguirono. Man mano che progrediva l'osservazione, appariva sempre più improbabile che i pianeti descrivessero orbite esattamente circolari, centrate sul Sole: e ad ogni modo restavano i rapporti del Sole con la Terra, che non si potevano assolutamente conciliare con un'orbita circolare a centro materiale, quale che fosse il centro.

Conveniva dunque cambiare strada. Sciolti i pianeti dal Sole, centro materiale di rotazione, il sistema eliocentrico si è sfasciato. Gli astri errano ormai liberamente per i cieli, girando ciascuno intorno al suo epicentro immaginario. Al centro di gravità se non di simmetria di tutto quanto il sistema sta la Terra. Così qualche

incerto tentativo di adattamento della teoria eliocentrica si risolve, in mano agli stessi Pitagorici, nel geocentrismo.

Dice Proclo: « La storia c'insegna che l'ipotesi degli eccentri e degli epicicli piacque a Pitagorici illustri, perchè è più semplice di ogni altra ». Apollonio ed altri avevano dimostrato che ogni sistema poteva esprimersi indifferentemente in termini di epicicli o di eccentri mobili, purchè si scegliessero in modo conveniente raggi, velocità ed eccentricità. La simmetria ideale era così completamente ristabilita. Restavano da stabilire le *leggi d'osservazione* del moto dei pianeti, con una precisione tale da permettere di scegliere la combinazione di movimenti adatta. Tale fu il compito del più grande osservatore dell'antichità, Ipparco di Nicea.



La Diottra di Ipparco nella descrizione di Erone (ricostruzione H. Schoene).

di, dove aveva impiantata una specola. Osservò certamente fra il 161 e il 126, e coltivò il rigore con una certa pedanteria.

Volto principalmente alla astronomia d'osservazione, Ipparco si occupò di perfezionare i mezzi tecnici. Costruì la *diottra*, che è il teodolite dell'antichità, ed altri strumenti, grazie ai quali poté dare non solo un catalogo delle stelle, ma tavole dei pianeti quali fin allora non si avevano.

Ma col crescere della precisione nelle osservazioni si rivelava sempre più la complicazione dei moti planetari. Così, per spiegare

IPPARCO. — Quello che si sa della persona di Ipparco si può riassumere in poche parole: nacque a Nicea in Bitinia, visse qualche tempo ad Alessandria, ma il suo lavoro astronomico si svolse soprattutto a Ro-

una nuova irregolarità si era dovuta introdurre un'eccentricità ausiliaria nei deferenti. Con i dati propri e quelli dei predecessori, Ipparco riuscì a dare una teoria del Sole, e a preparare gli elementi per una nuova teoria dei pianeti: la quale però non fu portata a termine se non tre secoli più tardi, per opera di Tolomeo.

TOLOMEO. — Di Claudio Tolomeo sappiamo soltanto che osservò ad Alessandria fra il 127 e il 151 d. C. Contemporaneo di Galeno, va considerato un tardo prosecutore del grande movimento ellenistico; e intorno a lui si viene già perdendo la corrente della tradizione scientifica. Nella sua opera si ravvisano, del resto, segni non dubbi di decadenza. Egli possiede pienamente l'intricata materia, ma non porta più idee originali; si contenta di complicare i meccanismi man mano che crescono le esigenze dell'osservazione, sacrificando i canoni di semplicità e di estetica dei predecessori. La sua *Ottica* è un modello di investigazione accurata. Ma le teorie fisiche, derivate in parte dall'aristotelismo, in parte dal senso popolare, sono così pedestri da rasentare il ridicolo. La sua sintesi astronomica non è più pura geometria: da una parte egli finisce col materializzare i moti celesti nelle sfere di cristallo, dall'altra, seguendo la voga sincretistica e le generalizzazioni dei filosofi contemporanei sulle simpatie che legano ogni parte del Cosmo a ogni parte del mondo sublunare e in particolare del Microcosmo, si dà a sistemare l'astrologia nel *Tetrabiblion*, l'*Opus Quadripartitum* del Medio Evo. Le sue premesse, del resto, sono semplicemente aristoteliche:

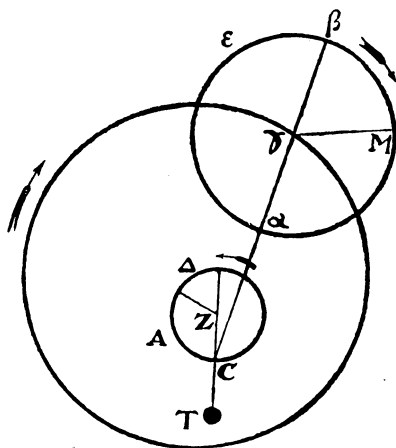
« Una proposizione affatto evidente che non ha bisogno di dimostrazione, è che una forza emanante dalla natura eterea e sempiterna si trasmette a tutte le cose che circondano la Terra e che senza requie sono sommesse alla legge dei cambiamenti. I primi elementi che si trovano sotto la sfera della Luna, il fuoco e l'aria, sono circondati e messi in moto dai movimenti dell'etere; a loro volta essi circondano e travolgono nella loro agitazione tutti i corpi che stanno al di sotto, cioè la terra e l'acqua e gli animali e i vegetali che vi nascono ».

L'astronomia di Tolomeo è contenuta nella grande *Composizione matematica* in tredici libri, che per distinguerla dalla colle-

zione degli autori anteriori e dei successori, fu detta semplicemente la *Massima*, Ἡ Μεγίστη; da cui venne il nome degli arabi: *Almagesto*.

Nella teoria dei pianeti per cui ormai, dopo tre secoli, si posseggono elementi sufficienti, Tolomeo è costretto a innovazioni gravi e radicali, che scanzano dalle fondamenta l'edificio del cosmo platonico.

Malgrado le complicazioni via via introdotte non si riusciva a far sì che il moto degli epicicli sui deferenti, anche ammettendo questi ultimi eccentrici, fosse regolare. Così Tolomeo è indotto a inventare un nuovo cerchio ideale, detto *equante* o regolarizzatore, tale che un punto figurativo legato al centro dell'epiciclo ⁽¹⁾ possa percorrerlo con moto regolare.



Moto di Mercurio.

Per dare un'idea di ciò che s'intende ormai per moto di un pianeta, riprodurremo lo schema del moto di Mercurio.

Mercurio (M) si muove di moto uniforme su di un ep ciclo che percorre nel tempo della rivoluzione sinodica; ma il deferente D non è più un eccentrico fisso: è un eccentrico mobile il cui centro Δ percorre in un anno, in verso opposto ai due moti precedenti, un cerchio A di centro Z. Il raggio di A è uguale a metà della distanza fra Z e il centro della Terra T. Il punto in cui il cerchio incontra TZ, essendo la metà di detto segmento, è anche centro dell'equante C.

(¹) Il punto figurativo è situato sul raggio vettore, cioè su quel raggio che unisce il centro dell'ep ciclo planetare al centro del deferente. Il centro del cerchio equante, Tolomeo riesce a dimostrare che deve essere simmetrico al centro della Terra, rispetto al centro del deferente. A ciò si riduce l'ultimo vestigio delle armonie sognate dai pitagorici.

Di rinuncia in rinuncia, dalle sfere concentriche al supposto sistema ticoniano; da questo alle rotazioni intorno a punti ideali; di qui all'abbandono definitivo del canone pitagorico-platonico dei moti circolari, si è giunti ormai all'abdicazione dell'astronomia *a priori*. L'edificio della scienza si riconosce come soggetto a modifiche e ad approssimazioni successive. Dice Tolomeo:

« Non si obietti a queste ipotesi che son troppo complicate o difficili ad afferrarsi. Fin che si può, bisogna adattare ai moti celesti le ipotesi più semplici; ma se ciò non riesce, occorre scegliere quelle ipotesi che meglio si adeguino ai fatti ».

Tolomeo certo non si illudeva che il suo sistema fosse definitivo. Se con l'introdurre il *punto equante* aveva spiegato quelle anomalie che adesso sappiamo provenire dalla ellitticità delle orbite, non poteva sfuggirgli il ripiego della sua soluzione. Quanto alla teoria della luna, la cura della precisione lo aveva costretto ad abbandonare ogni verosimiglianza fisica. Poichè la sua teoria di moti lunari esigea una variazione periodica del diametro apparente del nostro satellite, che non gli si rivelava alla osservazione. Così l'astronomia greca toccava il limite delle sue possibilità. In attesa di una nuova idea semplice, si esauriva nella complicazione crescente delle teorie, superate dalla migliore conoscenza dei fatti.

Gli astronomi dell'era moderna hanno giudicato duramente il sistema di Tolomeo: ingratitudine comprensibile in chi ha dovuto lottare a lungo per liberarsi dai vincoli dell'autorità. Ma senza l'opera dell'astronomo d'Alessandria, molti progressi della osservazione nei secoli successivi sarebbero andati perduti per mancanza di uno schema in cui inquadrarsi; non avrebbero costruito le loro tavole Peurbach e Regiomontano; sarebbe mancata la base di fatto alle grandi intuizioni di Copernico e di Keplero. Il sistema ultimo dell'astronomia greca è, sì, disperatamente complicato. Ma non si è giunti senza una ragione a « quella grande molteplicità di sfere — come dice lo Schiaparelli — che a torto fu rimproverata da chi non ne intendeva l'ufficio: e che parve cosa degna di riso e di compassione alla nostra epoca, la quale, senza saperlo, nelle teorie planetarie fa uso di epicicli a decine e a centinaia, nascondendoli sotto

il nome di 'termini periodici di serie infinite' ». Invero desta ancora ammirazione il grado di precisione raggiunto, con Tolomeo, dalle osservazioni antiche. Se prendiamo i valori attualmente conosciuti dei semiassi maggiori delle orbite planetarie (ponendo quello della Terra uguale a 1) e li confrontiamo col rapporto dato da Tolomeo fra i raggi dell'epiciclo e del deferente, abbiamo la tabella seguente :

	Semiasse maggiore (a)	$\frac{1}{a}$	Rapporto di Tolomeo
Mercurio	0.387	—	0.971
Venere	0.723	—	0.719
Marte	1.524	0.656	0.658
Giove	5.203	0.192	0.192
Saturno	9.539	0.105	0.108

A tal punto le complicate costruzioni degli epicicli e dei deferenti dei matematici alessandrini si erano adattate ai fatti che volevano rappresentare !

MISURA DELLA TERRA. — Ai progressi dell'astronomia greca sono congiunti i progressi della geografia matematica: ci limiteremo ad accennare alla misura del circolo della Terra, che — conservata nella tradizione letteraria — doveva esercitare un'influenza sulla scoperta del nuovo mondo, fatta da Cristoforo Colombo.

Abbiamo già ricordato le speculazioni dei filosofi ionici e pitagorici sulla forma della Terra, e si è veduto come l'idea della Terra sferica, sostenuta da questi ultimi, sia stata riconosciuta vera, in base alle osservazioni astronomiche, ai tempi d'Aristotele (cfr. pag. 37). Aristotele stesso dice che i matematici (probabilmente Eudosso) stimavano il circolo della Terra 400 mila stadi. Subito dopo Dicearco riduceva questa misura a 300 mila. Ma la misura più esatta fu data da ERATOSTENE di Cirene, bibliotecario ad Alessandria intorno al 250 a. C.

Questi, essendosi persuaso in seguito agli studi dei suoi predecessori, che il Sole si trova ad una distanza così grande che i suoi raggi possono ritenersi sensibilmente come paralleli, ha preso

come punto di partenza l'osservazione che a Siene (Assouan), all'epoca del solstizio d'inverno, il Sole a mezzogiorno si specchia nei pozzi, mentre ad Alessandria i suoi raggi fanno un angolo eguale ad $1/50$ dell'intero circolo terrestre. Ritenendo le due città poste sopra un meridiano, egli ne ha misurato la distanza mediante un corriere, trovando così 5 mila stadi: di qui ha dedotto che il circolo terrestre vale $5000 \times 50 = 250.000$ stadi: che vorrebbe dire 39.690 km., valore straordinariamente preciso.

La misura trovata da Eratostene è stata poi adottata da Ipparco, mentre Strabone la riduce a 180 mila stadi, non si sa se per errore o per essersi riferito ad uno stadio-unità di maggiore lunghezza. Comunque, quest'ultima misura resterà a base delle valutazioni che i geografi faranno delle dimensioni della Terra abitata, in confronto agli oceani.

XV.

La medicina.

Due problemi hanno fatto meditare gli uomini in ogni tempo: il problema del mondo fuori di noi e il problema della vita in noi.

La scoperta di un ordine geometrico nelle forme e nei moti del cielo stellato ha dato impulso alla matematica, i cui principî interessano d'altronde tanti campi diversi dell'attività pratica; mentre dal terrore della malattia e della morte sorge l'indagine del mistero della vita.

Matematiche e medicina sono le due scienze più antiche, e la loro storia largamente intesa, abbraccia, si può dire, la maggior parte della storia del nostro sapere. Esse sono i due poli verso cui convergono i due atteggiamenti fondamentali dello spirito di ricerca: nelle matematiche lo spirito speculativo onde sorge il razionalismo; nella medicina lo spirito d'osservazione, per cui si affina l'empirismo, volgendo a grado a grado verso una filosofia sperimentale.

GL'INIZI DELLA MEDICINA. — Un certo spirito d'osservazione si rivela già nel trattamento delle malattie presso i popoli primitivi; in ispecie nelle operazioni come la trapanazione del cranio e il taglio cesareo, di cui rimangono antichissimi ricordi, come anche di altre pratiche di elementare opportunità. Ma sono pratiche condotte alla cieca, e di rado con qualche accorgimento fisiologico: fu detto da qualcuno che appartengono all'arte del falegname, più che a quella del medico.

In verità, il primitivo scorge l'essenza della vita in ogni luogo, fuorchè nell'organismo stesso: nell'ombra sua, nell'aria che respira, nella sua immagine riflessa, in quell'albero della foresta, in quel certo animale che è il suo *Totem*. Il suo io, ancora confuso con la natura circostante, si sente assistito o avversato da tutte le forze che fremono intorno a lui: l'origine della malattia e della morte non è in lui: è nel contatto impuro, nello sguardo del vicino, nello spezzarsi di un ramo, nello stormir delle foglie. Di qui, come abbiamo detto, il vasto insieme di pratiche magiche, a prima vista incomprensibili, e pur fondate sopra una loro logica profonda. Tale è la base della medicina in tutte le antiche civiltà (1).

Di fronte ad essa, il realismo greco si manifesta sin dall'epoca di Omero, poichè vediamo gli « eroi divini » Podalirio e Macaone comportarsi da medici e chirurghi esperti ed assennati. Ma la tradizione che faceva della medicina un'arte segreta e sacerdotale si conserva fin nei tempi classici, e i primi medici sono i sacerdoti di Asclepio che hanno i loro edifici (templi e cliniche a un tempo) sparsi un po' ovunque. Del materiale di osservazioni da essi accumulato, unito all'esperienza della chirurgia da campo e degli allenatori d'atleti, dovevano giovare quelle sette che verso il 500 a. C. tendevano a riorganizzare la vita greca sul fondamento d'una più libera speculazione scientifica e d'un più alto sentimento religioso: così massimamente i Pitagorici.

In confronto alla mentalità magica primitiva appare qui come grande progresso la tendenza razionalistica a stabilire un'analogia tra l'universo e l'uomo, fra il Macrocosmo e il Microcosmo. Questa analogia doveva naturalmente realizzarsi in un concetto concreto della salute e della malattia, in rapporto con le idee che si avevano sulla materia. In fondo alla dottrina pitagorica si trova l'idea che la salute è dovuta a una giusta misura dei costituenti il corpo umano. Così la enuncia il capo della scuola medica, ALCEMEONE di Crotone:

(1) Si noti che *pharmakos* era originariamente il capro espiatorio.

« Ciò che mantiene la salute è l'uguale ripartizione delle forze dell'umido, del caldo, del secco, del freddo, dell'amaro, del dolce e delle altre: il dominio di una sola di queste produce malattia ».

Alcmeone fu del resto fra i primi anatomici: scoprì i più importanti fra i nervi sensorî, da lui chiamati « condotti », e la loro terminazione al cervello, che diviene per lui, contro ai pregiudizi popolari, il centro del senso e quindi dell'intelletto.

Medici furono anche Eraclito ed Empedocle: quest'ultimo anzi fornì con la sua teoria dei quattro elementi il primo nucleo del concetto di malattia quale poi si formò nella scuola ippocratica.

CNIDO E COO. — Le due scuole rivali che prendono nome dalle isolette prospicienti sul mare Egeo, si contrassegnano in generale per una maggiore tendenza razionalistica della prima, e un più severo culto dell'osservazione della seconda: ambedue questi aspetti dovevano poi saggiamente contemperarsi nell'opera magistrale di Ippocrate.

Gli avversarî rimproverano alla nuova medicina di Cnido di essere troppo teorica e sicura di sè: « di ricorrere al freddo contro il caldo, al caldo contro il freddo, all'umido contro al secco, al secco contro all'umido » mentre non si è « scoperto nulla che sia caldo, secco, freddo, umido, in sè e senza miscuglio d'altre qualità »:

« Essi non hanno a loro disposizione che i cibi e le bevande di cui noi tutti ci serviamo: è dunque impossibile che ordinino all'ammalato 'un caldo', perchè il malato domanderebbe: 'quale caldo', ed essi sarebbero ridotti necessariamente o a un vuoto sproloquio o all'uso delle cose conosciute ».

Si vede qui che i critici prendono coscienza delle molteplici qualità e dei diversi effetti che dipendono dall'uso e costituiscono la concretezza della vita; essi trovano che i medici di Cnido si attardano troppo a dettagliare le sensazioni del paziente, e per ogni sintomo nuovo definiscono una nuova malattia.

Contro tale teorizzare insorge l'esperienza clinica degli Asclepiadi di Coo. Una caratteristica saliente di questa scuola è l'equi-

librio con cui la esatta osservazione dei sintomi viene contemperata con la sintesi del decorso organico del male.

« Mi pare cosa assai eccellente per il medico — così comincia uno fra i più celebri trattati ippocratici — di coltivare la *pronoia*. Col prevedere e predire in presenza del malato il passato, il presente e il futuro dei suoi sintomi, e col rilevare quelli che il malato omette, egli ispirerà fiducia nella sua retta comprensione, e indurrà il malato ad affidarsi a lui.... E prevedendo a tempo, potrà meglio curare ».

Vediamo qui formarsi lo spirito, audace e prudente a un tempo, che è proprio della vera scienza. E lo spirito e i metodi di tale scienza nuova si riassumono nell'alta figura di IPPOCRATE di Coe.

Poco sappiamo di lui se non che fu di un'antica stirpe di medici sacerdoti, che visse verso il 400 a. C.; e vuolsi che sia stato discepolo di Democrito (con cui si è inventata, d'altra parte, una corrispondenza epistolare). Si narra pure che intraprendesse lunghi viaggi. Il suo personaggio si compone nelle nitide linee del medico ideale « dotato di tutte le qualità del filosofo ». Dotto, sagace ed umano, penetrato di riverenza per i diritti del malato, e insieme del desiderio che la sua esperienza possa giovare ai successori e all'umanità sofferente; calmo e ordinato, intento all'arte più che alla propria gloria, grave, pensoso e riservato, puro d'animo e signore delle sue passioni, tale apparve ai contemporanei il padre della Medicina, e la sua figura è ancor viva e sovrana nella coscienza dei medici. Fino a poco tempo fa, le Università esigevano dai giovani medici il giuramento da lui dettato, in cui il medico si obbligava alla purità e al segreto nell'esercizio dell'arte.

La medicina è per Ippocrate una sintesi in cui tutte le facoltà dell'individuo devono concorrere: il ragionamento, l'intuito, la coscienza:

« La vita è corta, lunga è l'arte, fuggitiva l'occasione, ingannatrice l'esperienza, difficile il giudizio. Bisogna non solamente compiere da se stessi quello che si deve, ma fare in modo che il malato, coloro che lo assistono e le cose esterne concorrano a questo fine ».

Con lui viene segnato il distacco della medicina dalla filosofia; e si delinea quella mentalità caratteristica del medico di fronte al

malato, che fa della medicina a un tempo una scienza e un'arte.

Ippocrate, che aveva un atteggiamento spregiudicato di fronte alle superstizioni religiose, diffidava anche delle speculazioni sulle essenze e sulle cause universali:

« Non si ha il diritto di fondare l'arte medica sopra una ipotesi. Senza dubbio è la via più comoda. Si semplifica tutto ammettendo una sola causa fondamentale per la malattia o per la morte, la medesima per tutti, e rappresentandola con uno o due fattori, siano essi il caldo e il freddo, o l'umido e il secco, o qualunque altra cosa. Ma per l'Arte è trovato ormai il principio, come anche il metodo, in virtù del quale sono state fatte in breve tempo molte belle scoperte, ed anche il resto si scoprirà, se il ricercatore esperto e che conosce il già fatto ne farà inizio di nuove ricerche. Per ciò è nostro compito approfondire le nostre conoscenze in modo che gli errori ci portino solo di poco più in qua o più in là della retta via: e il medico che commette solo errori non gravi, lo loderemo già altamente. Ma la certezza assoluta è difficile possederla ».

Nondimeno Ippocrate, da vero Greco, sa anche generalizzare. Il suo trattatello su *L'Aria, l'Acqua e le Località* è un bell'esempio di come il medico debba tener conto dell'influenza generale del clima e degli altri fattori sulla salute. Nelle città esposte ai venti freddi e di acque dure e fredde « gli uomini sono robusti e secchi; nella maggioranza le cavità inferiori sono ferme e difficili a muovere; quelle superiori invece più facili. I temperamenti sono più biliosi che flemmatici.... Le malattie comuni sono le pleuriti e tutte le affezioni così dette acute.... Uomini così costituiti mangiano molto e bevono poco.... Sopra trent'anni essi sono soggetti, d'estate, a forti epistassi. Le piaghe non suppurano, il carattere morale è piuttosto fiero che dolce ».

Vi sono nell'opera molte curiose osservazioni intorno a popoli e terre straniere, e si considerano anche gli effetti della libertà o del dispotismo sul carattere della razza. Gli Ateniesi sono presentati come il modello di un popolo abitante una terra rocciosa e sterile, soggetta a bruschi cambiamenti di temperatura: vivaci, pieni di energia, consci di sè, indipendenti. Di fisico magro e vigoroso, dalle giunture preminenti....

Ma accanto alla teoria, stanno gli *Aforismi* dettati dall'esperienza quotidiana:

« A mali estremi, estremi rimedi.

« Nelle malattie il sonno laborioso [è sintomo] mortale; ma se porta riposo, non è mortale.

« I sudori freddi in caso di febbre acuta [sono sintomo] mortale: con febbre più leggera [indicano] che il male durerà.

« Il sogno che termina un delirio [è sintomo] favorevole.

« Se un convalescente mangia bene, ma non ingrassa, [è sintomo] infausto ».

Molti di questi precetti sono divenuti proverbi, grazie alla enorme diffusione che ebbe il libro degli Aforismi durante il Medio Evo.

La cosiddetta « collezione ippocratica » consta di 59 scritti. La differenza di stile e di concezione, e le non poche contraddizioni interne, ce li rivelano opera di tutta una scuola, estendentesi nel V e IV sec. a. C. Quelli che si possono attribuire a Ippocrate stesso non sono più di una diecina.

Le conoscenze di anatomia e fisiologia della scuola erano assai scarse, e si fondavano non sulla dissezione, ma sull'osservazione occasionale. Ad esse doveva supplire il colpo d'occhio: « non è difficile conoscere lo stato di salute di un uomo se lo si vede nudo alla ginnastica ». Ammirabili per le osservazioni accurate e per i metodi razionali sono i libri sulle fratture, le slogature, le ferite alla testa. La chirurgia ionica vi appare nel suo splendore, munita di una tecnica già raffinata e di una comprensione esatta, critica, acuta.

Quali erano i fondamenti teorici? Da Empedocle la scuola accoglieva la teoria del *pneuma*, lo spirito che unito al calore innato costituisce l'anima, e che viene a contatto con lo spirito del mondo esterno attraverso gli organi respiratori.

Il *pneuma* governa i quattro elementi di cui si compone il corpo, e i quattro umori che lo pervadono: sangue, flemma, bile gialla e bile nera o atrabile. Dall'equilibrio di essi dipende la salute: il « temperamento » di essi, proprio a ciascun individuo, ne determina la costituzione.

L'azione dell'aria sul sangue era già paragonata alla sua azione sul fuoco: ma si credeva che il ventricolo sinistro del cuore contenesse aria proveniente dal polmone. I nervi sono ancora confusi coi tendini. La funzione del cervello non è ancora chiara: secondo la tradizione che va da Alcmeone a Democrito e Platone, Ippocrate colloca in esso l'organo del senso, ma d'altra parte tende a considerarlo come una grossa glandola deflemmatrice dell'organismo (spiegazione del « raffreddore di testa »).

Una fisiologia simile sembra fatta piuttosto per sviare che per aiutare il medico; ma ricordiamo che la teoria degli umori tramontò solo nel secolo XIX, e che alcuni suoi concetti fondamentali stanno tornando di moda ai giorni nostri. L'essenziale è di sorreggere queste formule incerte con una giusta intuizione del funzionamento dell'organismo, quale i medici greci possedevano in sommo grado. Le loro migliori opere non si soffermano sulla teoria, ma vanno diritte al compito essenziale: osservare i sintomi, caratterizzare la malattia, generalizzare i dati dell'esperienza.

Quanto ai metodi di cura la loro base teorica era semplice e sicura: non affidarsi a vedute astratte, ma assecondare quanto fosse possibile la *vis medicatrix naturae*. Di qui la formula che sorprende per la sua modestia: « giovare, o [per lo meno] non nuocere ». Curare, secondo gli Ippocratici, equivale a ristabilire la turbata armonia degli umori. Questi tendono naturalmente a uno stato di equilibrio: il lavoro delle forze dell'organismo (*pepsis*, in latino *coctio*) deve esser protetto dalle influenze avverse. A un certo momento la lotta si decide: è la *crisi*.

Tali giorni critici sappiamo che esistono in realtà, specie nelle malattie di carattere zimotico.

La crisi segna il momento opportuno per l'intervento del medico: mettendo in opera tutti i mezzi di cui dispone, anche i più energici, egli deve assicurare lo svolgimento favorevole della malattia nel periodo critico: dopo di che il malato si può considerare salvato.

L'esame dei malati era condotto con metodo mirabile. Molto ne è rimasto nella nostra medicina, come la descrizione della *fa-*

cies Hippocratica del moribondo, la *succussio Hippocratica* per la diagnosi della pleurite, ecc.

Particolare importanza ha la collezione di storie cliniche, conservatoci nel trattato *Delle Epidemie*, e che sono ancora modello ai medici. I nomi e le malattie di molte delle persone citate sono rimasti classici, come quella « donna con angina, che alloggiava da Aristione », o « Filina che abitava presso le mura », ecc.

Il libro *Delle Epidemie* è, del resto, interessante per il modo in cui tratta un soggetto assai oscuro. I greci non si sono mai fatti un'idea del processo infettivo ⁽¹⁾. Per essi la malattia era un turbamento provocato da fattori esterni, miasmi o influenze atmosferiche. Questo era già un atteggiamento scientifico, di fronte al preconetto diffuso ovunque che riporta tutto alla trasmissione di qualità: cosicchè si consideravano senz'altro infettive la purità o l'impurità, la buona o la mala fortuna, ecc. Allo scienziato non rimaneva che rifugiarsi nell'osservazione sistematica. Si notò così che le epidemie hanno certe caratteristiche di decorso e diffusione, legate alla stagione, al paese, all'annata, e ad altri fattori. Ne venne la teoria della *costituzione epidemica* di certi periodi, teoria che fu di grande aiuto ai clinici dei secoli XVII e XVIII, e che è forse più vicina alle concezioni odierne, che non le idee dei batteriologi del secolo scorso, i quali credevano aver trovato nel sublimato e nell'acido fenico il toccasana di tutte le malattie.

In generale si può dire che quasi tutti i problemi sollevati dalla medicina greca del V secolo hanno un valore altamente attuale; in particolare modo quella rivalità di tendenze, che si riassume nei nomi di Cnido e di Coo. Anche oggi al medico di temperamento ippocratico (il « clinico ») si oppone il « sistematico »: quel tipo d'uomo che ha trovato in Galeno la sua incarnazione. Secondo il clinico, ogni malattia andrebbe considerata come *sindrome*: una combinazione caratteristica, cioè, di vari fattori: i cui valori relativi però non possono senz'altro essere stimati partendo da parti-

(1) Primo a introdurre il concetto d'infezione nel senso moderno fu Girolamo Fracastoro (1493-1553).

colari fenomeni accessorî. Il medico di mentalità sistematica o cni-dica vorrà invece scorgere in ogni caso una particolare manifestazione o modificazione di un qualche morbo specifico, che abbia nome e novero sul catalogo.

Da vari indizi appare ora predominare la tendenza ippocratica. Il che si accorda assai bene con la teoria ippocratica del temperamento o « diatesi ». Questa apparente reazione, col ritorno al « temperamento » e alla *vis medicatrix naturae*, trae argomento dalle attuali incertezze della batteriologia, una scienza in cui è rivissuta la mentalità cni-dica.

LA SCUOLA D'ALESSANDRIA. — Con l'inizio del periodo ellenistico, Alessandria diviene il centro degli studi medici e tale rimarrà per circa un millennio. All'ombra del Museo e del Serapeo si raccoglie tutto il materiale della scienza ellenica, e si vien formando gradualmente il corpo Ippocratico. La scienza si specializza, i medici si consacrano a rami particolari come la chirurgia, la ginecologia, l'odontoiatria, ecc.

Nel campo delle ricerche, merito principale della scuola alessandrina, è lo studio sistematico dell'*anatomia* fatto direttamente sui cadaveri umani. I due grandi rappresentanti di quest'indirizzo scientifico sono EROFILO (vissuto prima del 300) ed ERASISTRATO (310-250 a. C.).

È lecito inferire che dopo Erofilo ed Erasistrato, la scienza medica non abbia fatto grandi progressi e che i contrasti delle scuole si siano venuti restringendo all'interpretazione dei testi; poichè l'eco delle discussioni che ci sono state tramandate intorno alle dottrine ed alle ipotesi, ci richiama ai nomi illustri che abbiamo citato, ed ai loro predecessori.

Codeste discussioni tuttavia hanno uno speciale interesse per la storia delle idee, perchè in esse viene a contrasto la mentalità razionalistica con l'empiristica, e sopra un terreno particolarmente adatto al trionfo dell'empirismo. Di esse daremo un breve saggio riportando qualche passo della introduzione ai Libri sulla Medicina di Celso, di cui parleremo più avanti.

« Coloro che professano la medicina razionale propongono come necessarie le seguenti cose : prima conoscere le cause occulte e la causa prossima de' morbi; quindi le cause manifeste di essi; poscia le funzioni naturali, e finalmente la struttura delle interne parti del corpo. Chiamano cause occulte quelle che indagano i principî de' quali è composto il nostro corpo, e ciò che ne conserva o ne perturba la sanità. E credono che non possa conoscere il modo di curare convenientemente le malattie, colui che non sappia donde esse derivino. Nè alcuno vorrà porre in dubbio doversi curare in un modo, se i morbi derivano dall'eccesso o dal difetto de' quattro elementi, come sostennero alcuni filosofi; in altro modo, se il morbo nasca da vizio di umori, come parve ad Erofilo.... Nè costoro negano essere necessaria anche l'esperienza; ma sostengono non potersi neppure aprire la via a questa senza il soccorso del ragionamento.... Di contro coloro che prendono nome di *Empirici*... sostengono essere ozioso disputare intorno alle cause occulte, ed alle funzioni naturali, essendo la natura incomprensibile. Che non si possa comprendere è manifesto dalle discordi opinioni di coloro che ne han discorso, non essendosi potuto ottenere consentimento in questa faccenda, nè tra filosofi, nè tra gli stessi medici. Imperocchè per qual ragione uno deve prestar fede piuttosto ad Ippocrate che ad Erofilo? perchè a costui piuttosto che ad Asclepiade? Se si voglia aver riguardo alle ragioni, tutte possono sembrar probabili; se alla cura, ciascun di costoro vanta le sue guarigioni : e però non è possibile negar fede nè alla disputa, nè all'autorità di alcuni. Che se il ragionamento solo formasse i medici, i più grandi medici sarebbero i cultori della scienza : e pure quanto costoro sono ricchi di parole, altrettanto sono poveri di mediche cognizioni ».

Questa polemica antirazionalistica andò prendendo corpo nelle scuole mediche successive, ed assunse un significato filosofico, congiungendosi alle critiche degli scettici.

La medicina greca incontrò dapprima forti resistenze nel mondo romano. Catone il Censore difendeva le tradizioni patrie contro i nuovi venuti :

« Essi sono pessime e tristissime persone — scriveva al figlio —; e fa conto che ciò ti sia detto da un profeta. Finchè questa gente insegnerà le sue lettere, guasterà e corromperà ogni cosa; e molto maggiormente se manderanno qui i medici loro. Essi hanno giurato fra loro di voler ammazzare tutti i barbari con la medicina. Ma questo fanno essi per pagamento acciocchè tanto più sia creduto loro, e più facilmente possano uccidere altrui ».

Ma per conto suo non aveva da opporre alla nuova scienza che i rimedi popolari. E poco dopo vediamo un grande medico come

Asclepiade divenire l'amico di Cicerone, di Crasso e di Marco Antonio. Le teorie di Asclepiade erano quelle di un epicureo, meccanicista rigido e coerente. Egli spiegava tutti i fenomeni vitali col flusso degli atomi nei *pori* del corpo, che si sregola facilmente. Cade così la fede nella *vis medicatrix naturae*: curare bisogna, intervenire continuamente, ma *tuto, cito, iucunde*, con diete, massaggi e passeggiate in lettiga. Teoria ideale per un medico che voglia far carriera in una società ricca.

Non possiamo qui soffermarci sull'evoluzione della medicina nel mondo romano: sulla mirabile enciclopedia di Aulo Cornelio Celso, *De re medica*, la sola grande opera latina che ci sia rimasta su questo soggetto, e che sembra facesse parte di una raccolta più vasta: sull'ampia compilazione farmacologica di DIOSCORIDE, sui trattati di grandi professionisti quali Ateneo di Attalia, Sorano e Rufo di Efeso, Archigene di Apamea, Areteo di Cappadocia.

È finita ormai l'epoca delle teorie. Gli spiriti volgono all'eclettismo e al compromesso. La scuola stoica domina gli spiriti: e nasce un complesso di vedute in cui è ripresa la teoria umorale di Ippocrate, ma con maggior riguardo al *pneuma*, che è considerato il fattore decisivo nella salute e nelle malattie. Sembra peraltro che il pensiero abbia perso ogni vigore; ci si accontenta di mettere insieme una teoria qui, uno spunto là, dei sistemi più in voga.

È questa l'atmosfera in cui sorge il più grande enciclopedista medico dell'antichità, che ebbe nel Medio Evo fama superiore allo stesso Ippocrate, GALENO di Pergamo (129-199 d. C.).

Galeno è penetrato di un alto sentimento religioso che fa di lui il degno contemporaneo di Marco Aurelio. Disgraziatamente egli non sa tener distinto tale sentimento dalla sua attività di ricercatore: ne viene un continuo e stucchevole moraleggiare teleologico su tutti i fatti osservati. Attacca violentemente i meccanicisti, Epicuro e Asclepiade e tutti quelli che « fanno nascere i fenomeni da legge e per necessità ». La finalità è per lui evidente nella struttura dell'organismo. Ogni minima parte del corpo umano rivela l'attenta cura della Provvidenza. Deride apertamente la teoria epicurea dello sviluppo degli organi per l'uso, per quanto un'idea si-

mile si trovi già negli scritti ippocratici, da lui portati al settimo cielo. Se questo fosse il caso, dice, gli uomini attivi finirebbero con l'aver quattro braccia e quattro gambe, i pigri invece appena uno per sorta. Il suo finalismo, che è spesso preziosa guida nello studio anatomico, degenera qualche volta nella farsa. A chi domandi perchè l'uomo non ha le orecchie lunghe come l'asino, risponde: perchè possa portare il cappello.

Galeno fu grande come sperimentatore ed anatomico: e la sua parola continuò a far testo fino ai tempi di Harvey. Non v'è dubbio però che la sua supremazia durante il Medio Evo sia dovuta all'aristotelismo intransigente, che unisce al metodo finalistico la mania di dare ragione di tutto. La dialettica gli permette di spiegare brillantemente perchè ogni organo sia disposto in modo da servire a un certo fine: non vi è per così dire domanda che rimanga senza risposta, ma sempre appagandosi di quella vaga armonia estetico-filosofica che lascia le cose dove stavano.

LE TEORIE DI GALENO. — Non seguiremo Galeno nelle sue osservazioni e scoperte anatomiche. È per noi più importante chiarire il suo sistema fisiologico: non solo in quanto rappresenta la sintesi del pensiero antico in questo campo, ma anche perchè ci dà la chiave di molte nozioni comuni e locuzioni correnti del Medio Evo e del Rinascimento.

I principî sono i seguenti:

La vita è strettamente connessa col pneuma o spirito, il quale si può distinguere in: a) *spirito animale* che ha sede nel cervello e governa i sensi e il movimento; b) *spirito vitale*, che risiede nel cuore e comanda la circolazione del sangue e il calore del corpo; c) *spirito naturale*, che ha luogo nel fegato e presiede alla fabbricazione del sangue, all'alimentazione, e a tutte le funzioni del ricambio. Si tratta nei tre casi dello stesso pneuma, che si manifesta in tre forme o attività diverse (*virtus attractiva, digestiva, expulsiva*). Di più ogni organo ha una sua virtù specifica che gli appartiene in proprio, come distinta dal pneuma che è legato ai quattro elementi costitutivi. Questa teoria ha portato più tardi a una

veduta mistica di qualità occulte insite in ogni organo, e diverse dalle ordinarie.

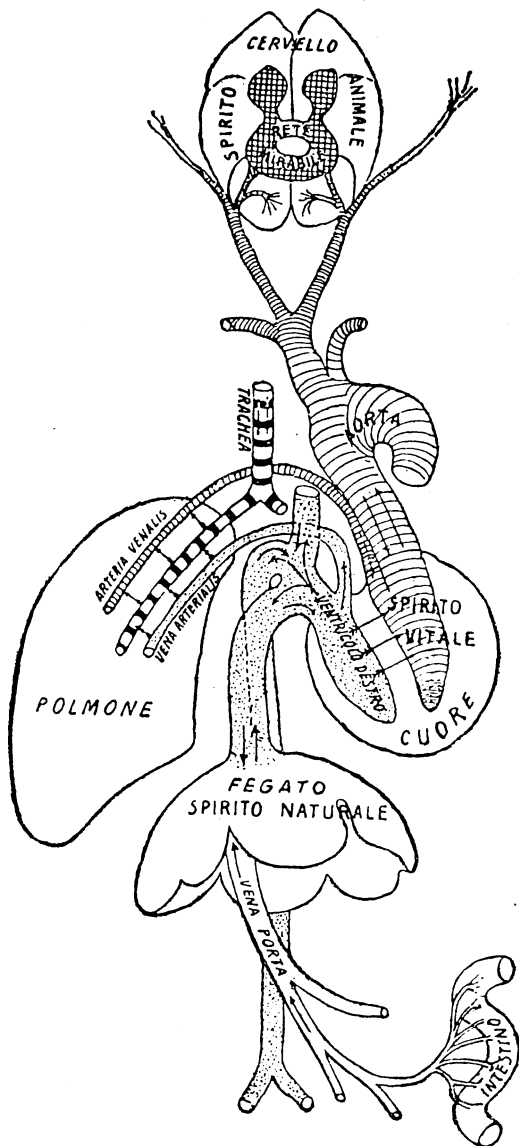
Come si concepiva la transustanziazione di umori e di pneuma che regolava le funzioni vitali?

Il pneuma entra nei corpi attraverso la trachea (*arteria aspera*). Giunto nei polmoni, penetra nella vena polmonare (*arteria venalis*) e così è portato al ventricolo sinistro. Qui viene a contatto col sangue.

Il sangue a sua volta proviene dal fegato, organo al quale convergono le sostanze alimentari trasformate in chilo dall'intestino e raccolte dalla vena porta. Nel fegato si compie quella misteriosa elaborazione che trasforma il chilo in sangue, e lo anima di « spirito naturale »; dal fegato irradia il sistema venoso che trasporta il sangue a tutte le parti del corpo. *Iecur fons venarum*. Il ritmo delle pulsazioni è assomigliato al ritmo alterno delle maree: « come il mare nello stretto dell'Euripo ».

La vena principale era secondo Galeno la vena epatica, dalla quale si diramavano le altre. Uno di questi rami, la nostra vena cava, giungeva al lato destro del cuore. E per il sangue che così entrava nel cuore vi erano due sorti possibili. La maggior parte rimaneva nel ventricolo destro, liberandosi dai suoi vapori e dalle sue impurità, che attraverso l'arteria polmonare (*vena arterialis*) si scaricavano nell'atmosfera, e così purificato rifluiva nelle vene. Ma una piccola parte del sangue che entrava nel ventricolo destro, passava attraverso pori invisibili del setto nel ventricolo sinistro. Qui incontrava il pneuma che giungeva dall'aria, e sotto l'influenza del *calore innato* del cuore, elaborava con esso una forma superiore di spirito, lo *spirito vitale*. Questo era distribuito nel corpo dal sistema arterioso. Alcune fra le materie salivano al cervello, ma prima di raggiungerlo, si dividevano in molti piccoli vasi, la *rete mirabile*. E lì prendeva origine lo *spirito animale*.

Lo spirito animale, sostanza eterea, costituiva l'insieme delle nostre facoltà psichiche. Andava a governare le varie parti del corpo, attraverso i nervi, che erano ancora considerati come canali vuoti.



Il sistema fisiologico di Galenio.

Il sistema galenico ci mostra le disastrose conseguenze dell'aristotelismo. Ad ogni passo vediamo come sia viziato *ab origine* da un falso modo di pensare. Ma non tutti gli errori sono imputabili a questa causa.

« Il punto di vista degli scritti galenici — così riassume la sua opinione il Singer — non è dissimile da quello degli Ippocratici, ma la nobile visione del medico di alti sentimenti e di spirito puro è del tutto svanita. In sua vece si mostra un individuo acuto, onesto, appassionato nella disputa, ribollente d'energia e di laboriosità prodigiosa, buono in fondo, ma attaccabrighe, un carattere eminentemente aggressivo. Ama la verità, ma ama altrettanto la discussione; e spesso si accontenta di spiegazioni puramente verbali. Fisiologo ingegnoso, sperimentatore nato, anatomico insigne e pronto ad imparare, armato di tutta la scienza delle scuole di Pergamo, Smirne ed Alessandria, ricco dell'esperienza di una vasta pratica medica a Roma, Galeno è quello che si chiama un professionista « efficiente ». Tale è l'uomo la cui opera, insieme con la collezione ippocratica, è parte precipua del retaggio medico della Grecia al mondo occidentale ».

GLI ULTIMI SECOLI. — Dopo Galeno, la medicina antica si avvia ad una rapida decadenza. Non vi sono più nomi di grandi medici scienziati: la letteratura volge a quel genere di compilazione erudita che ha i suoi prototipi in Celso e Plinio.

Si moltiplicano i ricettari, i Breviari, i trattati versificati. Nel IV secolo non riescono a far meglio medici a quanto pare illustri, come Apuleio Barbaro, e quel Vindiciano Afro che fu amico di Agostino; e così nel V secolo Teodoro Prisciano e Cassio Felice. Africano come quasi tutti questi è l'ultimo rappresentante significativo della medicina romana, Celio Aureliano, vissuto verso la fine del V secolo. Il suo trattato clinico-terapeutico, che ebbe grande diffusione, è condotto sulla falsariga di quello di Sorano.

La lettura medica si conservò ancora a lungo in Alessandria e Bisanzio. Ma gli scritti dei secoli successivi (Oribasio, Asclepiodoto, Alessandro di Tralle, Paolo d'Egina) non sono che scialbe compilazioni.

XVI.

La filosofia ellenistica.

(Epicurei, Stoici e Scettici).

LE SCUOLE ETICO-RELIGIOSE. — Al particolarizzarsi delle scienze corrisponde, dopo Aristotele, il distacco della filosofia dagli interessi scientifici. L'ispirazione socratica domina le scuole o sette etico-religiose che sorgono ad Atene, accanto all'Accademia e al Liceo. Il loro scopo è essenzialmente morale: dare all'uomo una regola di condotta, realizzare l'ideale del saggio.

Gl'indirizzi principali sono:

la scuola *epicurea*, fondata da EPICURO, il 306, nei giardini (κῆποι, *horti*) da cui prende anche nome;

la scuola *stoica*, istituita da ZENONE DI CIZIO nel « Portico delle Pitture » (Στοὰ ποικίλη) intorno al 308, continuata poi da CLEANTE e rinnovata nelle sue basi scientifiche da CRISIPPO.

Queste scuole fanno, per così dire, il bilancio della scienza e della filosofia anteriore: che cosa insegnino all'uomo per regolare la sua condotta, e come rispondano alle travagliate condizioni dell'esistenza, in un momento storico in cui la società antica vede dissolversi i suoi ideali di libertà.

Perciò i due sistemi morali, che si contrappongono l'uno all'altro, presentano tuttavia alcuni caratteri comuni: danno un'etica individuale, indifferente allo Stato, inculcando all'uomo — cittadino del mondo — la rassegnazione e la prudenza, e in ogni caso, il calmo coraggio e l'indipendenza dell'animo di fronte agli affanni

della vita. Questo è pure il significato morale della rinuncia critica alla certezza del sapere, insegnata dagli *Scettici* (1).

Anche le dottrine degli Epicurei e degli Stoici presentano un fondamento comune, e lasciano vedere che il grande movimento della speculazione socratico-platonico-aristotelica è ben lungi dall'aver cancellato l'influenza della filosofia anteriore: per dare all'etica una solida base sembra necessaria una scienza della natura, e i nostri filosofi ritornano per ciò alle concezioni dei fisiologi: Epicuro all'atomismo di Democrito e gli Stoici alla fisica di Eraclito.

EPICURO. — Se la scienza ci offre soltanto lo spettacolo di un mondo meccanico, indifferente ai fini e ai valori umani, che cosa ragionevolmente può sentire e volere l'uomo? qual posto riconoscerà a se stesso nell'Universo? quale significato assumeranno per lui le nozioni del bene e del male, e quale norma pratica ne trarrà per la condotta della vita?

Epicuro (2) affronta il problema con lucida consapevolezza. Affrancato da quella specie di ascesi che appartiene al razionalismo di Democrito, egli sente tutto il valore della scienza e della mentalità scientifica, come una liberazione dalle superstizioni e dai pregiudizi.

Gli Dei — se pure la nozione comune che ne hanno gli uomini non permetta di negarli — sono relegati negli *intermundia*, indifferenti ai destini umani. L'anima, secondo i progressi della psicologia contemporanea e sotto l'influenza d'Aristotele, si scopre complessa, e quindi Epicuro dimostra esplicitamente che il gruppo d'atomi che la costituisce deve disfarsi col corpo. Così la condotta non può avere sensazione ultraterrena.

Alla base della morale epicurea c'è un forte bisogno di chiarezza e di sincerità interiore: il saggio non si farà schiavo di folli

(1) Degli indirizzi posteriori della filosofia neopitagorica e neoplatonica parliamo nel Cap. XVII.

(2) Epicuro è nato a Samo da famiglia ateniese, sul finire del 342 o agli inizi del 341. È morto ad Atene a 76 anni, nel 270.

terrori, non indulgerà alle passioni oscure, ma riserverà il suo assenso per ciò che si giustifichi, con libero esame, davanti al tribunale della ragione.

Avere compreso, almeno in uno dei suoi aspetti fondamentali, il valore etico e filosofico della scienza, non importa tuttavia intendere veramente la scienza. Epicuro non possiede spirito scientifico; non solo resta, per ciò, a grande distanza da Democrito, ma addirittura sopra un'altra linea. Anzitutto gli manca l'intelletto matematico: non corretto da questo, il razionalismo sperimentale del maestro cede in lui alla domanda d'un criterio di verità di più immediata evidenza, piegando all'empirismo. La dottrina democritico-aristotelica dell'origine delle idee dalle sensazioni, conduce d'altronde su questa via ⁽¹⁾.

La sensazione (che Epicuro spiega, come Democrito, colla teoria degli *Idola*) rispecchia sempre una realtà: un oggetto o un fatto di cui non è lecito dubitare senza scuotere le basi della nostra salute spirituale; ma che tuttavia può dar luogo a diverse opinioni o giudizi distinguendo il suo contenuto effettivo che può essere un *simulacro*, dalla cosa in sè (per esempio, nel caso d'una torre quadrata che da lontano pare rotonda):

« Ove tu ti opponga a tutte le sensazioni, non avrai neppur più alcun criterio a cui riferirti per giudicare quelle che dichiarerai fallaci ».

« Se rifiuti [la testimonianza di] qualche sensazione, e non distingui rispetto a ciò che attende conferma, l'opinione e il contenuto effettivo della sensazione interna ed esterna di ogni intuizione percettiva dell'intelletto, perturberai anche [la testimonianza de] le altre sensazioni con la tua vana congettura, e così ad un tempo rifiuterai ogni criterio di giudizio. Se poi riterrai esatto nei tuoi pensieri, tanto ciò che attende conferma quanto ciò che non ne ha bisogno, non fuggirai l'errore, perchè avrai conservato ogni ambiguità in qualsiasi giudizio sul vero o sul falso ».

Dal continuo contatto colla realtà sensibile nasce quella prenozione o anticipazione dell'esperienza (*notities* in Lucrezio) che

⁽¹⁾ La « Canonica » epicurea è stata ripresa e interpretata da Gassendi (cfr. Enriques, *Per la storia della Logica*). Nella scuola stessa ha avuto qualche svolgimento nel senso d'una logica induttiva per opera di tardi Epicurei del secondo e primo secolo a. C.

ci guida nel mondo dei fenomeni e ci fornisce le verità più generali, per esempio, che « nulla viene dal nulla ». Il pericolo dell'errore è soltanto, come si è accennato, nell'esercizio del pensiero che da tali verità evidenti s'innalza a induzioni e supposizioni; e perciò conviene correggerne la fallacia sorreggendolo con la verifica sperimentale:

« L'inganno o l'errore è... sempre in ciò che la nostra opinione aggiunge [a quello che attende] conferma, ed invece non sia confermato ».

Tuttavia non interessa a Epicuro verificare in ogni caso, con esattezza, l'ipotesi. La spiegazione deve soddisfare a certe condizioni generali di logica e di morale: importa, per esempio, sapere che, in ogni ordine di fenomeni, c'è un soggiacente meccanismo di atomi urtantisi, ma non importa cercare se ciò accada così o così. Perchè, insomma, il saggio vuol conoscer l'Universo nel suo insieme e non nei suoi particolari accidentali: ogni possibile si avvera nell'infinito del Tutto; a che dunque tormentarsi a discriminare ciò che vale in ogni modo, per qualche luogo e tempo se non per il nostro?

Questo argomento sull'infinito (che Lucrezio designerà come *vis infinitatis*) rispecchia il più eccelso razionalismo di Democrito; ma è curioso di vederlo adoperato per giustificare teoricamente il disinteresse di Epicuro per la ricerca scientifica, che dipende dal suo concetto etico-utilitario della scienza stessa:

« Della scienza della natura non avremmo bisogno se non ci turbasse sospetto e timore delle cose celesti, e non temessimo che la morte sia qualcosa per noi, e non ci nuocesse ignorare i limiti dei nostri dolori e dei nostri desideri ».

Quando avrai dominato timori e passioni: « Fuggi la scienza, o felice, issando la vela più veloce ».

Frattanto la dottrina atomica, senza cessare di essere ipotetica, degrada in un sistema geocentrico e antropocentrico, dove le alte intuizioni di Democrito si vedono malamente mescolate con speciosi argomenti aristotelici. Già la stessa dimostrazione dell'esistenza degli atomi — elementi indivisibili dei corpi — diventa incerta ed oscura: sembra che, per analogia col « minimo sensi-

bile », Epicuro ammetta un minimo d'estensione ed anche di tempo, che tornerebbe a cadere sotto la critica eleatica dell'infinitesimo attuale.

Assai peggio accade della visione del sistema cinetico. Epicuro, come Aristotele e come i moderni critici ignari del principio d'inerzia, non sa comprendere che gli atomi si muovano senza una forza che li muova; e questa è tratto a concretare nel peso. Così gli atomi cadranno tutti nella stessa direzione verticale dall'alto al basso, cioè secondo la direzione dalla testa ai piedi degli uomini; e si moveranno con eguale velocità. Allora, per rendere possibili i reciproci urti onde si generano i corpi o *concilia* di atomi e i relativi fenomeni, occorre postulare una deviazione, per quanto piccola, degli atomi cadenti dalla verticale: il *clinamen* di Lucrezio. È uno strappo minimo alle leggi del peso (*perpaulum quo nihil posset fieri minus* dice Cicerone) ma così « è evitata la necessità del destino ». In altre parole, il *clinamen* si coordina, nella mente del filosofo, all'esigenza morale del libero arbitrio cui suffraga l'evidenza del senso interno:

« Era ancor meglio portar fede alle favole sugli Dei, che essere asserviti alla necessità dei fisici. Infatti la favola ci lascia la speranza di piegare gli Dei onorandoli, ma non si può piegare la necessità ».

LA MORALE EPICUREA. — L'etica d'Epicuro presenta a tutta prima una somiglianza con quella della scuola cirenaica, poichè il nostro filosofo, al pari d'Aristippo, assume come bene il piacere:

« Bisogna che il fine sia per tutti gli esseri il piacere, perchè appena nati e indipendentemente dalla ragione, si compiacciono nel godimento e si rivoltano contro il dolore ».

Però la tesi ha, nel sistema d'Epicuro, un diverso e più profondo significato e un motivo originale.

Siamo lungi dalla gioconda baldanza che esprime, a suo modo, l'irrequieta giovinezza della civiltà ellenica. Ora anche l'ideale della felicità piega alla saggezza del vegliardo:

« Non il giovane deve stimarsi felice e invidiabile, ma il vecchio che visse una vita bella; perchè il giovane al culmine del suo fiore, è

volubile ludibrio della fortuna; il vecchio invece alla vecchiezza come a sicuro porto approdò, e quei beni che prima ansioso e dubitoso ha sperati, ora tiene a sè avvinti in saldo e grato ricordo ».

Per Epicuro il piacere è prima di tutto — secondo la rivelazione del senso interno — ciò che risponde al bisogno del vivente, e in questo senso si giustifica da sè. Ma l'incompatibilità di certi piaceri, e la considerazione delle loro conseguenze, conduce ad una prudente scelta che sottomette i piaceri non necessari e pur naturali ai necessari, e i piaceri del corpo alla serenità e ai godimenti dello spirito :

« Usa verso ogni desiderio questa interrogazione : che mi avverrà se si compia ciò che vuole il mio desiderio? e che cosa se non si compia? »

C'è di più : la critica di Epicuro si può ritenere come una vera giustificazione della virtù. Per aver fatto o tentato questo, il filosofo dell'età ellenistica figura come precursore dei moderni materialisti e positivisti che in maniera analoga hanno cercato di fondare una morale edonistica o utilitaria, a cominciare dal Bentham.

Ma, mentre i filosofi moderni sono rimasti esclusivamente alla teoria, Epicuro ha voluto insegnare soprattutto un sistema di vita :

« Come non stimiamo la scienza dei medici per sè, ma per la salute... così la saggezza — arte della vita — non sarebbe desiderata se non servisse a nulla ».

Quale successo abbia avuto il suo insegnamento nell'antichità, quali sentimenti suscitasse negli animi, ci dicono testimonianze autorevoli : « I discepoli ed amici d'Epicuro erano così numerosi che città intere non avrebbero potuto contenerli » dice Diogene Laerzio. « Il popolo è con loro », attesta Cicerone.

E, comunque si giudichi della dottrina, conviene riconoscere che le accuse tramandateci dagli avversarii e massime dai polemisti cristiani contro coloro « che l'anima col corpo morta fanno », colpiscono soltanto alcuni seguaci d'Epicuro pieganti al culto estetico dell'eleganza e della bellezza magari perversa, non la generalità degli epicurei di cui Seneca descriveva la « vita un po' triste, di santità e di rettitudine ».

GLI STOICI. — Una dottrina unilaterale come quella d'Epicuro, che per appagare l'intelletto semplificatore nega il bisogno metafisico nel profondo delle anime, non poteva certo rispondere a tutte le esigenze della società ellenistica, in cui si mescolavano tante stirpi e nazioni diverse. Dai paesi ove più forte agiva lo spirito orientale sono venuti gli uomini che, in senso opposto alla scuola epicurea, fondarono la Stoa.

ZENONE di Cizio — che portava anche nel colorito della pelle i segni di sangue non greco, ed era chiamato « il piccolo fenicio » — fu ad Atene scolaro di Cratete cinico e di Stilpone megarico, e da essi prese alcuni elementi della sua dottrina: « da buon mercante — dice Polemone — prendeva di qua e di là la sua merce, dandole una veste fenicia ». Infatti, fu colpito dal carattere austero della morale cinica; ma il precetto di « vivere secondo natura » interpretò in nuovo modo, togliendo quel contrasto radicale fra « natura » e « convenzione » che per i Cinici giustificava il disprezzo delle convenienze. E presso Stilpone trovò non solo una morale egualmente severa con forme più decorose, sì anche una più raffinata dialettica.

Ma egli sentiva soprattutto il bisogno di giustificare la morale, dandole un fondamento nella scienza della natura. E perciò, attraverso l'influsso dei medici vitalisti, si riallaccia ad Eraclito, rappresentandosi il mondo come un processo incessante di ritmica accensione e trasformazione del « fuoco », per cui questo si cambia successivamente ed in parte in aria, acqua, terra, per ritornare allo stato primitivo con una periodica conflagrazione universale.

La concezione vitalistica è estesa dagli Stoici anche agli oggetti inanimati: ciascuno, concepito a immagine d'un essere vivente, contiene uno *pneuma*, la cui tensione tiene insieme le parti: così viene spiegata, per esempio, la durezza del ferro. E l'Universo intero, secondo la tradizione ionica, è ancora per loro un vivente, la cui anima è il soffio igneo che penetra tutte le cose e le stringe in un ordine solidale. Così l'intuizione vitalistica porta con sé un senso mistico del travaglio delle forze della natura, che si riflettono dentro di noi: appunto nella coscienza d'una solida-

rietà che si allarga al mondo e comprende e determina la solidarietà umana. Quindi la fisica e la morale sono legate nel concetto stoico da un rapporto che il paragone colla dottrina epicurea mette meglio in luce: la fisica respinge gli *atomi* democritei, mobili indipendentemente gli uni dagli altri, per cercare un principio unitario del processo cosmico, così come la morale rifiuta la costruzione giustificativa della virtù, che per gli Epicurei nasce dal valutare e comparare gli affetti negli *individui*. Vero è che ancora si vede assunto come scopo dell'uomo la felicità, chè lo spirito greco non uscì mai da questo concetto; ma la felicità stessa è identificata colla virtù, onde il pensiero si solleva ad una morale del dovere.

Per raggiungere questo risultato, gli Stoici, pur rifiutando gli atomi, accolgono nel loro sistema la grande veduta democritea del determinismo universale: anzi, il determinismo, che gli Epicurei compromettono col *clinamen*, figura intero soltanto nella loro dottrina. C'è una necessità intrinseca delle cose cui l'uomo non può sottrarsi, e la saggezza sta nell'accettare volontariamente ciò che ad ogni modo non si potrebbe evitare: *ducunt volentem fata, nolentem trahunt*.

Ma non si tratta di accettazione passiva. L'assenso del saggio si giustifica con la ragione, perchè il determinismo universale è subordinato alla realizzazione di fini buoni in se stessi. « Tutto ciò che ti conviene mi conviene perfettamente, o Natura » dirà Marco Aurelio. Infatti il vitalismo degli Stoici sovrappone la veduta teleologica al meccanismo democriteo: la *virtù formativa* d'Aristotele si concreta nelle *ragioni seminali*, e — per quanto riguarda il finalismo — Zenone ritorna anzi di là da Aristotele, e sembra riaccostarsi a Socrate, o piuttosto al concetto religioso semitico. Tutto è ordinato, nel mondo, per il bene degli uomini e degli Dei; sicchè la necessità esprime, in ultima analisi, la Provvidenza. Gli Stoici recavano perciò molti degli argomenti popolari, che si ripetono anch'oggi; e d'altra parte accomodavano la loro dottrina alla mitologia greca tradizionale, secondo uno spirito di conservazione religiosa; indulgendo anche alle pratiche superstiziose venute dall'Oriente. La *divinazione*, accolta da Zenone e da Clean-

te, diventa oggetto di lunghi trattati per CRISIPPO e poi per ANTIPATRO e per POSIDONIO, e così entrano in scena le teorie astrologiche.

La dottrina filosofica degli stoici era insomma un panteismo, che però inclina al teismo, quando si distingue il mondo come molteplicità differenziata delle sue parti, dalla forza originaria egemonica: il Dio, che è la ragione immanente della sua unità. L'uomo poi vien concepito come immagine del Tutto: un microcosmo, come già diceva Democrito. La ragione ch'egli possiede, esprime la coscienza della ragione universale, poichè dal non ragionevole non potrebbe nascere il ragionevole:

Si ex oliva modulate canentes tibiae nascerentur, num dubitares quin inesset in oliva tibicinii quaedam scientia? (Cicerone).

IL CRITERIO DELLA VERITÀ. — L'uomo che sente alitare in sè lo Spirito universale, e nella voce del dovere avverte la gran voce della Natura, predisposta alla realizzazione del Bene, deve trarre dalla sua alta fede una severità morale ed una forza di carattere, quale si mostra infatti nella vita degli Stoici. Il loro nobile senso della dignità umana si afferma, com'è noto, nel coraggio con cui sapevano rinunciare volontariamente a vivere, non per sfuggire al dolore, ma quando l'inutilità e il danno della loro propria esistenza indicasse la ragionevolezza di metterle un termine. I primi esempi sono dati da Zenone e da Cleante.

Tuttavia i lati migliori della religione stoica hanno anche un rovescio, perchè la difesa stessa della fede contro la critica e il dubbio sopravveniente portava con sè il duplice avvilito: di costringere l'assenso dell'intelletto colle sottigliezze d'una dialettica oscura, e di perseguitare la libertà di giudizio negli altri, con astiosa intolleranza.

La posizione della scuola stoica con Cleante era assai scossa dagli attacchi avversarî, quando CRISIPPO, capo della Scuola fra il 232 e il 204, la ricostituì, sviluppando massimamente la logica. All'opposto gli abusi della dialettica disgustavano ARISTONE di Chio:

« Coloro che s'immergono nella dialettica fanno come i mangiatori di gamberi: per un boccone di polpa perdono il loro tempo sopra un mucchio di scaglie ».

Per gli scopi nostri è soprattutto importante ricordare gli sforzi fatti dagli Stoici per stabilire un criterio della verità. La loro logica, sviluppata in senso formale, risente non solo l'influenza d'Aristotele, sì anche quella di DEMOCRITO che Crisippo sembra aver tenuto presente, nel suo scritto « sulla ricerca ». D'accordo coi due filosofi, l'origine delle idee generali si fa derivare dalle sensazioni, e pertanto la dimostrazione — anzichè basarsi su principi necessarî — vien ridotta, come dice Cicerone, ad una *ratio*, *quae ex rebus perceptis ad id quod non percipiebatur adducit*. Il razionalismo sembra piegare del tutto verso l'empirismo. Forse è senz'altro così per Zenone di Cizio, quando assume come criterio del vero la rappresentazione comprensiva, cioè la rappresentazione sensibile che porta con sè l'evidenza immediata dell'oggetto. Ma Crisippo riprende da Democrito il principio che « il concetto è criterio della ricerca ». E a questo motivo razionalistico risponde l'introdursi, nel sistema stoico, delle *nozioni comuni* o *nozioni naturali* dette anche — con termine epicureo — « anticipazioni » dell'esperienza.

Fondamento di tali nozioni è ancora il senso; ma per gli Stoici esse traggono una superiore dignità dal consenso comune degli uomini, espressione del Logos divino, sicchè figurano come verità *a priori*. Più tardi, quando la Scuola si evolve secondo l'indirizzo eclettico, diventeranno conoscenze *innate*, d'accordo colla teoria platonica della reminiscenza.

GLI STOICI PLATONIZZANTI: PANEZIO E POSIDONIO. — Verso la fine del II secolo a. C., il pensiero stoico presenta una evoluzione interessante. Sotto l'influenza della critica scettica degli Accademici, di cui diciamo in appresso, la dottrina tende ad accostarsi alle idee platoniche. In pari tempo c'è un risveglio spirituale. Sotto la tirannia di Tolomeo Fiscone (146-145) Alessandria aveva perduto il suo primato scientifico; ora l'influsso della sua grande

scuola si fa sentire più forte a Rodi e riaccende l'interesse per le scienze esatte nei filosofi stoici che convengono in questo centro di studi. Inoltre gli stessi filosofi entrano in relazioni più larghe col mondo che si va unificando dai Romani, e pare che l'orizzonte allargato si rispecchi per loro in un nuovo sentimento d'umanità, da cui procede un senso nuovo della geografia e della storia.

I più cospicui rappresentanti di questo indirizzo eclettico sono PANEZIO di Rodi e POSIDONIO d'Apamea, che pure visse lungamente a Rodi: i maestri dello stoicismo romano.

Panezio diresse la scuola del Portico ad Atene dopo il 129. Era legato d'amicizia con lo storico Polibio e con Scipione Emiliano, chè nel 146 lo aveva accompagnato in un viaggio d'esplorazione in Africa, ed ebbe numerosi scolari a Roma, fra cui il nipote di Scipione, Quinto Tuberone.

La sua mente scientifica si rivela nel disgusto della sterile dialettica e nella maggior importanza attribuita alla fisica. Panezio si compiace dell'ordine cosmico, così bello e perfetto, che non può venir distrutto periodicamente da una conflagrazione universale, siccome ammettevano i suoi predecessori. Da questa più alta visione del mondo, che riflette il regno eterno delle Idee platoniche, egli trae i motivi per rigettare molte credenze superstiziose della Scuola, per esempio la « divinazione », ispirandosi ad un criterio positivistico. Soprattutto il suo interesse va all'opera dell'uomo che si spiega nella storia: la sua morale ne ritrae una larga comprensione delle esigenze della civiltà, all'incontro del « ritorno alla natura » qual era interpretato dai Cinici: di qui una dottrina stoica più temperata, che meglio si confaceva ai gusti dell'aristocrazia romana.

Più importante di Panezio, per l'influenza esercitata sulla società contemporanea e per l'opera di divulgazione scientifica, è Posidonio. Grande viaggiatore ed osservatore del mondo abitato, discepolo di Panezio ad Atene e caposcuola a Rodi dopo il 104, quivi fu visitato da Cicerone.

Posidonio ha interessi scientifici anche più larghi del maestro. La sua opera enciclopedica, per la vastità, può essere paragonata

soltanto a quella di Aristotele. Essa va dalla geometria alla fisica, alla cosmologia, alla meteorologia, alla geografia, alla storia, alla biologia, all'etica, alla teologia, ed anche alla mantica, all'astrologia, e all'escatologia: perchè il discepolo di Panezio ritorna alle superstizioni della Scuola.

Il concetto generale della filosofia è da lui spiegato mercè il paragone col corpo d'un vivente: la fisica corrisponde al sangue e alla carne, la logica alle ossa e ai tendini, l'etica all'anima. Nel campo delle scienze esatte Posidonio deve ritenersi, piuttosto che ricercatore originale, un erudito che raccoglie e divulga i risultati dei lavoratori tecnici.

Il filosofo di Apamea ha rielaborato le dottrine ricevute in accordo colla sua concezione generale del mondo. Per esempio, la spiegazione tradizionale delle maree, come dovute all'influenza del Sole e della Luna, s'illumina per lui coll'idea stoica della « simpatia » fra le varie parti dell'universo. Essa si collegava nella sua mente a quelle vedute astrologiche che la Grecia aveva appreso dai magi della Caldea, che erano state popolarizzate dalle *Storie babilonesi* di BEROSO (circa 280 a. C.), e che già Teofrasto riferiva con ammirazione in un libro *Sui Segni*. La predizione cogli oroscopi e la credenza nell'influsso divino degli astri sugli avvenimenti della Terra e degli uomini, suscitavano il più largo entusiasmo nel mondo ellenistico e furono assunte nella dottrina stoica, appunto come espressione della solidarietà cosmica; per tutti i popoli che avevano osservato il fenomeno, venivano avvalorate dal fatto delle maree, ove l'influenza del Sole e della Luna riesce visibile.

Più ancora che nella geografia fisica, l'originalità di Posidonio sembra spiegarsi nella geografia antropica e nella storia. Continua l'opera di Polibio narrando le vicende degli anni 145-86; giudica la civiltà romana come un progresso ed un perfezionamento delle civiltà anteriori; e nella sua narrazione e nei suoi studi (che conosciamo in parte attraverso Strabone) lascia vedere per la prima volta un reale interesse per tutti i popoli delle diverse razze: questo è frutto del nuovo umanismo che traduce in termini di scienza il mo-

tivo della simpatia universale, posto a fondamento della sua filosofia.

Con Posidonio prende forma compiuta il nuovo sistema stoico, nel quale si tenta di inquadrare l'uomo nel mondo anzichè nella *polis*. L'Universo è in fondo una grande Città di cui sono cittadini gli uomini e gli dei; un insieme organico e conoscibile. Vi hanno posto così le istituzioni e la scienza della Grecia, come l'astrologia e i despoti deificati d'Oriente. Tutto è ordinato secondo uno scopo: la Ragione universale, che vuol salvare la « comunità della stirpe degli uomini », manda giù nel mondo le grandi anime a guidarla: queste, liberate, risalgono all'etere igneo in seno al *Logos*, assistite nell'ascesa da tutte le anime che le hanno precedute.

GLI SCETTICI. — Di fronte alle sette degli Epicurei e degli Stoici, che hanno assunto fra le premesse dogmatiche del loro sistema morale qualche risultato o principio della scienza precedente, i cosiddetti Scettici svolgono una libera critica dei criteri della verità, e riescono a darci — accanto alla scienza del periodo ellenistico — una vera filosofia della scienza.

La parola scettico, σκέπτομαι (discerno), porta appunto con sè l'idea del *dubbio metodico*. Tuttavia i primi scettici appaiono accomunati alle altre sette contemporanee da un interesse morale, che risponde al bisogno dei tempi, e mentre rivelano già un caratteristico atteggiamento dello spirito, sono lungi dall'offerirci una vera critica della scienza.

Del resto gli scettici non formano propriamente una scuola. Il primo che prende questo nome — PIRRONE d'Elide, vissuto fra il 365 e il 275 a. C. — non ha lasciato nulla di scritto, ed è solo conosciuto per il suo amico e discepolo TIMONE di Fliunte (n. circa nel 325 e morto ad Atene verso il 235 a. C.). L'eredità di questi filosofi è raccolta dagli accademici di mezzo, che deviano dalla tradizione platonica. Infatti la polemica contro gli Stoici condusse ad una posizione critica la *nuova Accademia* instaurata da Arcesilao (n. verso il 315 a Pitane in Eolide, m. verso il 240). E la critica della scienza assume la più vigorosa espressione nel grande

pensatore che chiude questo periodo dell'attività accademica, CARNEADE (n. a Cirene verso il 219 e m. ad Atene nel 129 a. C.).

Ma l'Accademia tornò presto a posizioni dogmatiche: il movimento si compie, traverso Filone di Larissa (n. tra il 148 e il 140 a. C., m. probabilmente a Roma fra l'85 e il 77), con Antioco di Ascalona (n. fra il 124 e il 127 a. C.) che professa un dogmatismo eclettico. La tradizione scettica è raccolta da altri: « lo scetticismo — dice il Brochard — è come un fiume che si nasconde sotto terra, per riapparire lungi dal luogo ove è sparito ». Il più illustre rappresentante della scepsi, dopo gli Accademici, è ENESIDEMO di Cnosso, in Eolide; di lui si sa che ha insegnato ad Alessandria, ma restano incerti i termini della vita (fra l'80 a. C. e il 130 dell'e. v.).

Dopo Enesidemo gl'insegnamenti scettici sono logicamente sviluppati da Agrippa. E più tardi la scepsi assume un nuovo carattere, nei circoli dei medici empiristi, fra i quali ricorderemo Menodoto di Nicomedia (vissuto verso il 150 dell'e. v.). Rappresentante letterario di tutto questo movimento è SESTO EMPIRICO il quale, intorno alla metà del III secolo della nostra era, espone e riassume il vasto pensiero dei suoi predecessori nelle sue opere interessanti *Adversus mathematicos* (contro i dotti o i professori) e *Schizzi pirroniani* (« Ipotiposi »), fonte cospicua di notizie per la storia del pensiero greco.

Su Pirrone si esercita un'influenza della scuola democritea traverso METRODORO di Chio, il quale già si lagnava che « non possiamo saper nulla, nemmeno se sappiamo qualche cosa ». Il discepolo di Metrodoro, ANASSARCO, che vuolsi maestro di Pirrone, congiungeva questo abito critico con un fiero culto dell'ideale etico di Democrito: l'imperturbabilità dell'animo era divenuta per lui quasi un distacco orientale dalle cose del mondo. Della sua coraggiosa impassibilità ebbe a dar prova allorchè, caduto nelle mani del suo nemico Nicocreone, principe di Cipro, e condannato ad esser pestato in un mortaio, gridò al tiranno fra i tormenti: « pesta, pesta pure il guscio di Anassarco, non potrai pestarne l'anima libera e sovrana ».

Da quest'esempio eroico e da quello di Socrate, traeva Pirrone la sua scienza del vivere. Rapito in un mondo di quiete spirituale che non possono turbare le cure quotidiane, egli appare a Timone un Dio-sole dell'umanità :

« Come mai tu, che sei soltanto un uomo, puoi condurre nella calma una vita serena, senza mai cedere al vortice d'una sapienza dociliente? ».

« ... Per qual via sei riuscito a sfuggire al servaggio delle opinioni e al vuoto pensiero dei dotti?... Importava poco a te di sapere quali venti soffiassero sull'Ellade e qual sia il principio e la fine di tutte le cose ».

Ma da questo stato d'animo, Timone trascorre a giustificare teoricamente l'ideale della saggezza, come astensione dal sapere. Il sentimento che lo ispira fiorisce con Carneade, in una vera filosofia della scienza. Accettando come punto di partenza di ogni conoscere la « sensazione », questi scopre l'errore a cui ci espone ogni giudizio, e nega che esista un criterio specifico per distinguere il vero dal falso. D'altronde non si può nemmeno trovare un criterio di certezza di là dal senso.

La ragione, per Carneade, non è costruttiva. I principii della dimostrazione sono *ipotesi*, è per dar loro un fondamento occorrerebbe: o risalire indietro *all'infinito*, o presumere che vengano giustificate dalle conseguenze, ciò che costituisce un circolo vizioso. Tuttavia, distrutta ogni certezza, rimane sempre un *valore probabile* delle conoscenze che si basano sulla rappresentazione sensibile e tanto più se si dieno catene di rappresentazioni legate fra loro da un sistema logico.

Così negli argomenti di Carneade vediamo una critica del conoscere, che contiene molte vedute significative e che dovrà esser nuovamente meditata dai fondatori della scienza moderna.

Enesidemo ha dato a queste idee una forma più sistematica. Infine l'ultima fase di sviluppo della scepisi greca è, come si è detto, una dottrina strettamente empiristica, che si vede professata in taluni circoli di medici, ed appare come espressione di una prudente coscienza professionale educata al culto dell'osservazione metodica.

XVII.

La coltura a Roma.

Verso l'inizio dell'era cristiana Roma viene ad accogliere nel quadro dell'impero tutti i centri della coltura ellenistica; si apre allora per la scienza quel periodo di più vaste relazioni mondiali che porta il nome di greco-romano. Già nel tracciare lo sviluppo delle scienze particolari abbiamo avuto occasione d'imbatterci in uomini che da questo ambiente appunto traggono la loro figura: medici come Asclepiade e Galeno, pur d'origine greca, si trovano qui accanto a Celso romano; e come lo storico Polibio im- prende a descrivere i fatti e il governo della Repubblica, Stra- bone e Tolomeo ci danno la geografia dell'Impero.

Ma se non vi è una storia della scienza romana distinta dalla greca, importa tuttavia vedere come gli spiriti ellenici sieno accolti e compresi dalla mente latina che dà a tutta la coltura antica una propria forma, cui si legano le tradizioni dell'Europa occidentale e in particolare del nostro Paese.

L'IMPERO DI ROMA. — Nel 200 a. C., Roma esce vittoriosa e spossata dalla più terribile crisi della sua esistenza, la lotta contro Annibale.

Era scesa nell'agone contro Cartagine a capo della Confedera- zione Italica: esce dal bagno di sangue come potenza mondiale. Il suo destino è ormai segnato: in pochi decenni, essa è divenuta l'e- rede degli imperi d'Oriente. Alla espansione si accompagna una trasformazione profonda del suo organismo politico. Al regime con- servativo dei *patres* e degli agricoltori succede il grande capita-

lismo dei cavalieri e dei pubblicani, l'ascesa di una classe di uomini nuovi. Le ricchezze dei paesi vinti affluiscono da ogni parte: al loro seguito vengono ambascerie, vengono medici, letterati, artisti, filosofi, cerretani. Dopo la terza guerra macedonica vengono a Roma anche dei prigionieri achei, fra cui lo storico Polibio che doveva esser maestro di Scipione Emiliano. Fra il 165 e il 155 vengono il filosofo e filologo Cratete di Mallo, Carneade ed altri, che divennero i maestri dei giovani aristocratici.

La classe conservatrice, che fin dai primi secoli aveva combattuto l'influenza greca, sentì il pericolo. Fin dal 161, un decreto cacciava da Roma tutti i filosofi. Catone il Censore denunciava continuamente i nuovi venuti, mettendo tutti in un fascio gli avventurieri, i commercianti di lusso, i filosofi che venivano a confonder le idee, i medici « che avevano giurato d'ammazzare tutti noi barbari ».

Lo sforzo dei conservatori non poteva mutare lo svolgersi naturale degli eventi: ma valse a fare argine al primo entusiasmo, che minacciava persino l'esistenza della lingua latina, e a dar tempo allo spirito nazionale di assimilare le nuove correnti. L'aristocratico conservatore non disprezzava le teorie morali e sociali che gli portavano i filosofi greci, i quali da parte loro speravano di vedersi inverare con Roma il loro ideale di uno stato universale: quel che temeva soprattutto era quel diletterantismo dell'intelligenza che si appaga nella contemplazione artistica della verità; e difendeva il culto della tradizione e dell'operosità romana. La sua saldezza morale, il suo buon senso solido e pratico non vuol essere turbato da problemi astratti; basta prendere ciò che la scienza greca può dare ai Romani di cognizioni utili: di queste bisogna impadronirsi col minimo sforzo, e sfruttarle come le provincie conquistate, senza perdersi nella critica dubitante dei filosofi. Con tali intendimenti Catone ci dà nei « Precetti al figlio » la prima enciclopedia latina, trattando di agricoltura, di retorica, di medicina ecc.

CARATTERI GENERALI DELLA CULTURA ROMANA. — Disse una volta il sommo pontefice Muzio Scevola, che di Cicerone fu mae-

stro ed amico: « Tre sono le specie di religioni: quella del poeta, quella del filosofo e quella dello statista. Le due prime sono o futili, o superflue, o magari dannose, e convien respingerle. Solo l'ultima va accettata ». Questa frase caratterizza perfettamente l'idea che si facevano i Romani « serî » della scienza e della coltura greca.

In Grecia la vita dello spirito era nata dal mito, dall'epopea, dall'avventura guerriera e marittima: laddove il pensiero romano è stato tenuto a battesimo dalla oscura prudenza sacerdotale degli Etruschi. Dalla *Etrusca disciplina* i Romani hanno derivato i caratteri principali della loro prima coltura: i collegi sacerdotali, le leggi dei re, le insegne del potere, i computi secolari, il calendario, i fasti, gli albi, la mitologia, le origini della tradizione, dei giuochi e dei sacri canti. Il tetro ritualismo etrusco si è trasformato a Roma nella concezione « intera e dritta » di un rapporto giuridico fra l'uomo e la divinità. Gli dei conquistati prendono sede sul Campidoglio, e convivono in rapporti ben determinati dalle leggi della città. Curiosità e fantasie illecite vanno represses, come dannose alla *res publica*. Quel che nei Romani ci appare timidità intellettuale è il riflesso del loro patriottismo geloso e intransigente. Ben quadrati e fondati, estranei ai « problemi » e all'introspezione, i Quiriti stretti attorno alla rupe Capitolina sono una sola volontà lucida e statica di fronte al mondo. Non sono alieni dall'accogliere l'apporto delle colture esterne, ma solo come elemento etico, non come « valori » spirituali. Di coltura romana non si deve parlare in senso stretto. Vi fu una civiltà, un ordine, un *imperium* di Roma. Ma i cittadini romani che si distinguono nelle arti e nelle lettere sono spesso i provinciali: italici, greci, celti, iberi, africani; molecole varie gravitanti in aggruppamenti sempre diversi attorno a quella monade di energia pura che è lo spirito dell'Urbe. E si noti come lo stesso concetto di *humanitas*, (*anthropótes*), sia assai più greco che romano. L'equivalente romano di esso è la conoscenza dell'uomo e dei suoi motivi psicologici che ci rende atti a governarlo. Sotto l'influenza alessandrina, si forma nel secolo d'Augusto quell'ideale composito di coltura

che va sotto il nome di *humaniora*: e che è quintessenza della classicità.

Quale sarà dunque il significato della scienza e della cultura greca agli occhi romani? Il concetto pragmatistico o utilitario domina sempre i giudizi, sebbene inteso con intelligenza. Pronto favore incontra a Roma tutto quanto riguarda l'arte di parlare, di persuadere e di ordinare il pensiero, la *facultas dicendi imperatoria*. Mentre la poesia si applica docilmente a imitare i modelli alessandrini, la filologia studia la forma e la struttura di una lingua ancora incerta di se stessa, e reca un prezioso ausilio alla giurisprudenza.

Si comprende anche il ritegno con cui fu accolta da principio la speculazione filosofica. Ennio, il pugliese grecizzato, lo ammetteva francamente: *philosophari est mihi ac paucis, nam omnino haut placet*. Ma le cose cambiano nel corso di due generazioni. La casa di Scipione s'apre a Panezio di Rodi. Molti patrizi si dilettono a discorrere di morale e cercano un fondamento teorico alla loro vita d'azione. La filosofia è accolta così nelle grandi famiglie dei Lucilii, dei Marcelli, dei Lelii, dei Gracchi e dei Pisoni. Vi si appassionano consolari illustri come quel L. Tuberone a cui Enesidemo dedicò gli *Argomenti Pirroniani*. Specialmente le dottrine stoiche guadagnarono molti animi nobili. Ciò che prova la vitalità delle dottrine filosofiche nell'ambiente romano è il contrasto delle più diverse opinioni: succede addirittura che una dottrina quasi morta in Grecia, come il pitagorismo mistico, rinasca qui come nuova teologia, per opera d'un senatore letterato e astrologo, P. Nigidio Figulo (nel 45 a. C.) (1). D'altra parte s'incontrano notevoli figure

(1) Il pitagorismo aveva avuto grande influenza sulle popolazioni italiche, e le sue parole di *saggezza* si trasmettevano dall'uno all'altro anziano. Cfr., per esempio, il modo in cui Cicerone pretende gli siano giunti i precetti di Archita, attraverso il capo sannita Ponzio Erennio, il vincitore delle Forche Caudine. Catone conobbe anch'egli le dottrine pitagoriche, e non oppose loro l'ostilità che lo animava contro il pensiero greco, trovandovi un'austerità confacente al suo spirito. Del resto, la prima *saggezza* greca volta in latino fu quella di Epicarmo, per opera di Ennio. E già le leggi delle XII tavole avevano subito l'influenza della legislazione pitagorica della Magna Grecia.

di epicurei, quali Rabirio, Pomponio Attico, e Manlio Torquato, che tuttavia scompaiono nell'ombra del grande poeta-filosofo Lucrezio, di cui diremo fra poco.

Tutta questa filosofia, se pure vi entrino talvolta dei motivi artistici, rimane dominata dagli scopi morali, sotto l'influenza socratica che abbiamo già visto pervadere le scuole ellenistiche. E penetra la civiltà romana agendo sul costume e sul diritto.

La scienza per se stessa, come spettacolo disinteressato della natura, non appassionò mai lo spirito dei Romani. Invece il criterio utilitario delle sue applicazioni, e in qualche modo anche il genio ordinativo latino, trovarono un'espressione caratteristica nelle Enciclopedie, dove ancora molti autori, non più rozzi come Cato, intesero di raccogliere nella maniera più vasta tutto il materiale delle conoscenze tradizionali. D'altronde questo genere di lavoro si addiceva bene ad un'epoca che si dedicava all'inventario delle conquiste passate, quasi presentando prossima la decadenza: ed ha avuto realmente il più grande valore per serbare e tramandare ad un nuovo ciclo storico i frutti del pensiero antico.

LA FILOSOFIA. — La filosofia greca acquista stabile cittadinanza a Roma con CICERONE (106-43). Essa fu per il grande oratore l'aspetto privato della vita, la pausa di raccoglimento nelle ore di forzato riposo dalla politica, che rispondeva al concetto romano da lui così ben fissato dell'*otium cum dignitate*; più tardi, dopo la morte della figlia Tullia, cercò in essa consolazione al suo dolore. Appunto a questi ultimi anni della sua vita appartengono i dialoghi espositivi della filosofia greca: *Consolatio*, *Hortensius*, *Academica*, *Tusculanae*, *De natura deorum*, *De finibus*, *De divinatione*, *De fato*, ecc.

Cicerone serba verso la scienza un atteggiamento di freddo rispetto: la filosofia ha per lui quel significato morale ed umano che Socrate le conferì, portandola di cielo in terra, cioè rivolgendola dalle speculazioni sulla natura alla condotta della vita umana. L'Arpinate ha pure un mediocre interesse per i principî: non vale la pena di impegnarsi in battaglie d'idee irrigidendosi in posizioni

che restano sempre e tutt'al più verosimili o probabili, non raggiungendo mai la certezza del vero. La scepsti, che ha meditato a lungo, lo dispone piuttosto ad accogliere ciò che di buono sembrano offrire le diverse dottrine, e in ogni caso a trarne le conseguenze pratiche che spesso possono riguardarsi come insegnamento comune delle opposte scuole.

È questo il ben noto eclettismo di Cicerone che continua e svolge un movimento già iniziato nelle scuole ellenistiche: sia nell'Accademia, sia nella Stoa. Ma come il pitagorismo romantico del suo *Somnium Scipionis* culmina in una apoteosi della romanità, così i motivi scettici e relativistici (che vedemmo trarre origine da un ideale di quiete contemplativa) si convertono per l'Arpinate in una filosofia dell'azione: prodotto caratteristico della mente romana, che ritroveremo in Seneca e Marco Aurelio.

Cicerone non pretendeva recare alla filosofia qualcosa d'originale; pure lo spirito eclettico-pratico che abbiamo rilevato, l'attitudine alla volgarizzazione ond'egli acquista una straordinaria importanza come fattore culturale ⁽¹⁾, e un certo modo suggestivo di prospettare e colorire le questioni, recano, non solo l'impronta del genio latino, ma anche qualcosa che è proprio suo. Così egli ha messo in circolazione ogni sorta d'idee generali che rinasceranno sotto diversi cieli; saggezza ornata e serena, che fornirà a molte generazioni di uomini amanti delle lettere le risposte ai grandi problemi: della vita e della morte, delle leggi, dei doveri, del ben vivere, dell'ordine dell'universo e dei fini che lo governano.

Superiore a Cicerone, come altezza di mente e vigore speculativo, è Lucrezio: il poeta filosofo che ha tratto ispirazione dalla veduta scientifica del mondo, e in particolare dalla dottrina epicurea, costruendo un'opera unica nella letteratura di tutti i tempi.

T. LUCREZIO CARO si può ritenere nato nel 97 a. C., e morto, probabilmente di morte violenta, a 43 anni, nel 55.

(1) Ricordiamo che Copernico fu spinto alla sua costruzione da un riferimento di Cicerone sulla teoria di Iceta: *reperi quidem apud Ciceronem primum Nicetam (sic) sensisse terram moveri.*

Il suo poema *De rerum natura*, espone con versi splendenti e commossi, che un certo rude arcaismo rende ancora più efficaci, l'atomismo, nella forma datagli da Epicuro: sentito come dottrina liberatrice dell'animo dai terrori della religione e della morte.

« E come i bimbi trepidano e temono ogni cosa nelle cieche tenebre, così noi all'aperta luce temiamo talvolta cose che non son più tremende di quelle che i bimbi paventano nel buio e si figurano stian per avvenire. Bisogna dunque che questo terrore e queste tenebre siano scacciate dall'animo non dai raggi del sole e coi lucidi dardi del giorno, ma con l'immagine e le cause della natura ».

Lucrezio esalta il suo maestro alla pari di un Dio.

« Primo, un Greco osò alzare gli occhi mortali contro la religione tetra e minacciosa, sfidando il cielo tonante, i fulmini e i terremoti che con la fama degli Dei empivano il mondo d'orrore ».

Ma non è discepolo pedissequo d'Epicuro; ne accoglie bensì le spiegazioni fisiche ed anche gli errori che avrebbe potuto correggere colla conoscenza dei matematici e degli astronomi; pure le sue espressioni e i suoi concetti fan vedere che ha meditato anche Empedocle ed altri *veteres docti poetae*, e certo il suo pensiero e la sua morale si sono nutriti della visione storica di Tucidide e della saggezza di Posidonio. Soprattutto c'è originalità nella passione, quasi fanatica, con cui egli ricerca la spiegazione naturalistica del mondo e della vita: che, vincendo l'avvilente mistero, reca a lui la gioia e la luce della ragione e, con questa, la pace e la saggezza nuova di chi contempla « l'infinita vanità del Tutto ».

E certo anche di là da tale saggezza pratica, oltre lo scopo morale che consapevolmente persegue, il poeta-filosofo sente la bellezza della natura che da semplici principî meccanici trae così ricca e varia costruzione d'effetti, mondi infiniti e infinite forme di vita riproducentisi per simili concorsi di cause senza fine pre-stabilito, vasto equilibrio dinamico che si svolge in un ciclo, senza che vi sia bisogno di invocare forze esterne: *ita res accendent lumina rebus*.

La spiegazione dei fenomeni a partire dagli atomi, la teoria delle meteore, la descrizione della formazione del nostro mondo, del nascere e del propagarsi della vita fino alle sue forme più perfette dànno occasione al poeta di svolgere costruzioni ingegnose e immagini mirabili. Soprattutto egli ci invita a meditare questa necessaria conclusione che l'anima, essendo un complesso di atomi, si dimostra doversi disciogliere e perciò annullare colla morte. Onde Lucrezio trae argomento a vincere ogni nostra preoccupazione d'una sorte futura. Non è forse assurdo temere il buio della tomba o le fiamme del rogo come se ancora l'anima fosse presente al disfacciamento del corpo? O piangere i beni che si lasciano in terra, quasi ne dovesse continuare il ricordo?

Tuttavia un uomo di scienza che legga Lucrezio avrà ben presto il senso di trovarsi di fronte uno spirito estraneo alle sue preoccupazioni: peggio ancora che gli errori, egli rileverà il suo difetto di interesse, che si fortifica dell'autorità di Epicuro. Il sole è grande quanto appare. La credenza agli antipodi — che pure egli descrive con precisione mirabile — viene rifiutata. Le eclissi si possono spiegare, con gli astronomi, ammettendo l'interposizione della luna e di altri corpi opachi fra noi e la sorgente luminosa, ovvero secondo la credenza popolare ammettendo che gli astri si spengono, ecc., ecc. In generale seguendo il criterio epicureo, egli allinea le varie spiegazioni possibili, senza preferirne alcuna.

Coi suoi pregi e coi suoi difetti, l'opera di Lucrezio passa i secoli. Ma più che nelle contribuzioni positive, più ancora che nel giusto senso dell'armonia intrinseca del mondo e dell'evoluzione della vita, il valore storico di essa sta nell'appassionata volontà illuministica: quell'*arduus furor* così schiettamente e rudemente latino, che sconcertava i Romani alessandrinizzati, ispirerà gli uomini del Rinascimento e darà animo all'abate Gassendi a rinnovare le dottrine di Epicuro. Ai tanti che la formazione letteraria aveva tenuti lontani dalla scienza, i forti versi dai cupi riflessi di bronzo rivelavano nuovi orizzonti: di là dal consueto umanesimo moraleggiante era dato scorgere l'amorosa dedizione alla *natura daedala rerum*, l'eco di quanto si era fatto nella umile paziente

ricerca della vera struttura del mondo. L'eco, diciamo: poichè, come si è osservato, in Lucrezio manca in fondo l'elemento essenziale del pensiero scientifico, l'ingenua curiosità. Figlio di una civiltà stanca e delusa, egli vorrebbe trovare un ideale per un mondo che ormai non ne ha più: e s'illude di ravvisarlo negli inesorabili *foedera naturai*, nella severa bellezza della ragione, ordinatrice del caos.

Durante gli ultimi tempi della repubblica, e sotto l'impero, la filosofia suscita a Roma un interesse sempre più diffuso: presso i poeti, i giureconsulti e gli uomini di Stato. Essa diventa un rifugio nella tristezza dei tempi: i filosofi entrano come consiglieri nelle famiglie. La maggiore influenza è esercitata dallo *stoicismo*. In questa dottrina si fondevano i motivi religiosi, scientifici e filosofici in modo che particolarmente si confaceva al temperamento romano. Il rigido determinismo, la morale austera, la visione universale del Portico, hanno lasciato la loro impronta nell'ideale del *iustum ac tenacem propositi virum*. Stoici sono i grandi uomini di Plutarco, stoici gli eroi di Virgilio e dello stesso Orazio, stoica la fede di Scipione Emiliano, di Rutilio Rufo e di Catone Uticense, e poi di Seneca, Elvidio e Trasea. I Gracchi ne avevano tratto ispirazione al loro tentativo generoso e lungimirante: Marco Aurelio doveva portare questa fede sul trono dei Cesari.

Fede ardente, religione delle anime libere nelle gravi ore del dispotismo imperiale, la filosofia, come la storia, non piaceva agli imperatori: *ingrata principibus nomina*, dice Tacito. Ed ebbe i suoi martiri per opera di Nerone e poi di Domiziano. Fra questi anche lo spagnolo che di Nerone era stato maestro ed amico, consigliere non sempre puro, LUCIO ANNEO SENECA (4-65 a. C.).

Seneca — che figura anche fra gli enciclopedisti — volle essere un direttore di coscienze, e forse la migliore delle sue opere rimane la raccolta dei consigli a Lucilio. Adattava il suo insegnamento all'indole delle persone, e nell'analisi dei caratteri e delle passioni spiegava una psicologia raffinata: egli ha saputo descrivere tutte le sfumature del male morale, e in particolare il

disgusto degli uomini e della vita, così comune nella « società di belve » che è quella dei suoi tempi.

Fra i filosofi che s'incontrano a Roma, dopo Seneca, conviene almeno nominare il più celebre rappresentante della dottrina stoica nell'epoca imperiale: EPITTETO, lo schiavo frigio (n. c. 50 e. v.). Era zoppo; si racconta che la sua infermità fosse dovuta a una malvagia burla del padrone, il quale una volta si divertì a stringergli la gamba in una morsa. « Bada, avvertì Epitteto, che finirai per rompermela ». E quando si ruppe davvero, aggiunse soltanto: « Te lo avevo detto ».

Epitteto seguì le lezioni dello stoico Musonio Rufo; liberato, divenne egli stesso maestro di filosofia a Roma, finchè dovette esulare nel 93 quando Domiziano imperatore espulse i filosofi dall'Italia. Riparò nell'Epiro e visse povero, ma circondato dall'ammirazione di numerosi discepoli, a Nicopoli, fino al 125. Le sue massime furono raccolte da Arriano in quel celebre *Manuale di Epitteto* che tutti gli Italiani conoscono per la traduzione di Giacomo Leopardi.

I discorsi d'Epitteto hanno guadagnato alla filosofia stoica un'altra grande anima: MARCO AURELIO imperatore considera quella lettura una fortuna ed un avvenimento della sua vita. E fu veramente straordinaria ventura che un filosofo, chiamato ai supremi fastigi del potere, potesse realizzare il regno dei filosofi.

Per questo la filosofia acquista un'alta importanza anche politica nella storia di Roma.

Educato fin da giovane da maestri stoici, Marco Aurelio volle vivere una vita conforme alla dottrina adottata, e nei *Pensieri* ci ha lasciato il ricordo dei suoi esami di coscienza, delle riflessioni interiori che accompagnano il suo sforzo quotidiano, la sua attività di supremo moderatore dello Stato. Il diario, scritto in greco, è intitolato « εἰς ἑαυτόν » « a se stesso ». La maggior parte di esso fu scritto nelle meditazioni notturne sotto la tenda, durante l'interminabile campagna contro i barbari del Danubio.

Marco Aurelio ha fatto fino in fondo il suo mestiere di impe-

ratore. Ha governato, ha combattuto, ha vinto, ha saputo anche reprimere energicamente i tentativi di ribellione nell'esercito. Ma l'« occhio dell'anima » gli è rimasto limpido e obbiettivo, e gli consente di non farsi illusioni sul valore di quella ragion di Stato che pur tiene in pugno :

« Un ragno va orgoglioso d'aver preso una mosca; fra gli uomini, chi si gloria d'aver preso una lepre, chi un cinghiale, chi un orso, e chi dei Sarmati. In fondo, predoni tutti quanti ».

Nella luce dell'universale relatività, la storia appare il teatro della Natura; tutti abbiamo la nostra parte sulla scena, tutti, dall'imperatore allo schiavo, uguali in dignità *sub specie aeternitatis*. E l'uomo cui è devoluta la parte dirigente non avrà che da compierla in tutta umiltà, serbando il rispetto di quel genio interiore che è comune a tutti gli uomini, e che gli consente di

« esaminare le cose terrene come da un luogo elevato : greggi, eserciti, fatiche dei campi, nozze, dissensi, nascite, morti, tumulto dei tribunali, contrade deserte, popoli barbari d'ogni sorta, e il contrasto, e l'armonia che nasce dai contrari ».

Un tal sereno distacco non significa disinteresse. L'imperatore non si limiterà ad amministrare e a beneficiare, ma cercherà di favorire in ogni modo l'elevazione spirituale dei suoi simili, il diffondersi del pensiero filosofico.

L'influenza di questo si faceva sentire in tutta la struttura dell'Impero: il razionalismo stoico, già tendente alla concezione umanitaria cristiana, permeava di sè il diritto pubblico e privato. Dice Renan :

« C'est par là que la grande école stoïcienne qui au II^e siècle essaya de réformer le monde, après avoir en apparence misérablement avorté, remporta en réalité une pleine victoire ».

L'ultima espressione del razionalismo greco si incorpora all'organismo dello Stato romano. Nella persona dell'imperatore filosofo la stessa rinunzia si trasforma in forza d'azione.

LE ENCICLOPEDIAE. — Abbiamo già rilevato la propensione dei Romani per le enciclopedie, che si manifesta fino dall'opera del rozzo Catone. Con una scienza molto più alta il tentativo si rinnova da M. Terenzio Varrone reatino, l'amico di Cicerone e di Cesare (116-27 a. C.), della cui opera (circa 550 libri) ci restano solo i *tres libri rerum rusticarum*, scritti verso gli 80 anni per assistere, nella gestione del fondo, la moglie Fundania.

Anche dell'opera di Aulo Cornelio Celso, vissuto ai tempi d'Augusto e di Tiberio, si è perduta la maggior parte. Ma è pervenuto fino a noi il *De re medica*, lavoro riesumato agli inizi del Rinascimento e pubblicato a Firenze, fin dal 1478: del quale il nostro clinico Salvatore De Renzi, che lo ha tradotto in italiano, ha fatto il più ampio elogio.

Le più celebri enciclopedie romane sono le *Quaestiones naturales* di SENECA e la *Naturalis Historia* di C. PLINIO SECONDO, n. a Como nel 23 o 24 dell'e. v. e morto nel 79, nell'eruzione del Vesuvio, ch'egli aveva voluto osservare più da vicino.

Seneca, che era più vecchio di Plinio di una ventina d'anni, scrisse però di cose naturali verso lo stesso tempo, cioè dopo il 60. E si può anche domandare se nel pensiero romano non rappresenti uno stadio ulteriore.

I 7 libri delle « Questioni naturali » trattano i soggetti seguenti: i fuochi celesti (stelle filanti, arcobaleni, ecc.), i fulmini, le acque della terra e in ispecie del Nilo, le nuvole, i venti, i terremoti e le comete.

Secondo alcuni l'idea di scrivere la sua opera venne a Seneca dal terremoto che devastò la Campania nel 63, danneggiando gravemente Pompei (distrutto poi nel 79): di codesto fenomeno egli porge una descrizione interessante al principio del libro VI. Ma forse il disegno dell'opera nacque nella mente dell'autore qualche tempo prima, quand'ei si fu allontanato dal circolo dell'imperatore. Ad ogni modo l'animo con cui si accingeva a scriverla si rileva dalla prefazione al terzo libro:

« Io non mi dissimulo la grandezza dell'edificio di cui pongo le fondamenta nella vecchiaia. Ho stabilito di fare un giro per tutto il

mondo, e scoprirne le cause e i segreti e farli conoscere agli altri. Dove troverò il tempo per seguire tanti oggetti diversi, per riunire tanti fatti, per penetrare tanti misteri? La vecchiaia mi spinge alle spalle e mi rinfaccia gli anni consumati in vane occupazioni. È una ragione di più per far presto e riparare col lavoro i danni di una vita male impiegata. Si aggiunga al giorno la notte, si tronchino le occupazioni, si abbandonino le cure di un patrimonio che giace ormai lontano dal suo padrone ».

Il contenuto dell'opera non è originale. Seneca prende a base delle sue esposizioni la fisica atomistica democritea, ed espone le dottrine dei filosofi suoi predecessori e specialmente di Posidonio, maestro ed ispiratore dello stoicismo romano; ma le tratta spesso con libertà di giudizio. Per esempio, quando descrive le varie specie di moti tellurici, Seneca aggiunge alla *succussio* e all'*inclinatio* di Posidonio la *vibratio*, che sembra avere personalmente osservato, come la specie di terremoti meno pericolosa.

Ma, piuttosto che nei particolari delle osservazioni scientifiche, l'originalità di Seneca deve cercarsi nella comprensione storica ed umanistica ch'egli ha della scienza, e nella fiducia che manifesta del suo progresso futuro. Molti spiriti arditi sono stati scossi dalle sue previsioni, dove, attraverso la consueta retorica, si scorge un sentimento vivo delle possibilità date alla ragione umana.

« La scienza è in un continuo divenire; la verità è sempre in cammino e il fascino del mistero ci mette sulla sua strada. Un giorno molti segreti saranno svelati con gli studi accumulati dai secoli. Una sola età non è sufficiente a risolvere tanti problemi delle cose celesti, fosse essa tutta quanta dedicata al cielo. Verrà tempo in cui i nostri posteri si stupiranno che noi abbiamo ignorato fatti così chiari....

Un giorno un uomo dimostrerà in quali parti dello spazio corrano le comete, perchè esse vadano errando lontane dagli altri pianeti, e ne dirà la grandezza e la struttura ».

Qui sembra profetizzato Newton. L'opinione sull'abitabilità degli antipodi, che Seneca raccoglie da Eratostene e da Strabone, è qualcosa di più che una fortunata previsione, se ha potuto influire sugli spiriti del secolo XV e suscitare così quel movimento di idee che ha condotto alla scoperta dell'America: « Qual è la distanza fra il lito estremo della Spagna e gli abitanti dell'India? Pochissimi giorni, se il vento spinga ugualmente le navi ».

Plinio è un Romano tipico della schiatta dei Ciceroni, dei Varroni, dei Pomponii. Le cariche dello Stato, l'intensa attività pubblica non lo distolsero dalla diuturna inesausta attività letteraria. Da giovane aveva servito in cavalleria e aveva anche pubblicato degli scritti tecnici su quest'arma. Nell'età matura, divenuto familiare dell'imperatore Vespasiano, soleva recarsi presso di lui a conferire prima dello spuntar del giorno. Indi attendeva alle cure del suo ufficio, che erano vaste e molteplici. Non appena terminato il lavoro della giornata, tornava a casa a studiare. Durante il pranzo, nel bagno, in viaggio, ovunque teneva presso di sé il lettore. Infaticabile e metodico, percorreva e sunteggiava tutta quanta la letteratura dai Greci in poi. Quando era procuratore in Spagna, gli fu offerta da un certo Larcio Licinio la somma di 400.000 sesterzi per la sua collezione di estratti. Ma egli non voleva separarsene: e leggeva e aggiungeva senza posa.

Dalla enorme massa degli *electa*, Plinio ha compilate varie opere, di cui ci è rimasta soltanto la *Storia naturale*. Come spiega l'autore nella prefazione a « Vespasiano suo », si tratta di un'inchiesta, che vuol essere per quanto è possibile completa sugli oggetti e i fenomeni offerti dalla natura (*omnia attingenda quae Graeci τῆς ἐγκυκλοπαιδείας vocant*). Di fatto riesce, fra tutte le opere antiche, la più vicina nello spirito alle enciclopedie moderne, specialmente perchè ogni cosa vi è considerata per ciò che interessa l'uomo, comprendendo, accanto alle scienze naturali propriamente dette, la geografia e la medicina ed anche notizie di storia e d'arte. « *Opus diffusum, eruditum, dice il nipote, nec minus varium quam ipsa natura* ». Vasta era l'ambizione enciclopedica ma nobilmente giustificata: *Naturae vero rerum vis atque maiestas in omnibus momentis fide caret, si quis modo partes eius ac non tota complectatur animo*. E l'autore volle assolvere il compito immenso che si era prefisso, coscienziosamente. Bene a ragione egli esclamava concludendo la grande opera: « Ave Natura, madre di ogni cosa; e siimi propizia, poichè io solo ti ho esaltato sotto tutte le forme nel cospetto dei Quiriti ».

Tuttavia la *Storia naturale* è lungi dal rivelare uno spirito filosofico.

« Il mondo — si legge agli inizi del libro II — o come piacque di dire, il cielo, che racchiude tutto ciò che esiste, vuolsi essere un nume, cioè eterno, immenso, non generato nè perituro giammai. Ma indagare tali cose straniere non interessa agli uomini, e neppure cape nella congettura delle menti umane ».

Per Plinio è pazzia (*furor*) misurare gli spazi celesti o speculare su mondi innumerevoli, pazzia scrutare le cose di fuori quando non si conoscono ancora tutte quelle di casa nostra.

Pure il suo interesse non è soltanto pratico, sì anche erudito: c'è la passione del collezionista che tutto vuol sapere e descrivere, informandosi oltrechè dell'oggetto o del fenomeno, anche dell'uso che gli uomini ne han fatto o possono farne, della storia, dei racconti, delle leggende che vi si riferiscono. Del contenuto dell'opera così scrive l'autore stesso, nella prefazione:

« In trentasei libri abbiamo incluso ventimila cose degne di considerazione — perchè, come dice Domizio Pisone, devono essere tesori piuttosto che libri — le quali si ricavano dalla lettura di circa duemila volumi di cento eccellenti autori, cui pochi studiosi attingono per l'oscurità della materia; e vi abbiamo aggiunto notizie ignorate dai nostri predecessori o scoperte più tardi ».

L'informazione che si reca in tal guisa sulla civiltà e sulla scienza antica, è veramente della più alta importanza: da rammaricare soltanto che il trattatista non raccolga sempre dagli autori citati di prima mano, ma si valga spesso di estratti men chiari e precisi e talora fraintenda le sue fonti specie nelle questioni più difficili dell'astronomia e della fisica.

Chi guardi alla enormità del materiale accumulato da Plinio, non stenta a comprendere che la sua enciclopedia tecnica, non superata fino ai nostri giorni, sia valsa a conservare per secoli le più preziose conoscenze dell'antichità. Nel Medio Evo essa fu la somma delle scienze naturali; dal 1469 ad oggi ne furono ristampate oltre 200 edizioni. Speciale importanza conservano i trattati sulla Zoologia: non che possano confrontarsi a quelli d'Aristotele

per la profondità dei criteri classificatori, ma essi ci recano notizie di osservazioni molteplici fatte nel periodo storico susseguente a quel sommo naturalista.

LA DECADENZA E LA FINE DELLA SCIENZA ANTICA. — La cultura scientifica si conserva assai bene, nell'ambiente greco-romano, durante i due primi secoli dell'e. v., ma — nel terzo secolo — col potere creatore, viene meno a grado a grado anche l'intelligenza delle opere: s'inizia così l'epoca dei commentatori e dei dosso-grafi, che comporranno i resti del sapere in compendii e in raccolte di « opinioni », sempre più magre.

Il declinare della scienza è invero soltanto un aspetto di quel fenomeno complesso, che è il fallimento di tutta la civiltà antica. I diversi aspetti inscindibili di questa storia sono: nell'ordine materiale il dissolvimento dell'economia dell'Impero e la sua distruzione politica; nell'ordine spirituale il distacco degli uomini dalle miserie e dagli orrori della vita circostante, che importa una fuga da tutta la realtà sensibile, il ripiegarsi delle anime sopra di sè in un più intenso bisogno religioso, quale si esprime cogli sviluppi dell'ultima filosofia antica e finalmente si appaga nella fede cristiana.

In codesti sviluppi, più fortemente che nelle dottrine stoiche, si esercita un'influenza orientale ed ebraica, che trova la sua espressione, durante il primo secolo, nel neo-pitagorismo, rinnovato ad Alessandria da Nigidio Figulo e continuato poi da Moderato di Gades e da Nicomaco di Gerasa; poichè i motivi mistici e religiosi di questo indirizzo speculativo s'incontrano e si accostano col pensiero di Filone giudeo, tendente ad un'interpretazione allegorica in senso scientifico delle sacre Scritture.

La corrente neo-pitagorica confluisce, più tardi, nel neo-platonismo, fondato da Ammonio Sacca (175-240), che ha come massimo rappresentante PLOTINO (204-270). Quest'uomo, che fu per lunghi anni ascoltato maestro a Roma — e di cui il suo scolaro, Porfirio, ha raccolto i trattati distribuendoli nelle sei *Enneadi* (Novene) — è uno dei filosofi mistici più ricchi di pensiero, di tutti

i tempi. Egli si afferma interprete di Platone, prendendo come punto di partenza la contemplazione delle pure Idee, ma se ne distacca, col trascendere l'attività razionale nell'estasi religiosa, per cui l'anima riesce un momento ad entrare in contatto coll'Uno-spirito: il principio e la fonte da cui procedono tanto l'Intelletto che l'Intelligibile. Plotino, secondo Porfirio, avrebbe raggiunto tale estasi solo quattro volte nella sua vita. E di se stesso, dice Porfirio: « a questo Dio che non ha forma nè figura, che si erge al disopra del pensiero e di tutto ciò che è pensabile, io, sappiatelo, non mi sono avvicinato che una volta, in modo da unirmi a lui, e ciò nell'anno 68° della mia vita ».

Dall'Uno-spirito derivano nel sistema plotiniano, per emanazione, le successive ipostasi o forme della realtà: la ragione e il mondo intelligibile delle Idee, l'Anima cosmica che si riflette similmente nella molteplicità delle anime, e infine il mondo sensibile che ha per relitto la materia assolutamente povera e indeterminabile; qualcosa che è — almeno in senso relativo — il non essere, e che per l'incapacità di ricevere una forma o un ordine, per le contraddizioni o l'incertezza inerenti alla sua natura, costituisce il principio del male.

La natura occupa quindi un posto subordinato: come effetto della contemplazione dello Spirito. I *logoi* creatori che da esso emanano danno alla materia la sua organizzazione. Non sono però essi stessi « nè percezione spirituale, nè visione: ma un potere che agisce sulla materia, inconscio e soltanto attivo ».

Un dinamismo grandioso anima le correnti ascendenti e discendenti del gran mare dell'Essere, e domina la realtà contingente insieme coi suoi problemi. La vita dello Spirito Divino trabocca in un fluire perpetuo di attività creativa, che va a perdersi agli estremi confini del reale, in modo che ogni possibile manifestazione dell'energia divina, ogni nota della gamma infinita si effettui in qualche parte. Ogni parte dell'universo, vivificata, tramanda a sua volta la vita, fin alle ultime vibrazioni, nelle oscure latebre della materia. E accanto a questo « procedere » della vita dal centro alla periferia, vi è una corrente centripeta che riporta le

creature verso la sorgente dell'essere, dirige lo sforzo delle anime individuali, dalla vegetale all'umana, che lottando ed errando nelle tenebre cercano la via che le riconduca al principio d'ogni bene.

È palese che la costruzione metafisica sopra accennata — anche là dove pretende esplicarsi nella ricerca di leggi della Natura, che sarebbero razionali come emanazione dell'Intelletto — porta il razionalismo in un campo estraneo alla scienza. La mentalità teurgica, magica e mistica appare tanto più aperta nell'Astrologia e nell'Alchimia che riceve impulso dal neo-platonismo, interferendo colle tendenze dei nuovi culti popolari popagati nell'Urbe.

Ma in confronto alla scuola neo-platonica, che pur deviando verso la mistica, serba almeno il culto della ragione scientifica, ben diversamente si oppone alla scienza il movimento cristiano. Qui c'è una vera rivoluzione, un completo rovesciamento di valori; non soltanto il disinteresse del pensiero rispetto alla realtà sensibile, e l'aspirazione ad una verità più alta, sì la fede che questa trascenda insieme tutto ciò che la ragione umana può concepire; e che non sia neppur conquistabile con lo sforzo della ragione di superare se stessa, ma venga dalla pura grazia di Dio. Ora se la parola del Vangelo ci offre la verità assoluta cui invano tentava di pervenire il menzognero intelletto, qual senso può serbare per il cristiano la ricerca della verità, cioè la filosofia? Perciò gli apologeti respingono con disprezzo tutta la scienza pagana. « Per noi non c'è curiosità dopo Gesù Cristo, nè ricerca dopo l'Evangelo » dice Tertulliano.

La fede cristiana che si diffonde nel mondo antico uscendo dalla Giudea colla predicazione di Paolo, è — nelle sue origini — uno stato d'animo che non ha nulla che vedere colla scienza. Ma la pura religiosità di orientali affatto estranei alla cultura greco-romana, incontrandosi con questa cultura, diventa necessariamente opposizione. Ai teologi ellenizzanti, che seguono le tracce di Filone e cercano di conciliare la nuova fede con l'antica filosofia, i riformatori cristiani rispondono con le parole di Isaia e di San Paolo: « *Perdam sapientiam sapientum, et prudentiam prudentum*

reprobabo ». « Se i filosofi potevano, col natural procedere del loro pensiero, salvare da soli il mondo, a che pro è venuto Cristo? A che pro è stato crocifisso? ». Nessun compromesso con la sapienza del mondo.

Tuttavia il contrasto del cristianesimo e dell'ellenismo doveva condurre necessariamente a tentativi di accordo o di compromesso, quali si esprimono, per esempio, nei sistemi filosofici degli *gnostici*. La gnosi pretende inquadrare il pensiero nei nuovi schemi religiosi, sulla base della filosofia ellenistica della natura, svolta, in forma mitica, come dramma cosmogonico; la premessa è sempre l'essenziale identità della rivelazione e della conoscenza razionale; ma il fondamento scientifico è troppo esile per sorreggere l'ambizioso e fantastico edificio.

Di contro a queste e a molte altre oscure speculazioni, che si esprimono nel *manicheismo* e in diverse sette eretiche, sta lo sforzo organizzatore dei Padri della Chiesa occidentale.

L'opera di questi teologi: Ireneo (n. 130), Clemente d'Alessandria (160-225), Origene (180-254), ecc., è essenzialmente chirurgica e chiarificatrice: essi portano la scure nella selva selvaggia delle allegorie e delle costruzioni intellettualistiche: impediscono al Cristianesimo di confondersi con le altre religioni, di volatilizzare la figura di Gesù in simboli e in miti, e lo riportano alla sua realtà umana e universale. La loro azione crea un nucleo stabile, una *regula fidei*, in confronto alle opinioni estreme e alle tante sette che si accapigliano sui rapporti tra le persone della Trinità. La Chiesa che vuol essere cattolica, cioè universale, sente il bisogno di rafforzare la sua unità cercando la conciliazione degli opposti nella definizione dei *dogmi*: Costantino, il quale l'ha proclamata religione di Stato, fa convocare nel 325 il Concilio di Nicea. Nondimeno il dibattito delle idee continua nelle scuole d'Alessandria e d'Antiochia, e in Occidente trova la sua più alta espressione nel grande teologo platonizzante che fu S. AGOSTINO (nato in Numidia il 354 e battezzato a Milano da Sant'Ambrogio nel 387).

In tutte le sue speculazioni Agostino, pure ispirandosi ai Platonici, sentirà la distanza che lo separa dalle loro dottrine: « Vi

ho letto — dice in un passo celebre delle *Confessioni* — non proprio in questi termini, ma la stessa idea provata con ragioni molteplici: che in principio era il Verbo, e che il Verbo era presso Dio e che era Dio..., che il Verbo non nacque dalla carne, nè dal sangue, nè dalla volontà dell'uomo...; ma non vi ho letto che si è fatto carne per abitare in noi.... che si è abbassato facendosi schiavo e umiliato obbedendo fino alla morte, e alla morte sulla croce ».

Non c'indugeremo a descrivere la lotta fra ellenismo e cristianesimo, che rimane definitivamente decisa dopo il breve tentativo di Giuliano l'Apostata, il quale mirava a richiamare in vita una religione pagana sincretistica, ispirata al neo-platonismo (361-66). Anche per questo tentativo, la scienza greca, fattasi alleata di quella religione, doveva essere avversata dal cristianesimo trionfante, che nella sua reazione tendeva a disperdere con i templi ed i riti tutte le idee del mondo antico. Il neo-platonismo, perseguitato ad Alessandria, si rifugia nella scuola d'Atene, che ci dà ancora commentatori come PROCLO e SIMPLICIO. Finchè anche l'Accademia platonica verrà chiusa dall'imperatore Giustiniano, nel 529.

Frattanto l'Occidente era sommerso dalle invasioni dei barbari. L'Italia, devastata e stremata dalla miseria, finirà anche per essere isolata dalla coltura orientale.

Di tutto il patrimonio scientifico dell'antichità non le sarà dato serbare che le briciole. La scienza propriamente detta si raccomanda ora ad alcune enciclopedie della bassa latinità. La maggior parte delle opere degli antichi vanno perdute per sempre, altre rimangono nascoste e mutilate nei vecchi codici polverosi dei monasteri, dove già Cassiodoro ordinava ai monaci di copiare e riassumere manoscritti.

La Chiesa che si costituisce erede delle forme gerarchiche dell'impero, raccoglie ormai tutte le reliquie spirituali della morente civiltà, come per serbarle ad un'epoca di rinnovamento.

PARTE SECONDA

DAL MEDIO EVO AI TEMPI MODERNI

XVIII.

L'alto Medio Evo.

I RESTI DELLA CULTURA ANTICA. — Con la caduta dell'Impero d'Occidente (476 d. C.) e il sovrapporsi alla civiltà romana di popolazioni barbariche venute dal Nord, tutto il patrimonio intellettuale dell'antichità corse pericolo di andare irrimediabilmente sommerso, insieme con la civiltà di cui era espressione. Ma dove l'arte o la scienza non ebbero la forza di imporsi ai rudi vincitori, la semplice parola dell'Evangelo riuscì a destare gli animi loro a nuovi sentimenti e a creare, attraverso la fede, un vincolo comune a vincitori e vinti.

All'ombra della Chiesa cristiana, studiosi ed eruditi trovarono un rifugio nella vita monastica. Già Cassiodoro verso la metà del VI secolo, fondava in Calabria il convento di Castello, nel quale i monaci intendevano a copiare antichi manoscritti o a riassumerne il contenuto. Si iniziò così una pratica che doveva essere proseguita per molti secoli negli ordini religiosi e prima di tutti nell'ordine benedettino: quel tanto della letteratura e della scienza antica che poté giungere direttamente all'epoca della Rinascita, ci è pervenuto mercè la lunga ed oscura fatica di questi uomini appartatisi dal mondo cui sono divenuti estranei, come a conservare l'eredità spirituale della stirpe.

Il decadere della struttura civile, le difficoltà delle comunicazioni, l'incertezza del domani, riducono l'interesse della gente al cerchio ristretto delle immediate necessità materiali. Si torna alla

economia naturale. La cultura si perde, il latino si imbarbarisce. Il raccogliersi di quanto rimaneva della scienza sotto la tutela della religione, portava come conseguenza che tutti gli elementi avversi o anche solo estranei agli interessi della fede, dovessero gradatamente disperdersi.

Perciò nel Medio Evo il pensiero scientifico ebbe a ricominciare il suo sviluppo, movendo non già come in Grecia dalla contemplazione della natura, bensì dal travaglio interiore della coscienza religiosa e morale, che si sforza, approfondendo se stessa, di risolvere i problemi da cui dipende la propria salute eterna.

All'ingresso del Medio Evo, l'inventario delle conoscenze tramandate dall'epoca precedente si riassume in un piccolo numero di opere e non certo le più importanti. Fra le enciclopedie della bassa antichità merita particolare menzione quella di MARCIANO CAPELLA cartaginese (circa 450 d. C.), ove ad una curiosa introduzione sulle « Nozze di Mercurio e della Filologia » seguono le « septem artes liberales » che nel tirocinio scolastico formeranno il *Trivio* (grammatica, retorica e logica) ed il *Quadrivio* (geometria, aritmetica, astronomia e musica) secondo l'ordinamento dei pitagorici.

Le arti liberali sono state anche trattate da SEVERINO BOEZIO (470-525) l'ultimo senatore romano, messo a morte da Teodorico re dei Goti per la sua difesa della romanità.

L'enciclopedia di Boezio comprende le « *Istituzioni aritmetiche* » che sono un rifacimento di Nicomaco: una « *Geometria* » più o meno direttamente ispirata ad Euclide, un'« *Astronomia* » e delle « *Istituzioni di musica* » desunte dagli alessandrini. Inoltre Boezio introdusse presso i Romani, e quindi trasmise al Medio Evo, la logica greca, traducendo i due primi libri dell'*Organo* di Aristotele e l'*Isagoge* di Porfirio e aggiungendovi commenti in cui la logica viene considerata secondo la tradizione stoica raccolta dai neoplatonici, e cioè nel senso della tecnica formale.

Queste traduzioni hanno tanto maggiore importanza in quanto ad esse si limita esclusivamente la conoscenza delle opere d'Aristotele nel primo Medio Evo. E si noti che Platone non fu meglio

conosciuto; infatti ne fu tramandato solamente il *Timeo* nella traduzione latina di Calcidio.

Così le enciclopedie sopra nominate, cui si può aggiungere qualche altra opera congenere, come i compendi di Cassiodoro e del vescovo Isidoro di Siviglia, restarono la base della cultura dell'Europa occidentale per una gran parte del Medio Evo. Dell'architettura del pensiero antico non rimangono che rottami: gli archi e le colonne si ergono ancora qua e là a testimoniare della passata grandezza, e ad essi i nuovi venuti addossano le loro rozze casupole. Solo è vivo di vita profonda, il pensiero mistico maturato dalla filosofia neoplatonica e assimilato dal cristianesimo: e permane, attraverso gli autori superstiti, la riverenza per la grandezza della Grecia e di Roma: si conserva in un alone di superstizioso rispetto il nome di grandi mal noti, come Platone e Virgilio: quest'ultimo anzi diventa nella tradizione popolare un mago o un profeta che avrebbe vaticinato l'avvento del cristianesimo.

Tale stato di cose si protrae per vari secoli: lenta incubazione di una civiltà nuova. Frattanto, come dicevamo, la poca scienza rimasta si ritraeva nei chiostri, diventava cosa sempre più letteraria e simbolistica, distaccata dalla realtà della natura, e semplice « *ancella della fede* ».

Fino a che punto le conseguenze di questo movimento si riflettano nella pratica della vita, e quindi nella decadenza della civiltà, si può illustrare mediante un esempio tolto dalla storia delle carte geografiche. Laddove ai tempi di Tolomeo, nel II sec. d. C., si aveva un'idea esatta della rappresentazione matematica della sfera terrestre, determinandosi i luoghi per mezzo della latitudine e della longitudine (e già Ipparco aveva insegnato a riportare la carta sferica sopra un piano con la proiezione ortografica) ogni uso di queste carte scientifiche venne meno nei primi secoli del Medio Evo. E così nel VII secolo troviamo diffusa una carta oggi nota col nome di « Tavola Peutingeriana » che sembra risalire alla fine del IV secolo, ed è una semplice carta itineraria grottescamente deformata, dove le posizioni dei luoghi non sono in alcun rapporto con le loro distanze reali, tantochè Cartagine appare distante poco più di Ostia;

ma dove tuttavia le distanze sulle vie principali sono segnate in miglia.

Le rappresentazioni che si fanno del mondo i frati letterati non sono che ingenui quadri simbolici miniati (tale la « carta di BEATO ») portanti le notizie che si possono desumere dalle scritture e dalle leggende popolari che circolano sempre identiche in ogni luogo: o sono modelli puerili nelle loro pretese cosmologiche, come quello di COSMA INDICOPLEUSTE, il « gran viaggiatore ». Più tardi, quando cominciano i portulani, carte che si provvede da sè la classe dei navigatori, si arriva a dare una rappresentazione puramente schematica delle rive, con un senso sia pur grossolano delle proporzioni.

Nei secoli VI, VII e VIII la notte si fa sempre più oscura sull'Europa, il cui centro è un deserto percorso in ogni direzione dalle orde barbariche; solo in pochi monasteri rimane ancor viva la luce dello spirito, e la cultura sembra essersi rifugiata all'estremità del mondo antico, presso i Celti che hanno accolto con ardore la nuova religione.

Fra i monasteri che fondarono scuole (*scholae*) per l'istruzione della gioventù, si distinguevano sovra gli altri quelli dell'Inghilterra. Così nella scuola di York insegnava BEDA IL VENERABILE (673-735) che può dirsi il principale dotto del suo tempo. Le sue preoccupazioni didattiche si palesano nello studio ch'egli ha rivolto al « calcolo digitale » come mezzo per agevolare le operazioni sui numeri. Le sue conoscenze aritmetiche gli giovano nei problemi del calendario che si collegano all'interesse della Chiesa per la determinazione delle feste mobili.

ACCADEMIA CAROLINGIA. — Dalla scuola di York uscì ALCUINO che Carlomagno chiamò con sè in Francia a ristabilirvi la tradizione degli studi, che era venuta meno fin dal tempo di Carlo Martello. Si trattava di riedificare dalle fondamenta. Alcuino bandì gli avanzi imbarbariti del latino che ancora si perpetuavano, e istituì l'insegnamento del latino corretto, e fissato nella sua forma scolastica, divenuto ormai *lingua morta*. Nell'« Accademia Palatina » da lui fondata, Alcuino cercava di riformare i metodi d'insegna-

mento basati fin allora sulle verghe e sulla memoria passiva: e redigeva quelle *Quaestiones ad acuendos iuvenes*, trattatello di matematiche divertenti, in cui sono raccolti certi problemi divenuti poi celebri, come quello del vogatore che voleva salvare capra e cavoli.

Verso la metà del IX secolo, l'Accademia è diretta dall'irlandese GIOVANNI SCOTO ERIGENA (o più precisamente Eriugena) forte e audace pensatore che si ricollega alla tradizione neoplatonica, e che è considerato il primo dei grandi « scolastici ». Ma con lui viene anche ad estinguersi il movimento intellettuale dell'accademia carolingia, e nei secoli che seguono, l'anarchia, le strette preoccupazioni della vita materiale, sembrano assorbire tutta l'attività degli uomini. Un risveglio d'energia doveva venire soltanto dopo il 1000, con lo sviluppo delle navigazioni e dei commerci, per opera di repubbliche marinare quali furono Amalfi e Venezia, e con gli altri eventi che contribuirono a mettere in rapporto l'Occidente col mondo Orientale.

XIX.

La questione degli universali.

MOTIVI DI RISVEGLIO. — Il mondo occidentale, che dopo la caduta dell'Impero Romano era andato in generale degradando, presenta qualche segno di nuova vita col movimento Carolingio nella Francia del IX secolo. E sebbene, come abbiamo detto, il tentativo di rinascita colturale della scuola di Alcuino sia caduto con lo sfacelo del nuovo Impero, si avvertono tuttavia le prime manifestazioni ancora oscure di una nuova civiltà e di una coltura che fiorisce dopo il Mille: sia nel campo letterario con le grandi canzoni di gesta (Canzone di Rolando), sia con lo sviluppo dell'architettura romanica, a cui succede la più alta e completa espressione dell'anima nordica col gotico francese, sia — poco dopo — con gli inizi dell'arte italiana.

Questi germogli spirituali si accompagnano al formarsi di nuclei cittadini (corporazioni, gilde, comuni) che aprono la via alle industrie e all'estensione dei commerci: mentre l'unità del mondo cristiano si afferma pur attraverso la diversificazione politica, nella coscienza comune che solleva lo sforzo dell'Occidente contro l'Oriente colle Crociate. Questo movimento espansivo doveva mettere l'Europa a contatto con le civiltà araba e bizantina, che avevano serbato ed elaborato a loro modo le tradizioni ellenistiche; onde ricevevano nuovo impulso: prima la tecnica, e poi il pensiero.

Cosicchè lo storico che, guardando a questo periodo del Medio Evo, oltrepassi la visione delle povere forme intellettuali in cui si

chiudevano i resti di una scienza degenerata, può ravvisare la promessa d'un risveglio della cultura che trae i suoi intimi motivi dalla stessa intensità della vita interiore dominata dalla fede, cui si accompagna la potenza di una fervida fantasia. Questi motivi appaiono urtarsi in un moto tumultuoso e confuso di rinnovamento delle coscienze cristiane durante il secolo XII, che offre perciò al filosofo un interesse drammatico. Ed è segno caratteristico del tempo che in talune cerchie di religiosi, come la scuola di Chartres, si esprima consapevolmente l'idea di oltrepassare la semplice raccolta di conoscenze acquisite, estendendo i limiti del sapere. Ciò deve essere certo possibile, diceva BERNARDO DI CHARTRES (che insegnava nella scuola fra il 1114 e il 1124) poichè senza bisogno di una vista più acuta « possiamo vedere più lontano degli antichi... siccome nani portati sulle spalle di giganti ».

REALISMO E NOMINALISMO: ROSCELLINO. — Nella società medioevale tutta pervasa dal senso dell'al di là e dalle esigenze della vita della Chiesa, in un ambiente che riecheggia ancora le grandi lotte dogmatiche dei « Perchè », era naturale che proprio nell'ambito della teologia dovessero manifestarsi ed urtarsi quelle stesse tendenze del pensiero che nel passato si erano incontrate nel campo della filosofia e della scienza. Infatti i problemi teologici tornano a poco a poco ad assumere un significato più filosofico, e preparano quindi un nuovo orientamento scientifico.

Ciò si vede accadere nella famosa questione degli Universali, che si è dibattuta con accanimento per oltre due secoli nelle scuole. Il problema si riferisce in sostanza alla realtà dei concetti generali o delle idee platoniche, e un passo di PORFIRIO (tradotto da BOEZIO) conservava al Medio Evo l'eco delle antiche discussioni che esso aveva sollevato tra gli aristotelici.

« E anzitutto — dice Porfirio — per ciò che riguarda i generi e le specie, io eviterò di ricercare se esistano di per sè, ovvero se esistano soltanto come pure nozioni dello spirito; e — ammettendo che esistano di per sè — se appartengano alle cose corporee o alle incorporee; e infine se abbiano esistenza separata ovvero solo nelle

cose sensibili... È una questione troppo profonda, che esigerebbe uno studio troppo esteso »).

Ma la controversia dibattutasi nell'antichità fra razionalismo ed empirismo, quando si tentò di definire il valore delle entità matematiche, si riaccende qui sopra un altro terreno.

È difficile fissarne gli inizi. Forse una prima espressione del *realismo* si può ravvisare già in SCOTO ERIGENA, ed è lecito pensare che il suo atteggiamento a questo proposito suscitò le prime reazioni dell'individualismo nordico: sicchè la posizione nominalistica appare nel suo scolaro Enice di Auxerre uscito dalla scuola di ALCUINO. Al quale tuttavia succede un discepolo realista, REMIGIO DI AUXERRE. Caratteristica è la definizione che questi dà dell'uomo: « *Homo est multorum hominum substantialis unitas* ». Ma oltrepassando il senso logico-grammaticale del dibattito, ROSCELLINO, canonico di Compiègne, osa trarre dal nominalismo le più ardite conseguenze teologiche che, attraverso lo scandalo, rivelano l'importanza fondamentale della questione.

La tesi di Roscellino sembra essere ispirata direttamente dalla logica di Boezio, e porta che le sostanze universali sono puri nomi, o, come egli diceva, *flatus vocis*: « il colore non è altro che il corpo colorato; la saggezza dell'uomo niente di diverso dall'anima sua »).

Da questa tesi egli deduceva che vi sono in Dio altrettante sostanze quante persone (triteismo): le tre Persone della Trinità sono insomma delle realtà distinte che possono unificarsi soltanto come volontà e come potenza. Questa eresia fu condannata nel Concilio di Soissons (1092); e S. Anselmo spiega in qual modo essa derivi dal nominalismo: « chi non riesce a comprendere che più persone possano unificarsi nella specie uomo, come potrà capire che più persone costituiscano un solo Dio? Se non si sa distinguere tra il cavallo e il suo colore, come distinguere tra Dio e le sue molteplici relazioni?... »).

Sembra che il triteismo non fosse il solo errore rimproverato a Roscellino. Forse anche la Chiesa, col suo acuto senso del valore delle idee, riconosceva le più vaste conseguenze virtuali della tesi

nominalistica. Infatti la Chiesa Cattolica, cioè universale, non vuol essere soltanto l'insieme delle comunità cristiane e dei fedeli, ma si pone come entità superiore ed indipendente. Il nominalismo di Roscellino veniva a sciogliere questa unità, e in modo più generale a risolvere in una forma estrema il problema dei rapporti fra l'individuo e la collettività, che rinasce più tardi in varie forme storiche, sul terreno del diritto, dell'economia e della politica: come antitesi fra il cittadino e lo Stato, fra liberismo e socialismo, e in genere fra i principî di libertà e di autorità.

Attraverso questi conflitti storici che tendono a conciliarsi progressivamente in forme superiori del pensiero e della vita, si scorge il contrasto di quelle menti che si opposero appunto nella lotta fra i *nominalisti* e i *realisti* loro avversari (1).

La mentalità realistica che pone come primo l'universale e da questo deduce il particolare, si può definire nel campo logico come deduttiva, mentre la mentalità nominalistica è induttiva; sebbene la distinzione non abbia carattere assoluto, perchè l'induzione e la deduzione non si contrappongono come modi di pensare esclusivi l'uno dell'altro, ma piuttosto come due momenti di un unico processo nell'acquisto della conoscenza. D'altra parte i contrasti morali e sociali non tanto sono determinati da motivi logici, quanto da sentimenti e da affetti che possono interferire con mentalità logicamente diverse. Così appunto, per prendere un esempio dalla storia posteriore delle dottrine politiche, vediamo TH. HOBBS (secolo XVII) giungere alla giustificazione dell'autorità assoluta dello Stato « Leviathan », partendo dalla teoria nominalistica di un contratto sociale che gli individui avrebbero concluso *ab origine* per risolvere la lotta micidiale di ciascuno contro tutti. Mentre la stessa teoria contrattuale, che si contrappone al diritto divino, serve a LOCKE per dare base giuridica ai principî costituzionali acquisiti dalla rivoluzione inglese, e più tardi a ROUSSEAU, per sostenere i diritti

(1) Si tenga sempre presente che il *realismo* filosofico non ha nulla che fare col « senso della realtà » come oggi s'intende nel linguaggio comune: è anzi il contrario, poichè pone come vere realtà le Idee. Realismo e nominalismo sono atteggiamenti che risalgono rispettivamente a Platone e ad Aristotele.

della democrazia: quantunque la teoria democratica del Ginevrino fosse ben lungi dal criterio nominalistico della maggioranza, postulando invece una *volonté générale* della società.

S. ANSELMO. — Alla tesi anzidetta di Roscellino (*universalia sunt nomina, flatus vocis*) si contrappongono ANSELMO D'AOSTA (1033-1109) e GUGLIELMO DI CHAMPEAUX (m. nel 1121), i quali con schietto spirito platonico riaffermano la tesi della realtà e della precedenza logica degli universali. Anselmo specialmente ha importanza per la storia della filosofia. Egli ci appare come razionalista, in quanto cerca di risolvere con la ragione i dubbi che possono elevarsi contro la fede: non già che si affidi all'esercizio della ragione per sciogliere dubbi liberamente accettati: ma perchè, Vescovo Cattolico e apostolo della Fede, vuole preparare i non credenti all'accoglimento della grazia col rimuovere le difficoltà dell'intelletto a consentire a un dogma che i Padri avevano francamente presentato come assurdo.

È rimasto celebre il cosiddetto argomento ontologico ⁽¹⁾ di Anselmo, che deduce l'esistenza di Dio dall'idea stessa che ce ne formiamo. *Dixit insipiens in corde suo: non est Deus*; ed intanto testimonia così di possedere anch'egli l'idea di Dio, cioè di un essere perfettissimo, di cui nulla può essere pensato più perfetto o più grande: *Quo nihil maius cogitari possit*. Ma certo « l'essere perfettissimo non può essere soltanto nell'intelligenza; perchè, se così fosse, si potrebbe immaginare qualcosa di più perfetto, cioè un essere come lui, che esista anche nella realtà » ⁽²⁾.

Il Frate GAUNILONE di Marmoutiers aveva buon gioco a rispondere: ben io posso pensare in mezzo all'Oceano un'isola perfettissima non mai vista da alcuno; ma perchè io me la rappresenti perfettissima fra tutte, segue forse che essa debba esistere davvero?

Tuttavia nonostante il difetto formale del paralogismo, rimane all'argomento ontologico una forza che si riconosce successivamente

⁽¹⁾ Ontologia significa « scienza dell'essere ».

⁽²⁾ Cfr. *Proslogium*, ed. Koyré, Parigi, 1930.

nella storia della filosofia moderna. Rifiutato da TOMMASO D'AQUINO, esso risorge, in varie forme, con DESCARTES, SPINOZA, LEIBNIZ, HEGEL. Poichè codesto argomento risponde insomma all'esigenza del razionalista, di costruire una scienza logicamente perfetta che non assuma alcun principio dall'esperienza esteriore.

Chi tenga presente il tipo di un ordine logico, quale viene offerto dalle matematiche, trova un certo numero di concetti primi e di postulati che la critica si sforza di semplificare, riducendoli a un minor numero di concetti fondamentali. Di qui l'ideale di un ordine logicamente perfetto, che già abbiamo visto affacciarsi in Platone, il quale proceda senza postulati a partire da pure definizioni. Lo stesso sviluppo della geometria dopo Euclide ce ne dà qualche esempio suggestivo: il postulato V delle parallele nascosto nella definizione delle parallele come « rette complanari equidistanti »; il postulato si ritrova nell'assunzione che esistano veramente linee rette cosiffatte.

Ora, se confermente al detto modello si vuole costruire una scienza cosmologica che sia logicamente perfetta, e nulla assuma dalle attestazioni dei sensi, converrà muovere da qualcosa di cui si possa affermare che *esiste* in forza della sua stessa definizione: cioè appunto dall'idea di un Dio concepito come « essere necessario »; di cui, per usare i termini dello Spinoza, l'essenza involge l'esistenza, cioè che non può essere pensato se non esistente.

ABELARDO. — La via per cui si è messo S. Anselmo a scopo di propaganda, che implica un sommesso appello alla ragione (*fides quaerens intellectum*) doveva essere grave di conseguenze impensate. Perchè la ragione, comunque liberata, verrà a poco a poco a sciogliersi da ogni vincolo verso l'autorità, prima facendosi giudice e garante delle sue affermazioni, infine sollevandosi contro di essa ad una valutazione affatto indipendente della verità. Un primo passo verso lo sviluppo del razionalismo sembra scorgersi nell'atteggiamento di un discepolo di Guglielmo di Champeaux e di Roscellino: PIETRO ABELARDO (1079-1142) che fu maestro a Melun, a Corbeil e quindi a Parigi.

A questa tendenza razionalistica si deve la denuncia per eresia di Bernardo di Chiaravalle, il grande mistico, onde Abelardo, che già era stato costretto a ritrattare alcune sue affermazioni nel 1122, fu condannato ai ferri nel 1140. Il suo intimo pensiero è, che alla dialettica spetti, non solo confortare, come strumento apologetico, le verità della fede, ma addirittura stabilirne il fondamento e risolvere i dubbi che essa solleva. Sicchè è lecito pensare che, almeno nella sua coscienza, oltrepassasse lo stretto senso del dogma per accogliere una interpretazione più libera della verità. Si racconta che ricordando l'umile formula di S. Anselmo, *credo ut intelligam*, egli si compiacesse di rispondere orgogliosamente: *intelligo ut credam*.

Abelardo è una figura caratteristica del Medio Evo. La sua tragica storia d'amore con Eloisa, non meno che la posizione contrastata ch'egli ha occupato nella Chiesa, creano intorno alla sua persona un durevole interesse letterario.

Nel problema degli universali egli assume una posizione intermedia simile a quella di Aristotele, che ha preso il nome di *concettualismo*: gli universali non sono cose, ma nemmeno semplici vocaboli: infatti l'applicazione della parola è possibile soltanto mediante il concetto di qualche cosa di comune agli individui, che *de pluribus natum est praedicari*. Ma questo *quid* comune è una conformità o somiglianza degli individui tra loro, a cui Abelardo attribuisce come fondamento un'idea esistente nello spirito di Dio. Così egli si accosta alla veduta che gli scolastici posteriori espressero con una formula assunta dai filosofi arabi, dicendo che gli universali hanno un valore *ante rem* nello spirito divino, *in re* rispetto alla natura, e *post rem* rispetto alla nostra conoscenza (S. Tomaso).

Nella speculazione di Abelardo è interessante la critica psicologica ch'egli fa della formazione delle idee generali, ricollegandosi, a quanto pare, ad Aristotele attraverso Boezio. Con ciò la teoria dell'astrazione rimane acquisita per i filosofi posteriori, che, durante il secolo, sembrano tendere in generale ad un realismo moderato.

OCCAM. — Un rifiorire veramente significativo del nominalismo si avrà soltanto nel trecento; quando uno spirito nuovo, sollevandosi contro le costruzioni metafisiche dei grandi scolastici del secolo precedente, e coinvolgendo nella propria condanna tutta la superstruttura delle ideologie platonica ed aristotelica, tenderà ad affermare i valori dell'esperienza, togliendo ogni aspetto di razionalità alle verità della Fede.

Questo movimento a cui non è estranea l'opposizione dello spirito francescano al domenicano, nasce all'Università di Oxford, e può farsi cominciare col francescano DUNS SCOTO (morto a 34 anni nel 1308), il quale, movendo dal primato della volontà sull'intelletto, sentiva tutto il valore della personalità individuale, e di qui era tratto a confutare le teorie tomistiche, facendo degli oggetti individuali una realtà ultima ed irriducibile. Il suo scolaro GUGLIELMO DI OCCAM (Ockham, m. 1347) è il più grande dei nuovi nominalisti, che riceveranno il nome di *Terministi*: i concetti universali (« termini ») sono soltanto parole o segni, non già prodotti da una convenzione arbitraria, ma in vista di rappresentare indifferentemente gli oggetti di una classe: « *Terminus conceptus est intentio seu passio animae, aliquid naturaliter significans vel consignificans, nata esse pars propositionis mentalis* ».

L'atteggiamento di Occam, che ritiene degno del credente riconoscere sinceramente le contraddizioni della ragione con la fede, segnano il crollo di quel mondo ideale che la Scolastica aveva tentato di costruire mercè un prudente accordo di motivi atti a dare soddisfazione a diverse esigenze dell'animo umano; crollava intanto anche l'ideale del potere teocratico, e le lotte di Filippo il Bello, a cui Occam partecipa, segnano invero un orientamento nuovo nella vita politica, anche rispetto ai concetti universalistici che Dante aveva disegnato.

L'insegnamento di Occam levò gran rumore a Oxford e a Parigi, dove fu condannato nel 1339: ma poco dopo un suo scolaro, Jean Buridan, diventa rettore di questa università: e nella scuola di lui e di altri pionieri della scienza medioevale si vede lo spirito antimetafisico del maestro riuscire ad un risveglio dell'interesse propriamente scientifico: come diremo più avanti.

XX.

La coltura araba.

L'ISLAM. — Mentre la tradizione della scienza greca andava sempre più affievolendosi in Europa, un'altra gente, portatrice di uno spirito nuovo, veniva a raccogliarla e a propagarla, ponendosi intermediaria fra la cultura classica e il mondo moderno.

Le tribù arabe, animate dalla nuova fede proclamata da Maometto (Egira, 622), erompono con forza travolgente, invadendo la Siria, l'Egitto e la Mesopotamia. Di lì si abbattono da una parte sulla Persia e sull'Asia Minore; dall'altra, percorrendo come una scia di fuoco la costa africana del Mediterraneo, giungono in vista di Gibilterra, varcano lo stretto e dilagano nella Spagna, distruggendo il regno Visigoto. E già avevano valicato i Pirenei, e minacciavano al cuore il mondo occidentale, quando furono fermati da Carlo Martello, nella battaglia di Poitiers (732). Gli arabi respinti si ripiegarono nella Spagna, e dalla costa settentrionale dell'Africa allargarono il loro dominio nel bacino del Mediterraneo occupando la Sicilia, la Sardegna, Cipro ed altre isole minori, nonché qualche punto delle coste italiane ed illiriche a cui il dominio del mare dava loro facile accesso.

Al primitivo nucleo guerriero costituito dalle tribù arabe conferisce forza espansiva non soltanto la fede, bandita da Maometto, che impone ai non musulmani di credere o di pagar tributo, ma anche la rapida assimilazione delle razze diverse che si fondono ed affratellano nell'Islam (« dedizione a Dio »). Così la comunità

musulmana è stata condotta ad accogliere gli elementi delle sottostanti colture ellenistiche nei paesi conquistati.

L'Egitto era in preda ad un conflitto fra sette cristiane ed occultistiche che riduceva quasi a nulla il centro di studi di Alessandria. Invece i paesi di lingua siriana erano diventati i centri importanti di coltura, grazie all'immigrazione nestoriana. Nestorio patriarca di Costantinopoli, dichiarato eretico dal concilio di Efeso (431) aveva finito col trasferirsi in Persia. Lì, sotto la protezione del gran re Cosroe Nushirwan, fiorì l'accademia medica e filosofica di Giundishapur, ove si concentrarono poi i filosofi cacciati da Atene da Giustiniano (529): molti testi greci erano già stati tradotti e diffusi in siriano, quando sopravvenne la conquista musulmana. Giundishapur divenne il centro intellettuale del mondo arabo, e i suoi dottori portarono la scienza nelle nuove capitali, Damasco e Bagdad.

L'Islam era una fede semplice e priva di dottrine: essa assorbiva facilmente i convertiti e viveva di buon accordo con cristiani ed ebrei: cominciò a prender coscienza di sè e delle sue esigenze metafisiche sotto la critica mordace e sottile dei dottori cristiani, e volle possedere a sua volta le armi affilate della dialettica greca. Ma questo venne in un secondo tempo. I grandi traduttori dal siriano in arabo sono quasi tutti cristiani protetti dai califfi, come quel HUNAYN IBN ISHAQ, che percorse tutto il mondo greco per avere i migliori manoscritti di Galeno ed insegnarli nelle scuole di Bagdad. Egli intendeva salvare l'ordine tradizionale dell'insegnamento alessandrino « il quale era fondato — dice egli stesso — sui libri da me tradotti, nello stesso ordine. Si soleva leggere e interpretare ogni giorno una delle opere capitali, come ora i nostri amici cristiani si riuniscono nelle *scholae* per discutere uno dei classici antichi. Gli altri libri di Galeno ognuno se li studiava per conto suo.... ». Così si formarono sul modello alessandrino i primi scienziati e traduttori arabi, come AL-KINDĪ (c. 900) e quel JABIR IBN HAYYAM che fu medico e alchimista illustre, e autore putativo delle opere alchemiche note sotto il nome di « Geber »; le quali in realtà sarebbero opere di una confraternita posteriore.

Col 900 circa termina il periodo di assimilazione, e nello splendore della corte di Bagdad, sotto i grandi califfi Harūn al-Rashid e al-Mamūn comincia l'elaborazione autonoma. Pensatori vigorosi, come AL-KINDĪ e AL-FARĀBĪ, tentano di costruire un sistema che corrisponda all'intima esigenza dell'anima araba. Essi non posseggono veramente il pensiero di Aristotele, ma motivi di questo misti ad elementi posteriori: la cosiddetta « teologia di Aristotele » — in realtà un trattato neoplatonico di incerta origine — si impone con l'autorità del nome del maestro, detto dagli arabi « il filosofo » per antonomasia — *al-failasūf*. Arabi, persiani, turchi cercano nel pensiero greco la soluzione e l'interpretazione di problemi che non sono ad essi connaturali. Ne risulta una strana e spesso non organica combinazione di motivi neoplatonici e aristotelici, che giova almeno a mettere in nuova luce talune questioni che rimangono sempre vive e fondamentali in ogni filosofia religiosa. Poichè non vi è dubbio che, per quanto raramente ortodossa, la filosofia del mondo musulmano è sempre a fondo religioso.

Parrebbe quindi che non si debba uscire dai motivi fideisti e sincretistici di cui l'ambiente alessandrino aveva offerto già tante variazioni. Ma interviene qui forse il fattore nuovo della struttura del mondo islamico. L'Islam è la più rigidamente schematica e scarna delle fedi. Non ammette fra Dio e il credente alcuna casta sacerdotale, alcuna gerarchia. È una democrazia di guerrieri che conosce un solo capo, il Califfo. Sotto di lui tutti sono eguali. Una tale rigorosa soppressione dei compartimenti e delle cellule molteplici di un mondo in cui si sovrapponevano molte antiche civiltà, può avere assai giovato alla diffusione delle idee. Non già che fin dall'inizio non si siano formate confraternite e caste dottrinali per lo più reazionarie — come quella dei Hanbaliti. Ma il diritto di cui tutti più o meno si sentivano partecipi, di illustrare e commentare la dottrina, la nuova gente che si accosta alla coltura con nuovi costumi, tutto ciò è principio di nuova vita del pensiero ⁽¹⁾. In un

(1) Osserva infatti IBN KHALDŪN, il primo che abbia riflettuto sulle « leggi della storia » nel senso che oggi intendiamo: « Dopo la fine della potenza dei greci, l'autorità sovrana passa ai Cesari, i quali avendo abbracciato la religione cristiana,

mondo in cui l'arte, la fede, l'azione, sono fervidamente connesse, in cui il medico è filosofo e il filosofo maestro, in cui i mercanti son poeti, e molti poeti mercanti, in cui le razze e i costumi sono unificati sotto la Fede, nozioni, idee, motivi si diffondono, si rinvigoriscono nel libero errare per tutto il vario e vasto spazio che va dall'India alle porte d'Occidente.

Il fatto stesso che riprendano a circolare e ad esser consultati i testi che nel mondo greco si andavano perdendo, ha un'importanza di prim'ordine. Nel mondo della cultura, la continuità è essenziale. Quand'anche i testi si conservassero in qualche rifugio appartato, lo spezzarsi del filo del pensiero che li anima e li sorregge è la morte di una infinità di cose che non si trovano scritte, e che sono più indispensabili alla comprensione di essi.

Se gli arabi fossero stati dei barbari distruttori come lo furono più tardi i mongoli, il nostro Rinascimento sarebbe stato, almeno, gravemente ritardato. Ma gli studiosi musulmani non esitano davanti a lunghe e costose ricerche pur di consultare e collazionare i preziosi testi antichi. Si fondano grandi istituti come il collegio Nizāmī di Bagdad (1065) e più tardi la Mustansiriya (1234) che fu la più grande università del mondo islamico, vera città degli studi ove si provvedeva a tutte le necessità degli studiosi, a spese di fondazioni pie. All'ordinamento di questi istituti, e al loro sistema nuovo di rilasciar diplomi o licenze, si dovevano ispirare, in seguito, le università occidentali. Del resto Ruggero Bacono dirà: « Philosophia ab arabico deducta est ».

La « filosofia » che qui si intende è sempre una vasta struttura sistematica, enciclopedica, che è organizzata con chiarezza didattica in modo che dalla causa prima e dai suoi effetti si discende alle varie scienze terrene, alle innumeri specialità coi loro manuali, farmacopee, ricettari, lapidari. La grande *Somma* di AVICENNA (ibn Sīna, 980-1037) è la massima espressione di questo indirizzo.

vietarono lo studio della scienza, che è lecito nelle leggi di tutti i popoli. Da indi in poi, le scienze intellettuali rimasero chiuse nei libri e nelle raccolte e intristirono nelle biblioteche.... » (*Prolegomeni*, trad. de Slane, 1863, vol. III, p. 121). La sensibilità a certi fattori della storia è altamente significativa.

Ma il pensiero, una volta messo in moto, trova difficoltà ad inquadarsi negli schemi tradizionali. Le dispute già soppresse nella Chiesa cristiana sotto la specie dell'eresia pelagiana rinascono con nuovo vigore nel mondo musulmano. Dal problema di conciliare l'onnipotenza divina con la libertà del volere, dal sostenere le esigenze della ragione morale, la scuola dei Mutaziliti (« secessionisti ») giunse a sottomettere tutta quanta la teologia alla ragione critica. Essi accettavano il Corano, ma volevano che fosse lecito interpretarlo in modo compatibile con un sistema di pensiero puramente logico. I punti sui quali si discuteva possono sembrare oggi quisquillie: ma sotto ad essi si nascondevano problemi filosofici di vasta portata, come quello dell'eternità del mondo, della causalità, del tempo, della ragion sufficiente.

Nel pensiero naturalista si trovava una gran varietà di indirizzi, dal misticismo all'autentico scetticismo. Ma fin questi estremi finivano con l'unirsi tra loro in combinazioni caratteristiche del pensiero intimamente religioso dell'Oriente. La ricerca di un fondamento filosofico alle affermazioni teologiche aveva mostrato alle menti più vigorose l'inconciliabilità delle due sfere: ne era nata una singolare visione dell'universo, in cui alla artificiosa causalità aristotelica si opponeva la constatazione di un'ignoranza dei veri rapporti causali: questa però, anziché sboccare in un'affermazione meccanicista a priori come in Democrito, concludeva a un atto d'umiltà dell'intelletto: atteggiamento che precorre quello di DUNS SCOTO.

Anche in Oriente vi fu una scuola di atomisti: ma invece di atomizzare lo spazio come l'Abderita, essi atomizzavano il tempo, e facevano rinascere il mondo in ogni istante fuor d'ogni legame causale, e per un atto di creazione gratuita.

Le tradizioni della scienza greca si propagavano così, curiosamente interpretate e deformate. Mentre le scuole ufficiali insegnavano l'aristotelismo, trattatelli elementari (*risāla*) diffusi ovunque conservavano quasi allo stato originale talune « opinioni » dei naturalisti ionici. In Spagna, dove a partire dal secolo XII, dopo le invasioni mongoliche, tende ad accentuarsi la vita intellettuale dell'Islam, e fiorisce il grande centro di Cordova, matura un pen-

siero già per molti versi moderno, e soprattutto per il modo in cui oltrepassa le posizioni teologiche tipicamente medievali. Non vogliamo qui accennare soltanto a eruditi e critici come IBN HAZM, che per la prima volta scrive una « storia delle religioni », o a sagaci osservatori come IBN KHALDŪN, il fondatore della filosofia della storia: ma anche a pensatori originali ed esoterici come IBN MASARRA che tornavano all'antica Grecia invocando il pensiero di Empedocle: di un Empedocle, però, assai poco storico, in cui si scorgeva soprattutto il grande iniziato, e il precursore del Profeta: ci riferiamo ancora a intelletti vigorosi come AVERROÉ « che il gran commento feo » (Abul ibn Roschd di Cordova, 1126-1198), il quale volle insistere sui lati più astrusi della dottrina aristotelica dell'anima, e ricavarne conclusioni assai poco ortodosse: « phreneticorum deliramentis simillima », dirà nel suo *Pugio fidei adversus Mauros et Judaeos* RAIMONDO MARTIN, che fu con Raimondo Lullo uno fra i primi dottori cristiani che seguirono più da vicino il movimento filosofico islamico e ne sentirono i pericoli per la fede.

Pericoli che erano stati avvertiti anche dai dottori dell'islamismo. AL-GHAZALI, il grande pensatore mistico che fu detto « il San Tommaso dell'Islam », si era sforzato di inquadrare nel sistema della fede le nuove tendenze del pensiero, e con lui si inizia un movimento di reazione che porta all'irrigidimento delle gerarchie e alla creazione di grandi scuole (*mederse*) in cui l'insegnamento viene opportunamente diretto e infrenato. Si dice che un illustre filosofo del tempo, all'inaugurazione delle prime di queste scuole, portasse un brindisi d'addio al « pensiero che moriva ». D'allora in poi, la dottrina si ridurrà a questioni sottili, a sterili esercitazioni, esortatorie e rettoriche.

Rimane però la enorme influenza che i pensatori di Spagna come AVERROÉ, IBN MASARRA, AVICEBRON (l'ebreo ibn Gebirol), MAIMONIDE, esercitarono sul pensiero ebraico e poi su quello cristiano: rimane ancora lo sviluppo che ebbero talune discipline come l'alchimia, la matematica, l'astronomia.

ALCHIMIA. — Il testo alchemico di « Geber » incorpora il lavoro di molte generazioni di alchimisti. Vi si scorge il risultato di una attività che sa resistere agli allettamenti occultistici per tenersi al campo propriamente chimico. È ben vero che siamo ancora nell'ambiente delle confraternite chiuse, e del segreto ermetico. Ma il proemio rivela già la volontà di render la scienza accessibile a quanti ne son degni:

« Il mio maestro Giafar — su cui sia pace — si adirò quando gli mostrai questo libro e disse: O Geber, hai rivelato il segreto possente d'Iddio.

Al che risposi: « Volevo soltanto esser largo e generoso e schietto al servizio della verità, come ho imparato alla tua scuola che si deve essere. Ma se tu mi comandi, brucerò il libro ». Egli sorrise, soddisfatto delle mie parole: « Non far ciò, che l'Altissimo Iddio ti ha aiutato in questa impresa e ti ha spianato la via. Non ti opporrai dunque alla sua volontà, rivelandolo... ».

Effettivamente, l'alchimia araba, come appare dai recenti studi, è un complesso assai più sistematico e scientifico che non l'alesandrina.

Di varie sostanze come i vetrioli, gli allumi, gli alcali, il salnitro (che vengono poi anche messe a base della classificazione chimica del tempo) si danno esplicitamente, e forse per la prima volta i metodi di preparazione ⁽¹⁾. Più importante ancora è la conoscenza e la preparazione degli acidi nitrico e solforico: sono introdotti così i reagenti necessari all'ulteriore progresso.

MATEMATICHE. — Nel campo matematico, gli arabi non si limitarono a tradurre e commentare i lavori dei grandi geometri, EUCLIDE, ARCHIMEDE e APOLLONIO, ma gli elementi di queste dottrine e di quelle di Diofanto ravvicinarono e composero con altri elementi che provengono dall'aritmetica degli Indiani, costituendo così una disciplina nuova che da loro ebbe il nome di Algebra.

Cominciando con quel che si riferisce strettamente alla geometria, diremo che intorno al 900, Euclide era studiato e criticato

⁽¹⁾ I nomi conservatisi fino a noi di *alcali*, *alambicco*, *antimonio*, *realgar*, ecc., testimoniano dell'importanza dell'influsso arabo.

con acume e con una certa originalità, siccome appare dai commenti di TABIT IBN KORRA e di ANARIZIO (an-Nairizi) quest'ultimi tradotti in latino da GHERARDO DI CREMONA (1114-1187). E la critica dell'Euclide continuò a lungo nelle scuole arabe, tanto che troviamo nel XIII secolo il persiano Nassir Eddin analizzare i fondamenti della teoria delle parallele, con vedute che hanno influito più tardi sull'opera di Wallis, e che perciò hanno un posto nella storia della geometria non euclidea.

Anche la teoria delle coniche, sviluppata da Apollonio, richiama l'attenzione dei geometri arabi, ed è soprattutto importante la costruzione che per mezzo di tali curve viene data alle radici delle equazioni cubiche, da OMAR KHAYYAM, meglio noto al mondo letterario come l'autore dei *Rubayyat*.

Nel campo dell'aritmetica e dell'algebra gli arabi hanno avuto predecessori gli Indiani, ai quali si deve il sistema di numerazione che si è introdotto nell'uso della moderna civiltà europea e un grande sviluppo dell'arte del calcolo. Le matematiche indiane hanno subito certo l'influenza greca: ma lo spirito con cui esse vengono coltivate è notevolmente diverso. Qui infatti il carattere empirico e lo scopo pratico delle conoscenze prende il disopra sulla speculazione teorica. Così gli Indiani non ritengono necessario in generale dimostrare ciò che può essere intuitivamente appreso guardando una figura. Per lo stesso motivo essi non hanno scrupolo di servirsi di calcoli approssimativi, e quindi di considerare sempre il rapporto di due grandezze come un numero, anche quando si tratti di grandezze incommensurabili; nel qual caso l'esigenza del rigore spingeva i Greci a definirlo con la proporzionalità come un ente astratto inesprimibile per mezzo di un numero (EUDOSSO).

Il modo decimale di esprimere a parole i grandi numeri nella lingua sanscrita e l'uso di numeri enormi nel pensiero cosmogonico indiano — in cui ricorrono sempre cicli di milioni di anni —, furono motivo alle ricerche di una grafia efficace (1): che fu appunto

(1) La matematica indiana ha avuto uno sviluppo autonomo importante. Accanto al *Surya Siddhanta* in cui appare per la prima volta il nuovo sistema numerico,

il sistema nato verso il 500 d. C. che rappresenta i numeri mediante le sole cifre delle nove unità, combinate con il valore di posizione decimale progressiva e con lo zero: questa era la novità scientificamente più importante e fu detto *sunya*, « vuoto ». Il trattato di « calcolo indiano » di AL-KHUWĀRIZMĪ diffuse questo metodo e *sunya* fu tradotto più tardi *ṣifr* (da cui *cifra*). LEONARDO PISANO la latinizzò in *zephirum*, da cui *zero*.

Come sopra si è accennato, gli Arabi assimilano insieme le matematiche greche e il calcolo cosiddetto indiano: l'elaborazione dei due motivi teorico e pratico che tengono a queste due sorgenti dà luogo ad una fusione che prepara direttamente lo spirito delle matematiche moderne. Del resto, quale sia in questo lavoro l'apporto originale del popolo arabo è problema ancora controverso, e alquanto difficile a risolvere nello stato delle nostre conoscenze: a tale riguardo gli storici hanno oscillato fra l'opinione più antica che, nell'ignoranza di Diofanto e dei calcolatori indiani, attribuiva agli arabi per intero il merito della costruzione dell'algebra, e l'opinione di trenta o quarant'anni or sono, che cadeva nell'eccesso opposto di ridurre gli arabi a semplici compilatori.

Gli arabi stessi, o almeno i maggiori fra loro, han saputo assai bene definire la parte che hanno avuto nella storia della coltura. Il grande AL-BIRUNI, dopo aver mostrato quante condizioni siano necessarie alla ricerca scientifica — l'educazione, la conoscenza delle lingue, una lunga vita, e i mezzi sufficienti per viaggiare, e per l'acquisto di libri e strumenti — conclude: « Tante e sì diverse condizioni raramente si ritrovano in un solo individuo, e specie ai nostri tempi. Per cui è giusto che ci limitiamo al campo già trattato dagli antichi, cercando di perfezionare ove si può. La via di mezzo

citiamo l'opera matematica di ARYABHATTA (n. 476) e di BRAHMAGUPTA (n. 578), le quali, come avviene generalmente presso gli Indiani, fan parte di trattati astronomici. Opere più importanti, ma assai posteriori, sono quelle di BHASKARA (n. 1114). Qui la tecnica del calcolo viene spinta innanzi, per modo che i numeri negativi sono usati indifferentemente accanto ai numeri positivi: le radici negative delle equazioni sono spesso scartate, ma talora invece sono interpretate come « debiti » di fronte a « crediti ». E Bhaskara giunge anche a distinguere i due valori di una radice quadrata.

è in ogni cosa la più lodevole: e colui che tenta troppo va incontro alla rovina ».

Atteggiamento molto, anzi troppo modesto. In realtà, gli arabi hanno aperto nuovi campi alla ricerca, in algebra e in trigonometria, come in aritmetica e in alchimia.

Ciò che oggi si designa col nome di *algebra*, cioè la teoria delle equazioni, ha occupato gli arabi fino dall'800, epoca in cui alla corte degli Abassidi a Bagdad fiorisce la coltura. Questa teoria si trova esposta nell'opera di Mohammed ibn Musa AL-KUWĀRIZMĪ (c. 825). La traduzione latina che ne è stata fatta comincia con le parole « *Sic locutus Algoritmi* »: di qui è derivato l'uso della parola *algoritmo*, presa a designare ogni metodico procedimento di calcolo. Il nostro autore espone le regole di *trasporto* (*al gebr*) e *riduzione* (*almu qabala*) dei termini di un'equazione: per esempio dell'equazione $x^2 - 2x = 5x + 6$, il trasporto di $2x$ dal 1° al 2° membro conduce alla forma $x^2 = 5x + 2x + 6$, che dà luogo poi alla riduzione $x^2 = 7x + 6$. Il trattato intero avendo poi per titolo « *trasporto e riduzione* » (*al gebr w almu qabala*) ne venne il nome di *algebra* che ha acquistato per noi il senso generale della teoria a cui quelle operazioni appartengono.

Nell'opera di Al Khuwārizmī elementi di origine greca s'intrecciano con elementi di origine indiana. Nei successori si delinea forse una maggiore tendenza a distinguere la concezione teorica delle matematiche (spirito d'esattezza dei greci) dalla concezione empirica e pratica propria degli indiani. Due autori che lavorano intorno al 1000, il cosiddetto AL KARKHI ⁽¹⁾ e AL NASAWI, mostrano appunto una differenza di ispirazione in rapporto a queste due origini. Omar Khayyam, intorno al 1100, si riaccostò pure al modello del rigore greco. Tuttavia questi matematici non dimenticano l'insegnamento indiano dell'arte del calcolo, di cui anzi mostrano un possesso più approfondito. In particolare la conoscenza del cal-

(1) Il prof. Levi della Vida ha mostrato recentemente che questo nome è il risultato di un errore di trascrizione, e che il matematico in questione si chiama in realtà AL KARAGI.

colo dei radicali, quadratici e cubici, ha esercitato sul loro lavoro una influenza decisiva che ha poi orientato gli sviluppi moderni: di qui infatti è venuta l'idea di cercare l'espressione delle radici di un'equazione algebrica, per mezzo di radicali; costruzioni geometriche, ricerca di soluzioni razionali, come erano date presso i Greci per i problemi di secondo grado, contengono certo implicitamente il radicale quadratico, come mezzo per risolvere l'equazione di secondo grado: tuttavia codesto radicale acquisterà un'importanza di per sè solo quando possa definirsi mediante un appropriato procedimento di calcolo. Ora se la formula risolutiva della equazione di secondo grado per mezzo di un radicale quadratico non è che un semplice travestimento della risoluzione geometrica dei greci, nuovo è invece il problema che si riferisce all'equazione cubica. Questo problema generale non fu risolto dagli arabi. OMAR KHAYYAM si limitò, come abbiamo detto, alla risoluzione geometrica mediante coniche; ma la loro algebra pone naturalmente il problema di costruire una formula contenente radicali (quadratici o cubici): e in questa forma appunto il problema doveva esser risolto più tardi dagli algebristi italiani del Cinquecento.

ASTRONOMIA E OTTICA. — L'astronomia ebbe fra gli arabi numerosi cultori. Già alla corte degli abassidi ALBATEGNO (Gheber al Battāni) scriveva un'opera che nel XII secolo fu tradotta sotto il nome di « *Scientia stellarum* » da Platone Tiburtino: nella quale le orbite planetarie sono accuratamente calcolate secondo il sistema di Tolomeo, tenendo anche conto delle osservazioni posteriori: l'opera contiene anche un catalogo delle stelle che comprende in sè tutta la scienza dell'epoca. Più tardi ABUL WAFÀ verso il 1000 indagava il moto della luna. Un grande lavoro astronomico di coordinazione dei dati fu intrapreso dal persiano NASSIR EDDIN (1201-1274) già nominato come critico dell'Euclide, al tempo della decadenza dell'Impero a Bagdad. La sua fama fu così grande che il feroce conquistatore tartaro Hulagu volle che l'astronomo continuasse i suoi studi, offrendogli un osservatorio costruito a sue spese nel giardino regale. E tanto rispetto destò la scienza degli astri presso i barbari

invasori, che più tardi il sultano ULUGH BEGH, nipote di Tamerlano, si fece egli stesso astronomo, componendo un catalogo stellare che è consultato anche oggi.

Agli esempi sopracitati della attività astronomica degli Arabi, aggiungiamo che essi perfezionarono l'istrumento di calcolo offerto dalla Trigonometria di IPPARCO.

Anzitutto, per quanto sembra, si introducono qui per la prima volta le semicorde (che corrispondono ai nostri *seno* e *coseno*) al posto delle corde usate dai greci e dagli indiani. Poi si scrivono sotto forma algebrica le relazioni fra le linee trigonometriche, e si danno le formule per $\text{sen}(a+b)$ ecc.

Più importante è il progresso realizzato da Nassir Eddin nella trigonometria sferica, di cui ha offerto un trattato che comprende la risoluzione generale dei triangoli obliquangoli, laddove i greci si erano limitati a ridurre questo caso al caso dei triangoli rettangoli.

Ora una notizia curiosa. La nostra voce « seno » (e quindi « coseno ») deriva da un errore di traduzione del termine arabo *jiva* che figura nel testo di Albategno (e che significa corde); la grafia araba trascurando le vocali, i trascrittori latini hanno visto nella parola la voce *jaib* che denota appunto un seno o un'insenatura. Così resta spiegata l'origine di una voce trigonometrica che resterebbe altrimenti incomprensibile.

Guardata nel suo insieme, l'opera degli arabi costituisce un contributo notevole all'astronomia d'osservazione. Il sistema tolemaico figura sempre come principio teorico, ma la teoria non è passivamente accettata, bensì verificata e precisata, e qualche volta corretta in base alle osservazioni. Una decadenza del concetto teorico si avverte solo in progresso di tempo, per l'influenza che andò acquistando Aristotele, non proprio sugli astronomi osservatori, bensì sopra filosofi la cui scuola culmina in AVERROÉ (1126-1198) e che ebbero massimamente influenza nella Spagna: qui, l'idea geometrica dei cicli e degli epicicli cede alla materializzazione delle sfere celesti.

In complesso, l'astronomia araba non ha portato grandi conquiste: ma ha assicurato la continuità indispensabile in una scienza

in cui l'osservazione prolungata e la perfezione di dettagli hanno così gran parte. In un tempo in cui dal cielo non venivano che oscuri terrori e presagi, l'unico punto del mondo in cui lo si seguiva con preciso intento scientifico era l'osservatorio di al Battānī o quello di Nassir Eddin.

Gli arabi ripresero anche da Tolomeo lo studio dell'ottica. Il medico ALHĀZEN (m. nel 965) ha sviluppato la teoria della visione, controbattendo la teoria greca di una emissione di raggi visivi dell'occhio: poi, approfondendo l'esame del fatto fisico, correggeva la legge di rifrazione tolemaica, notando il modo di variare dell'angolo di rifrazione in rapporto all'angolo d'incidenza: così era in qualche modo preparata la via alla legge dei seni, che doveva essere scoperta più tardi da SNELLIIO e DESCARTES.

È anche notevole un tentativo di Alhāzen di misurare l'altezza dell'atmosfera dalla durata del crepuscolo in base all'ipotesi che si abbia sempre luce crepuscolare finchè un raggio di sole venga riflesso e diffuso da uno strato dell'atmosfera. Egli trova così 15 km. d'altezza: il risultato è viziato dal trascurare la diminuzione della densità dell'aria, e il conseguente effetto di rifrazione.

MEDICINA. — Per la medicina, piuttosto che le loro opere originali, è importante la trasmissione che gli arabi hanno fatto della scienza d'Ippocrate e di Galeno, che precisamente attraverso vasti trattati medici come quelli di AVICENNA e di RAZES penetrò nell'Occidente, specialmente nelle scuole di Salerno e di Montpellier. Interessante è il tipo del medico foggiano dagli arabi, che si ritrova poi in qualche modo nel Rinascimento. Al medico si chiedeva una scienza generale ed unitaria e perciò non soltanto nozioni attinenti alla sua arte, ma anche conoscenze che vanno dalla logica fino alle matematiche e all'astronomia e all'alchimia, non esclusa l'astrologia. Se questa coltura enciclopedica ha potuto portare nocumento ad una chiara comprensione dei limiti della propria disciplina, ne è risultata tuttavia una interpenetrazione della scienza, che deve ritenersi come un fattore dei successivi progressi.

D'altra parte, nel tipo del medico, si vede espresso il concetto

che gli arabi si formavano della scienza: alla quale si accostavano, non come i greci, per un bisogno di contemplazione estetica che guarda disinteressatamente all'oggetto in sè, ma piuttosto con l'ansia di scoprire la posizione dell'uomo rispetto alla natura, e col sentimento dell'unità del Tutto che attinge forza da una fede monoteistica. Per questo aspetto lo spirito arabo veniva a trovarsi più vicino allo spirito cristiano delle popolazioni europee, con cui doveva entrare a contatto. La coscienza di questa vicinanza veniva già espressa dal Saladino, pur in mezzo al conflitto delle Crociate.

XXI.

La trasmissione dell'eredità orientale.

RAPPORTI DELL'OCCIDENTE COLL'ORIENTE. — Per lo sviluppo della coltura e delle scienze europee è essenziale l'apporto dovuto alla coltura araba, e il ritrovamento attraverso questa delle fonti più antiche del pensiero greco.

È ben vero che la tradizione greco-romana non si è mai perduta completamente nei popoli europei durante il Medio Evo: chè essa si è tramandata attraverso le enciclopedie di cui si è discorso innanzi, e scrittori quali Plinio e Seneca, e i tardi enciclopedisti hanno conservato negli animi l'ammirazione per i grandi nomi dell'antichità. È anche vero che la tradizione della tecnica antica si conservava spontaneamente in cerchie, sia pur via via più ristrette, ove rispondeva ad un bisogno della vita; e così in particolare nelle città marinare rimanevano vive le conoscenze attinenti all'arte della navigazione: d'altra parte, attraverso il Mare Mediterraneo non si è rotta, neppure in questo periodo, la continuità fra i popoli disseminati sulle sue sponde. Per vari secoli il commercio fece capo ai porti dell'Impero bizantino, il quale in un ambiente civile, in prospere condizioni di vita, serbò lungamente le arti e i mestieri della florida civiltà ellenistica, insieme ai molteplici usi che vi si collegano nella pratica della vita.

La nuova capitale dell'Impero d'Oriente era stata sempre più arricchita dai successori di Costantino, che vollero farne « il gioiello dei due mari », centro in cui confluissero gli scambi, la vita e

le ricchezze di un vasto territorio occupato da diverse popolazioni.

Nella costruzione della magnifica chiesa di Santa Sofia essendosi sperimentata la difficoltà di assicurare la stabilità della volta, che era caduta in un primo tentativo, gli architetti ISIDORO di Mileto e ANTEMIO di Tralles sentirono il bisogno di ricorrere agl'insegnamenti della geometria antica. E perciò si fondò una scuola in cui Archimede e i geometri trovavano posto.

Ciò avvenne ai tempi di Giustiniano, fin dal VI secolo della nostra èra.

I molteplici contatti di Bisanzio col mondo occidentale, la sua influenza che è l'ultimo vestigio diretto dell'antico Impero, vengono a ridursi quasi a nulla dopo l'invasione musulmana delle coste africane e dell'Asia Minore. Come osserva il Pirenne, per opera dell'Islam il mare familiare e quasi familiare, che congiungeva fra loro le varie parti del mondo romano, diventa una barriera. Non ultima ragione questa dell'imbarbarimento dell'Occidente abbandonato a se stesso, ma pur anche motivo di una riorganizzazione e per così dire di un insorgere autonomo delle forze vergini di un continente che sta trovando una propria coscienza. Nell'isolamento, e poi nei nuovi contatti che si stabiliscono per via diversa, l'Europa moderna vive i suoi albori.

Poichè non appena fu consolidata la posizione dei nuovi venuti conquistatori, ripresero i contatti attraverso il Mediterraneo, ma per vie e in forme alquanto diverse. I primi rapporti degli arabi col mondo europeo furono agevolati dagli ebrei, che servirono spesso da interpreti e divulgatori delle idee, trovandosi fra essi molti uomini di dottrina ed anche filosofi come MAIMONIDE (1135-1204). La scuola medica di Salerno, sorta intorno all'850, si può considerare come un frutto precoce di questo ravvicinamento di colture, simboleggiato nella leggenda che le attribuisce come fondatori quattro medici: un latino, un greco, un arabo e un giudeo. (La scuola di Montpellier, che ha un'origine analoga, risale soltanto ai primi del 1200).

Assai presto i centri arabi di Spagna acquistarono prestigio presso gli uomini più avidi di sapere della cristianità: tanto che il

dotto Gerberto (poi papa Silvestro II nel 1002) si narra che avesse studiato a Cordova, e di là avesse tratto la dottrina che lo fece incomparabile nel suo tempo. Codesti rapporti non debbono meravigliare, ricordando che relazioni politiche si erano stabilite fra Carlomagno e il Califfo di Bagdad fino dall'800, e che per oltre due secoli numerosi occidentali avevano fatto indisturbati il pellegrinaggio del Santo Sepolcro.

Tuttavia, a rendere più intimo il contatto di due civiltà, separate da profonde diversità di credenze e di costume, intervengono le *Crociate*, la prima delle quali riesce ad una provvisoria occupazione di Gerusalemme nel 1099.

Un grande fervore di fede, una rinascita mistica, il senso della necessità di difendere il mondo occidentale dalla invadenza musulmana, l'ira suscitata dalle notizie sulla crudeltà dei Turchi Selgiucidi, si mescolavano in questo movimento con motivi di diverso ordine: la brama delle indulgenze promesse dal pontefice a quanti mercenari, rapinatori, debitori, speculatori, volessero con l'arruolamento tentar la fortuna e redimersi dal peccato; i dissesti di un'epoca di transizione; lo spirito d'avventura e l'avidità dei guadagni, che spronava soprattutto le città mercantili italiane. Attraverso le *Crociate* Genova e Pisa estesero i loro traffici al Mediterraneo orientale, di cui solo una parte era stata aperta fin allora a Venezia.

Da ciò emergevano altrettante occasioni di contatti e di rapporti dell'Europa con la coltura araba. Del resto, seppur possa sembrare un paradosso, la guerra e l'imitazione che segue l'acme dell'antagonismo tra due popoli, danno un notevole impulso alla reciproca conoscenza e quindi alla compenetrazione degli usi e delle idee. Nel caso delle *Crociate*, l'esito delle spedizioni che si risolse infine in un arresto della coalizione degli europei di fronte alla resistenza musulmana, dovette naturalmente accrescere la stima di quelli per il nemico vittorioso e per i suoi mezzi tecnici (si pensi, per esempio, all'acciaio di Damasco, che suscitava l'invidia dei crociati). D'altronde il lungo soggiorno nelle contrade orientali, conseguente al ristagno della guerra, offrì agli europei invasori l'oc-

casione di apprendere ed assimilare gli usi delle popolazioni indigene, in una convivenza spesso pacifica.

Una conseguenza dei rapporti con l'Oriente fu che i modi di calcolo dell'aritmetica commerciale presero a diffondersi tra i mercanti navigatori delle città marinare italiane: di qui appunto LEONARDO PISANO, detto il FIBONACCI (figlio di Bonaccio) ha tratto i motivi del suo *Liber Abaci* (1202), nel quale ha trattato con grande abilità numerosi problemi di aritmetica commerciale, ed anche vere questioni di algebra, in una maniera che suscita ancora l'ammirazione dei matematici. Circa due secoli dopo LUCA PACIOLO trarrà pure dagli arabi l'insegnamento della partita doppia nella contabilità.

Ricordiamo che Venezia, attraverso la IV Crociata (1204) ottenne una specie di protettorato sopra Costantinopoli, durato 57 anni. A questi intensificati rapporti col mondo bizantino si collega anche il fatto che mercanti italiani percorsero l'Asia al seguito dei Mongoli, dopo che questi occuparono la Crimea e l'Armenia.

I viaggi di Niccolò e Matteo POLO (1250) e poi del giovane MARCO, scoprirono al mondo l'Asia centrale ed orientale. Intere nazioni e contrade, affatto sconosciute, venivano rivelate all'Europa come sedi di una prosperosa civiltà; Marco Polo descrive i prodotti delle arti e delle manifatture dei paesi percorsi; parla delle stampe cinesi, del carbon fossile, della porcellana, dell'uso della carta-moneta, dell'organizzazione delle poste, della colossale struttura amministrativa dell'impero del « Gran Cane ». Le sue asserzioni non credute e messe in ridicolo dai concittadini, che diedero al suo racconto il titolo di *Milione*, risultarono poi sempre più confermate. E l'esempio di Marco Polo eccitò altri ai viaggi di esplorazione e di scoperte, dal suo concittadino MARINO SANUDO, che riconobbe per primo la configurazione dell'Africa, fino a Cristoforo Colombo.

Alla espansione del mondo occidentale che in parte prende motivo dal contrasto con la civiltà islamica, corrisponde d'altra parte uno sviluppo interno della società europea, che riesce a sistemare i rapporti delle antiche popolazioni coi conquistatori nordici,

dando compimento giuridico al *regime feudale*, col più largo principio dell'ereditarietà delle investiture (1037). Di fronte a questo ordinamento aristocratico si formano in ogni parte d'Europa nuclei cittadini o *comuni*, che fuori d'Italia riuniscono soltanto « borghesi » esercitanti certe attività economiche, ed in Italia, ricollegandosi al circostante contado, assumono un più alto e complesso significato politico.

LE UNIVERSITÀ. — Col rifiorire dell'attività economica e dell'arte, la risvegliata attività intellettuale crea gli organi per la diffusione e per l'accrescimento del sapere. Da questo periodo datano le Università, che molto ancor serbano della tradizione d'origine. Alle quali anzi l'adattamento ai bisogni della moderna civiltà industriale, e l'assorbimento negli ordini dello Stato, ha tolto qualcosa delle loro libere forme e del prestigio che ne circondava l'alta missione spirituale. Le università traggono origine da quei centri di studio che sorgevano qua e là spontaneamente intorno a maestri reputati: e spesso si inserivano negli istituti religiosi a cui quei maestri appartenevano. I primi di questi centri si hanno in Italia.

Un'ordinanza di Federico Barbarossa del 1158 prescrive che gli scolari saranno giudicati « dai tribunali ecclesiastici » ove non preferiscano il giudizio dei maestri: si ha così il primo atto legale, che costituisce l'Università di Bologna, ove l'insegnamento del diritto era cominciato dopo il 1000, ed era salito in alta fama per opera di IRNERIO (1100-1130). A Parigi, ove la scuola di logica aveva conquistato rinomanza con GUGLIELMO DI CHAMPEAUX e ABELARDO (circa il 1100), l'Università riceve la sua sanzione sotto Filippo Augusto intorno al 1200.

Bologna e Parigi differiscono fin da principio per il loro carattere, poichè a Bologna si vuole una preparazione professionale e pratica, mentre Parigi si propone una formazione piuttosto logica e speculativa.

Dai due *studi* di Bologna e di Parigi prendono esempio, quando non ne provengano per influenza diretta, le Università che si costituiscono similmente in tutti i centri in cui erano scuole un po' ce-

lebrì di diritto, di teologia, di arte, di medicina. Così l'Università di Padova si costituisce per la migrazione di un considerevole numero di studenti da Bologna nel 1222. Lo studio di Napoli riceve nel 1225 i suoi privilegi da Federico II. La scuola di Salerno viene costituita in Università nel 1238 per il diritto e la medicina. L'Università di Roma è fondata da Bonifacio VIII nel 1303; quella di Pavia, ove già esistevano scuole fra le più antiche, nel 1351; quella di Pisa nel 1336, ecc.

L'Università di Oxford si costituisce sul modello di quella di Parigi; si può assumere come data del suo riconoscimento il 1229, lo stesso anno in cui lo studio di Tolosa riceve la sua sanzione da Gregorio IX; Cambridge sorge un poco più tardi. Le Università di Praga, di Vienna e di Colonia sorgono sotto l'influenza francese, rispettivamente nel 1347, nel 1364 e nel 1389. Heidelberg riceve la sua carta nel 1385.

Il privilegio che massimamente ambivano le università era quello di conferire non soltanto un titolo di valore locale, ma l'*ius ubique docendi*, che praticamente era riconosciuto fin dall'origine ai dottori di Bologna e di Parigi, a cagione della celebrità di questi studi, e che fu loro formalmente riconosciuto dalla bolla di Nicola IV nel 1292. Tali bolle papali o imperiali davano a uno studio il carattere di *studio generale*.

L'aspirazione ad un titolo d'insegnamento universalmente valido è uno degli elementi del carattere internazionale di questo istituto; vi concorre un altro elemento, che è la varia composizione degli studenti, i quali appartengono alle più diverse nazionalità, e si trovano consociati in corporazioni o gilde scolastiche: anzi il nome stesso di « Università » designa non la totalità degli studi, ma l'insieme di codeste corporazioni: *Universitas magistrorum ac scholarium*.

Il primo riconoscimento legale delle Università trae origine appunto dal bisogno di concedere protezione, e quindi un certo grado di autonomia, ai nuclei di studenti stranieri di fronte alle autorità locali. Così l'Università acquista sin da principio e va svolgendo di poi, una sua figura politica, che ancora conserva in Inghilterra,

ove le Università di Oxford e di Cambridge sono rappresentate al Parlamento nazionale.

Il carattere internazionale delle organizzazioni scientifiche risponde alla profonda unità che l'Europa del Medio Evo ha raggiunto mercè la tradizione romana che si continua nella Chiesa e nell'Impero. Nel mondo della cultura questa unità si esprimeva anzitutto mediante l'uso comune del latino, allora unica lingua scientifica; e mediante la rapida e facile circolazione delle conoscenze e delle idee fra i paesi più lontani. Infatti l'universalità della fede (cattolicità) di fronte a cui si annullavano le differenze nazionali, costituiva un ambiente in cui i religiosi potevano migrare da un luogo all'altro trovandosi sempre in una cerchia fraterna. Maestri e discepoli delle università — cui per lungo tempo si conserva il nome di *clerici* — proseguirono naturalmente questa tradizione di rapporti e di contatti al disopra delle barriere dei confini.

Malgrado la difficoltà di comunicazioni, il particolarismo politico, la miseria delle masse e l'anarchia demente dei grandi, il Medio Evo fu un'epoca di vera e profonda unità europea, grazie alla casta dei chierici. I libri eran cosa rara e preziosa: ma forse appunto per ciò, un libro nuovo faceva il giro d'Europa forse più rapidamente che non oggi. La solidarietà fra uomini di coltura, qual che fosse la loro nazione, si traduceva nell'autonomia veramente sovrana e nell'imponente prestigio delle Università. Le quali, organizzate per « nazioni », davano al popolo della città l'esempio della forza del diritto e del buon governo.

Erano migliaia e migliaia di uomini, di età spesso matura, che abbandonavano la loro patria d'origine per accorrere ai più celebri studi, ad ascoltare per lunghi anni l'insegnamento di un maestro, e che nulla giovava a distogliere dalla loro brama di sapere, nè privazioni economiche, nè sconvolgimenti politici, nè interessi mondani. Molti invecchiavano nelle scuole, senza aver rinunciato a quel sogno che era per loro il conseguimento della Verità assoluta, termine di ogni scienza.

DIFFUSIONE DELLA SCIENZA E LIBERO PENSIERO. — Il formarsi delle università dava luogo a centri di studio, ove la scienza araba, e dietro di questa la greca, doveva entrare in contatto col sapere tradizionale. Ai primi del secolo XII, la fama delle scuole arabe di Spagna salì a tal grado, che sotto gli auspici della stessa Chiesa cattolica, si attinse al loro corpo di dottrine, traducendo e diffondendo le opere maggiori. A Toledo si costituisce un collegio di traduttori diretto da due ebrei sotto la presidenza dell'arcivescovo Raimondo (1126-1151): e da Toledo poi il movimento scientifico si propaga all'Università di Parigi che diventa il primo centro della rinnovata cultura.

Che cosa portava la nuova scienza, e a quale conflitto d'idee doveva dare origine?

L'afflusso di tante nozioni tecniche (aritmetiche, mediche, geografiche, ecc.) e il diffondersi di relazioni su diversi paesi che vanno dall'India fino al Baltico, tutto ciò che poneva in contrasto idee, fedi e costumi di popoli, non poteva fare a meno di ampliare l'orizzonte mentale degli europei. Ma in pari tempo quel senso assoluto della tradizione religiosa che aveva fatto l'unità e l'autorità della Chiesa e della vita cattolica, doveva cedere necessariamente ad un nuovo senso della relatività storica, suscitando i confronti e, con essi, l'ansia del dubbio e il desiderio della prova efficace. D'altra parte, la conoscenza dei testi arabi schiude all'Europa la visione del già perduto mondo antico: e così comincia una nuova epoca del Medio Evo.

Fin qui lo spirito non aveva, per soddisfare la propria curiosità, che pochi avanzi dell'insegnamento delle scuole accatastati nelle soffitte: chè ad essi in fondo possono paragonarsi le compilazioni di Marciano Capella, di Beda, d'Isidoro; e alcuni trattatelli di tecnica spicciola. Adesso la scienza antica torna all'Occidente nel suo più ampio aspetto, attraverso i commentari arabi, ed anche nei testi originali, quelli che già i Romani avevano abbandonati per i loro poveri compendi. Così la medicina, dapprima ridotta a Celio Aureliano e alla compilazione di Garioponto, ritrova Ippocrate e Galeno. L'astronomia, che si riduceva ai sunti di Igino e di Beda,

torna — attraverso Alfergano, Tabizio, Albumassar — alle grandi opere degli alessandrini. L'aritmetica, che per tanti secoli si era limitata alla praticetta dell'abaco e dell'indigitazione, rinasce con Leonardo Pisano.

Ma dopo che si furono chiesti ai miscredenti i segreti della scienza, si fece un passo ancora più audace, e si chiesero loro i lumi della filosofia. E questa si rivelò soprattutto nell'aspetto del grande enciclopedista che gli arabi solevano chiamare per antonomasia *il filosofo*. Dal 1150 al 1250, la dottrina aristotelica per opera soprattutto della scuola di Toledo si diffuse in Europa. Come già notammo (cap. XVIII) le scuole medioevali anteriori avevano conosciuto soltanto una parte, e non la più importante, dell'organo aristotelico; la *Nuova Logica*, cioè la sillogistica, fu accolta e sviluppata con insuperabile virtuosità da ALESSANDRO DI HALES (il *Doctor Irrefragabilis*).

La Chiesa trovava il nuovo metodo adatto all'esposizione delle sue proprie dottrine. Ogni testo viene scomposto in un certo numero di proposizioni, a cui si uniscono delle domande per cui si raccolgono tutte le risposte possibili. La decisione sull'oggetto risulta poi dal pesare gli argomenti pro e contro alle diverse risposte. Questo schema, nella sua minuziosa applicazione, consentiva bene a quello spirito di rigore imitato dal formalismo matematico, che Boezio aveva portato al Medio Evo e che, in difetto di un contenuto più sostanziale, aveva preso un'immensa importanza per i dialettici del secolo XII, come GILBERT DE LA PORRÉE e ALANO DA LILLA.

A differenza dalla logica, la fisica e la metafisica di ARISTOTELE non furono accolte senza resistenza. Sulla concezione aristotelica proiettavano una luce particolare i pensatori ed i commentatori arabi. La metafisica di Aristotele pone la realtà come risultante dall'intreccio di due elementi correlativi ed inseparabili: Forma e Materia. La Materia è semplice possibilità di esistenza, ma non esiste, se non in virtù della Forma o Idea che conferisce alla cosa esistente un suo proprio significato e valore. Questa concezione è già suscettibile di per sè d'urtare contro la credenza di

un Dio onnipotente creatore, ove, con AVICENNA, si scorga nella materia l'eterna e pura possibilità dell'Esistente, che limita l'azione dello Spirito.

Ma il conflitto con la coscienza religiosa appare più grave quando si accolga l'interpretazione di AVERROÉ; « il cane Averroé dal vipereo morso », come lo chiama il Petrarca; la quale interpretazione attraverso Alessandro d'Afrodisia, ricollegandosi a STRATONE di Lampsaco, si riaccosta notevolmente a DEMOCRITO. Qui la Materia viene presa come esistente di per sè, e il suo divenire è retto dalla necessità del principio di causa. E di più, la Forma, anzichè discendere dal mondo delle idee platoniche, si vede contenuta potenzialmente nella materia stessa, da cui procede, elevandosi per gradi. In tal guisa il Tutto sembra porsi di fronte all'Assoluto (Dio), come un'unità data, ove in qualche modo nulla si crea o si perde, poichè ogni trasformazione avviene dall'attuale al potenziale o dal potenziale all'attuale, secondo rapporti necessari.

D'altra parte la dottrina teologica che Averroé, ispirandosi al monoteismo musulmano, trae da Aristotele, contiene il germe delle più gravi eresie. Poichè, seguendo il maestro, egli nega l'immortalità di ogni anima individuale, ammettendo bensì che il pensiero umano abbia in se stesso qualcosa di non perituro, ma solo come Ragione impersonale (teoria dell'Intelletto Agente). In questo pensiero si realizzano veramente gli universali, attraverso ai quali si vede l'unità del Tutto. E Dio non è che l'unità del Pensiero e dell'Essere, l'Ordine in cui si conciliano gli opposti, principio e fine dell'universo, cioè il Tutto stesso nella sua più alta espressione. Così da premesse di colore materialistico si svolge nella mente del pensatore arabo una filosofia panteistica, che esclude l'idea della Provvidenza: Dio tende ad essere assorbito nella natura, nella quale si distinguono tuttavia due aspetti, cioè la *natura naturans*, che è l'ordine delle forze motrici, e la *natura naturata*, ossia la materia da essa plasmata ed animata (1).

(1) Questo monismo, con le stesse distinzioni, riapparirà nella Cabala giudaica, poi in Spinoza nel sec. XVII.

Il panteismo così disegnato riceve altri sviluppi più vicini alla filosofia neoplatonica, per opera di filosofi ebrei come AVICEBRON e MAIMONIDE.

Ora in Occidente non si era mai dimenticato il motivo platonico della dottrina di S. Agostino e le difficoltà che vi si collegano in ordine ai problemi del libero arbitrio, della predestinazione e della grazia. Perciò la conoscenza delle idee arabe recava ai mistici cristiani, la cui linea si può riannodare a Scoto Erigena, una nuova consapevolezza delle loro aspirazioni e del significato ultimo del loro pensiero. Tanto più che il razionalismo antico giungeva attraverso mentalità affini, che in AVICEBRON e soprattutto in AL GAZALI volgevano ad una concezione mistica, cui si accompagnava un sistema teorico-pratico interamente formato; c'erano quindi gli elementi per agire non soltanto sui puri intellettuali, ma anche sui temperamenti sentimentali. E l'influenza è indubbia. Si è trovato che lo schema mistico della *Divina Commedia* ha delle rassomiglianze così strette da non poter esser casuali con le costruzioni precedenti di pensatori islamici quali Hallaj e Ibnù'l Arabi.

AMALRICO di Bène (presso Chartres) e DAVID di Dinant, traendo le estreme conseguenze dal realismo di Scoto e di Anselmo, giungono a considerare tutte le cose come estrinsecazioni del sommo universale, cioè dell'unica sostanza di Dio, il quale viene dunque identificato col mondo. La Chiesa condannò queste eresie panteistiche insieme con le dottrine arabe da cui prendono ispirazione, nel concilio lateranense del 1225, perseguitando col ferro e col fuoco la setta degli amalricani. E la condanna dell'averroismo recava seco anche quella della *Metafisica* di Aristotele. La *Fisica* era stata già condannata fin dal 1209.

I motivi che avevano portato alla condanna della fisica sono di ordine molteplice e un po' oscuro. Qualcuno ritiene che la Chiesa abbia dovuto fare argine alle tendenze risorgenti del culto della natura, cui si legano le pratiche della stregoneria, poichè alcune popolazioni germaniche, che ancora si ricordavano della conversione imposta con la spada da Carlomagno, non potevano avere sincero affetto per la fede cristiana. Perciò, fin dal Concilio lateranense del 1139, sarebbe stato interdetto ai monaci di esercitare

la medicina, e più tardi, già nel concilio di Tours del 1169, sarebbe stata vietata loro la colpevole lettura di opere sulla fisica.

Ma a prescindere da queste ragioni, conviene ricordare che fino dai primi Padri della Chiesa si era delineata una lotta dello spirito religioso contro il pensiero naturalistico degli antichi. L'enciclopedia di Aristotele, oltre alle vedute personali dell'autore, portava con sè una larga conoscenza di tutto il materialismo. Tendenze come l'epicureismo potevano venirme indirettamente illuminate e rafforzate. In ogni caso lo studio della natura offriva ad un pensiero costretto rigidamente nel dogma un campo aperto alla critica, che poteva assai facilmente estendersi alle questioni morali e religiose.

Di fatto le condanne della Chiesa non valsero a impedire la diffusione delle nuove idee suscitate dal contatto con la cultura araba, nonchè le ravvivate aspirazioni allo studio della natura. I tempi erano singolarmente disposti alla generazione e alla propagazione delle eresie, alla quale consentivano anche le condizioni economiche di intere popolazioni cadute in una squallida miseria.

Alla corte di Federico II in Sicilia, le tendenze ribelli ebbero largo campo di espandersi in un ambiente eccezionalmente prospero per lo sviluppo della cultura che ravvicinava Italiani e Tedeschi con gli Arabi e coi Bizantini. Qui gli studi naturalistici e le speculazioni metafisiche ebbero incoraggiamento dalla stessa curiosità del principe, che amava chiamare intorno a sè i dotti orientali, o inviar loro messi ad interrogarli. Il libero esame non si arrestò al limite delle cose sacre: e del resto la discussione comparata delle idee religiose si era già iniziata con le relazioni di viaggiatori e di monaci, come quel Rinaldo da Monte Croce che scrisse la *Cribratio Alcorani*, o con le confutazioni apologetiche come il *Pugio fidei* e il *Capistrum judaeorum* di Raimondo Martino.

Era logico che coloro che assistevano a tali furibonde controversie, e non avevano perduto la serenità d'animo, cercassero una conciliazione, e sorgeva l'idea che questa potesse realizzarsi in una fede basata sul lume naturale della conoscenza universalmente valida, a prescindere da ogni forma particolare di rivelazione storica.

La ricerca di una « religione naturale » si risolveva nel crearsi

di un centro di forze spirituali al di fuori della Chiesa, al quale convergevano da ogni parte i ribelli, i negatori, gli utopisti, i depositari di tradizioni segrete. Di fronte alla teologia, si concretava una nuova dottrina analoga, in cui tutto il pensiero e la sapienza che la Chiesa in varie epoche aveva condannato e perseguitato, e di cui pur si conservavano le tracce, si affermavano come scienza dell'uomo. Scienza dei poteri e delle dignità che l'uomo avrebbe avuto in sè da sempre, delle vie di conoscenza e di imperio che sono suo retaggio, e che le varie religioni avrebbero accaparrato e nascosto, ciascuna a suo modo. Il confronto ormai possibile fra le tre fedi principali del mondo mediterraneo, le loro singolari rassomiglianze, e lo scarso interesse che sembravano presentare le credenze particolari intervenienti a dividerle, la stanchezza del dogma, il presentimento di un passato e di un futuro che le religioni si sforzavano di obliterare: tutto conferiva a questo primo umanesimo, che recava in sè la forza delle aspirazioni represses e la complicità di un singolare miscuglio di razionalismo e di disperazione, di grandezza e di abbiezione, in cui le tendenze più contrarie convenivano, e in cui si potevano invocare dagli uni la pristina purezza del Vangelo, dagli altri la fredda lucidità del pensiero filosofico, da altri ancora l'orgoglio e la promessa di Lucifero.

Più tardi, RUGGERO BACONE definirà la religione naturale come risolvendosi nella suprema legge etica, *scientia universalis*. Ma nel sec. XIII l'illuminismo non cercava accomodamenti: e insieme con l'indifferentismo apertamente professato, trovava accoglienza alla corte di Federico II. La bestemmia dei « tre impostori » (Mosè, Cristo e Maometto) che a lui viene attribuita, come ad altri liberi pensatori, non ha fondamento storico. Pure è caratteristico che essa si ritrovi nelle apostrofi di Papa Gregorio IX contro « il Re di pestilenza che osa sostenere, anzi mentire fino al punto di dire.... che non si debba assolutamente credere se non a ciò che è provato dalle leggi delle cose e dalla ragione naturale » ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Le leggi promulgate da Federico II contro gli eretici rappresentano soltanto concessioni di natura politica, in un periodo di compromesso a cui egli dovette venire con la Chiesa, e nulla provano circa le tendenze del suo spirito.

XXII.

La Scolastica.

Per arginare il fermento degli spiriti che irresistibilmente si diffondeva tra le popolazioni, la Chiesa, con quel tatto mirabile che raramente si è smentito nella Storia, non esitò a far proprie le opere di Aristotele, adattandole ai suoi fini.

LA NOVA LOGICA. — Anzitutto essa si assimilò il metodo della *nova logica*, esponendo le sue dottrine col sussidio della sillogistica. Questo metodo nel senso *scolastico* appare precisazione o raffinamento di quello già adoperato dai *sentenziari* del secolo XII. Ricordiamo, p. es., il Maestro delle Sentenze, PIETRO LOMBARDO (m. 1164), discepolo di Abelardo, che lavorò a codificare le dottrine teologiche, mettendo a confronto i testi, e discuteva il pro e il contro, sottilmente ricercando, non la verità che si suppone data, bensì l'accordo o il disaccordo delle opinioni.

Il lavoro dei sentenziari, che ci danno le prime enciclopedie teologiche del medioevo, rispondeva inizialmente al bisogno pratico della Cristianità di esprimere la sua unità spirituale, riunendo i dati sparsi che ne costituiscono la tradizione. Ma i fermenti intellettuali che nello stesso secolo XII agitano le coscienze sollevando tumultuose e confuse aspirazioni, tendono ad esprimersi in nuove e più agili forme letterarie, e a superare gli schemi rigidi della raccolta sistematica o del commento, per aprirsi verso la conoscenza più estesa che è il sogno dell'avvenire.

Contro a siffatte tendenze pericolose la *nova logica* aristotelica offre il freno di un più stretto rigore; esempio tipico di virtuosismo dialettico in questo senso è la *Summa universae theologiae* di ALESSANDRO DI HALES (morto 1243), francescano che pure resta in generale attaccato alla tradizione agostiniana. Frattanto un domenicano, VINCENZO DI BEAUVAIS (m. 1265), compone per ordine di S. Luigi re di Francia lo *Speculum maius* o *Bibliotheca mundi*: la più vasta enciclopedia medievale, che raccoglie numerosi scritti di autori latini e greci, arabi ed ebrei. Quest'opera può riguardarsi come un inquadramento di tutto il sapere — e in particolare anche della scienza più estesa del mondo naturale rivelato da Aristotele — nell'ordine delle idee cristiane.

IL TOMISMO. — Ma il compito specifico di assimilare le dottrine d'Aristotele e di accordarle colla visione cristiana fu assolto da altri due domenicani: Alberto de Bollstädt, detto poi ALBERTO MAGNO (1197-1280) e TOMMASO D'AQUINO: S. Tommaso (1227-1274).

Per le scienze della natura è specialmente importante l'opera di Alberto Magno: 22 volumi in-folio, che prendendo per modello Avicenna espongono e sviluppano le dottrine d'Aristotele sulla fisica, la botanica, la zoologia.

Tommaso d'Aquino ⁽¹⁾ assolse il compito più difficile di adattare alla coscienza cristiana la metafisica aristotelica. Alle esigenze della Chiesa, Aristotele rispondeva particolarmente su tre punti: a) la sua scienza della natura, anzichè ispirarsi ad un concetto propriamente meccanico, introduce una considerazione finalistica; b) la circostanza che un autore pagano fosse riuscito a concepire un Dio supremo motore del mondo, ma separato da questo, mostrava che la ragione naturale non è necessariamente condotta alle conclusioni panteistiche dell'eresia mistica, contro cui urgeva allora combattere; c) il sistema chiuso dell'enciclopedia aristotelica offriva un

(1) S. Tommaso è il più eminente teologo della Chiesa. La sua opera suscitò dapprima le diffidenze di Gregorio IX (1230); ma presto ricevette ampio riconoscimento, fruttando all'autore il titolo di « *Angelo della scuola* ».

corpo di dottrine da assimilarsi come un tutto, per modo da escludere la libera discussione delle questioni particolari, rimettendo in ogni caso il giudizio all'autorità del maestro: così l'ortodossia estendeva virtualmente il suo dominio alla universalità dello scibile, e tendeva ad evitare il progresso delle ricerche secondo indirizzi più pericolosi, di cui si ha notizia dalla stessa enciclopedia aristotelica.

Per tutti questi motivi Aristotele si prestava bene ad essere accolto come fu dalla Chiesa dopo il 1250, « precursore di Gesù Cristo nelle cose naturali, quale Giovanni Battista nelle cose della grazia ». Egli rappresentava il primo grado della verità a cui l'uomo giunge col lume naturale della ragione, e a cui sovrasta il secondo grado della verità rivelata. Così abilmente era demolita la punta più pericolosa del pensiero arabo, che scorgeva nella religione soltanto il simbolo d'una più alta verità filosofica: questa posizione restava, come si vede, nettamente invertita. Pure, l'espedito portava in sè il germe di quella distinzione di *due verità*, sotto la quale il libero pensiero doveva trovare più tardi un comodo rifugio.

Un grande risultato ottenne la Chiesa con l'assimilazione e l'accomodamento della dottrina d'Aristotele, poichè la nuova scolastica tomistica riuscì a infrenare e disciplinare per secoli il movimento degli spiriti: naturalmente quest'effetto non fu conseguito senza forzare in qualche punto la dottrina dello Stagirita, e senza sollevare opposizioni e difficoltà.

Per il progresso della scienza, il riconoscimento dello studio della natura con la scolastica tomistica è un evento grandemente favorevole, sebbene a dir vero codesto studio non venga ancora concepito secondo la nostra mentalità scientifica. Lo stesso interesse che Alberto Magno prende alle cose della natura è piuttosto quello di un raccoglitore di specie curiose che di uno scienziato nel senso nostro.

IL PENSIERO FRANCESCANO: RUGGERO BACONE. — D'altronde il movimento tomistico va considerato soltanto come parte di un movimento più largo che, accanto alle speculazioni dei domenicani, comprende anche in sè la corrente di pensiero dei france-

scani. In questo ordine lo stesso misticismo religioso, che erompe talvolta in aspirazioni riformatrici e millenaristiche analoghe alla dottrina del Vangelo Eterno del cistercense GIOACCHINO DA FIORE, repugna dal primato dell'intelletto sulla volontà, restando perciò attaccato ai motivi del pensiero platonico-agostiniano. Di qui appunto venne, nella stessa orbita della Chiesa, una forte opposizione alle « novità profane che, contro la verità filosofica e a detrimento dei Padri, si sono introdotte... nelle profondità della Teologia ». Caratteristica in questo senso è l'opera di Giovanni Fidanza da Bagnoregio, che divenne fra BONAVENTURA. Per il fatto stesso di sollevarsi meno alle astrazioni dialettiche, restando più vicina alla conoscenza tecnica e sperimentale, questa corrente di pensiero, almeno per riguardo ad alcuni grandi monaci, assume un significato particolare nel rinascimento della scienza.

Il primo di codesti francescani in ordine di grandezza se non di tempo, è l'inglese RUGGERO BACONE, vissuto dal 1214 al 1292, e perciò contemporaneo di Tommaso d'Aquino, che trasse in parte ispirazione da ROBERTO GROSSETESTE, suo maestro a Oxford, e visse poi a Parigi dal 1244 al 1252. Ruggero non cessa di combattere i *doctores parisienses*, richiamandoli allo studio del linguaggio, delle matematiche e delle scienze naturali. Egli porta per la prima volta nel campo della speculazione un riflesso delle idee dei tecnici e dei cultori delle scienze occulte (alchimia, astrologia, ecc.) col sentimento che da questi campi possano trarsi nuovi lumi dello spirito; istruito attraverso l'arabo Alhazen e il maestro Grosseteste sull'Ottica di Tolomeo, Ruggero Bacone s'indugia volentieri in questi studi. Nell'*Opus maius* (1268) espone la proprietà dei cristalli convessi, e ne indica l'uso come microscopî. Accenna anche alla possibilità di un telescopio, quattro secoli prima della scoperta fatta ai tempi di Galileo. Fa inoltre osservazioni astronomiche in rapporto alle determinazioni delle feste mobili. Nello *Speculum alchimiae* parla della polvere da sparo, che pare fosse allora usata, come in Cina, donde proveniva, per fare dei petardi ⁽¹⁾.

(1) La polvere, di cui un'erronea leggenda attribuisce la scoperta al monaco tedesco Bertoldo Schwarz, pare sia stata portata in Europa dai Mongoli agli inizi del secolo XIII.

Con tali ricerche bene si ricollega il criterio generale del filosofo che la scienza debba procedere dal ragionamento collegato con l'osservazione e l'esperienza; senonchè un moderno avrà motivo di meraviglia vedendo passare sotto questo nome (*experimentum*) tutto un bagaglio di idee oscure che, a dir vero, era allora portato dagli « esperti » cultori di quella scienza che dalla tradizione neoplatonica ritraevano uno strano miscuglio di conoscenze tecniche e di interpretazioni mistiche. Sotto questo aspetto il vero pensiero di Bacone si coglie nei giudizi che egli dà sull'alchimia degli arabi, nel trattato *Delle forze naturali e della nullità della magia*.

Ruggero Bacone ebbe a soffrire 12 anni di carcere dopo la pubblicazione dell'*Opus Maius*. Il cattolico illuminista poteva credere in buona fede di allargare il pensiero religioso, penetrando in campi di ricerche che erano stati fin allora vietati e maledetti; ma è facile comprendere che questo suo atteggiamento urtava la disciplina della Chiesa e il prudente riserbo già insegnato dai Dottori di fronte a quelle forze demoniache tanto temute da S. Agostino. Ed invero la libertà coraggiosa con cui Ruggero Bacone insegna ad affrontare la ricerca del vero, contiene un implicito rovesciamento del criterio che S. Agostino stesso aveva predicato, condannando la libertà dell'errore come « triste morte dell'anima ». Qui all'opposto sembra che l'errore assuma nel campo della scienza un nuovo significato, rispondendo ad un tentativo, e così restringendo la scelta delle vie che menano alla conquista del vero.

Non è un caso che la lotta contro il tomismo venga dai circoli francescani. Il movimento liberatore del pensiero trovava ausilio in alcune coscienze religiose, che risentivano come una contaminazione della fede il primato che l'aristotelico Tommaso concede all'intelletto quasi subordinandogli la volontà di bene, essenza della fede. Per salvare il libero arbitrio, che conferisce all'individuo la propria dignità e responsabilità nel dramma della vita morale, GIOVANNI DUNS SCOTO (1274-1308) e GUGLIELMO DI OCCAM (m. nel 1347), cercarono in una migliore interpretazione dello stesso Aristotele quella teoria dei concetti che abbiamo visto esprimersi col terminismo: dove si avverte l'influsso di Ruggero Bacone, per cui la prima realtà umana è costituita dagli oggetti dell'esperienza.

Così prende origine, almeno virtualmente, l'idea di una scienza da costruire per via induttiva, salendo da particolari e da fatti empiricamente osservati.

Al pensiero, dichiarato insufficiente a sciogliere gli enigmi della teologia, o a trovare nella evidenza delle idee innate la sorgente di un sapere necessario ed universale, si apre invece il campo della scienza umana, ove in limiti più modesti aspira alla libertà.

L'INFLUENZA DEMOCRITEA. — Qui affiora, nel giro dei dotti professionali, un ordine d'idee tramandato dalla tradizione epicurea, che si era riacceso in talune cerchie di spiriti ribelli, sino ad assumere talvolta una relativa popolarità. Si ricordi Guidò Cavalcanti, che andava fra le tombe meditando « se trovar si potesse che Iddio non fosse »: e ancora Federico II, che Dante mette all'Inferno fra gli Epicurei.

Alla scienza empirica Aristotele apriva la via non soltanto promovendo un nuovo esame della logica, sì anche col ricco materiale di cognizioni e di dottrine che nella sua opera enciclopedica sono raccolte e discusse. Un'importanza particolare assumono le idee di Democrito, sulle quali viene aperta una prospettiva dalla stessa critica aristotelica. Così l'Aristotele di S. Tommaso recava di contrabbando i più pericolosi fermenti della scienza antica.

La rapida divulgazione dell'atomismo democriteo si dovrebbe presumere dal risorgere di talune idee caratteristiche che rileviamo più avanti, se non si potesse storicamente provare. Nel 1348, NICOLA D'AUTRECOUR è condannato a ritirare diverse tesi presentate alla Sorbona, le quali sostengono che:

1°) Si arriverebbe presto ad una scienza sicura se, lasciando da parte Aristotele e i suoi commentatori, ci si volgesse direttamente allo studio della natura;

2°) nei fenomeni della natura c'è in ultima analisi il movimento di atomi che si uniscono e si separano, ecc.

Questo tentativo di aperta ribellione rimase allora isolato; ma talune vedute che si connettono alla corrente atomistica influenzano la ricerca e l'insegnamento di spiriti innovatori, che pur si muovono

nell'ambito della Scolastica; accenniamo in particolare ai terministi che derivano da Occam: GIOVANNI BURIDANO, NICOLA ORESME, ALBERTO DI SASSONIA, precursori della dinamica moderna, e il cardinale PIETRO D'AILLY, l'autore dell'*Imago mundi*.

Con tali uomini lo Studio di Parigi, che aveva brillato come primo centro e convegno della coltura mondiale durante i sec. XII e XIII, continua a risplendere anche nel sec. XIV. Ma la costrizione del metodo scolastico riesce ad inibire ogni ordinamento del pensiero, e quindi a spegnere la ricerca. Così l'università francese, con qualche riserva per la scuola di medicina di Montpellier, finisce con l'isterilirsi, e tutto il moto scientifico viene sommerso dalle vacue disquisizioni teologiche.

Però i tentativi più felici non andarono perduti senza frutto; poichè le idee innovatrici che il Medio Evo non è riuscito a mettere in valore germogliarono in altro terreno attraverso il Rinascimento italiano: in un ambiente che dalle condizioni della vita civile e politica, nonchè letteraria ed artistica, ritrae una maggiore indipendenza di fronte agl'istituti ufficiali d'insegnamento.

CONCLUSIONE. — Se ora cerchiamo di abbracciare con uno sguardo d'insieme il lavoro di queste scuole di dotti ecclesiastici e così di dare una valutazione della cosiddetta *Scolastica*, siamo tratti ad alcune osservazioni di indole generale. Anzitutto questa: che la scolastica stessa deve considerarsi come la somma di due moti in senso opposto: un rinascimento scientifico ed una reazione che tende a circoscriverne il significato, e a limitarne le conseguenze.

Quando una fede profondamente vissuta, che ha informato di sè le varie manifestazioni di una civiltà, tende a esplicarsi in forme intellettuali, quello è il momento in cui nasce la scolastica. Nella quale la ragione diviene, sì, conscia del proprio valore e della propria missione di dare del mondo una immagine coerente, ma rimane pur sempre « ancella della fede », in quanto deriva la sua giustificazione non da se stessa, ma da quella intuizione di un'armonia e di un accordo universale che in essa si esprime.

Nell'opera di DANTE, in cui culmina la civiltà medievale, la realtà più vivente e terrestre si fonde con lo schema cosmico dell'aristotelismo, e nasce un mondo poetico che si adegua alla più alta armonia della visione mistica. Nè il lettore ha l'impressione che in alcun punto del poema la ragione sia falsata o torta a fine non suo: invece è evidente che la ragione si adatta a lasciarsi orientare da una intuizione che la precorre e la sopravanza. In un pensiero così organico, l'errore stesso acquista un senso vivo. Ne è un esempio tipico la spiegazione delle macchie della Luna al Canto II del Paradiso. Vi si notano buoni ragionamenti fisici, e l'appello all'esperienza « ch'esser suol fonte a' rivi di vostr'arti »: ma una volta constatata l'impossibilità della ragione fisica di risolvere da sola un problema che richiede l'accertamento diretto, lo spirito, non potendosi contentare di una semplice sospensione di giudizio, là ove questa si esaurisce in se stessa, e non sia il primo tempo di un metodo fondato sul dubbio critico e sul cimento, è indotto a cercar soddisfazione nella teoria astrologica.

In altre parole, la ragione è portata ad appoggiarsi a ogni passo all'intuizione cosmica: ma lo stesso operare sotto tutela tende a renderla consapevole delle proprie esigenze intrinseche; cosicchè proprio le forze che la scolastica vuole organizzare tendono col tempo a diromperne l'edificio: e ciò avviene per più di una via.

L'opera enciclopedica di Aristotele, che dagli scolastici fu avvalorata, conteneva senza dubbio degli elementi vivi, che fioriranno più tardi nella primavera del Rinascimento. L'impedimento momentaneo alla loro espansione derivava dal principio d'autorità con cui si limitava la libera critica della ragione, e quindi dal modo con cui la scolastica insegnava le dottrine peripatetiche, nascondendo la vera scienza nella forma di un'erudizione minuziosa e pedantesca: poichè di ogni affermazione si chiedeva non già se fosse vera o falsa, ma se proprio appartenesse al maestro, e in qual modo dovesse interpretarsi, discutendo e sottilizzando sulle interpretazioni dei commentatori.

A questo spirito si intonava non soltanto l'ortodossa tradizione tomistica, sì anche l'attività degli avversari, spesso increduli e ma-

terialisti, che di nuovo cercavano sostegno in Averroé per trarre Aristotele alle loro tesi.

Certo non si può disconoscere che taluni scienziati nell'ambito della scolastica hanno presentimenti geniali di verità scoperte più tardi; ma non si deve nemmeno esagerarne il valore: come fa p. e. P. DUHEM che, con erudizione colossale, ha lavorato a ricostruire la scienza di quei tempi. Cenni un po' vaghi ed oscuri, sparsi in mezzo alle interminabili disquisizioni di una dialettica speciosa, idee affacciate talvolta in forma di dubbi sofisticati, miste ad errori e contraddizioni, restano come un'eco della scienza antica a stabilire la continuità del pensiero, che senza questo supporto non avrebbe potuto sciogliere il volo.

Ma la difficoltà di giudicare la scienza scolastica e medioevale, e in gran parte anche quella che le succede nei secoli del Rinascimento, risalta dal confronto che si faccia con la storia del pensiero antico. Questa ci offre lo spettacolo di idee chiare e semplici che si affacciano una dopo l'altra in un campo di conoscenza quasi vergine; invece il Medio Evo serba e ritrova la massa delle conoscenze antiche, che non sa ordinare e giudicare secondo criteri razionali: qui dunque si tratta prima di discriminare che di accrescere. L'imbarazzo e l'inquietudine dei medioevali a questo riguardo dipende da una parte dal difetto di osservazioni ed esperienze precise alla cui stregua si commisurino i principî astratti, ma dall'altra rivela la contraddizione insita nelle loro coscienze, che pretendevano accordare i criteri razionali col principio d'autorità e sottemmetterli agli accomodamenti con la teologia.

Perciò il pensiero, avido di sapere, si sforza tanto più sulle vie di un rigore formale e riesce spesso a vacue sottigliezze dialettiche. Ma questo sforzo ha pure qualche aspetto migliore. Da codeste scuole verranno alla luce menti esercitate ed educate alla disciplina del sapere. In senso largo qualcosa di tale disciplina — un certo amore dell'ordine e della classificazione — sopravvive nella scienza moderna, e specie nella tradizione dell'insegnamento sistematico: se e fino a qual punto ciò sia bene in confronto ad altre esigenze

che meglio sarebbero soddisfatte da un metodo induttivo ed euristico, non pretendiamo decidere.

Per la storia occorre dire che, mentre la scolastica sembra cedere all'assalto del nuovo pensiero scientifico, che ne rompe gli schemi, e vuol disperderne la tradizione, i suoi spiriti risorgono sotto diversi aspetti nella coltura del secolo XIX: sia in alcuni atteggiamenti della filosofia tedesca, sia in taluni indirizzi specifici del pensiero contemporaneo che si distinguono appunto come neo-scolastici, e dove le dottrine delle scuole rivivono non soltanto in una più giusta comprensione storica, sì anche per il loro interesse proprio, ad esempio nel dominio della psicologia.

Ma è anche più caratteristico ritrovare qualcosa della scolastica in campi affatto lontani dai motivi religiosi, come quello della logica matematica: specialmente nel neo-realismo di Bertrand RUSSELL, se non già nell'analisi del linguaggio simbolico di Giuseppe PEANO e nella « teoria degli insiemi » di Giorgio CANTOR.

XXIII.

Il Rinascimento.

LE ARTI E LE LETTERE. — Quell'epoca della storia della coltura occidentale che si suol chiamare Rinascimento, prende nome dal risorgere delle forme di letteratura e d'arte, e conseguentemente di pensiero e di scienza, della civiltà classica. I termini stessi di questo periodo non sono ben definiti nel tempo: anzitutto perchè si può parlare in via generica di un Rinascimento europeo, ovvero del Rinascimento specificamente italiano. Abbiamo già rilevato che l'Occidente ritrova l'eredità della coltura antica trasmessa dagli arabi, e così poco dopo il millennio s'inizia un moto rinnovatore che nel campo filosofico mette capo alla sistemazione della scolastica. In questo senso bisogna dire che il Rinascimento riprende molti elementi dagli sviluppi anteriori attingendo ai progressi realizzati dalla coltura universale, secondo la legge generale di continuità che domina la storia del pensiero. Così il Duecento italiano, col trarre ispirazione dalla letteratura provenzale e dai romanzi e cicli cavallereschi, rivela l'aspetto letterario di un profondo intreccio di motivi in tutti gli ordini della vita. Non per questo si può negare il fenomeno specificamente nazionale del nostro Rinascimento, che, assorgendo alla più alta fioritura di una civiltà iniziatrice del mondo moderno, ritornerà poi in altro senso universale, espandendosi in tutti i paesi d'Europa.

Infatti questo movimento ha radice in una attività essenzialmente propria dell'anima italiana, che, al contatto dello spirito

antico, riportatole attraverso forme esotiche, ritrova in qualche modo il senso originario della civiltà di cui essa si sente legittima erede.

L'espressione di quest'anima nuova appare non tanto e non subito presso i dotti delle università, quanto fra letterati ed artisti o anche tecnici, che salgono dal popolo nella libera vita del Comune italiano. Il sentimento artistico, prima ancora di creare forme indipendenti, si esprime in tutte le circostanze della vita quotidiana, dal foro e dal tempio fino ai più umili utensili della casa, ai quali comunica qualcosa della propria individualità: dal servire la fede e la vita del popolo esso trae forza che lo conduce alla coscienza di sè; la quale a sua volta cresce e si determina nel dar forma alla realtà pratica. In modo simile lo spirito scientifico diventa consapevole di sè nello sforzo della tecnica, che offre la materia della sua costruzione, e lo costringe ad osservar preciso e a tener conto della varietà delle cose che l'intelletto deve comprendere e unificare, poi dominare. La fervida vita tecnica che appartiene alla civiltà mercantile delle città italiane, costituisce perciò una circostanza essenziale, senza la quale lo spirito della scienza antica non avrebbe potuto rinascere. Quelle città conobbero per oltre tre secoli una magnifica fioritura delle arti e delle industrie, nelle quali si affinava insieme lo spirito d'osservazione e il senso artistico. È del XIII secolo l'arte di lavorare il vetro (Murano) e di fonder metalli. Ricordiamo anche le porte in bronzo del duomo di Pisa fatte da Bonanno nel 1180, e il conio dei fiorini d'oro a Firenze, nel 1252.

Il Rinascimento italiano si inizia quasi contemporaneamente nel dominio delle arti e delle lettere. La scultura di Nicola Pisano, intorno al 1250, rivela già l'ispirazione dell'antico. L'architettura vede trasformato il gotico francese nel gotico italiano per opera di Arnolfo di Cambio, Orcagna, Maitani nella seconda metà del sec. XIII; ed alla fine di questo secolo S. Maria del Fiore e S. Croce a Firenze sono già in gran parte monumenti classici.

Frutto originale dell'ambiente italiano è anche la pittura, che già con Cimabue, verso la metà del Duecento, tende a liberarsi dalla tradizione bizantina, servendosi dapprima dei valori trasmessi

sile, ma trasformandoli per una nuova interpretazione del reale, in un nuovo linguaggio. Con la visione drammatica francescana di Giotto, poi con Masaccio, non cambia la sola tecnica: è la natura che entra per così dire nel campo visivo dell'artista, un mondo di valori che sorge di colpo, per poi esplicarsi nello svolgimento dell'arte pittorica.

La scoperta dei mezzi che l'antichità aveva già approntati per le conoscenze del mondo, è frutto di una simile evoluzione, che si dispiega più tardi in un ambiente tanto più ricco d'esperienza e di sapere, e però, non dovrà riuscire, come nel Duecento, ad una rivolta disperata contro un potere strapotente.

RINNOVAMENTO DELLA TRADIZIONE LATINA. — Anche nel più fosco Medio Evo l'Italia non aveva perduto mai il ricordo dell'antica tradizione latina, traverso la quale si era pur conservato per essa quel tanto che aveva potuto sopravvivere del pensiero greco. Ora quando questo pensiero ritornava ad essa nelle interpretazioni degli Arabi, la coscienza nazionale doveva scorgervi qualcosa di estraneo, tanto più repugnando alle sottigliezze del formalismo d'Aristotele quanto più il filosofo greco, sostenitore dell'eternità del mondo e della mortalità dell'anima, veniva ad apparire empio nelle dottrine degli averroisti.

Ben altro significato aveva per gl'Italiani l'antichità classica! Nella visione d'un ordine provvidenziale la saggezza della Grecia e l'ordine di Roma precorrono e preparano il mistero cristiano. Seguendo « il corso del cielo », la Sapienza preordinò un divenire storico che deve servire da simbolo all'uomo per uscire dalla « selva oscura ». E questo si vede raffigurato da Dante nella misteriosa santità di Virgilio, vate di quell'Impero, in cui si deve realizzare la perfezione terrestre della « vita attiva ». Giustamente osserva il Gentile: « Alla scuola dei religiosi l'Alighieri aveva anche appreso che la grandezza dei più famosi poeti dell'antichità non consiste nel vano ornamento favoloso, ond'essi seppero rivestire i loro concetti: sì nell'arcana filosofia che riuscivano così bellamente a insegnare ».

La reazione contro l'averroismo aristotelico, di marca straniera, si fa consapevole con Francesco Petrarca. Figlio di esule fiorentino, peregrino egli stesso ad Avignone e a Parigi, a Colonia ed a Praga, il poeta cristianissimo guardava alla patria lontana — come dice Leonardo Olschki — ricostruendo nostalgicamente l'Italia latina di su le vestigia di Roma, e componendola nel quadro della civiltà cristiana. E per un momento si rivolgeva a Cola di Rienzo plaudendo al tentativo della « renovatio imperii »:

.... Un che non ti vide ancor da presso
se non come per fama uom s'innamora;

ma presto doveva pur convincersi della irrealtà di un tale programma politico e far convergere tutto il suo sforzo nell'attuazione d'un indirizzo spirituale e letterario.

Il ritorno immediato ai classici latini, che il Petrarca propugnò colla dottrina e coll'esempio, ebbe, com'è noto, le più vaste conseguenze sullo sviluppo della letteratura italiana, e influì sul pensiero anche nell'accoglienza fatta fra noi alle dottrine e alle idee d'origine greca. Sulle orme del Petrarca, GIOVANNI BOCCACCIO e COLUCCIO SALUTATI, e dopo di loro LEON BATTISTA ALBERTI, ERMOLAO BARBARO, GIOVANNI PICO DELLA MIRANDOLA, POGGIO BRACCIOLINI, il PANORMITA archeologo, e FLAVIO BIONDO, e l'austero frate LUIGI MARSILI, fondatore dei « convegni di Santo Spirito », e ANGELO POLIZIANO ed ENEA SILVIO PICCOLOMINI, che divenne papa Pio II, tutti, e ciascuno a suo modo, si applicano non solo e non tanto a far rivivere i testi, come a rivivere nel proprio spirito, a « rinnovare », come dice Coluccio, quasi fosse cosa naturale, i detti, la saggezza, gli spiriti dell'umanità classica. *Nec solum eorum opiniones atque sententias, sed etiam verba persaepe sic proferebat, ut non ab alio scripta sed ab ipso facta videantur*; così parla il Bruni di Luigi Marsili, e così si può dire di una intera generazione di studiosi, i quali accettano di rinunciare ad ogni originalità propria per far risorgere e rivivere il passato.

Per oltre due secoli si prolunga l'epoca delle grandi scoperte nel campo dell'erudizione, sicchè in quel momento della vita eu-

ropea lo sforzo d'intendere e di ricostruire il passato significa conquista di nuovi valori per la vita presente.

Allo zelo degli eruditi soccorsero anche due invenzioni di disuguale importanza: SALVINO DEGLI ARMATI, banchiere fiorentino, costruiva nel 1317 gli *occhiali*, mercè cui veniva prolungata la possibilità di lavoro degli studiosi. Ma soprattutto l'*invenzione della stampa* venne in buon punto per divulgare i frutti di tanto sforzo erudito. I primi caratteri mobili, com'è noto, furono costruiti da Giovanni GUTENBERG a Magonza nel 1450. Nel 1465 i tedeschi SCHWEYNHEYM e PANNARTZ impiantano a Subiaco la prima tipografia d'Italia, presto seguita da altre nostre in cui si rivelano maestri dell'arte come ALDO MANUZIO: mentre la venuta dei Greci in Italia in seguito al disfacimento dell'impero d'Oriente ravviva anche le cognizioni delle lingue greche e lo studio dei suoi classici. Tutta questa attività intellettuale culmina poi nel nuovo classicismo che contrassegna la produzione letteraria ed artistica del Cinquecento; alla quale si accompagna anche un rinnovamento della società, nel pensiero e nel costume. Più lenta procede la rinascita della scienza, i cui frutti cominciano a maturare nel Cinquecento, e proseguono il loro sviluppo nel Seicento, quando già l'arte e la letteratura, almeno in Italia, decadono nel barocco.

Il ritrovamento della coltura classica costituisce soltanto l'aspetto esteriore della Rinascita. Dice il Burkhardt: « ... non la risorta antichità da sè sola, ma essa e il nuovo spirito italiano, compenetrati insieme, ebbero la forza di trascinare tutto il mondo occidentale ». L'intima sostanza di questo nuovo spirito è un'attività per cui l'uomo, sopraffatto per secoli dall'ansia di un mondo ultraterreno, che incombe su di lui, assorbito nella comunità cittadina, scopre i valori umani, la gioia, la bellezza, la libertà, che riconosce nelle espressioni della grande civiltà del passato: la quale perciò appunto diventa il segno delle sue aspirazioni e la nuova vita della sua vita.

E non solo scorge nella letteratura classica i fasti di un passato che non vuol più rinnegare, del suo passato: ma ristabilisce il rapporto fra la esperta saggezza antica e i bisogni del proprio io, i

propri gusti, i propri limiti, le speranze, i timori, i problemi ancora inespressi della sua persona individuale alle prese con la vita. Si accorge che le realtà eterne e i problemi trascendenti non sono i soli soggetti degni di meditazione, scopre quanto meriti di essere approfondito l'individuo nella sua infinita complessità. Tale il senso nuovo del pensiero che traduce, per esempio, Michele MONTAIGNE: e il fascino dello stile di lui conferisce dignità allo studio della realtà empirica e contingente, concorre a rendere accetta l'idea di tolleranza e di rispetto del pensiero del prossimo.

Nel *De hominis dignitate* Pico della Mirandola esprimeva già questo concetto umanistico: « Io ti ho collocato in mezzo al mondo, disse il Creatore ad Adamo, affinché tu tanto più facilmente ti guardi attorno e vegga tutto ciò ch'esso contiene. Io ti creai non celeste e non terrestre, non mortale nè immortale soltanto, affinché tu sia libero educatore e signore di te medesimo; tu puoi degenerare fino a divenir bruto, e rigenerarti sino a parer quasi Dio... ».

Ma il nuovo senso dell'individuale viene anzitutto da un nuovo senso dell'universale. Quali siano le profonde scaturigini del Rinascimento non è qui il caso di indagare. Basti dire che si possono rintracciare molto indietro, collegandole alla formazione spirituale dei popoli cresciuti alla civiltà durante il primo Medio Evo. L'introduzione dell'arte gotica, delle leggende cavalleresche, della concezione nordica della natura, dell'amore, della vita, sono un potente reattivo che deve esser considerato in tutto il suo valore, anche per apprezzare le ragioni che conferiscono ad un moto specificamente italiano il suo significato universale.

La stessa organizzazione feudale delle genti germaniche dà luogo per contrasto alla formazione del Comune. Ed ora vediamo la vita delle città italiane riprodurre con singolare analogia la storia delle città elleniche: lo stesso particolarismo, che spinge l'un contro l'altro i comuni armati in lotte fratricide, le discordie interne delle fazioni « fra quei che un muro ed una fossa serra », lo stesso avvicinarsi di varie forme di governo, che si succedono secondo un ritmo già osservato da Polibio, dall'oligarchia aristocratica alla democrazia, e da questa alla demagogia, che si risolve nella signoria.

Quest'ambiente tempestoso, che accompagna il sorgere di una classe mercantile, riesce non pertanto estremamente favorevole allo sviluppo dell'industria, del commercio e dell'attività economica: e con le accresciute ricchezze e l'attività degli scambi fra paesi vicini e lontani gli intelletti si affinano e si aprono ad una vita rigogliosa: le condizioni di libertà e la fervida attività politica creano a questa vita lo stimolo più efficace: onde si ha una fioritura di pensiero e d'arte, che sembra miracolo. Un fenomeno simile si era veduto soltanto nell'antica Grecia: e della Grecia, con le forme, la nuova civiltà riprendeva anche gli spiriti.

SCIENZA E ARTE. — L'abito scientifico sorge nel comune italico, come nella *polis* greca, dalla contemplazione della natura, concepita come una grande opera d'arte. Quindi il nesso fra scienza ed arte che si riscontra ugualmente nelle due civiltà dipende da un motivo intrinseco.

La concezione romantica dell'arte edifica le sue teorie sopra un sentimento assai comune il quale pone un contrasto fra il mondo della scienza, che è ordine e misura, e il mondo della poesia, che è libera creazione. In verità vi sono modi ed atteggiamenti poetici che esprimono un tumulto di passioni e di affetti non armonicamente composto, e che però appaiono lontani dalla disciplina e dallo spirito della scienza. Ma l'arte classica esprime un momento della vita interiore in cui il contrasto è non già soppresso, bensì composto in una superiore armonia; di qui l'idea aristotelica della *catarsi*, o purificazione delle passioni, serenità intellettuale che pur in altro campo viene dalla contemplazione astratta delle verità matematiche.

L'attività poetica diventa allora veramente *poesis*, quale l'intendevano i greci. L'architettura riconosce il segreto della sua bellezza nella proporzione delle forme (razionalità architettonica); la musica trova a fondamento dell'armonia rapporti semplici dell'altezza dei suoni: e la natura intera sta davanti agli occhi del pensatore come un poema, scritto con l'alfabeto dei numeri e delle figure geometriche, la cui lettura costituisce il compito della matematica,

intesa come scienza universale. Quest'intima affinità dell'arte classica e del pensiero matematico spiega la genesi della scienza nell'ambito greco, e la sua rinascita nell'ambiente italiano, e più direttamente sotto l'influsso del movimento neo-platonico di cui diremo più avanti.

L'intimo rapporto che intercede fra l'arte e la scienza si rivela più profondo coll'evoluzione tecnica delle arti. Abbiamo detto come il sentimento artistico trovi da esplicarsi in ogni campo, a partire dagli usi quotidiani, e ispiri le prime manifestazioni tecniche. La rapidità fulminea dei progressi compiuti rivela quanto possa l'intima e armoniosa fusione delle forze creative. Nella nuova architettura classica, che s'inizia col Duomo di Firenze, capolavoro del Brunelleschi, occorrono conoscenze di statica assai più notevoli che non richieda l'edificio gotico. Per l'ingegneria, basti ancora ricordare il trasporto a distanza della Torre della Magione di Bologna con i suoi fondamenti, eseguito nel 1455. La costruzione degli strumenti eccitò l'abilità dei meccanici, fra cui si rese celebre il Dondi di Padova. L'astrolabio, la bussola, gli orologi e le carte geografiche, al principio del XIV secolo, fornirono i principali strumenti ai naviganti, le cui esplorazioni dovevano dare tanto impulso alla civiltà europea, come vedremo appresso. Nell'arte militare, non ostante la polvere, trovarono sempre impiego macchine d'assedio, ingegnosamente costruite. Inoltre nel XIV e XV secolo gli italiani svilupparono l'idraulica: anche le chiuse per far risalire le correnti alle navi si trovano già prima di Leonardo. In pari tempo la fisica e la chimica si perfezionavano nei progressi della tintoria e della metallurgia, e ne dà testimonianza l'opera degli alchimisti italiani (*Pseudo-Geber, Compositiones ad tingenda musiva, Mappae clavicula, ecc.*).

A questi progressi propriamente tecnici fa riscontro il progresso nell'organizzazione delle città, e della loro vita di relazione; poichè si pongono in uso tavole comparative dei pesi, delle misure e delle monete dei popoli, piante topografiche urbane e carte geografiche costruite secondo procedimenti regolari, e si comincia a coltivare la statistica (tavole delle nascite, ecc.).

Un tale ambiente offriva alla Rinascita le condizioni da cui già la scienza greca ebbe impulso; la devota dedizione degli umanisti faceva rivivere gli spiriti dell'antichità; sicchè il rifiorire fu in verità nuova creazione: e però la scienza che ne sorge si presenta come cosa nuova, di tanto più alta quanto più il sapere antico le porge già una base su cui elevarsi, e dominare la complessità più larga delle industrie in un mondo più progredito.

Dominare la natura è il sentimento nuovo implicito nella tecnica, che ispira tuttavia inconsciamente anche il momento disinteressato ed artistico della creazione scientifica. Questo elemento latente si manifesta in un secondo tempo, quando la scienza offre più ampie possibilità di dominio.

RINASCIMENTO E SCOLASTICA. — Conviene ora chiarir meglio il significato della distinzione fra il Rinascimento scientifico e la scolastica aristotelica. In senso largo la scolastica appartiene già al moto della Rinascita, in quanto prende impulso dagli stessi motivi di una rinnovata attività di vita, e dal ritrovamento della coltura antica attraverso gli Arabi.

Scolastici eminenti contribuiscono all'opera della scienza, durante i secoli XIV e XV, specie nel gran centro di coltura dell'università di Parigi; mentre da laici s'inizia e svolge il lavoro umanistico fuori della scuola, massimamente in Italia. Le aspirazioni degli uni e degli altri hanno un aspetto comune, che appartiene propriamente al Rinascimento, per cui mal può separarsi la loro attività là dove si è chiamati a render conto di sviluppi particolari, per esempio nelle matematiche.

Una differenza c'è solo nell'atteggiamento di coloro che hanno accettato a priori un sistema basato su l'autorità di maestri, e la libertà d'indagine di quelli che respingono il principio d'autorità nella Scienza; nonchè nell'abito dei primi di piegare il pensiero a forme dialettiche tradizionali, da cui i secondi — in più stretto contatto colla tecnica — si affrancano per attingere all'esperienza delle cose (esempio la diatriba di Lorenzo Valla contro la sterile sillogistica). Ma questa differenza non scoppia subito in aperto dis-

sidio, e per qualche tempo si prolunga con la scolastica il compromesso che tende a conciliare due motivi antitetici, quali sono lo spirito della ricerca scientifica col senso filosofico che l'accompagna nella sua rinascita storica, e la formulazione dogmatica di dottrine legate ad una veduta tradizionale del mondo, a scopi morali e religiosi.

LA RINASCITA DI PLATONE. — Il senso filosofico che accompagna la rinascita della scienza si pone contro all'aristotelismo scolastico scoprendo in Platone, secondo l'interpretazione dei suoi più tardi seguaci nel mondo antico, una visione della natura conforme al suo sogno segreto, e pervasa dalla religiosità pitagorica. Questo è il significato della rifioritura neoplatonica nel Rinascimento. E qui si rivela, accanto al momento artistico, il momento religioso della creazione scientifica.

Sono i Greci, profughi da Bisanzio, che hanno suscitato in Italia, con la conoscenza migliore delle opere di Platone e d'Aristotele, anche la polemica delle scuole rivali che ne dipendono. Gli insegnamenti di uomini come il cardinal Bessarione, il Crisolora, Giorgio Gemisto Pletone trovarono accoglienza entusiastica presso umanisti quali MARSILIO FICINO (1433-1499), GIOVANNI PICO DELLA MIRANDOLA (1463-1494) e FRANCESCO PATRIZZI (1529-1597); il primo fondò a Firenze l'Accademia platonica. Qui insieme a Platone s'introduce come suo interprete Plotino, il cui senso mistico aveva influito sul pensiero dei primi cristiani, e si riaffacciava di continuo nelle eresie dei secoli precedenti. Platone e Plotino rappresentano la sapienza più che la scienza: non si cerca in essi una verità deicida, sì anzi un'arma contro i « fisici » della scuola aristotelica, la *nugarum amatrix peripatetica familia* (come la chiama il Valla) che aveva stancato il mondo con le sue sterili se pur rigoroze e irriverenti sottigliezze.

Ma traverso Plotino e la sua scuola, rivive essenzialmente lo spirito di Pitagora, e si prepara il raccostamento a Democrito; la natura, che viene contemplata come rivelazione della divinità, appare un ordine universale in cui tutte le cose sono razionalmente

concatenate: l'intelletto sente così la natura più vicina a sè perchè vi ritrova se stesso. Ancora una volta, come nell'antica scuola pitagorica, il razionalismo volto alla spiegazione della natura appare in una forma religiosa, che da una parte dà impulso alla scienza, e dall'altra si esprime in un monismo panteistico, i cui prolungamenti si scorgono fin nella mistica tedesca di GIACOMO BOEHME (1575-1624).

Quest'impulso religioso ha un'importanza essenziale per il progresso scientifico. Non viene propriamente scienza dai cosiddetti libertini, dai puri increduli, che all'autorità di una fede tradizionale non sanno opporre alcuna intima esigenza dell'animo che operi come nuova fede: il diritto alla negazione non contiene in sè impulsi costruttivi: sicchè sterili rimasero in gran parte i conati di affrancamento di quei ribelli, la cui linea va dalla corte di Federico II agli epicurei di Firenze, agli averroisti di Padova, fino a Giulio Cesare Vanini, di cui pure il nome resta scritto nella storia dei martiri, per essere stato arso vivo a Tolosa nel 1519. Peraltro in Vanini, la prosopopea dell'incredulo ricopre spesso una certa religiosità, degna in tutto dei grandi ribelli del Duecento: un senso neoplatonico caratteristico rivela per esempio la sua bella parola, che « un fil di paglia basta a far conoscere l'essere di Dio ».

L'antitesi fra i due motivi faticosamente composti nella scolastica, e quindi fra Scolastica e Rinascimento, ci appare, nei suoi più larghi termini, come l'antitesi di tutta una società, formatasi e unificatasi traverso una rigida disciplina, che tendeva ora a sviluppare gli elementi discordanti della sua armonia, e le differenze fra gli spiriti delle nazioni europee. Tanto che la stessa unità della fede cristiana doveva rompersi con la Riforma protestante.

LA RIFORMA. — Mentre in Italia il rinnovamento si afferma col classicismo, con la visione estetica della vita e con la contemplazione della natura, in Germania la coscienza afferma il diritto e il dovere di trovare da sè la via della salute e della redenzione, interpretando liberamente il Verbo tradizionale. Questa Riforma protestante si inizia con l'affissione delle tesi di LUTERO, ribelle alla chiesa di Ro-

ma. E si svolge poi con forme diverse in vari paesi, esprimendosi in tanti credi, ciascuno dei quali prende se stesso a misura della Verità propria e dell'Errore altrui. Donde gl'insanabili contrasti fra le sette, che permangono pure attraverso le guerre religiose contro i cattolici, e in via pratica si compongono alla fine nel concetto della reciproca tolleranza, senza tuttavia ritrovare quella universalità che sovrasti alle diverse nazioni.

Rinascimento e Riforma, se in qualche modo possono ritenersi effetti di cause analoghe in ambienti diversi — e il pacato individualismo di MONTAIGNE segna il momento di transizione — costituiscono tuttavia due moti distinti e in parte sovrapposti. Poichè il rinascere della cultura classica ebbe, come si è detto, significato universale oltre i confini d'Italia, così da pervadere anche la società protestante. Nella quale, talvolta, le più ardite vedute della nuova scienza suscitavano diffidenze e talora persecuzioni come negli ambienti cattolici. E d'altronde l'intransigenza era sostenuta dalla fiamma viva della rinnovata fede, e resa più acuta dalle necessità della lotta. Per queste ragioni, anzi, si può forse vedere negli inizi del moto protestante una tendenziale avversione agli spiriti classici, che trovavano allora larga simpatia nel Papato. Senonchè, ad accrescere le difficoltà della scienza, quando essa si assunse con Copernico di mutare radicalmente la posizione dell'uomo rispetto al mondo, sopravvenne la reazione della Chiesa al protestantesimo, che si esprime colla Controriforma. La quale segna, particolarmente in Italia, la sottomissione dello spirito nazionale all'influenza spagnuola.

Qualche affinità di sentimento ispiratore fra Rinascita e Riforma, c'è almeno in questo, che ambedue affermano, nel proprio campo, non potersi accettare la verità come puro insegnamento dal di fuori, anzi doversi conseguire collo sforzo collaborante della ragione individuale. Ma lo sforzo è, per la Rinascita, soprattutto un ritrovarsi del pensiero nell'ordine delle cose, per la Riforma un affermarsi dell'io. Perciò da quella scaturisce, coll'arte e colla scienza classica, anche lo studio realistico della politica e della storia (MACHIAVELLI, GUICCIARDINI), da questa piuttosto la teoria

del diritto naturale, quale fu svolta da ALTUSIO e GENTILI nel XVI secolo e più tardi da GROZIO (Huig van Groot, 1583-1645).

Queste considerazioni generali valgono a disegnare, come è possibile, le grandi correnti d'idee che si trovano alla base della civiltà moderna. E, se il disegno non è netto, bisogna ricordare che la trama della storia è una realtà concreta infinitamente complessa, in cui fattori concomitanti discordano e discordanti collaborano. La moltitudine dei fatti particolari non ha senso in sè, finchè la mente non le conferisca un ordine razionale, tentando di unificarne alcuni aspetti; pure questo stesso sforzo verso l'unità riposa su distinzioni in parte arbitrarie che dan rilievo a taluni motivi in vista di certi effetti, e che talora bisogna rompere per comprendere veramente il mondo reale nella sua concretezza. Così dunque, la continuità e la discontinuità, che si discoprono nella considerazione generale dei periodi e dei moti storici, si ricompongono in una veduta più fluida della storia medesima, quando si passa all'esame degli eventi particolari, che — per lo studioso delle idee — sono le storie dei singoli sviluppi scientifici, di cui ora andiamo ad occuparci.

XXIV.

Le Matematiche del Rinascimento.

RISVEGLIO DELLE MATEMATICHE. — Il risveglio degli studi matematici comincia con la grande figura di LEONARDO FIBONACCI pisano, introduttore del sistema numerale indiano, autore del *Liber Abaci* (1202) e della *Practica geometrica* (1220), che tuttavia ha trovato soltanto più tardi matematici capaci di comprenderlo e di proseguirlo. Il *Liber Abaci*, che come si è detto, insegna l'aritmetica mercantile degli arabi, comprende problemi di aritmetica teorica e d'algebra ⁽¹⁾.

Allo stesso secolo XIII appartiene GIORDANO NEMORARIO ⁽²⁾, che sembra fosse un sassone entrato nell'ordine domenicano a Parigi nel 1220. La sua aritmetica è ispirata alle dottrine pitagoriche esposte da Boezio: vi si tratta in particolare dei numeri poligonalari e solidi, della media aritmetica, geometrica e armonica, ecc. È notevole l'uso che egli fa di *lettere al posto di numeri*.

⁽¹⁾ Rileviamo in particolare la soluzione approssimata di un'equazione di terzo grado ottenuta col metodo di interpolazione (*regola di falsa posizione* degli arabi), cioè cercando un valore compreso fra due valori dell'incognita che rendono il polinomio dato rispettivamente maggiore e minore della quantità a cui si vuole uguagliare.

⁽²⁾ Fra le cose geometriche di Giordano osserveremo il rilievo dato all'angolo di contingenza contenuto fra il cerchio e la tangente, che è secondo Euclide minore di qualsiasi angolo rettilineo, cioè costituisce una grandezza infinitesima. La polemica accesa più tardi sull'angolo di contingenza, (se sia o meno da ritenere nullo) si è prolungata fino a Newton. Essa è stata illuminata ai nostri giorni secondo un concetto superiore dai numeri non-archimedei di G. Veronese (1891). Cfr. *Gli elementi d'Euclide e la critica antica e moderna*, editi da F. Enriques, 1925, libro III, pag. 16.

In quest'epoca si manifesta anche l'interesse per la questione delle continuità. Già nella risoluzione approssimata delle equazioni del Fibonacci, si può scorgere implicita un'intuizione del continuo. D'altra parte, le questioni agitate dai greci, se la linea possa formarsi di punti e la superficie di linee, ritornavano attraverso la scienza araba (1).

Considerazioni di questo genere riaprivano le antiche polemiche dei Pitagorici e degli Eleati circa la struttura monadica dello spazio. E poichè lo stesso atomismo fisico di Democrito si confondeva allora coll'atomismo geometrico, si creava in tal modo un interesse d'ordine religioso a riconoscere la continuità dello spazio da parte di coloro che vedevano nell'ipotesi atomica la base del sistema materialistico e della morale epicurea.

Gli scolastici del secolo XIII s'indugiano in lunghe discussioni intorno all'infinitamente grande e all'infinitamente piccolo, e sulla distinzione aristotelica fra l'infinito potenziale e l'infinito attuale, che precorrono gli sviluppi moderni di BERNARDO BOLZANO e di GIORGIO CANTOR. RUGGERO BACONE enuncia esplicitamente non potersi comporre il continuo con infiniti indivisibili. E la polemica contro l'atomismo si svolge nel secolo seguente sul terreno geometrico, col *de continuo* dell'aristotelico TOMMASO BRADWARDINO, morto vescovo di Canterbury nel 1349.

Però le idee che si affacciano in queste laboriose elucubrazioni danno momentaneamente poco frutto: in parte per colpa di una mentalità che restando esterna all'oggetto, passa accanto a feconde intuizioni, senza coglierne il frutto, e finisce per perdersi in astruse sottigliezze; mentre si appaga poi di un vuoto formalismo e di argomenti d'autorità.

(1) Così per esempio nel nuovo metodo di quadratura del cerchio, proposto dal matematico ebreo Abramo, detto *Savasorda*, che visse a Barcellona nel secolo XI. Questi osserva che il cerchio deve avere la stessa superficie del triangolo avente come base la circonferenza, e come altezza il raggio, perchè tutti i cerchi concentrici che formano il detto cerchio si aprono in segmenti rettilinei paralleli alla base del triangolo, in modo da formare il triangolo stesso: dove si ravvisa un'anticipazione, sia pur grossolana, degl'*indivisibili di Cavalieri e Torricelli*. Savasorda influì sul risveglio delle matematiche in Italia nel secolo XII, traverso le traduzioni di Platone Tiburtino.

Un esempio caratteristico ci è offerto dalla discussione di ALBERTO MAGNO intorno al problema della quadratura del circolo, ove il principio di continuità vale a stabilire l'esistenza di un quadrato (o poligono) d'area uguale al cerchio. Alberto prende appunto a discutere la questione pregiudiziale di codesta esistenza; egli osserva che si ha un minore e un maggiore, forniti rispettivamente dai poligoni iscritti e circoscritti, ma (non osando oltrepassare la pura logica!) si arresta di fronte al dubbio che si possa passare dal minore al maggiore per gradi insensibili, senza incontrare l'eguale. Così, dove ognuno si aspetterebbe ch'ei conchiuda alla possibilità della quadratura, il dottore medievale trascorre ad un altro argomento, dicendo che se il circolo si può quadrare, si dovrà anche poter « circolare » il quadrato: ciò che non si è mai udito: onde la quadratura è impossibile.

Qualche piccolo risultato positivo, pertinente all'analisi dell'infinito (p. es. la somma di serie del tipo $1 + 2x + 3x^2 + \dots$) si raggiunge pure durante il secolo XIV, in occasione di problemi suscitati dalla meccanica d'Aristotele. Indirettamente la considerazione del moto prepara le menti ad accogliere una veduta genetica delle figure, che qui appaiono non più nella loro rigida distinzione, bensì come suscettibili di trasformarsi per continuità l'una nell'altra. Ma tutte queste idee, ancora oscure, maturano soltanto più tardi in un concetto unificatore della geometria o della matematica in generale, e nello sviluppo dell'analisi infinitesimale: per ciò si deve arrivare al Seicento, al principio d'analogia di Keplero e ai suoi sviluppi, come vedremo fra poco.

Frattanto una certa tendenza unificatrice del pensiero matematico si manifesta in altre maniere. NICOLA ORESME (circa 1323-1382) introduce il concetto degli esponenti frazionarii, che tuttavia non ebbe seguito allora e dovette esser ripreso, due secoli dopo, da SIMONE STEVINO; NICOLA CHUQUET nel 1484 scrive a Lione un « *Triparty en la science des nombres* » in cui s'incontrano gli esponenti negativi.

Il ritorno ai classici antichi, caratteristico del Rinascimento, è contrassegnato dalle traduzioni commentate degli Elementi d'EU-

CLIDE ⁽¹⁾, che s'iniziano con CAMPANO di Novara alla fine del XIII secolo. Questa edizione venne pubblicata con un nuovo commento da ZAMBERTI, veneto, nel 1516. Un'edizione dell'Euclide in volgare italiano fu data dal grande algebrista TARTAGLIA (Venezia, 1543).

La divulgazione delle opere matematiche classiche non si limita all'Euclide: lo stesso Campano commentò la *Sferica* di TEODOSIO e di MENELAO. Poi il tedesco REGIOMONTANO tradusse APOLLONIO, ERONE, TOLOMEO.

PITTURA E GEOMETRIA. — L'influenza dell'arte sul rinascimento matematico si manifesta in una maniera interessante nello sviluppo della *prospettiva*. L'Otica d'EUCLIDE, attraverso ALHAZEN, era stata già divulgata nel sec. XIII, in particolare nella grande opera del monaco tedesco-polacco VITELLIONE (*Witelo*). Ma un impulso indipendente le viene dalla tecnica della pittura. Nei quadri del Lorenzetti (1344), e di Masaccio (1401-1428) si riconoscono già le regole pratiche, che verranno teorizzate da LEON BATTISTA ALBERTI (1404-1472) e da PIER DELLA FRANCESCA (1410-1492) ⁽²⁾: i quali scrivono senza conoscere le opere degli arabi. LEONARDO DA VINCI (1452-1519) e ALBERTO DÜRER (1471-1528), che appare ispirato da Pier della Francesca, sono come il ponte di passaggio dai pittori ai matematici: finchè i principî geometrici della prospettiva vengono formulati nel trattato di COMMANDINO (1588) e del suo allievo GUIDUBALDO DEL MONTE (1545-1607).

Mentre l'Otica greca ed araba conteneva soltanto regole pratiche per mettere in iscorcio gli oggetti, la *nuova prospettiva* scopre, e negli ultimi lavori dimostra, le regole del *punto* e della *retta di fuga*; cioè che rette aventi una medesima direzione sono rappresentate sul quadro da rette concorrenti in un determinato punto (di fuga): e similmente la giacitura comune a un sistema di piani paralleli viene rappresentata da una retta (retta di fuga di quei piani).

⁽¹⁾ Cfr. *Gli elementi d'Euclide e la critica antica e moderna*, editi da F. Enriques, vol. I, 1925.

⁽²⁾ Più propriamente: PIERO FRANCESCHI.

Tale nozione acquista importanza per il progresso teorico della geometria, poichè ne scaturisce l'idea che le rette parallele abbiano comune un *punto all'infinito*, e i piani paralleli una retta all'infinito. KEPLERO (1571-1630) giunge a questa idea guidato da un « principio di analogia » (continuità). L'idea è ripresa da DESARGUES, iniziatore della geometria proiettiva, che trovò alla sua epoca un continuatore in PASCAL, e doveva poi essere sviluppata nel sistema di PONCELET (1827). Al lume delle vedute di continuità di Keplero e di Desargues, le tre specie di sezioni piane del cono circolare — l'ellisse, l'iperbole e la parabola — vengono unificate in una sola specie. Keplero considera la parabola come un'ellisse « che ha un fuoco cieco all'infinito » e Desargues vede i due rami dell'iperbole ricongiungersi attraverso i due punti all'infinito. La concezione unificata delle coniche come proiezione del cerchio conduce Desargues stesso e Pascal alla scoperta di nuove e belle proprietà di queste linee.

LE SCOPERTE DEGLI ALGEBRISTI. — Lo studio dei classici, che prima del cinquecento non ha portato sostanzialmente molto più in là della scienza antica, dà i suoi frutti in questo secolo colla grande teoria delle equazioni di terzo e quarto grado, opera degli algebristi italiani.

Sul limitare di questo periodo costruttivo si trova LUCA PACIOLO (1440-1514), che era in relazione con Leonardo da Vinci e con Piero della Francesca, e che ha scritto il primo libro comprendente insieme l'aritmetica, l'algebra e la trigonometria.

La scoperta della risoluzione dell'equazione di terzo grado è stata fatta indipendentemente da SCIPIONE DAL FERRO di Bologna (1465-1526) e da NICCOLÒ DI BRESCIA, detto TARTAGLIA (1506-1559) e fu pubblicata nell'*Ars Magna* (1545) di GEROLAMO CARDANO milanese. La soluzione dell'equazione di quarto grado è stata ottenuta per la prima volta da LUDOVICO FERRARI e pubblicata similmente dal Cardano.

La risoluzione delle equazioni di terzo e quarto grado ha orientato in gran parte i progressi successivi dell'algebra.

1°) Da essa traggono impulso i tentativi per risolvere similmente mediante radicali l'equazione generale di grado qualunque, finchè Ruffini ed Abel, ai primi del secolo XIX, dimostreranno che una siffatta risoluzione è impossibile, nel caso generale, e il giovane matematico francese Evaristo Galois, morto a vent'anni in duello nel 1831, scoprirà la condizione necessaria e sufficiente per la sua possibilità.

2°) Nella risoluzione dell'equazione cubica Cardano tien conto anche delle radici negative, che pure considera ancora quali fittizie, indicandone in vari casi il significato. Tuttavia una difficoltà particolare presentava il cosiddetto « caso irreducibile » in cui l'equazione cubica ammette tre radici (reali) mentre la formula risolutiva contiene una radice quadrata che porta sopra un numero negativo, per modo che la radice stessa appartiene a quei numeri che oggi si chiamano immaginari (o complessi). Per la prima volta accadeva così d'incontrare un'espressione immaginaria, non più come simbolo di operazioni impossibili, siccome accade nelle soluzioni delle equazioni di secondo grado, ma piuttosto come simbolo momentaneamente privo di senso, cui risponde una effettiva realtà. I nostri algebristi riconoscevano infatti l'esistenza delle radici, riferendosi al corrispondente problema geometrico illuminato da una veduta di continuità ⁽¹⁾. RAFFAELE BOMBELLI, bolognese, fu tratto di qui a considerare per la prima volta gli immaginari, che egli chiama « quantità silvestri » (1572), scoprendo le prime regole di calcolo ad essi relative. Ecco dunque l'origine di un concetto che attraverso un travaglio di oltre due secoli doveva trasformare l'analisi moderna con Gauss e Cauchy.

Ma all'epoca cui ci riferiamo, già era difficile assimilare i numeri negativi, rendendone corrente l'uso; da questo punto di vista l'ardimento di Cardano non trova seguito in Viète, che pure sotto un altro aspetto segna, come vedremo, un importante progresso. Invece un più esteso concetto dei numeri si incontra nell'*Arithme-*

(¹) Questo problema si riconduce d'altra parte alla trisezione dell'angolo, come ebbe a riconoscere Pietro Ramo (de la Ramée) il filosofo antiaristotelico perito nella notte di San Bartolomeo (1572).

tica integra del tedesco MICHELE STIFEL, che tratta dei numeri razionali e irrazionali e dell'algebra. Ivi, infatti, si parla di « numeri ficti » o « numeri surdi » sotto lo zero.

Donde viene la difficoltà e la repugnanza ad accogliere i numeri negativi, che bene si rivela nelle indicate nomenclature? Mentre da una parte il calcolo algebrico formale conduce all'impiego dei numeri negativi, siccome già accade presso gli indiani, codesti numeri risultano privi di significato ogni qualvolta si cerchi d'interpretarli come numeri cardinali ⁽¹⁾ o come espressioni di una quantità: chè dal maggiore non si può sottrarre il minore. Soltanto i numeri ordinali, o in generale i numeri presi a rappresentare le quantità orientate (segmenti d'una retta a destra e a sinistra di una data origine, crediti e debiti, ecc.) offrono una reale interpretazione di codesti numeri negativi. Perciò il loro uso si generalizza soltanto (1596-1650) con HARRIOT (1560-1621) e con DESCARTES, quando appunto il numero viene sistematicamente impiegato come ascissa sopra una retta, cioè per rappresentare un segmento orientato che ha una data origine.

VIETA. — Ci resta da dire del più grande matematico francese del suo secolo, FRANCESCO VIETA (Viète), vissuto dal 1540 al 1603. L'abilità di Vieta eccelle nei metodi approssimati per la risoluzione delle equazioni di grado superiore al quarto; è rimasta celebre la risoluzione di un'equazione di 45° grado, proposta dal Belga Adriano Romano (Roomen). Inoltre Vieta dà ai moderni la prima elaborazione sistematica della trigonometria per i triangoli piani e sferici. Ma l'innovazione che fa epoca è la sua *logistica speciosa* contrapposta a la *logistica numerosa*, cioè il simbolismo del calcolo algebrico letterale.

A questo proposito, piuttosto che indugiarci in discussioni di priorità, esaminando ciò che all'uso dei simboli recano gli algebristi anteriori come Cardano e Bombelli, ecc. crediamo preferi-

(¹) Numero (intero) cardinale significa numero degli oggetti di un insieme; numero ordinale il numero d'ordine di un oggetto in una serie ordinata che ha un principio.

bile una riflessione generale. Il simbolismo, che è la vera lingua dell'algebra, tanto ci stupisce con la sua potenza, che siamo indotti a ritenerlo creazione d'un genio consapevole; ma all'opposto questa lingua, al pari di tutte le altre, si sviluppa quasi inconsapevolmente come espressione di un bisogno pratico. L'abbreviazione della parola numero (in greco arithmos) con la lettera α che si trova nei testi greci, ha dato occasione agli arabi di indicare un numero generico con questa lettera; riprendendo quest'uso, fin da Giordano Nemorario si sono adoperate lettere differenti per denotare numeri diversi. Ma le esigenze crescenti dell'algebra richiedevano ancora l'uso di parole abbreviate e di segni per denotare alcune operazioni. Questo progresso si avverte in CARDANO e BOMBELLI, e più sistematicamente in VIETA, che adopera i segni + e —, se non ancora il segno =. In pari tempo si acquista gradatamente dai matematici la consapevolezza di ciò che il simbolismo reca alla scienza, permettendo di tradurre in forma logico-meccanica certe operazioni del pensiero. Qui si può riconoscere un'influenza generale d'ordine filosofico, poichè il mistico ed alchimista RAIMONDO LULLO (1234-1315), imbevuto di realismo, aveva tentato di costituire un'*Ars Magna* in cui, disponendo arbitrariamente concetti materiali o formali sopra tre cerchi girevoli attorno ad un punto, ne produceva a volontà tutte le combinazioni possibili. Attraverso tali ed altre forme strane questa concezione alchimista della scienza che cerca di concretare in qualche modo la filosofia realistica, contiene un'idea feconda: essa dà rilievo all'aspetto quasi meccanico delle combinazioni logiche dei concetti, e suscita quindi lo studio di una lingua simbolica, atta ad esprimerle.

Il nome di *Ars Magna*, che già CARDANO dà alla tecnica algebrica, rivela ad un tempo la discendenza spirituale da LULLO e la coscienza del valore dell'algebra. Aggiungiamo che dall'algebra l'idea del linguaggio simbolico si è estesa poi di nuovo alla logica con DALGARNO (1561), WILKINS (1668), LEIBNIZ, ecc.: a cui si connettono i nuovi sviluppi della logica simbolica contemporanea, che, da DE MORGAN, BOOLE e PEIRCE, conducono fino a PEANO e a RUSSELL.

XXV.

La Meccanica del Rinascimento.

LA QUESTIONE DEL MOTO. — La Fisica, nei secoli della scolastica e del primo Rinascimento, non consegue ancora risultati precisi come quelli offerti dalle matematiche, ma elabora lungamente i germi che si svilupperanno nel suo progresso futuro. In particolare nelle speculazioni intorno al moto: che prendono origine dalle dottrine di Aristotele, e ricevono poi impulso dall'interesse che suscita l'uso delle armi da fuoco. Ed anche nei primi studi sulla statica, ricollegantisi ad Archimede, l'importanza dei quali è in stretto rapporto con lo sviluppo dell'ingegneria e dell'idraulica nel Quattrocento e nel Cinquecento.

ARISTOTELE nella sua *Fisica* aveva formulato una singolare teoria del moto che qui occorre tener presente. Egli distingueva i *moti naturali* (caduta dei gravi e ascensione dei leggeri) dovuti all'*appetenza* per il loro luogo proprio, e i *moti violenti*, quali si osservano nel lancio dei proiettili. Per questi ultimi aveva ammesso che la continuazione del moto fosse dovuta alla pressione dell'aria ambiente, spostata dal proietto stesso: infatti il moto presenta questo fenomeno da spiegare, che la velocità impressa nell'istante iniziale da una forza o impulso, si conserva per qualche tempo; chi concepisce la forza come causa della velocità impressa e quindi in ogni istante la velocità proporzionale alla forza, è tratto a chiedersi quale sia negli istanti successivi la forza che conserva il moto. Aristotele, avendo posto così il problema, trova dunque necessario

di riconoscere la causa del moto continuato in una serie successiva di impulsi, e perciò pensa all'aria, che spostata dall'avanzare del proiettile, tende a rioccupare il vuoto lasciato dietro di esso, e quindi a spingerlo avanti, press'a poco come il turbine di polvere sollevato da un veicolo in corsa sembra ricomporsi ad inseguirlo. Per la continuazione del moto nel concetto aristotelico è essenziale che il moto abbia luogo in un ambiente fluido; nel vuoto (di cui Aristotele nega l'esistenza) il moto non sarebbe possibile; se lo fosse, la velocità apparirebbe come una virtù acquisita dal proiettile, che non trasmettendosi ad altri corpi, continuerebbe ad animarlo all'infinito. Questo moto infinito, che sembra senz'altro assurdo allo Stagirita, era postulato invece nella legge d'inerzia che si riconosce alla base del sistema di DEMOCRITO. Ma non sembra che l'idea di Democrito abbia avuto un seguito nella scienza greca; all'infuori di qualche accenno che si trova in pitagorici come EC-FANTO, per cui l'inerzia è figurata come l'effetto di un'anima nel corpo mobile.

Tuttavia è chiaro che studiosi ispirati ad un vero criterio scientifico non potevano fermarsi ad una teoria così inconsistente come quella d'Aristotele, e tanto più se rimanevano indifferenti alle ragioni metafisiche che in qualche modo la suggerivano. Ciò appare nella descrizione della caduta dei gravi abbozzata da IPPARCO nel II secolo a. C. ⁽¹⁾. Qui è lecito scorgere la cosiddetta teoria dell'*impeto* che costituisce una semplice espressione del senso comune: il motore imprime al proiettile una certa provvista di impeto, o energia, che si esaurisce a poco a poco nel moto. Questa veduta si ritrova al VI secolo dell'e. v. nel commentatore GIOVANNI FILOPONO, e ricompare poi negli scolastici dei secoli XIII e XIV.

Le più semplici osservazioni costringevano infatti a respingere la teoria aristotelica. Perchè una mola pesante, a cui sia impresso un moto di rotazione, continua a girare intorno a se stessa? Se la

⁽¹⁾ Cfr. il commento al *De coelo* di Simplicio, I, 8.

continuazione del moto d'una freccia è dovuta alla pressione dell'aria sul retro, non dovrebbe diminuire la velocità foggiano il retro della freccia a forma di punta? E se l'aria aiuta il moto anzichè ostacolarlo, perchè il sasso si può lanciare più lontano che non la piuma? Perchè un giavellotto più lungo penetra più avanti di uno più corto? Tali sono i quesiti che si discutevano sottilmente dagli scolastici, e ai quali meglio assai rispondeva la teoria dell'impeto. Intanto tali controversie preparavano una certa coscienza di ciò che importano la massa e la forza viva.

D'altronde, con l'opera aristotelica si rifaceva anche presente al pensiero europeo il significato scientifico del pensiero di DEMOCRITO, che sussisteva anche — pur diminuito — nella tradizione epicurea. Un segno di ciò è la polemica che abbiám vista ingaggiata dagli scolastici contro l'atomismo, sul terreno geometrico.

L'interpretazione geometrica fu superata da alcuni. Il monaco Egidio Colonna, detto EGIDIO ROMANO (1247-1316), ammette che la grandezza astratta sia divisibile all'infinito, ma che una grandezza materiale non possa dividersi oltre un certo limite, senza che la materia cambi di natura. Questo senso della risoluzione della materia in particelle indivisibili si ritrova molte volte nella storia della fisica: da LEONARDO DA VINCI che diceva il ghiaccio diviso in parti abbastanza minute risolversi in acqua, e così l'acqua in aria, fino a LORD KELVIN che spiegava in maniera simile il contenuto dell'ipotesi atomica o molecolare alla fine del secolo XIX.

D'altra parte un senso più pieno della filosofia di Democrito sembra introdursi nelle correnti di pensiero che si collegano ad OCCAM e specialmente nella grande scuola di Parigi. Da questa scuola esce NICOLA D'AUTRECOUR che fu obbligato a ritrattare le sue tesi nel 1348 (v. pag. 270). Ma l'idea del moto naturale ed eterno degli atomi, che sta a fondamento della dottrina democritea, penetra anche i circoli ortodossi della scolastica e tende a portare nelle discussioni critiche sul moto le vedute più moderne. Mentre Occam stesso aveva confutato la tesi peripatetica, i terministi parigini, suoi discepoli, giungono a spiegazioni più ardite. Così GIOVANNI BURIDANO (m. dopo il 1350), rettore della Sor-

bona, intuisce che senza l'esistenza del mezzo l'impeto impresso al proiettile continuerebbe indefinitamente: è la legge d'inerzia democritea che Galileo intenderà come principio della nuova dinamica, e la strada a ciò gli sarà aperta dalla meditazione sul sistema copernicano.

Buridano comprende anche la spiegazione che l'inerzia fornisce del moto rotatorio dei cieli: poichè l'impeto iniziale impresso loro da Dio non trova qui nessuna resistenza che tenda ad annullarlo. I discepoli di Buridano, ALBERTO DI SASSONIA detto ALBERTUCCIO e NICOLA ORESME, portano più innanzi lo studio del moto. Albertuccio (1368) accenna a due ipotesi intorno alla legge della caduta dei gravi: velocità proporzionale al tempo, o proporzionale allo spazio percorso.

In ORESME, che ha il merito di usare diagrammi preludenti alle coordinate cartesiane, qualcuno crede di vedere un'espressione più precisa della legge del moto uniformemente accelerato (velocità proporzionale al tempo): lo spazio percorso dal mobile è uguale a quello che esso percorrerebbe di moto uniforme con una velocità uguale alla media delle due velocità estreme. Oresme avrebbe scoperto questo principio per analogia con una considerazione da tempo familiare agli scolastici: cioè che l'area descritta dal raggio rotante d'un cerchio eguaglia il rettangolo generato dalla traslazione dello stesso raggio, con velocità uguale a quella del suo punto medio.

Siffatte speculazioni, di cui si trova traccia in scritti intorno al 1370, non ebbero gran seguito nelle scuole; pure non furono mai totalmente dimenticate: tantochè ricompaiono con DOMENICO SOTO, professore a Salamanca nel 1550, più concretamente applicate al caso della caduta dei gravi. Di esse non si deve disconoscere, ma neppure esagerare il valore; tanto meno è lecito trarne motivo — col Duhem — a diminuire l'opera che in questo campo spiegherà GALILEO, e per contro a glorificare la scolastica. Certo impera qui, come in ogni dominio della scienza, il principio della continuità storica: l'impulso allo studio della dinamica viene dalla critica di ARISTOTELE, la quale si fa, prima di tutto, nell'ambito delle

scuole; ed in questo stesso ambito, pur tra gli errori e le contraddizioni, in mezzo alle interminabili disquisizioni e alle sottigliezze di una dialettica contorta, si riaffacciano naturalmente alcune idee tramandate dagli antichi, cenni vaghi ed oscuri e presentimenti della verità, frutto dello sforzo di uomini geniali. Tuttavia non c'è un punto d'arrivo solidamente accertato, cioè una dottrina costituita che venga trasmessa e ricevuta in eredità dai secoli successivi. Tantochè gli studiosi sono sempre costretti a riprendere la questione per conto proprio esaminando diverse ipotesi e cercando criterii più precisi, per discriminare il loro valore.

Infine, due ragioni spiegano perchè il progresso decisivo si sia raggiunto fuori delle scuole ed in opposizione col loro insegnamento. Anzitutto la nuova dinamica non sorge soltanto dalla critica filosofica astratta, bensì anche dall'osservazione e dall'esperimento, esercitati nella tecnica: la « Scienza nuova » di GALILEO ha come precedente quella che TARTAGLIA indicava collo stesso titolo, cioè la raccolta delle tavole di tiro delle armi da fuoco, da lui costruite per la guerra. Ma poi, nello stesso campo teorico, manca alla scolastica la fede scientifica, che esige di decidere della verità secondo i criterii della ragione; senza arrestarsi di fronte alle conseguenze più vaste che importino una nuova veduta del cosmo e senza sottomettere questa veduta e quindi tutta la ricerca naturalistica al principio d'autorità e agli accomodamenti colla teologia.

NICOLA DI CUSA. — Ora è interessante rilevare come i presentimenti di alcune verità essenziali per la dinamica prendano corpo in NICOLA DI CUSA (¹) e in LEONARDO DA VINCI.

Nel primo una certa idea dell'inerzia appare in evidente connessione colle vedute atomistiche e pitagoriche: l'impeto del mobile, creato dal motore, è paragonato ad un'anima; lanciando un disco o una sfera perfetta sopra un piano orizzontale non vi è ragione che si arresti, perchè, dice l'autore senza insistere, disco

(¹) Nicola Chrypffs (1401-1464) di Kues sulla Mosella: studiò a Padova, fu vescovo di Bressanone, cardinale ed amico di Pio II (Enea Silvio Piccolomini).

o sfera non potrebbero restare in equilibrio poggiando sopra un sol punto.

Anche più interessanti sono gli accenni del Cusano al moto della Terra. La tradizione antica di Filolao, d'Eraclide Pontico e d'Aristarco di Samo non era affatto dimenticata; CAMPANO di Novara, cappellano di papa Urbano IV dal 1261 al 1281, accenna già a quei paradossi, per rifiutarli, e i dottori terministi di Parigi discutono pure lungamente la definizione del moto e del luogo, cercando in qual senso il moto assoluto possa distinguersi dal relativo. Nicola di Cusa esprime delle idee assai radicali: dopo aver negato la distinzione aristotelica tradizionale fra la materia dei cieli e la materia corruttibile del mondo sublunare, egli afferma, e tenta dimostrare, che l'universo ha egualmente il suo centro dappertutto; la Terra non si trova in un punto privilegiato, e però è chiaro che la Terra si muove veramente, « anche se noi non ce ne accorgiamo, giacchè non possiamo avvertire il movimento se non in confronto con gli altri corpi » (1).

Tali pensieri si trovano in intima connessione non già con una veduta coerentemente naturalistica, ma invece con una mistica, per cui ogni cosa ed ogni aspetto dell'universo devono armonizzarsi con gli altri, e la società umana col Tutto: cosicchè appena accennato a un nuovo modo di vedere, la spiegazione devia verso l'analogia e il simbolo, come già abbiamo visto avvenire in Dante. C'è qui una caratteristica e insieme un limite del pensiero medioevale, che deve render cauto lo storico nella ricerca dei « precursori »: ma certo è che il filosofo, sia pure in modo oscuro, esprime la propria fede in una verità da conseguirsi per nuove vie. Per questo senso di liberazione che è del Rinascimento, non meno che per le idee sopra ricordate, Nicola di Cusa apre la strada alla rivoluzione copernicana.

LEONARDO DA VINCI. — Se il Cusano occupa una posizione intermedia fra il Medio Evo e i tempi nuovi, il Rinascimento italiano

(1) *De docta ignorantia*, II, 1-2.

si distacca vigoroso nella figura di LEONARDO DA VINCI (1452-1519): sommo pittore e scultore, egli emerge anche quale architetto, idraulico, ingegnere civile e militare, naturalista, matematico e filosofo; la sua mente insaziabile di sapere ha percorso tutti i campi della scienza nuova. Infatti il pensiero di Leonardo non si è formato attraverso l'esercitazione scolastica e filosofica sui testi antichi, ma sorge dalla tecnica, e pur non si ferma alla pratica, anzi da quella si rivolge alla teoria per comprenderla e dominarla. Leonardo, come pensatore, si solleva alle più ardite speculazioni cosmiche, riconoscendo, anche più limpidamente del Cusano, la relatività del punto di vista geocentrico. « Nel tuo discorso hai a concludere la terra essere una stella quasi simile alla luna, e così proverai la nobiltà del nostro mondo ». « Come la terra non è nel mezzo del cerchio del sole, nè nel mezzo del mondo... e a chi stesse nella luna... questa nostra terra parrebbe e farebbe officio, tal qual fa la luna a noi ». Dalla sua mente è lontana la figurazione materiale delle sfere celesti, diffusa nelle scuole aristoteliche, tanto ch'ei si chiede: « La luna densa e grave come sta, la luna? » e giunge ad immaginare codesto astro come un centro proprio di gravità, che mantiene uniti a sè gli elementi pesanti.

Per le riflessioni svolte intorno alla ragione e all'esperienza, Leonardo appare iniziatore del metodo scientifico, e occupa un posto cospicuo nel pensiero filosofico dei suoi tempi, precorrendo al razionalismo sperimentale di Galileo.

« La meccanica, dice Leonardo, è il paradiso delle scienze matematiche, perchè in essa si viene al frutto matematico ». Per cogliere questo frutto, Leonardo ha attinto quanto poteva ai principii « delli autori » proponendosi di metterli in rapporto coi problemi suggeriti dalla tecnica. Tuttavia, risultati positivi egli ha conseguito soltanto nella statica, mentre la sua dinamica contiene ancora presentimenti vaghi ed oscuri. Da qualcuno (p. es. dal Marcolongo che ne ha studiato profondamente le opere), si vuole scorgervi accenni alla legge d'inerzia, per esempio nei passi: « Ogni moto naturale e continuo desidera conservare suo corso per la linea del suo

principio »; « Ogni moto attende al suo mantenimento, ovvero: ogni corpo mosso sempre si move, in mentre che la impressione de la potenza del suo motore in lui si riserva »; dove a dir vero la concezione di un impeto esauribile sembra persistere nella mente del suo autore. E ad ogni modo fra le cause che tendono a consumare tale impeto Leonardo pone esplicitamente l'azione di altre forze, che la nuova dinamica capirà invece doversi *comporre* coll'inerzia: « Quello sasso o altra cosa ponderosa che fia gettato con forza muterà la linea del suo corso a mezzo il cammino... è segno che quella aveva finito il moto violento e ne entrava nel naturale, cioè che essendo ponderosa cadeva libera inverso il centro ».

Nello studio della caduta dei gravi Leonardo si è fermato sulle due leggi proposte dai suoi precursori: velocità proporzionali ai tempi o proporzionali alle altezze di caduta, e di preferenza sulla prima: ma ne ha tratto una deduzione erronea quanto agli spazi. Maggior rilievo merita la considerazione che in lui ricorre dei piani inclinati; aver riconosciuto che le leggi della caduta dei gravi sono egualmente verificate nella discesa rallentata su tali piani, costituisce un preludio importante al lavoro di Galileo. Ma non è dato misurare esattamente l'influenza che Leonardo può avere esercitato in questo ed in altri campi della scienza, perchè egli non ha concretato il suo pensiero in opere sistematiche, sì bene in semplici appunti dispersi in una moltitudine di manoscritti che andarono parte distrutti, parte smarriti per lungo tempo dopo la sua morte.

Per quel che riguarda la Statica, l'indagine di Leonardo, strettamente legata all'uso delle macchine semplici, sembra feconda: vi si scorge già il principio della composizione delle forze, ed altri principî fondamentali, che per opera di GUIDUBALDO DEL MONTE e del belga SIMONE STEVINO (1548-1620) dovevano presto completare l'edificio di cui Archimede aveva posto le basi.

Allo sviluppo della meccanica tecnica Leonardo ha contribuito ampiamente: importa soprattutto rilevare che con lui si inizia quella ricerca dei fini lontani, e non già delle soluzioni immediate, che fa la fecondità delle grandi invenzioni moderne. L'apporto speci-

fico più importante è forse l'introduzione di strumenti e metodi di misura quali il dinamometro, l'igrometro, ecc. (1). Per questo lato la sua mente appare vicina a quella dei grandi fisici, la cui immaginazione visiva si concreta tanto nel disegno quanto nella spiegazione di un ordine di fenomeni: sono innumerevoli gli abbozzi d'ipotesi o di teorie che Leonardo ha escogitato, precludendo alle grandi costruzioni della scienza posteriore; basti rilevare per esempio l'idea che egli si forma della propagazione della luce per onde, precludendo così all'ottica di HUYGENS; nonchè la chiara nozione che ebbe dell'ufficio dell'aria nella combustione. Mirabile divinazione, per chi pensi al lungo cammino che il pensiero doveva ancora percorrere per spiegare quest'ordine di fatti: giacchè lo stesso BOYLE, rinnovatore della chimica nel secolo XVII, pur dopo esperimenti accurati e ingegnosi, non seppe comprendere l'identità dei fenomeni di combustione e di calcinazione dei metalli, la quale fu riconosciuta soltanto nel secolo successivo da STAHL, attraverso la teoria del *flogisto*: e l'ignoranza in questo campo durò fino alla fine del secolo XVIII, quando i progressi conseguiti nello studio dei gas permisero a LAVOISIER di istituire quella critica geniale e decisiva che, abbattendo codesta teoria, valse a spiegare tutti i fenomeni anzidetti come combinazioni coll'ossigeno.

(1) Lasciamo da parte il suo contributo più specificamente tecnico, che non ha potuto avere il frutto che meritava a causa della dispersione dei manoscritti. Ma ricordiamo almeno che le sue ricerche abbracciarono l'ingegneria idraulica, la militare, l'industria tessile (filatura e avvolgimento), la lavorazione dei metalli (congiatura, matrici). Un tornio primitivo lo colloca anche fra i primi creatori di macchine utensili.

XXVI.

Le scoperte geografiche e la rivoluzione copernicana.

PROGRESSI DELLA NAVIGAZIONE. — I problemi matematici e le speculazioni sul moto ci hanno mostrato un aspetto, prevalentemente teorico e speculativo, del risorgere della scienza e della cultura alla fine del Medio Evo, richiamando in vita la tradizione del pensiero antico. Ma la formazione della scienza nuova presenta un altro aspetto caratteristico, ed è il suo collegamento con la vita pratica, quale si va intessendo nella nascente civiltà europea. E a quest'aspetto massimamente si connettono i progressi congiunti della geografia e dell'astronomia.

Lo spirito di avventura, forza costruttiva ed espansiva di un mondo più vasto che gli antichi non avessero mai immaginato, si rivela già nelle prime ardite scorrerie dei rudi navigatori scandinavi. Pare accertato che verso il 1000 Erik il Rosso e suo figlio Leif, spintisi oltre l'Islanda verso Occidente, scoprirono una terra cui dettero il nome di « Vinland »: ed era certamente la costa americana. Ma la scoperta non ebbe seguito: e soltanto nel Duecento la nuova abilità navigatoria trova in Europa campo di spiegarsi a servizio dell'espansione mercantile delle città marinare d'Italia e di Fiandra; più tardi della penisola iberica, della Francia e dell'Inghilterra.

Per l'arte del navigare sono essenziali le cognizioni astronomiche e l'uso degli strumenti.

L'astronomia araba penetrò presto in Europa mercè la potente protezione dell'imperatore Federico II e di Alfonso X, re di Ca-

stiglia. Incoraggiato da Federico, GHERARDO DI CREMONA tradusse l'*Almagesto* di TOLOMEO, unendovi anche il trattato di ALHAZEN sui crepuscoli. Per iniziativa d'Alfonso furono costruite nel 1252 le cosiddette *Tavole Alfonsine*, opere di revisione dell'astronomia tolemaica, dovuta in gran parte a matematici ebrei. Questo lavoro rimase fino a che ANDALONE DEL NERO e GIOVANNI BIANCHINI, e più tardi PEURBACH e REGIOMONTANO (1475), non ne corressero gli errori.

La navigazione degli antichi rimase sempre sostanzialmente una navigazione di cabotaggio, poichè allontanandosi dalla costa, il pilota cui il cielo coperto sottraesse l'osservazione degli astri perdeva ogni idea della direzione della nave. Perciò la scoperta della bussola fa epoca nella storia della navigazione. La proprietà dell'ago magnetico di dirigersi verso il nord era già conosciuta dai cinesi fin dal 600 dell'e. v.: di un tale ago era fornito il carro dell'imperatore mongolo, per dirigersi nell'attraversare le sterminate pianure dell'Asia centrale. Un secolo dopo l'ago era adoperato per la direzione delle navi cinesi; e dai cinesi ne appresero l'uso gli indiani, e poi gli arabi che l'importarono in Europa: Raimondo Lullo vi accenna già nel 1286. In quel tempo l'ago magnetico era poggiato sopra un pezzo di legno galleggiante sull'acqua. Gli amalfitani ne perfezionarono l'uso ricorrendo ad un ago sospeso: in ciò consiste l'invenzione della bussola, attribuita a FLAVIO GIOIA di Positano (1302).

La bussola indica al navigatore soltanto la direzione del moto; un'altra conoscenza essenziale è per lui la posizione che ad ogni momento la nave occupa sopra la sfera terrestre. A questo scopo basta conoscere l'altezza degli astri (o del sole) tenendo conto dell'ora del giorno e della stagione. Se per semplicità di discorso ci riferiamo al momento dell'equinozio, i raggi del sole a mezzogiorno sono verticali sull'equatore, e diventano sempre più inclinati man mano che dall'equatore si va verso il polo. L'inclinazione massima dei raggi solari dà in ogni punto la latitudine (le tavole astronomiche recano la differenza costante che per ogni latitudine si deve togliere o aggiungere secondo la stagione e in pari tempo insegnano

a valersi, invece che del sole, dell'osservazione degli astri). Per queste misure d'angolo si usano strumenti teoricamente semplicissimi, che derivano dall'astrolabio d'IPPARCO. Le navigazioni oceaniche della seconda metà del secolo XV cominciano appunto con l'uso di un tale strumento, che MARTINO BEHAIM (1459-1506) perfezionò in servizio della navigazione. Tuttavia Vasco da Gama trovò sulla costa orientale dell'Africa dei piloti indiani che già l'adoperavano. Convien notare che per la misura della longitudine, i navigatori non disposero di alcun mezzo preciso, fino alla costruzione dell'orologio meccanico portatile, che permette appunto di valutarla in base alla differenza d'ora: così fino alla fine del secolo XVII, si doveva calcolare la longitudine approssimativamente tenendo conto del cammino percorso dalla nave (grazie al *log*, già descritto da Pigafetta): metodo incertissimo, sopra tutto in zona di correnti ignote. Ma l'inconveniente non è grave quando si tratti di traversate transatlantiche: la barriera continentale impedisce sostanzialmente un viaggio inutile oltre il meridiano d'arrivo; mentre la conoscenza della longitudine diventa essenziale per la sicura navigazione del Pacifico, scoperto bensì da MAGELLANO nel 1521, ma precisamente esplorato ed aperto al traffico soltanto dopo il capitano Cook (1768-1779).

Correlativa al progresso della navigazione è naturalmente la conoscenza delle reciproche situazioni dei luoghi tradotta in precise carte geografiche. La geografia del Trecento e del Quattrocento possiede già i testi antichi, e in particolare Tolomeo; ma di fronte agli eruditi che nei loro studi continuavano a ricopiarne i dati e gli errori, fanno opera veramente costruttiva quegli umili navigatori catalani ed italiani che fino dal secolo precedente, supplendo colla loro perizia alla rozzezza dei metodi e degli strumenti, ci hanno lasciato carte così esatte, quali si ammirano nei *portulani* di quei tempi. Questo lavoro acquista poi significato di scienza nuova, quando si oltrepassino le colonne d'Ercole, limiti del mondo antico. La configurazione dell'Africa è indicata sul planisfero di MARINO SANUDO (1306), pubblicato nel portulano della Mediceo-Laurenziana nel 1351.

ESPLORAZIONI MARITTIME. — Le innovazioni tecniche di cui sopra si è discusso, aprono la via alle grandi esplorazioni marittime, e quindi alla scoperta dell'America.

Per comprendere l'interesse che destavano questi viaggi, si pensi che l'India, coi suoi favolosi tesori — oro, gemme, spezie — era stata sempre il miraggio dei popoli mediterranei, fin dai tempi del re Salomone e di Alessandro Magno. Un attivo traffico fra l'India e il Mediterraneo si era stabilito attraverso il califfato di Bagdad e l'impero bizantino: le merci, quando non traversavano l'Asia centrale per sboccare sul Mar Nero, risalivano il Golfo Persico, per prendere poi la via di terra a Bagdad o a Bassora, ed essere trasportate attraverso il deserto sugli scali del Levante. Per diverse circostanze questa via riusciva praticamente più facile di quella per il Mar Rosso attraverso la striscia dell'Istmo di Suez. Comunque, tutte queste vie facevano capo ai porti italiani, la cui prosperità è appunto in rapporto con l'ubicazione centrale del Mediterraneo rispetto alle grandi linee del commercio mondiale. Di qui lo stimolo ai mercanti italiani di trovare una via per le Indie.

Ora questa linea vien tagliata dalle successive invasioni mongoliche e turaniche, le quali interrompono le carovaniere dell'Asia, nonchè dalla caduta della dinastia Yuen in Cina, per effetto della quale venivano chiusi quei mercati su cui molti italiani, per un secolo, avevano seguito la traccia di Marco Polo. Nel 1453, la caduta di Costantinopoli in mano ai turchi suggellava le sorti del commercio orientale. I commercianti veneziani e soprattutto i genovesi, respinti gradualmente dai mari del Levante, sciamavano verso l'Atlantico. Da tali circostanze che preparano l'impoverimento e la decadenza dell'Italia nel Seicento, traevano incitamento portoghesi e spagnoli a cercare nuove vie di comunicazione con l'India attraverso il mare. Molte menti anche non commerciali erano accese dal sogno di trovare una nuova via verso le ricchezze dell'Asia, e con l'aiuto di esse promuovere una nuova crociata. La prima idea che si presentava era di girare attorno all'Africa, seguendo le indicazioni di Marino Sanudo, e di numerosi pionieri

che erano riusciti a portarsi sulla costa orientale di quel continente: primi fra di essi i genovesi fratelli Vivaldi.

Enrico il Navigatore, re di Portogallo, spinse il suo popolo su questa via. Una serie di viaggi, che s'iniziano con l'esplorazione del golfo di Guinea da parte di PEDRO DI CINTA (1462) riesce alla scoperta del punto estremo dell'Africa, che BARTOLOMEO DIAS (1486) chiamò Capo delle Tempeste, e che il re Giovanni II volle denominare, come fausto presagio, Capo di Buona Speranza. Dopo Dias, VASCO DI GAMA riusciva a raggiungere l'agognata costa dell'India, nel 1498 (sei anni dopo la scoperta dell'America).

SCOPERTA DELL'AMERICA. — Mentre i portoghesi proseguivano, come si è detto, i loro tentativi di raggiungere le Indie per la via orientale, un'idea grandiosa sorgeva nella mente degli Italiani, cioè di « *buscar el levante por el ponente* ». La nozione della sfericità della terra era rimasta fin allora astratta; si trattava ora di realizzarla.

Di questa possibilità s'incontra presso gli antichi qualche sentimento. ERATOSTENE, che come si disse (v. pag. 170) ha valutato esattamente le dimensioni della sfera terrestre, riteneva che la terra abitata (*oikumene*) fosse contenuta in un settore uguale ad un terzo della superficie del globo, gli altri due terzi essendo occupati dall'Oceano. TOLOMEO e MARINO DI TIRO riducono il settore oceanico a circa metà. SENECA e STRABONE giungono perfino a congetturare che in codesto sterminato oceano possano scoprirsi nuove terre.

Queste opinioni degli antichi rivivono nel mondo medioevale congiunte a qualche vaga tradizione delle « isole fortunate », probabilmente le Azzorre, più volte scoperte e riscoperte dai navigatori.

Tuttavia, la repugnanza che l'uomo prova invincibilmente pensando che qualcuno si muova ai suoi antipodi « con la testa all'ingiù », come aveva influito sulle rappresentazioni della terra abitata presso i più degli antichi, così compare di nuovo, attra-

verso leggende e concezioni teologiche, in cui s'immagina sempre una differenza sostanziale di natura fra i due emisferi. Così Dante crea il mito di Ulisse come simbolo dell'ardire vietato: e per aver tentato, di là delle colonne d'Ercole, l'esperienza del « mondo senza gente », fa inabissare il suo eroe in vista della terra, il cui mistero non si disvela agli occhi mortali, se non per virtù della Fede. In questa volontà

a divenir del mondo esperto
e delli vizi umani e del valore:

si sente già la voce del Rinascimento.

Trent'anni dopo, il Petrarca accenna:

alla stagion che il ciel rapido inchina
verso occidente, e che il dì nostro vola
a gente che di là forse l'aspetta....

(Canzone IV)

L'idea del poeta si concreta nel pensiero di uno scienziato del Quattrocento. PAOLO DAL POZZO TOSCANELLI fiorentino, raffrontando i dati dei geografi antichi con le relazioni dei viaggi nell'Asia, tenta una rappresentazione cartografica di tutta la superficie terrestre nonchè una indicazione convenzionale delle distanze. Il risultato di tali studi lo porta a concludere che il settore oceanico deve ridursi soltanto ad un terzo della superficie totale del globo. Fu felice errore, che spinse il Toscanelli a vagheggiare praticamente un viaggio d'esplorazione attorno al mondo, che avrebbe dovuto aprire, attraverso l'Atlantico, la via delle Indie.

Di quest'idea Toscanelli scrisse al re di Spagna Ferdinando, incitandolo a promuoverne l'attuazione (1474). Si trovava allora al servizio della flotta spagnola insieme ad altri navigatori italiani CRISTOFORO COLOMBO, il quale, incitato dalla lettura dei viaggi di Marco Polo, anelava ad emularne in qualche modo le imprese. La tradizione vuole che Colombo, avuta notizia della lettera di Toscanelli, si sia rivolto direttamente al matematico fiorentino per averne chiarimenti, ma questa corrispondenza è posta in dubbio dalla critica. A ogni modo si sa che Colombo conosceva bene le

ipotesi degli antichi, e che potè profittare degli studi e della ipotesi del Toscanelli, mentre d'altra parte risulta ch'egli attinse dati e indicazioni a quella specie di Somma geografica che era la *Imago mundi* del cardinale PIERRE D'AILLY (1350-1420).

Con tenacia ligure Colombo perseguì per più anni il disegno del suo viaggio d'esplorazione, raccomandandolo a diverse corti. È interessante ricordare le obiezioni che si muovevano all'idea, giudicata non solo temeraria, ma assurda: perchè, dicevano i dottori domenicani di Salamanca, facile sarebbe stato *discendere* nell'altro emisfero, ma come risalirne? Tant'è vero che la nozione ricevuta da Aristotele, della sfericità della Terra, restava astratta nelle menti, e subordinata all'intuizione inconscia di un senso assoluto della verticale!

Finalmente, con l'aiuto della regina Isabella, Colombo ottenne dal re Ferdinando di Castiglia tre caravelle, che non stazzavano in tutto 300 tonnellate. E con pochi uomini di equipaggio sciolse le vele dalla barra di Saltes di fronte a Huelva, il 3 agosto 1492. Con vento e mare favorevole, giunse il 12 ottobre in vista di una nuova terra su cui piantò la bandiera di Castiglia; l'isola che gli indigeni chiamavano Guanahani, e a cui egli dette il nome di S. Salvatore, è probabilmente l'isola Watling, del gruppo delle Caraibiche. Tornato in Spagna, Colombo fu accolto con grandi onori, ed ebbe il titolo di vicerè delle Indie, poichè si credeva che a queste dovesse appartenere la nuova terra scoperta. Nuovi viaggi (1493-1498), condussero il grande navigatore all'isola di Cuba, che egli ritenne essere il Giappone (lo « Zipango » di Marco Polo) e finalmente a toccare il continente nel golfo del Messico. Ma l'ultimo viaggio riuscì disastroso per difficoltà di navigazione, insalubrità di clima, ribellioni degli indigeni, discordie negli equipaggi. E i sospetti suscitati contro di lui alla corte lo fecero cadere in disgrazia, tantochè al suo ritorno in Spagna venne sottoposto ad un'inchiesta rigorosa e tratto in arresto. Dalla prigione uscì povero e malato, e mentre ancora meditava la rivincita di una nuova spedizione, la morte lo colse a Valladolid nel 1506.

Fra le cause della disgrazia di Colombo, si deve annoverare

la delusione provata perchè nelle nuove terre non si era trovato l'oro sperato, che Vasco da Gama aveva potuto raccogliere invece sulle coste dell'India. Frattanto sorgeva il dubbio che quelle terre non appartenessero veramente all'Asia, ma costituissero un'isola, prospiciente alle coste orientali; sospetto che doveva poi essere avvalorato dalla spedizione di Vasco Nunez de Balboa, il quale attraversando l'istmo di Darien poco sotto Panama, sboccò in vista di un nuovo oceano.

CIRCUMNAVIGAZIONE TERRESTRE. — Varie spedizioni furono organizzate per girare attorno alla linea di terra che chiudeva l'accesso alla sospirata Asia. Le une si rivolsero in parte nella vana ricerca di uno sbocco su per il Rio de la Plata: altre, organizzate da inglesi e francesi, coi fratelli Caboto da Venezia e Giovanni Verrazzano fiorentino, risalirono il continente verso nord; Sebastiano Caboto esplorò la costa almeno fino al Chesapeake (altezza di Boston) nel 1508; ma già più al nord era giunto per navigazione diretta il portoghese Cortereal, scoprendo la terra del Labrador.

L'onore di aprire la strada nel nuovo oceano, girando il continente, era riservato al portoghese FERDINANDO MAGELLANO (Magalhaes), al servizio della Spagna. Questi, andando secondo le istruzioni « en busca del canal o mar apierto para ir a la Especieria » traversò l'estremo stretto meridionale che porta il suo nome, e si inoltrò fiducioso nel nuovo mare, da lui denominato « Pacifico » (1521). Tre mesi di navigazione lo convinsero che aveva varcato il più grande oceano del mondo. Alla soglia dell'Asia che aveva finalmente toccata, Magellano però per mano degli indigeni: delle navi che avevano composto la sua spedizione, una sola, con tredici uomini a bordo, riuscì a tornare in patria per la via già segnata da Vasco di Gama; così fu compiuto il primo viaggio di circumnavigazione del mondo: su quella nave era il vicentino Antonio Pigafetta, che scrisse la storia della spedizione.

Nonostante le notizie meravigliose che da tutte le parti i viaggiatori e scopritori diffondevano in Europa, con l'aiuto della stam-

pa, si trovavano ancora dotti geografi per ripetere le antiche descrizioni di Tolomeo, o per adattare malamente i nuovi dati ai pregiudizi derivati da queste. Parecchi decenni dovevano scorrere prima che si giungesse ad una conoscenza pressochè adeguata della forma e dell'entità del nuovo continente. Fra le relazioni che più vi giovarono fu quella del cosmografo fiorentino AMERIGO VESPUCCI, che partecipò a due spedizioni spagnole nel 1499 e nel 1521. Codeste relazioni si diffusero in tutta l'Europa, anche perchè provenivano da una città che rappresentava uno dei più cospicui centri di cultura. A questa straordinaria diffusione si deve che il geografo tedesco MARTINO WALDSEEMÜLLER abbia proposto il nome di « Americi terra, sive, America » che si trova nella sua carta del mondo. Solo più tardi, meglio edotto dei meriti di Colombo, volle correggere questa denominazione, ma l'abitudine aveva ormai consacrato il nome America.

FISICA TERRESTRE. — Gli straordinari viaggi di esplorazione di cui abbiamo parlato dettero impulso non soltanto alla geografia descrittiva, ma anche ad un insieme di ricerche intorno alla fisica terrestre. CARDANO, nei *Problemata physica*, dopo avere esaltato i progressi che la cosmografia deve a Colombo, che chiama *humani generis decus*, si prova a porre le basi di una meteorologia comparata, che dovrebbe dar ragione delle differenze dei climi e delle vicende delle stagioni nei vari luoghi. Più importanti sono le investigazioni sul magnetismo terrestre. Già Colombo, cosmologo d'incerta dottrina ma osservatore coscienzioso dei fatti, avvertì che passando a circa 2°30' dall'isola del Corvo, la declinazione dell'ago magnetico diventa, da orientale, occidentale. Chiamato in tal guisa a riflettere sulle circostanze cui dà luogo la differenza del polo magnetico dal polo geografico della Terra, il navigatore genovese pensò di utilizzare la declinazione per le misure, almeno approssimative, della longitudine. E la linea di declinazione conobbe una grande popolarità, perchè se ne volle fare anche un limite politico fra le zone d'influenza della Spagna e del Portogallo.

Nonostante l'interesse suscitato da queste ricerche, bisogna

giungere al 1576 per incontrare in quest'ordine d'idee una scoperta veramente nuova, cioè l'*inclinazione* dell'ago magnetico, che è, per il nostro emisfero, l'abbassamento del polo nord dell'ago in funzione crescente della latitudine. Tale scoperta è dovuta all'inglese ROBERT NORMAN, il quale trovò per Londra l'inclinazione di 71°50'.

Ma una visione del magnetismo terrestre che assurge ad una teoria sistematica viene data soltanto dalla *Physiologia nova de magnete* di WILLIAM GILBERT (1600) ⁽¹⁾. L'elettricità e il magnetismo diventano ora oggetto di uno studio scientifico, che si solleva veramente sulle nozioni rudimentali possedute fin dall'antichità (effetti della calamita sul ferro, e attrazione dell'ambra « animata » per fregamento sulla paglia secca).

L'autore, che per penetrazione e originalità d'ingegno si avvicina a Galileo, indovina molte cose, ravvisando nel magnetismo e nell'elettricità due manifestazioni di una forza unica inerente alla materia. Gilbert considera la terra come un magnete, e spiega le linee di uguale inclinazione e declinazione secondo la distribuzione, la forma e l'estensione dei continenti. Il concetto del fisico inglese doveva assumere un aspetto grandioso ai tempi di Galileo e di Keplero. Generalizzando audacemente attribuiva il magnetismo alla materia in ragione della sua quantità, senza riguardo all'eterogeneità delle sostanze. Si rivela qui un certo senso di quell'unità della materia, che sotto altri aspetti si ravvisa nell'idea dinamica della massa, e poi della gravitazione.

Dell'importanza di Gilbert per la storia del metodo sperimentale diremo più oltre.

IL SISTEMA COPERNICANO. — Il ciclo delle grandi scoperte geografiche, con cui s'inizia la nostra epoca storica, rivela all'uomo del Cinquecento la posizione sua e del suo continente rispetto al globo, dischiudendo la via ad una nuova civiltà oceanica, non più

(1) N. a Colchester nel 1540 (o 44), fu medico della regina Elisabetta e di Giacomo I, e morì nel 1603.

costretta intorno all'antico bacino del Mediterraneo, che verrà più tardi ad assumere un significato nuovo nel collegamento di più vasti mari. Nello stesso secolo XVI un'altra rivoluzione, memorabile nel mondo delle idee, veniva ad assegnare il posto dell'uomo e della Terra nell'ordine dell'Universo.

Il *De revolutionibus orbium celestium* di NICOLA COPERNICO ⁽¹⁾ pubblicato nel 1543, anno stesso della morte del suo autore, mostra come le apparenze dei moti del Sole, dei pianeti e della Luna si concilino assai più naturalmente con l'ipotesi di un sistema eliocentrico in cui la Terra è animata, oltrechè da un moto di rotazione diurna, anche da un moto di rivoluzione annua attorno al Sole, che non con l'ipotesi geocentrica espressa nel sistema tolemaico.

Copernico non era puro astronomo, ma anche medico ed umanista; e come tale egli ha ripreso le opinioni dei pitagorici intorno al moto della Terra. Conobbe infatti a tale proposito i riferimenti di CICERONE e di PLUTARCO, e forse anche quelli di ARCHIMEDE. In un passo del *De revolutionibus*, che fu poi da lui soppresso ⁽²⁾, citava espressamente FILOLAO ed ARISTARCO: « credibile est his similibusque causis Philolaum mobilitatem terrae sensisse, quod nonnulli Aristarchum Samium ferunt in eadem fluisse sententiam... ».

Del resto abbiamo veduto che queste idee erano già discusse dagli autori prima di Copernico, e pare che l'attenzione di Copernico stesso sia stata rivolta ad esse, da DOMENICO MARIA NOVARA, che gli fu maestro in astronomia all'università di Bologna. Ma il valore proprio dell'opera copernicana consiste in ciò: che l'ipotesi eliocentrica di cui s'intraprende la verifica quantitativa è accolta non come puro gioco matematico ma come sistema fisico, della cui verità Copernico andava convincendosi a mano a mano che ne sviluppava le conseguenze. Il criterio di prova a cui egli s'appoggia è

⁽¹⁾ Nikolaus Koppernigk nacque a Thorn nel 1473, studiò a Cracovia, poi in Italia, a Bologna, Padova e Roma ove fu anche insegnante a 26 anni. A 29 anni tornò in Polonia, nel 1510 ebbe il canonicato di Frauenburg e vi rimase fino alla sua morte, nel 1543. Fu soprattutto astronomo, ma anche medico: per quanto la sua abitudine di non farsi pagare gli valesse poca stima da parte della sua clientela.

⁽²⁾ Ediz. Thorn, 1873, pag. 34, nota.

soprattutto il principio di *semplicità della natura*, che aveva già annunciato in un primo abbozzo manoscritto del suo lavoro (*Commentariolus*). Tutto il sistema di cicli e di epicicli messi in opera da Tolomeo costituisce qualcosa di complicato, che contraddice alla semplicità e alla finalità del cosmo. Re Alfonso X nel Duecento aveva già osservato agli astronomi che se il Creatore lo avesse consultato, avrebbe fatto le cose più semplici. La « sagacità della natura », dice Copernico, raggiunge in generale il suo scopo coi mezzi più semplici, rifuggendo dalle vie tortuose. Essa fa dipendere molti effetti da una sola causa, piuttosto che moltiplicare inutilmente il numero delle cause. In particolare gli sembrava argomento quasi irresistibile il poter spiegare i moti di retrogressione dei vari pianeti sulla sfera celeste, quei moti che avevano dato luogo a tutti i sistemi degli astronomi greci da Eudosso in poi, col solo movimento proprio della Terra anzichè con meccanismi epicicloidali tante volte ripetuti quanti sono i pianeti. C'era qui per Copernico, come per i suoi grandi continuatori, una specie di certezza immediata, di cui difficilmente avrebbe saputo dar ragione, ma che sorgeva spontanea come fede scientifica, dall'intuito della natura.

D'altra parte la complicazione dei moti celesti sembrava risultare soltanto dall'esigenza del senso comune di prendere la Terra immobile come riferimento naturale ed assoluto di ogni altro moto. Di tale préconcetto Copernico vuol giudicare da « uomo libero » quale lo dichiarava Keplero. Egli richiama la nota illusione, per cui il navigante, senza avere coscienza del proprio moto, vede la spiaggia allontanarsi da lui. Se la Terra gira attorno al Sole, e con la Terra sono trasportati acqua, aria, e tutti i corpi connessi, noi compresi, noi vedremo girare il Sole attorno alla Terra, e nessuna sensazione permetterà di distinguere il moto effettivo del nostro pianeta. Questo principio di relatività urta direttamente la tesi aristotelica che le qualità d'un corpo siano assolutamente legate al luogo occupato, talchè un cambiamento di posizione dovrebbe tradursi in un cambiamento di qualità intrinsecamente riconoscibile.

Ma d'altra parte — osserva Copernico che non vuol mettersi contro tutta quanta la filosofia ufficiale — anche il sistema tolemaico,

a forza di complicarsi per tener dietro alle osservazioni aveva finito con l'abbandonare i postulati aristotelici per ridursi a un artificioso schema geometrico. L'aristotelismo era dunque fuori causa.

Ora, se il moto, nell'una o nell'altra ipotesi, rimane un fatto geometrico puramente relativo, dove trovare un sistema di riferimento che valga a definire e a distinguere ciò che si muove da ciò che sta fermo? Diremo più tardi dei tentativi fatti per conferire al moto un senso fisico, rinnovando le controversie dell'antichità. Copernico, che pure serba la convinzione intima di un tal senso, risolve il problema in modo positivo, assumendo l'immobilità del cielo delle stelle fisse: questa scelta è tanto più naturale, per chi, non conoscendo i mutamenti reciproci delle stelle, vede nel loro insieme il tutto immobile dell'universo: ed essa diventa razionalmente necessaria per chi abbia riconosciuto la meravigliosa semplificazione che ne risulta nella descrizione dei fenomeni celesti.

« Se, dice Copernico (*op. cit.* I, 9), si trasforma la rivoluzione annua del Sole in una rivoluzione della Terra, attribuendo al Sole l'immobilità, il sorgere e il tramontare delle costellazioni e delle stelle fisse, la mattina e la sera, appariranno nello stesso modo; gli arresti, il retrocedere e il tornare avanti dei pianeti non saranno loro propri, ma si chiariranno come apparenze, provocate dal moto della Terra. Infine il Sole stesso sarà giudicato occupare il centro del mondo. L'ordine necessario secondo cui i corpi celesti si avvicinano, e l'armonia dell'intero Universo, ci insegnano tutto ciò, se soltanto guardiamo la cosa in sè stessa, e come suol dirsi, coi due occhi ».

Di fronte al nuovo ordine del cosmo, che a lui si rivela, l'autore si sofferma a contemplarne la bellezza: « In mezzo a tutti i pianeti siede immobile il Sole. Chi, invero, nel tempio magnifico, potrebbe porre la fiaccola in luogo diverso o migliore di quello, donde può illuminare tutto nello stesso tempo? » (I, 10).

Così forte era la convinzione dell'autore, che prima ancora di pubblicare la sua opera, egli era riuscito a comunicarla a una piccola cerchia di amici e di discepoli. Fra questi era un giovane partigiano entusiasta, GIOVANNI RETICO, professore all'università di Witten-

berg, il quale nel 1539 venne a Frauenburg, e soggiornò due anni presso Copernico. Da lui il mondo scientifico ricevette i primi particolari intorno al nuovo sistema (*Narratio prima de libris revolutionum*, Danzica 1439-1540), ed egli stesso convinse il maestro a vincere i suoi scrupoli e ad affidare la sua opera alla stampa. Il primo esemplare giunse all'autore sul letto di morte.

Il predicatore Osiander di Norimberga, che era stato incaricato della pubblicazione, per evitare lo scandalo, aggiunse al libro una prefazione in cui presenta la nuova teoria come una pura ipotesi matematica ⁽¹⁾: prefazione che più tardi Giordano Bruno diceva scritta da un asino ad uso di altri asini. Però la dottrina, al suo apparire, non destò subito grande rumore. Lutero la prese a diliegio: « Quel pazzo vuol sovvertire l'intera arte astronomica; ma la santa Scrittura ci dice che Giosuè fermò il sole, e non la terra ». Melantone, il fondatore della teologia protestante, dichiarava nei suoi *Initia physices* che queste ipotesi strane erano fatte soltanto per smania di novità, e per dar prova di sottigliezza d'ingegno. Ma ciò non è bene, dice egli, ed anzi costituisce un esempio pericoloso, che può indurre ad esaminare per puro esercizio dello spirito opinioni comunque assurde, in luogo d'ammettere rispettosamente la verità rivelata da Dio. Poco seguito ebbero nel sec. XVI le idee copernicane: Galileo sospendeva ancora il suo giudizio, quando già Bruno e Keplero si mostravano entusiasti.

TYCHO BRAHE. — L'astronomo danese Tycho Brahe (1546-1601) esitò a lungo per ragioni non solo religiose ma anche scientifiche, perchè l'ipotesi eliocentrica, come Copernico aveva avvertito, al pari dell'antico Aristarco, esige che si portino le stelle ad una distanza enorme, affinchè siano viste secondo la stessa direzione da punti opposti dell'orbita terrestre. Inoltre Tycho, dovendo apprezzare ad occhio nudo (senza telescopio) il diametro apparente delle stelle, era indotto a farne una stima esagerata. Egli scriveva

(1) Il carattere apocrifo di essa fu provato da Keplero in base alle lettere stesse di Osiander.

a Rothmann (24 nov. 1589): « Ritieni possibile, che la distanza di Saturno dal Sole, presunto centro del mondo, sia meno di $1/700$ della distanza della sfera delle stelle fisse? E aggiungi che tale spazio dovrebbe esser tutto vuoto di stelle. Eppure questo è necessariamente il caso, qualora l'orbita terrestre veduta dalle stelle appaisca secondo l'angolo di un minuto. E allora già le stelle fisse di terza grandezza, il cui diametro apparente è appunto di un minuto, dovrebbero avere dimensioni uguali a quelle di tutta l'orbita terrestre » (1).

Da questi motivi Tycho fu indotto ad immaginare un sistema misto, in cui i pianeti girano intorno al Sole, e il Sole a sua volta attorno alla Terra. A tale conclusione si arrestava l'astronomo, a cui la scienza deve misure ed osservazioni così precise, quali non si erano mai conosciute per lo innanzi; e tuttavia neppure la sua accuratezza potè trionfare di un'illusione ottica che si rivela soltanto con l'uso del telescopio: le stelle non hanno in fatto un diametro apparente sensibile, e così viene a cadere il più forte degli argomenti di Tycho. Il sistema copernicano attendeva la sua vera comprensione e giustificazione dallo sviluppo della dinamica di Galileo.

(1) Per pochissime stelle si può misurare una piccola differenza all'angolo (parallasse) secondo cui è visto dalla stella il diametro dell'orbita terrestre. Fra le più vicine a noi è Sirio: infatti la sua parallasse è di un terzo di secondo d'arco (più precisamente $0'', 379$) il che ci permette di dedurre che la sua distanza è di 9 anni-luce.

XXVII.

Le scienze della vita.

SCIENZE OCCULTE. — L'attività scientifica che abbiamo ravvisato nelle grandi ricerche innanzi descritte, getta una luce particolare sull'ambiente di coltura da cui essa sorge. Eppure quest'ambiente si rivela in diversa luce a chi ne consideri altri aspetti più remoti dalla mentalità della scienza moderna.

Così accanto all'astronomia e strettamente legata con essa troviamo l'astrologia, coi suoi influssi degli astri sulla vita dell'uomo, la spiegazione dei sogni e dei segni, la necromanzia con i suoi scongiuri, la magia e le dottrine alchemiche: tutti questi elementi, che provengono dalla tradizione neoplatonica e alessandrina, si accordano col concetto magico della vita della natura come un sistema misterioso di forze interne che si tratta di assoggettare col sapere e con la volontà.

Tale è l'insieme di idee che viene riscoperto, e adottato con entusiasmo, dai grandi umanisti del Quattrocento. Questi non sono propriamente nemici della Chiesa. Abbiamo detto, anzi, che scorgono nel platonismo una risposta all'empietà averroista. Ma nella saggezza degli uomini, l'orientale e la classica, che si va svelando alle loro ricerche, essi credono di trovare un deposito di verità eterne che preparano ed illustrano la verità rivelata. Le scienze che la Chiesa aveva respinto nell'ombra, condannandole come « maledette » appaiono adesso a loro contenere una verità più vasta che non quella espressa dagli schemi della scolastica: verità che

il pensiero ha saputo conquistare da solo attraverso secoli innumeri, e che conferisce all'uomo portatore di essa, una nuova dignità e una nuova certezza del proprio valore.

Grandi umanisti, come PICO DELLA MIRANDOLA (1463-1494) e REUCHLIN (1455-1522) si danno con fervore allo studio della Cabbala giudaica e della mistica dei numeri. AGRIPPA DI NETTESHEIM si spinge fino ad attaccare la possibilità di una scienza razionale, volgendosi alle interpretazioni mistiche e alle arti magiche segrete dell'alchimia. Ed anche il matematico GIROLAMO CARDANO si mette a determinare con serietà le leggi di questi fatti, come pure contribuisce alla scienza astrologica con grandi trattati. D'altronde non bisogna dimenticare che proprio l'astrologia, e non l'astronomia, costituiva la carriera ufficiale degli astronomi, fino nel Seicento: astrologi ufficiali dell'imperatore tedesco furono TYCHO e KEPLERO. E se quest'ultimo alla fine della sua vita si lagnava delle meschinità dei quesiti su cui veniva sollecitato il suo responso, par certo tuttavia che il suo spirito pitagorico, maturato nel senso scientifico, non abbia mai cessato di credere ad una armonica influenza della vita degli astri su quella degli uomini, cui accenna nelle prime sue opere.

Chi voglia farsi un'idea dell'ambiente in cui si svolgeva la coltura ufficiale nel primo Seicento, lo troverà riprodotto in modo efficacissimo nel Don Ferrante del Manzoni, di cui nel cap. XXVII l'autore ci descrive gli studi e le idee, che si traducono nel celebre ragionamento sulla peste del cap. XXXVII: « *In rerum natura*, diceva, non ci son che due generi di cose, sostanze e accidenti, e se io provo che il contagio non può esser nè l'uno nè l'altro, avrò provato che non esiste, che è una chimera. E son qui. Le sostanze sono, o spirituali, o materiali... ».

Il ragionamento non è, come potrebbe sembrare, una caricatura, ma la parafrasi di un documento del tempo, cioè della « Lettera intorno alla pestilenza » di Claudio Achillini.

IATROCHIMICA. — Motivi astrologici e mistici influiscono — pur nel moto di liberazione dagli schemi scolastici — sopra gli

studi che concernono i fenomeni della vita o che presentano con questi apparenti analogie: nella Chimica e nella Medicina.

In tali campi si accresce comunque l'estensione delle conoscenze, per esempio in ordine alla struttura degli organismi viventi, come vedremo in seguito. Qui vogliam riferire, in breve, sui progressi della Chimica.

Accanto a coloro che proseguono la tradizionale ricerca degli alchimisti — trasmutazione dei metalli in oro, pietra filosofale — recano esperienze positive i tecnici dell'industria. BIRINGUCCIO ⁽¹⁾, chimico e tecnico della metallurgia, inizia questo movimento. Cresciuto fuori della cultura umanistica, egli osserva ed esperimenta col sano criterio pratico di un artista toscano, riferendo i risultati ottenuti senza aggiungervi interpretazioni o ipotesi (io vi espongo « quanto ho veduto, ed anche.... quanto ho operato e fatto operare »). AGRICOLA ⁽²⁾, filologo umanista e poi medico, ne raccoglie gli insegnamenti. Trovandosi in una delle più ricche regioni minerarie d'Europa, investiga i minerali e scrive, non solo un'opera tecnologica, sì anche i primi trattati classici di mineralogia e di geografia fisica.

Ma l'indirizzo più importante per lo sviluppo della Chimica è quello in cui le trasformazioni e combinazioni della materia sono studiate in rapporto ai processi della natura vivente e collo scopo di preparare rimedi per le malattie. Questa iatrochimica riceve impulso da un personaggio singolare, spirito turbolento di filosofo e di medico, quale fu PARACELSO.

Nato in Svizzera e più tardi (1527) professore a Basilea, Paracelso ⁽³⁾ venne a studiare in Italia, a Ferrara, e qui apprese i motivi della filosofia neo-platonica che elaborò in una forma di vitalismo, quale ricorre spesso, in maniera caratteristica, nella storia della cultura tedesca. Innovatore della scienza medica, che gli è debitrice d'importanti progressi, avversario delle dottrine scolasti-

⁽¹⁾ Vannuccio Biringuccio di Siena (1480-1539), autore del trattato « De la Pirotechnia », ed. Venezia, 1540. Rivendicato da A. Mieli.

⁽²⁾ Georg Bauer, sassone (1490-1555).

⁽³⁾ Teophrast Bombast von Hohenhain (Paracelsus), 1493-1541.

che, egli assegna alla Medicina lo studio della natura e delle sue leggi fisiche e cosmiche, da cui deve derivare la comprensione di fenomeni biologici. La sua biologia assume un *archeus*, cioè una forma vivente e operante nei singoli organismi. La sua chimica, in servizio, come si è detto, della farmaceutica, si riattacca alla tradizione degli alchimisti, scorgendo nella materia tre principii: « Ogni corpo consta di tre cose: zolfo, mercurio e sale; tutti i corpi le contengono in eguale maniera. Se esse non si presentano immediatamente alla vista in modo uniforme, pure si rivelano per l'arte che le isola e le rende visibili. Ciò che brucia è zolfo.... Ciò che va in fumo è mercurio. Nulla è sublimato fuori del mercurio. Ciò che si riduce in cenere è sale ».

I paracelsiani tentarono poi, in varie guise, di concretare questi principî in veri elementi corporei, mettendoli anche in relazione cogli elementi aristotelici.

La iatrochimica ebbe largo seguito nel secolo XVI e tocca la sua acme coll'olandese G. B. VAN HELMONT (1577-1644), umanista e filosofo mistico, che ha coltivato la teosofia e l'astrologia, la cabala e la magia, e si è volto alla medicina proprio per l'influenza di Paracelso. Il quale distingue, per la prima volta, i gas dall'aria, precorrendo così alla chimica *pneumatica* del secolo seguente. Si aggiunga che van Helmont — traverso una veduta mistica — riconduce tutte le forme della materia ad un principio vivente, « l'acqua », incontrandosi perciò nella concezione unitaria, cui — sotto l'ispirazione di una filosofia meccanica democritea — doveva accedere il rinnovatore della scienza chimica: ROBERTO BOYLE.

LE SCUOLE MEDICHE E L'ANATOMIA. — La scienza biologica del Rinascimento consegue i risultati più positivi nel campo della ricerca morfologica ed anatomica, che appartiene alla storia della medicina.

La medicina antica, conservata negli scritti pseudo-ippocratici e pseudo-galenici, trova un divulgatore nell'umanista PIETRO D'ABANO (1250-1315), discepolo dell'averroismo arabo e fortemente

sospetto d'empietà. Da lui prende origine la grande scuola dei medici padovani, celebri durante i secoli XIV e XV, alla quale appartiene anche GIACOMO DE' DONDI (m. nel 1350).

Altre scuole famose di medicina erano nel XIII secolo a Montpellier e a Salerno. Da Salerno specialmente ha origine, a quanto sembra, l'anatomia dimostrativa con GUGLIELMO DI SALICETO. Ma un progresso essenziale negli studi medici si compie a Bologna, quando MONDINO DE' LUZZI o LIUCCI (1275-1326), per la prima volta nel mondo cristiano comincia a sezionare i cadaveri umani, riprendendo così il metodo pratico d'osservazione dell'antica scuola alessandrina. Nella stessa Bologna TADDEO ALBEROTTI contribuisce al progresso della medicina pratica coi suoi *Consigli*.

Nelle Scuole mediche non si professava soltanto l'arte di curare le malattie, ma si speculava anche sulla vita e sulla natura dell'uomo con un ardimento protetto soltanto dal comodo schermo della « doppia verità ». Da questa scuola infatti doveva uscire più tardi PIETRO POMPONAZZI mantovano (1462-1525), insegnante alle Università di Bologna e di Padova, il quale professava non potersi dimostrare con la filosofia naturale l'immortalità dell'anima.

Contro il libero pensiero materialistico dei medici e dei filosofi, che prendono a maestro Averroé, si rivolge la polemica di FRANCESCO PETRARCA; nella quale convergono una istintiva antipatia per i medici, la preoccupazione di coscienza del cristiano, ed anche — come si è detto — una certa avversione nazionalistica per l'invadente cultura araba. Ma se i grandi medici arabi costituivano il suo principale bersaglio, non erano neppur risparmiati Ippocrate e Galeno. Tutto lo urtava nei medici: l'intima povertà del loro sapere, il loro empirismo camuffato di ciurmeria, il materialismo pedantesco, la sicumera: « Poco ci manca, diceva, che non si arrogino gli onori del trionfo: e invero li meritano, chè non ve n'è alcuno tra essi che non abbia ucciso almeno cinquemila uomini, numero che si soleva esigere per tali onori ».

Altrove racconta come quattro suoi amici veneziani (ed erano dell'aristocrazia) avessero intrapreso di convertirlo al materialismo averroistico, che era la dottrina di moda nell'intellettualità veneta,

e alla fine vi rinunciassero come ad impresa disperata, rassegnandosi a sentenziarlo « un brav'uomo di poche lettere ».

A prescindere dalle questioni teologiche, l'atteggiamento che gli spiriti della Rinascita assumevano contro l'averroismo italiano era giustificato dalla tendenza di quella filosofia ad irrigidirsi negli schemi di una scolastica negativa, che doveva proseguirsi infeconda fin nel Seicento.

Un nuovo elemento vivo è portato all'anatomia dall'osservazione artistica. Col rifiorire dello studio della natura, pittori e scultori del Quattrocento, volendo ritrarre nella loro realtà le linee e gli atteggiamenti del corpo umano, si volgono alla minuziosa descrizione dello scheletro e dei muscoli. Così l'arte concorre con la medicina a preparare la grande opera anatomica del Cinquecento.

Quest'opera si afferma nella scuola italiana col genio multiforme di ANDREA CESALPINO d'Arezzo (1519-1603) e con una schiera di osservatori profondi, tra i quali basterà nominare BARTOLOMEO EUSTACHIO, professore a Roma (m. nel 1574).

Ma il lavoro sistematico nel campo dell'anatomia è dovuto ad ANDREA VESALIO di Bruxelles (1514-1564) col suo grande trattato in sette libri: *De humani corporis fabrica*, pubblicato a Basilea nel 1543. Esso è corredato da tavole disegnate da un allievo del Tiziano. L'opera, del resto, si lega in gran parte all'ambiente della cultura italiana da cui sorge e in cui ha esercitato la più feconda influenza.

Ora la ricerca morfologica non si limita all'anatomia dell'uomo, e comparativamente degli animali, ma si volge anche allo sviluppo del pulcino nell'uovo col grande anatomico e chirurgo GIROLAMO FABRIZIO D'ACQUAPENDENTE (1537-1619): il suo *De formatione ovi* segna gl'inizi dell'embriologia, che tuttavia non potè costituirsi solidamente prima che il microscopio venisse in uso.

CIRCOLAZIONE DEL SANGUE. — D'altra parte l'osservazione anatomica prepara l'osservazione fisiologica, cui pure manca in quell'epoca il sussidio dei mezzi tecnici opportuni.

Le vivisezioni dei cani conducono REALDO COLOMBO (1559)

a constatare il circolo del sangue dal cuore ai vasi polmonari, correggendo l'errore galenico della permeabilità del setto che separa il cuore destro dal sinistro. Questa piccola circolazione è riconosciuta anche da MICHELE SERVETO, che, come libero pensatore, Calvino fece bruciar vivo a Ginevra nel 1553.

Si preludeva così ad una più grande scoperta. L'antico concetto statico dell'organismo, in cui il cuore è — secondo Aristotele — il centro dei nervi, doveva cedere alla veduta dinamica della grande circolazione del sangue, sospinto dalle pulsazioni del muscolo cardiaco per le arterie, e ricondotto al cuore dalle vene.

Come tutti i rinnovamenti d'idee che urtano inveterate abitudini mentali, anche questa scoperta fu lungamente preparata. Essa si affaccia dapprima nel CESALPINO che — dopo aver descritto la piccola circolazione — accenna al fuggire del sangue al cuore per le vene, sospinto dal proprio calore. Questo fatto viene anche illustrato dall'esperimento della legatura delle vene, che fa apparire una tumefazione nella parte più lontana dal cuore. C'erano dunque gli estremi di una dimostrazione, che rimase in parte annebbiata da errori d'osservazione e d'induzione e da oscurità d'idee. Il nostro anatomico non intese il meccanismo del muscolo cardiaco, ritenendo la sistole e la diastole del cuore come un fenomeno compensatore esercitantesi in casi patologici. È anche vero che le *Quaestiones medicae* del Cesalpino precedono di dieci anni il *De venarum ostioliis* di Fabrizio d'Acquapendente, ove sono illustrate le valvole delle vene.

Ad un giovane inglese venuto nel 1598 all'Università di Padova come scolaro del d'Acquapendente, toccò di trarre da questi elementi la conclusione, cioè la piena, chiara e definitiva dimostrazione del circolo del sangue. GUGLIELMO HARVEY (1578-1657), pur avendo appreso dai maestri italiani l'idea ispiratrice delle sue ricerche prima di tornare a Londra nel 1602, studiò lungamente il fenomeno nei suoi diversi aspetti per stabilirne compiutamente la prova e intenderne il giusto significato. Infatti egli comincia ad insegnare la circolazione del sangue al Collegio Reale soltanto nel 1619, e aspetta ancora dieci anni a pubblicare il suo celebre

« Saggio anatomico sul moto del cuore e del sangue negli animali », edito a Francoforte nel 1628.

Per i pregiudizi aristotelici che vi si opponevano, come per la novità del concetto, la scoperta della circolazione del sangue doveva incontrare le più forti opposizioni. Ciò avvenne meno nell'ambiente della coltura inglese che in quello francese. Divulgata quivi da DESCARTES, essa provoca i più fieri assalti degli accademici della Facoltà medica. Nel 1671 l'Università di Parigi presentò al Parlamento una petizione perchè venisse interdetta la filosofia cartesiana. La richiesta non fu accolta, ma in cambio si fece circolare un decreto burlesco redatto da Boileau :

« Vu par la Cour la requête.... contenant que depuis quelques années, une inconnue, nommée la Raison, aurait entrepris d'entrer par force dans les écoles de ladite Université, et se serait mise en état d'expulser Aristote, ancien et paisible possesseur desdites écoles. Que même... par une procédure nulle de toute nullité, elle aurait attribué audit coeur la charge de faire voiturer le sang par tout le corps, avec plein pouvoir d'y vaguer, errer et circuler impunément, n'ayant autre droit ni titre pour faire lesdites vexations que la seule expérience, dont le témoignage n'a jamais été reçu dans lesdites écoles.

La Cour

... enjoint au coeur de continuer d'être le principe des nerfs, et à toutes personnes... de le croire tel, nonobstant toute expérience au contraire. Fait défense au sang d'être plus vagabond, errer ni circuler dans le corps, sous peine d'être entièrement livré et abandonné à la Faculté de Médecine.

Et afin qu'à l'avenir il n'y soit contrevenu, a banni à perpétuité la Raison des écoles... lui fait défense d'y entrer, troubler ni inquiéter ledit Aristote, à peine d'être déclarée janséniste et amie des nouveautés ».

Queste polemiche, a mezzo secolo di distanza dalla pubblicazione di Harvey, precedono di poco il riconoscimento generale della circolazione, la cui teoria fu completata da MARCELLO MALPIGHI, bolognese (1628-1684), con la scoperta del modo come il sangue passa dalle arterie alle vene attraverso il sistema dei vasi capillari. Un secolo dopo, LAZZARO SPALLANZANI (1729-1799), primo legislatore della emodinamica, descriveva col microscopio il giro del sangue nei minimi vasi del pulcino, e ne stabiliva le leggi del moto.

STORIA NATURALE. — Lo sviluppo dell'anatomia nel Cinquecento, anche per i confronti che ne risultano fra le strutture di diversi animali, conduce a cercare una classificazione delle specie viventi. A volgere questo interesse nel campo della botanica conferiscono gli orti o giardini istituiti per raccogliere piante medicinali, nella prima metà del secolo a Padova ed a Pisa, poi a Leida nel 1577, a Lipsia nel 1580, ecc. Le prime ricerche sulla classificazione delle piante, ispirate dalla sistematica di Aristotele, conducono il nostro CESALPINO (1519-1603) a profonde osservazioni sul frutto e sui semi. Queste ricerche, proseguite poi a Tubinga da CAMERARIO (1665-1721), riescono alla grande classificazione di CARLO LINNEO, il celebre botanico svedese vissuto fra il 1707 e il 1778: la quale assume appunto come criterio d'ordinamento la struttura degli organi generativi delle piante.

Accanto alla botanica viene coltivata anche la zoologia, specialmente dallo svizzero CORRADO GESSNER (1516-1565) e dal bolognese ULISSE ALDROVANDI (1522-1605), che era anche botanico e geologo ad un tempo.

Il primo ha raccolto nella sua « Storia naturale » una grande quantità di osservazioni sulla configurazione esterna degli animali, sulle loro abitudini di vita, ecc. È notevole che l'autore ordini le varie specie osservate soltanto secondo l'alfabeto: la mancanza di un tentativo razionale di classificazione costituisce certo un regresso teorico di fronte ad Aristotele; e tuttavia prepara una valutazione più spregiudicata dei dati che condurranno a risolvere con nuovi criteri il problema classificatorio. In confronto a Gessner, Aldrovandi offre già una più profonda veduta della Zoologia, prendendo per base la struttura interna degli animali: si trovano in lui raffigurazioni dello scheletro, della muscolatura, ecc. Tutto ciò in evidente rapporto con gli studi della scuola anatomica. È pure caratteristica di Aldrovandi la tendenza ad emanciparsi dall'autorità degli antichi.

XXVIII.

Filosofia: Telesio, Bruno, Campanella.

I progressi della scienza nel Cinquecento — le antiche intuizioni rievocate dalla tradizione umanistica, e le idee nuove che si affacciano nei vari campi dell'osservazione e dell'esperienza — trovano la loro espressione caratteristica nella filosofia di alcuni pensatori dell'Italia meridionale. TELESIO, BRUNO e CAMPANELLA, presentando i più larghi orizzonti dischiusi dalle scoperte scientifiche contemporanee, tentano di fondare su queste una nuova concezione dell'universo assai diversa dalla tradizione aristotelica, nel senso pitagorico-democriteo.

TELESIO. — Bernardino Telesio (1508-1588), dopo avere compiuto larghi studi, particolarmente a Milano ed a Padova, insegnò a Napoli e fondò un'accademia a Cosenza, sua città nativa. Il soggiorno a Padova, centro dell'aristotelismo, segna per lui la rottura coll'Aristotele della scuola. Alla tendenza dei suoi predecessori sillogizzanti che pretendevano dedurre la scienza a priori, egli contrappone il metodo induttivo, basato sull'osservazione e sull'esperienza: precisamente quel metodo che doveva riprendere FRANCESCO BACONE.

L'opera principale di Telesio, il *De rerum natura...* già nel titolo richiama Lucrezio, rivelando così le simpatie dell'autore per il pensiero naturalistico degli antichi. Infatti vi si trovano molte idee degli ionici: per esempio nella costruzione del mondo egli fa agire due forze opposte, l'una attrattiva e l'altra repulsiva, sotto il

nome di Caldo e Freddo. Per verità, sono, queste, ipotesi poco fondate, che si allontanano dal principio metodico posto dallo stesso autore. Ma il tentativo, pure ingenuo, acquista importanza storica per ciò che al finalismo aristotelico sostituisce l'azione di cause naturali. Dove gli aristotelici parlavano di materia e di forma, la nuova filosofia introduce il concetto delle forze attive (*principia agentia*). Ciò sollevò grande rumore in tutta Italia; si organizzarono discussioni in cui le *forze* lottavano contro le *forme* e gli argomenti filosofici cedevano spesso il campo ad altri più ponderosi. La novità e l'interesse del pensiero di Telesio si manifesta pure in ciò che, sollevandosi contro la filosofia aristotelica dell'Italia settentrionale, non si accorda neppure coi neoplatonici dell'Accademia fiorentina. A questo ambiente apparteneva PATRIZZI che sottopose le idee di Telesio ad una critica acuta.

GIORDANO BRUNO. — Il rinnovamento spirituale iniziato da Telesio nel Mezzogiorno trova il più grande continuatore in FILIPPO BRUNO, nato a Nola nel 1548, ed entrato negli ordini a sedici anni col nome di GIORDANO. Il carattere di Giordano Bruno contrastava singolarmente con gli obblighi della vita monastica da lui prescelta. Facile a passare dall'entusiasmo all'abbattimento, dalle idee mistiche al dubbio critico, e in pari tempo natura espansiva e vigorosa che sente ad ogni momento il bisogno di esprimere con violenza il proprio stato d'animo, il giovane domenicano cadde presto in sospetto d'eresia; minacciato di detenzione, riparò a Roma, e di qui, abbandonato l'abito, fuggì a ventott'anni, iniziando una vita randagia e tribolata attraverso l'Europa. Non trovando posizione stabile nell'Italia settentrionale, riparò a Ginevra, ed ivi passò, a quanto pare, alla Chiesa fondata da Calvino. Ma la sua propaganda appassionata lo mise presto in lotta con la nuova setta. Allontanatosi da Ginevra, percorse la Francia insegnando a Tolosa ed a Parigi, ove esponeva l'*Ars magna* di Lullo. Egli è il primo ad avere esposto il suo pensiero filosofico in italiano. Fu anche in Inghilterra, ove le sue idee riformatrici furono ricevute, egli dice, « siccome perle gettate ai porci ». La consueta prosopopea gli suscitò antipatie all'Uni-

versità di Oxford, ove tuttavia potè esporre le sue idee psicologiche ed astronomiche. Dopo altre peregrinazioni in Francia, in Germania e in Svizzera, torna in Italia, a Venezia, nel 1591, invitato dal giovane Giovanni Mocenigo, il quale, più tardi, per ordine del suo confessore, lo denuncia all'inquisizione come eretico. Imprigionato nel 1592, Bruno è trasferito quindi a Roma; e qui, dopo otto anni di orrida prigionia, rifiutandosi costantemente di abiurare e sostenendo che la sua filosofia costituiva soltanto una libera interpretazione della vera dottrina cristiana, viene condannato il 9 febbraio 1600 dal Tribunale dell'Inquisizione. Degradato e scomunicato, fu consegnato al braccio secolare, con la consueta preghiera di punirlo « senza sparger sangue », che nella interpretazione ormai consacrata da una lunga consuetudine, voleva dire essere arso vivo. Il rogo fu innalzato in Campo dei Fiori a Roma il 17 febbraio 1600.

La filosofia che Bruno era andato predicando attraverso l'Europa, e che egli riteneva simbolicamente adombrata dalla dottrina cristiana, era l'espressione vigorosa, seppure oscura, di uno spirito mistico, in cui si agitavano idee democritee, pitagoriche, e neoplatoniche, scosse potentemente dalla nuova visione del mondo, dischiusa ai suoi occhi dal sistema copernicano. Bruno porta alle ultime conseguenze il principio di relatività di Copernico, demolendo quindi ciò che la rivoluzione copernicana non aveva toccato: l'immobilità delle cosiddette stelle fisse, supposte equidistanti da noi sopra una medesima sfera. Il paragone con le navi lontane, di cui non si avverte il moto e la differenza di distanza, rivela a Bruno che anche le stelle debbono essere mondi moventisi l'uno rispetto all'altro e diversamente lontani dal nostro. Quindi l'universo diventa agli occhi del filosofo nolano un insieme infinito di mondi che tuttavia egli vuol retti dalle medesime leggi « secondo il principio dell'indifferenza della natura ». Anche il peso assume per lui un significato relativo: i corpi debbono cadere alla superficie delle stelle e dei pianeti, così come cadono sopra la terra. In forma grandiosa, si veniva così a realizzare sopra una base più larga di osservazioni, la visione cosmica degli antichi ionici, da Anassimandro a Democrito. In particolare da Democrito e da Pitagora

Bruno riprende il concetto dell'atomo o monade, e con esso il criterio dell'importanza del numero nell'ordine cosmico.

Allargati così smisuratamente i confini dell'universo, quale diventa ora la posizione dell'uomo? In uno dei dialoghi, intitolato *Il Copernico*, Leopardi prospetta le conseguenze morali della rivoluzione copernicana, per cui l'umanità umiliata sa ormai di essere una quantità trascurabile nell'universo, e di nessun valore le sue speranze e le sue pene. Tutto il contrario è il sentimento di Bruno. Per lui, come per Leonardo, lo spirito si esalta quando dinanzi gli si schiude l'Infinito. Per Bruno questa esaltazione è sostenuta da una metafisica d'ispirazione neoplatonica, in cui il mondo come macrocosmo trova la sua rispondenza nel microcosmo dell'uomo; onde tanto più cresce l'uomo a sè stesso, quanto più si estende il dominio del suo pensiero. Tali sono gli alti motivi della speculazione di Giordano Bruno. Le intuizioni scientifiche e la visione del metodo razionale della scienza rimangono spesso nebulose nella sua mente, e per questo aspetto inferiori a quelle che andavano maturando in alcuni dei suoi contemporanei, massime in GALILEO GALILEI. Ma il sentimento mistico con cui anima la natura, e il soffio poetico che dà vita al sistema hanno trovato eco in un ambiente più largo: essi risuonano nel pensiero di filosofi come LEIBNIZ e SPINOZA e più tardi nella filosofia romantica del secolo XIX, che da Bruno riprende molti motivi d'ispirazione.

CAMPANELLA. — Giovanni CAMPANELLA, nato a Stilo in Calabria nel 1568, prese il nome di TOMMASO entrando a quattordici anni nell'ordine domenicano. Ben presto il suo anti-aristotelismo, non meno che la sua inclinazione per le scienze occulte, suscitavano contro di lui la diffidenza dei superiori. Caduto poi in sospetto per le sue idee comunistiche, così diffuse ovunque in quei tempi di fermento sociale, e che dovevano concretarsi nella sua « Città del Sole », non meno che per i pronostici che credeva poter trarre dai segni della natura, fu accusato d'eresia, poi anche di congiura contro l'autorità, e sottoposto a spaventose torture, fu tenuto in prigione durante ventisette anni. Delle pene sofferte e del suo invitto animo

recano testimonianza le lettere e le poesie, che sebbene spesso oscure e sforzate nella forma, sono fra le più belle della nostra lingua.

Finalmente, ottenuta la libertà, fu mandato a Roma donde riuscì a fuggire in Francia; qui, protetto dal Re, passò in pace gli ultimi anni, fino alla morte avvenuta nel 1639.

Come Bruno l'influenza di Copernico, così Campanella subisce l'influenza di GALILEO. Avendo adottato il programma telesiano, che la filosofia deve partire dall'esperienza, egli sostiene che le osservazioni di Galileo non possono esser confutate se non con altre osservazioni. Nel 1622 scrisse in prigione una apologia *pro Galilaeo*, che fu stampata a Francoforte con l'aiuto di un amico. In essa insiste che il libro della Natura e il libro della Rivelazione vanno spiegati secondo le loro regole rispettive, nel convincimento che finiranno per trovarsi d'accordo, se, come è naturale, si cerca nella Bibbia soltanto una descrizione delle apparenze sensibili, conforme al senso comune: lo stesso sosterrà più tardi SPINOZA nel *Trattato teologico-politico*. Ma dopo la condanna di Galileo, Campanella, da sincero cattolico qual era, s'inclinò alla sentenza.

La filosofia della Natura di Campanella si sviluppa, come quella di Bruno, in una metafisica penetrata d'idee religiose: l'azione reciproca delle cose riuscirebbe per lui incomprendibile, se queste non fossero animate; qui egli riprende e svolge con precisione gli argomenti di Telesio. In un punto delle sue riflessioni Campanella si accosta a CARTESIO, richiamando il motivo agostiniano della certezza immediata che l'io ha del proprio essere: ma la metafisica di Campanella, in cui è espressa questa teoria, comparve al pubblico un anno dopo il *Discorso sul metodo*.

XXIX.

Il sistema del mondo e la fondazione della meccanica.

GALILEO. — Al sistema copernicano sembrava opporre un ostacolo insormontabile la critica di Tycho Brahe; mancando un decisivo criterio meccanico e fisico, essa appariva come una pura ipotesi geometrica, cioè come un modo convenzionale di descrivere i fenomeni; il coraggio con cui il suo autore aveva trascurato gli argomenti contrari, « come il leone non tien conto del latrato dei cani », poteva ben suscitare più tardi l'ammirazione di Bruno, di Keplero e di Galileo, ma non bastava a fornire quella valida prova che soltanto Galileo stesso doveva dare penetrandone le ragioni meccaniche appena presentite da Copernico.

Infatti, se i corpi che compongono il sistema planetario sono pensati non più come semplici fuochi o entità luminose appartenenti alle sfere celesti, ma come masse in tutto simili alla terra, liberamente mobili nello spazio, sorge il problema di intendere come questo sistema di moti sia effettivamente possibile secondo le leggi meccaniche che regolano il moto dei corpi sopra la terra.

È ben vero che prima ancora di porre il problema in questo campo, il sistema di Copernico ha trovato nel secolo XVI fervidi apostoli quali BRUNO e KEPLERO, ma il consenso loro si fondava non tanto su solidi argomenti scientifici, quanto su ragioni estetiche e metafisiche: il senso della semplicità e dell'armonia della natura ispirava le convinzioni di questi spiriti magni; alle quali si poteva tuttavia contrapporre, e difatti si contrapponeva nella mente del

maggior numero, il consenso tradizionale, e più ancora l'autorità della fede, dietro cui si riparava il senso comune. A Galileo spetta la gloria di aver creato quella forma di pensiero scientifico che è alla base della nostra concezione del Cosmo.

GALILEO GALILEI nacque a Pisa da Vincenzo Galilei, patrio fiorentino e noto musicista, il 18 febbraio 1564; il giorno stesso in cui moriva Michelangelo. Studiò medicina in quella università e si rivolse quindi alla filosofia, che comprendeva allora la fisica, e alle matematiche. A diciannov'anni, osservando, a quanto si dice, il moto del lampadario del Duomo di Pisa, scopriva l'isocronismo delle piccole oscillazioni del pendolo, che verificò accuratamente confrontandole col battito del polso; questo isocronismo gli fornì poi un modo esatto per la misura del tempo.

Ben presto rivolse la sua attenzione allo studio della caduta dei gravi, la cui teoria non cessò di preoccuparlo fino all'estremo della sua vita: le sue esperienze giovanili forniscono la prima prova della tesi sostenuta da G. B. BENEDETTI ⁽¹⁾, che corpi di diverso peso cadono con la medesima velocità anzichè assumere velocità proporzionali ai pesi, come voleva la dottrina aristotelica. Nominato a venticinque anni, per la raccomandazione di GUIDUBALDO DEL MONTE, professore di matematica all'università di Pisa, Galileo lasciò la cattedra tre anni dopo, per sfuggire alle vessazioni degli aristotelici; ottenne quindi una cattedra a Padova, ove rimase diciotto anni: ch'egli ebbe a dire i migliori della sua vita. Questa è infatti per lui un'epoca di brillanti scoperte, nella piena maturità della sua intelligenza scientifica. Alle sue lezioni, ispirate ad un entusiasmo comunicativo, accorrevano cospicui stranieri fra cui Gustavo Adolfo di Svezia, e nobili signori di Venezia e di Padova; la più eletta società lo ricercava come suo ornamento. La maggior popolarità venne a Galileo dalla costruzione del cannocchiale nel 1609; i veneziani salirono in folla il campanile di San Marco per avvistare le navi lontane, le cui dimensioni parevano centuplicate.

(¹) G. B. Benedetti (1530-1590) veneziano, matematico del duca di Savoia.

Il cannocchiale rivolto da Galileo verso il cielo gli permise di scoprire le montagne della Luna, le fasi di Venere, i quattro satelliti di Giove, l'anello di Saturno, e l'infinità di stelle di cui si compone la Via Lattea.

Alcune di queste scoperte, in particolare l'esistenza di nuovi pianeti (i satelliti di Giove) urtavano l'opinione degli scolastici. « Non ci sono che sette metalli, si obiettava, il gran candeliere del Tempio aveva sette braccia, la testa ha sette aperture, come dunque potrebbero esservi più che sette pianeti? » Pitagorismo questo ben diverso da quello che voleva far rivivere Galileo (1).

Anche maggiore opposizione sollevò la scoperta delle macchie solari, che Galileo fece in un viaggio a Roma nel 1611, e che indipendentemente da lui, fu fatta, press'a poco nello stesso tempo, da GIOVANNI FABRICIO e dal gesuita T. SCHEINER, di Galileo divenuto poi acerrimo nemico (2). Il fatto contraddiceva alla dottrina aristotelica della incorruttibilità dei cieli e della perfezione dei corpi celesti. Il Cremonini, luminare dei peripatetici e decoro dell'università di Padova, si rifiutava scandalizzato di guardare nel cannocchiale, e il padre provinciale dei gesuiti diceva al padre Scheiner: « Figlio mio, ho passato tutta la notte a guardare se vi sian macchie nel sole: non può essere, vi assicuro che Aristotele non ne fa menzione ».

A quarantasei anni, attratto dall'invito del Granduca, Galileo lascia Padova, per recarsi a Firenze in qualità di matematico e filosofo di Ferdinando II. Soltanto allora, incoraggiato dai suoi successi e dalla familiarità della Corte, osa propugnare in private conversazioni il sistema copernicano, in favore del quale si era pronunziato riservatamente in una lettera a Keplero del 1597, e di cui ormai comprendeva le più profonde ragioni. Cominciarono quindi gli attacchi dei gesuiti e dei domenicani che divennero più minacciosi in seguito ad alcune lettere di Galileo, volte a sostenere i diritti della ragione scientifica, e la sconvenienza di ricorrere alla

(1) Cfr. in proposito le riflessioni sul vero senso della filosofia numerica, nella prima giornata del *Dialogo sui massimi sistemi*.

(2) *De maculis in sole visis*.... Wittemberg, giugno 1611.

Sacra Scrittura in tali argomenti. Le ragioni di Galileo sono espresse nella forma più compiuta nella lettera a Madama Cristina, Granduchessa Madre di Toscana, del 1615.

Consigliato a difendersi, Galileo andò a Roma, ove ebbe festose accoglienze, ma fu ammonito a non occuparsi della questione copernicana. Il grande astronomo si volse infatti ad altri argomenti, pur seguendo a polemizzare cogli aristotelici, ad esempio nel *Saggiatore*. Tuttavia il suo spirito tenace non perdeva di vista la verità di cui era convinto, e che sentiva il bisogno di propagare. Essendo riuscito a organizzare i principî matematici della meccanica (che dovevano apparire nella sua ultima opera *Discorsi e dimostrazioni sopra due nuove scienze*) e affidandosi alla benevolenza mostratagli da papa Urbano VIII, Galileo nel 1632 si decise a pubblicare il celebre *Dialogo su i due massimi sistemi del mondo*; modello classico inimitabile di esposizione scientifica e di attica urbanità.

Tre interlocutori, Sagredo, Salviati e Simplicio discutono le ragioni dei sistemi copernicano e tolemaico: il giudizio resta apparentemente sospeso, anzi l'autore ha avuto la prudenza di mandare innanzi al dialogo un proemio che tendeva evidentemente a disarmare gli oppositori, e riesce di una fine e pungente ironia:

« Si promulgò negli anni passati in Roma un salutare editto che, per ovviare a' pericolosi scandali dell'età presente, imponeva opportuno silenzio all'opinione pitagorica della mobilità della Terra. Non mancò chi temerariamente asserì quel decreto essere stato parto, non di giudiziooso esame, ma di passione troppo poco informata; e si udirono querele, che consultori totalmente inesperti delle osservazioni astronomiche, non dovevano con proibizione repentina tarpar l'ale agl'intelletti speculativi. Non potè tacer il mio zelo in udire la temerità di sì fatti lamenti.... Per tanto è mio consiglio nella presente fatica mostrare alle nazioni forestiere, che di questa materia se ne sa tanto in Italia e particolarmente in Roma, quanto possa mai averne imaginato la diligenza oltramontana; e raccogliendo insieme tutte le speculazioni proprie intorno al sistema copernicano, far sapere che precedette la notizia di tutte alla censura romana; e che escono da questo clima non solo i dogmi per la salute dell'anima, ma ancora gl'ingegnosi trovati per le delizie degl'ingegni ».

Ma anche qui l'incorreggibile toscano trova modo d'inserire una punta polemica: si combatterà, dice, « non la fermezza della

Terra assolutamente, ma secondo che si difende da alcuni che, di professione Peripatetici, ne ritengono solo il nome, contenti, senza passeggio, di adorar l'ombra, non filosofando con l'avvertenza propria, ma con solo la memoria di quattro principî malintesi ».

Roma non si lasciò distogliere dalla linea di difesa che fin dal principio della Controriforma si era proposta: lo stesso pontefice, forse anche irritato dal riconoscere le proprie opinioni nella bocca del ridicolo Simplicio, abbandonò Galileo al Tribunale dell'Inquisizione, presieduto dal Cardinal Bellarmino. Il grande astronomo, chiamato a Roma, dovette costituirsi prigioniero. La ferrea logica di quell'Autorità, che non può lasciare altri giudice del vero, noncurante delle pressioni mondane e politiche esercitate da ogni parte a favore di Galileo, condusse il tribunale ad una condanna che solo il contegno remissivo dell'accusato potè mitigare nelle conseguenze. Il 22 giugno 1633, il vecchio glorioso, che già aveva invocato pietà per i suoi settant'anni, inginocchiato in camicia davanti ai suoi giudici, nella chiesa domenicana di S. Maria sopra Minerva, udì la sua sentenza e dovette pronunziare la formula impostagli d'abiura:

« Io, Galileo Galilei..... inginocchiato avanti di voi Emin.mi e Rev.mi Cardinali, in tutta la Repubblica Christiana contro l'heretica pravità generali Inquisitori; havendo davanti agl'occhi miei i sacrosanti Vangeli, quali tocco con le proprie mani, giuro che sempre ho creduto, credo adesso, e con l'aiuto di Dio crederò per l'avvenire, tutto quello che tiene, predica e insegna la S.^a Cattolica et Apostolica Chiesa. Ma perchè da questo S.^o Officio, per haver io, dopo d'essermi stato con precetto dell'istesso giuridicamente intimato che omninamente dovessi lasciar la falsa opinione che il sole sia centro del mondo e che non si muova e che la terra sia centro del mondo e che si muova, e che non potessi tenere, difendere nè insegnare in qualsivoglia modo, nè in voce nè in scritto, la detta falsa dottrina, e dopo d'essermi notificato che detta dottrina è contraria alla Sacra Scrittura, scritto e dato alle stampe un libro nel quale tratto l'istessa dottrina già dannata et apporto ragioni con molta efficacia a favor di essa, senza apportar alcuna solutione, sono stato giudicato vehementemente sospetto d'heresia, cioè d'aver tenuto e creduto che il sole sia centro del mondo et immobile e che la terra non sia centro e che si muova;

Pertanto, volendo io levar dalla mente delle Eminenze V.^o e d'ogni fedel Christiano questa vehemente sospitione, giustamente di me conce-

puta, con cuor sincero e fede non finta abiuro, maledico e detesto li suddetti errori et heresie.... e giuro che per l'avvenire non dirò mai più nè asserirò cose tali per le quali si possa haver di me simil sospitione; ma se conoscerò alcun heretico o che sia sospetto d'heresia, lo denonzierò a questo S.^o Offitio »).

La condanna del Santo Uffizio portava che Galileo dovesse rimanere in prigione per un tempo indeterminato; e fu somma clemenza che gli fosse poi concesso di ritirarsi nel suo podere di Arcetri, con la proibizione di discendere a Firenze e di tenere adunate di amici.

Gli ultimi anni di Galileo passarono così nell'amara tristezza dell'isolamento e del rammarico d'aver dovuto rinnegare il proprio convincimento; resi più gravi dalla morte dell'amata figlia Suor Maria Celeste, e dalla perdita della vista. « Ahimè, signor mio, scriveva egli a Diodati il 2 gennaio 1638, il Galileo, vostro caro amico e servitore, è fatto irreparabilmente da un mese in qua del tutto cieco. Or pensi V. S. in quale afflizione io mi ritrovo, mentre che vo considerando che quel cielo, quel mondo e quello universo che io con mie maravigliose osservazioni e chiare dimostrazioni avevo ampliato per cento e mille volte più del comunemente veduto da' sapienti di tutti i secoli passati, ora per me s'è sì diminuito e ristretto, ch'è non è maggiore di quel che occupa la persona mia »).

Durò ancora quattr'anni: e dal peso di vivere fu liberato a 78 anni, l'8 gennaio 1642.

Frattanto i « Dialoghi », la cui lettura rimaneva proibita nei paesi cattolici, venivano tanto più letti e popolarizzati nei paesi protestanti, e con essi lo spirito di Galileo si diffondeva nel mondo.

COSTRUZIONE DELLA DINAMICA. — La lotta che Galileo ha dovuto sostenere tutta la vita contro l'aristotelismo non è soltanto lotta esterna contro ciechi seguaci di quella autorità, sì anche lotta combattuta entro il proprio spirito per liberarsi da una forma di pensiero trasmessagli dalla tradizione e dall'insegnamento. Chi mediti attentamente le opere di lui e, attraverso queste, lo sviluppo delle sue idee sulla dinamica, dagli scritti giovanili fino a

quelli della maturità, non può sfuggire ad una profonda impressione: Galileo ha studiato lungamente Aristotele; se qualche notizia egli ha avuto dei tentativi dei suoi precursori, contenuti per lo più in discussioni e commenti al testo dello Stagirita, certo da tali commenti è risalito alla dottrina del Maestro; la quale egli stesso comincia dal commentare e poi a grado a grado è condotto a correggere e confutare. Gli argomenti a ciò gli vengono forniti dallo stesso Aristotele, specialmente dalle critiche che questi rivolge alle opinioni di Democrito, cui Galileo singolarmente si accosta. Degna di rilievo è la circostanza che il linguaggio aristotelico — qualità positive e privative, ecc. — s'incontra ancora nei primi scritti di Galileo, ove pure è confutata la teoria del moto dei proiettili dello Stagirita, accogliendosi l'ipotesi dell'impeto d'Ipparco. Il bel parlare galileiano si affranca solo più tardi dall'espressione scolastica, per divenire il nuovo modello della chiara lingua scientifica.

Ricreare lo spirito democriteo e ripensarlo come cosa viva, non era possibile al tempo di Galileo, se non a condizione di superare Democrito e di fare della sua filosofia una scienza di tanto più ricca, di quanto le esigenze dei problemi moderni superano le antiche. Così la legge d'inerzia, o più concretamente la costanza della velocità iniziale e la sua composizione con quella comunicata al mobile dalle forze che agiscono nel campo, appare implicata nella piena intelligenza del sistema copernicano: anzitutto nel senso che, grazie ad essa soltanto, le leggi del moto sopra la Terra diventano intelligibili. E poi anche in un secondo senso, perchè spiegano il continuarsi indefinito della rivoluzione della Terra e dei pianeti, attorno al Sole. Ma tale veduta esige un'analisi approfondita dei moti circolari: la quale, con HUYGENS metterà in evidenza la forza centrifuga, e quindi, con NEWTON, la forza centripeta, attrattiva, pur presentita da Copernico. La conclusione precisa di questo sviluppo — la teoria newtoniana — richiede d'altronde che sieno determinate esattamente le orbite planetarie, che Copernico — secondo gli antichi principî pitagorici — presumeva circolari, e che KEPLERO doveva riconoscere ellittiche. Così l'in-

telligenza del sistema copernicano, come sistema del mondo, porta con sè il riconoscimento dei principî fondamentali della dinamica, scienza del moto che deve comprendere egualmente le leggi dei moti terrestri e dei celesti.

In tale costruzione qual è precisamente il contributo di Galileo ?

Ciò ch'egli ha dato alla scienza, in questo campo, si riassume così :

1°) Galileo ha distrutto definitivamente il pregiudizio aristotelico di una distinzione fra la fisica del mondo sublunare, luogo della materia corruttibile, e la fisica dei cieli incorruttibili: le osservazioni, col telescopio, delle montagne nella luna e delle macchie solari, hanno confermato in questo punto l'intuizione razionalistica, già presentita da alcuni dei precursori di Galileo, che consapevolmente si riattaccano ai più antichi filosofi greci.

2°) Col cannocchiale Galileo ha potuto scoprire le fasi di Venere confermando così le prove geometriche date da Copernico.

3°) Egli ha corretto, d'altra parte, la stima esagerata che Tycho faceva del diametro apparente delle stelle (1).

4°) Ma, soprattutto, Galileo ha fondato la dinamica terrestre, dimostrando esattamente le leggi della caduta dei gravi. Le quali esprimono di fatto le leggi generali del moto, sia pure enunciate per un particolare campo di forze (il campo delle forze parallele e di grandezza costante, che si ha alla superficie della terra).

Invero le leggi di Galileo contengono:

a) il principio d'inerzia, meglio ancora che nella formula astratta, nel suo proprio significato già innanzi rilevato: costanza e composizione della velocità iniziale del mobile con quella che consegue dall'azione delle forze;

b) nella caduta dei gravi (comunque dotati d'una velocità impressa) la forza misura, non la velocità, ma l'incremento di essa, cioè l'accelerazione: onde la conseguenza che le velocità acquisite nella caduta sono proporzionali ai tempi;

c) le velocità acquisite da gravi diversi sono sempre uguali,

(1) *Opere*, VI, pag. 532.

come già aveva riconosciuto il Benedetti. Perciò le forze di gravità devono agire in ragion diretta della « quantità di materia »: qui s'introduce il postulato d'una materia qualitativamente identica, secondo la critica sviluppata ne « Il Saggiatore »;

d) infine Galileo risale dalle velocità acquisite dai gravi cadenti agli spazi percorsi (nel senso della caduta) e dimostra che questi sono proporzionali ai quadrati dei tempi.

Quest'ultima deduzione, che importa una vera integrazione eseguita sotto forma geometrica, implica i primi concetti dell'*Analisi infinitesimale*, come diremo più avanti.

KEPLERO. — Mentre Galileo approfondiva le ragioni dinamiche dell'ipotesi copernicana, un altro grande matematico ed astronomo riusciva a compiere il sistema sotto l'aspetto geometrico, descrivendo esattamente le orbite dei pianeti. Questa fu l'opera di Keplero.

GIOVANNI KEPLERO, nato nel Württemberg nel 1571, compì i suoi studi a Tubinga; a ventitrè anni era professore di matematica all'università di Graz. Ma, trovandosi protestante in ambiente cattolico, e non volendo venire a transazioni perchè, dice, professava « la religione come una cosa seria », fu costretto a lasciare la cattedra e il paese. Nella miseria lo soccorse Tycho Brahe, di cui divenne collaboratore e a cui successe come astronomo dell'imperatore Rodolfo II: e questo ufficio, a cui non sempre s'accompagnava un regolare stipendio, continuò ad occupare presso gli imperatori Mattia e Ferdinando II.

Keplero era uno spirito mistico e speculativo ad un tempo, e fu ventura per lui ritrovarsi a lato d'un osservatore come Tycho. A ventiquattr'anni, fieramente dominato dalle idee pitagoriche, aveva già adottato il sistema copernicano, e intraprendeva di spiegare l'armonia dell'universo, paragonando le dimensioni dei cieli e i loro moti ai cinque poliedri regolari. Questo è il Tema del *Mysterium cosmographicum*. Se ad un poliedro regolare si circoscrive una sfera, a questa un altro poliedro regolare, e così via, facendo una scelta conveniente dei poliedri, si ottiene una serie di sfere i cui

raggi riescono press'a poco proporzionali alle distanze dei pianeti, secondo i valori attribuiti loro da Copernico. Il tentativo non è dunque così fantastico come è stato giudicato più tardi: anzi costituisce un precedente storico alla scoperta della cosiddetta *legge di Bode*. Vi s'incontra poi l'idea di un rapporto fra la grandezza dell'orbita dei pianeti e la durata del periodo di rivoluzione, che Keplero doveva formulare ventidue anni dopo nella sua *terza legge*.

Il criterio della prima ricerca di Keplero resta in certo modo tipico del suo metodo di scoperta: dotato di una potente fantasia matematica, egli pone *a priori* un'ipotesi, e si prova a verificarla con l'osservazione. Così procede nella determinazione delle orbite planetarie, che costituisce il suo grande lavoro durante diciannove anni.

Copernico, pur facendo muovere la Terra insieme ai pianeti, non si discostava dal criterio pitagorico-tolemaico, di comporre le orbite per mezzo di moti circolari uniformi: le orbite planetarie sono cerchi, il cui centro si muove, descrivendo un piccolo cerchio (deferente) intorno al Sole. Con ciò non è eliminata la complicazione degli epicicli di Tolomeo; inoltre si va incontro, come abbiamo detto parlando dei Greci, alla difficoltà di supporre il moto della Terra e dei corpi celesti intorno a un centro geometrico vuoto, ciò che urta un'istintiva intuizione dinamica.

Keplero si accorse anzitutto che il nodo nel quale concorrono secondo Tycho (ed anche secondo Copernico) i piani delle orbite dei pianeti, deve essere lo stesso centro del Sole. Qui, egli scorgeva una conferma dell'idea copernicana, venendo attribuita naturalmente al Sole la causa dei moti planetari.

Ora, guidato dal principio della semplicità della natura, Keplero modificò l'ipotesi copernicana, ammettendo dapprima che le orbite planetarie sieno senz'altro cerchi di centro fisso (anzichè epicicloidali risultanti dalla composizione di due moti circolari). Tuttavia le osservazioni non gli consentivano di collocare il Sole esattamente nel centro. Perciò diveniva anche naturale che il moto del pianeta sul proprio cerchio non fosse uniforme, ma avendo la sua ragione nel Sole, si accelerasse col diminuire della distanza

di questo: Keplero precisò l'ipotesi col noto espediente tolemaico ritenendo che il pianeta descriva in tempi uguali, non archi uguali, bensì archi veduti secondo angoli uguali da un certo punto fisso detto *equante*: almeno in prima approssimazione si poteva collocare l'equante nel punto simmetrico del sole rispetto al centro del cerchio.

Ammesso che in tal modo proceda il moto della Terra, centro mobile delle nostre osservazioni, diventava possibile tradurre le osservazioni di Tycho in un diagramma dove l'orbita di un qualsiasi pianeta venga figurata per punti. Questo lavoro Keplero intraprese per Marte.

La costruzione effettiva di un tale diagramma importa la soluzione di un problema difficile, in cui Keplero introduce un'idea veramente geniale. Egli immagina di aver fissato sulla volta celeste un punto fisso M : segnate le posizioni del Sole S . e della Terra T . sopra la sua orbita circolare, di cui il raggio viene preso come unità, si può misurare la distanza SM , quando si determini il rapporto ST/SM . Perciò basta conoscere gli angoli del triangolo STM , uno dei quali è dato dall'osservazione diretta di S ed M da T , e l'altro, TSM , risulta dalla conoscenza del moto di T sul proprio cerchio. Per aver un punto rispondente ai requisiti di M , Keplero si valse dello stesso Marte considerato nei tempi multipli del suo periodo di rivoluzione T , quando esso riassume la stessa posizione nel cielo.

Dalle osservazioni di Tycho risultava non solo il tempo periodico T , ma anche la possibilità di determinare alcuni punti analoghi ad M , che apparterranno al diagramma rappresentativo dell'orbita di Marte; si cercherà poi di collegare le altre posizioni osservate di Marte al cerchio definito da quei punti.

Ma i punti del diagramma non stavano sopra un cerchio! L'orbita di Marte non poteva essere una circonferenza, comunque eccentrica. « La Bontà divina, diceva Keplero, ci ha dato in Tycho un osservatore così esatto, che un errore di otto minuti non è ammissibile »).

La ricerca della curva descritta assillò Keplero per nove anni quasi fino alla follia. Egli provò successivamente diciannove curve, fermandosi un momento all'ovale di Cassini (luogo dei punti per cui il prodotto delle distanze da due fuochi riesce costante). In ultimo si sovvenne degli studi di Apollonio sulle coniche: l'orbita cercata è semplicemente un'ellisse. E la *prima legge* di Keplero, estesa poi agli altri pianeti, dice appunto che le orbite planetari

sono ellissi, di cui il Sole occupa uno dei fuochi. La *seconda legge* non è che la trasformazione dell'ipotesi dell'equante: le aree descritte dal raggio vettore che va dal Sole a un pianeta sono proporzionali ai tempi. Nel 1609 Keplero annunziava questa grande scoperta all'Imperatore: « Presento finalmente alla vista di tutti un prigioniero illustre, che ho fatto in una guerra difficile e laboriosa, da lungo tempo intrapresa sotto i vostri auspicî.... »

« La cattura di Marte, legato dalle catene del calcolo al carro trionfale dell'astronomia, esige la continuazione della guerra, perchè Giove, Saturno, Venere e Mercurio, tutti membri della sua famiglia, siano mandati a tenergli compagnia ». E Keplero finisce supplicando Sua Maestà di ordinare ai tesoriери di pensare al « nerbo della guerra ».

Altri nove anni dovevano scorrere, prima che Keplero scoprisse la *terza legge*, in cui vien data forma al presentimento del *Mysterium*: nelle rivoluzioni dei pianeti i quadrati dei tempi periodici sono proporzionali ai cubi degli assi maggiori delle orbite. In questa legge, che costituisce il punto capitale dell'*Harmonices Mundi* (1619), Keplero vedeva espressa l'armonia dell'Universo, ch'egli concepiva con mentalità pitagorica, mescolando alla grande intuizione geometrica strane fantasticherie ed effusioni liriche. La bellezza della scoperta suscita in lui uno sconfinato entusiasmo: « Il dado è tratto, e scrivo il mio libro; sarà letto dall'età presente o dalla posterità, poco importa; potrà ben attendere il suo lettore, cent'anni, poichè Dio ha atteso seimil'anni un contemplatore della sua opera ».

NEWTON. — Le tre leggi di Keplero dovevano presto fondersi colle leggi di Galileo della caduta dei gravi, nella sintesi della gravitazione universale: che è opera di Newton.

ISACCO NEWTON è nato a Woolsthorpe presso Nottingham, nella contea di Lincoln, il 25 dicembre del 1642, equivalente al 4 gennaio del nostro calendario riformato, che a quell'epoca non era ancora usitato in Inghilterra, e perciò quasi un anno dopo la morte di Galileo. A ventidue anni ottenne il titolo di « fellow » (mem-

bro o socio) dell'Università di Cambridge, divenendo poi *Magister artium* (1667) e — nel 1669 — « professore lucasiano » di Matematiche al posto vacato per lui dal suo maestro BARROW, di cui avremo a nominare la parte avuta nello sviluppo dell'analisi infinitesimale; tre anni dopo divenne membro della Società Reale di Londra da poco tempo fondata, della quale fu poi presidente.

L'attività scientifica del Nostro si è esplicata soprattutto nel campo delle Matematiche, dell'Astronomia e dell'Ottica; i suoi lavori sperimentali nella Chimica, e in altri rami della Fisica, ebbero minore risalto.

In ciascuno dei tre campi menzionati sopra egli ha lasciato una grandiosa impronta: l'Analisi infinitesimale riconosce in lui uno dei suoi fondatori, se non il fondatore esclusivo; l'Astronomia gli deve la teoria della gravitazione universale che è anche una sistemazione della Dinamica; l'Ottica ha ricevuto da Newton, oltre la scoperta dell'analisi della luce mediante lo spettro, una teoria della propagazione della luce basata sull'*ipotesi dell'emissione*, che se pure ha dovuto soccombere di fronte alla *teoria dell'ondulazione di Huygens*, resta sempre piena d'interesse e feconda d'insegnamento.

La fama di Newton salì ad alto grado dopo la pubblicazione dei « *Philosophiae naturalis principia mathematica* » in cui viene esposta la dottrina della gravitazione ⁽¹⁾. Essa gli valse di esser chiamato a dirigere l'ufficio della zecca con un lauto stipendio. Ebbe anche un seggio nella Camera dei Comuni.

La storia della scoperta della gravitazione universale dimostra quanto Newton fosse riservato e prudente nelle sue affermazioni; temperamento calmo, riflessivo, apparentemente freddo, anche un po' orgoglioso, non si abbandonava certo ai voli lirici di Keplero. Il sentimento di modestia di cui ci si sente penetrati dinanzi all'armonia infinita del cosmo, è bene espresso dalle parole in cui

(1) Cfr. I. NEWTON: *I principii di filosofia naturale. Teoria della gravitazione*. Con note critiche sulla storia della meccanica di F. Enriques e U. Forti, 1925 (Bologna, Zanichelli).

Newton si paragona ad « un fanciullo intento a raccogliere conchiglie brillanti e sassolini levigati sulla spiaggia del mare, mentre l'oceano della verità si stende inesplorato dinnanzi a lui ». La reverenza con cui Newton si accosta alla natura come a qualcosa di amato, rivela pure il suo spirito profondamente religioso. « Questa mirabile compagine del Sole, dei pianeti e delle comete, dice nello *Scolio Generale* che chiude i *Principia*, non avrebbe potuto essere senza consiglio e volere di un Essere intelligente e potente. E se le stelle fisse sono centri di sistemi simili, tutti questi sistemi costruiti sopra un tale disegno debbono essere sottoposti ad un unico impero: infatti la luce delle stelle fisse è della stessa natura di quella del Sole, e questa luce tutti i sistemi si scambiano a vicenda ».

Lo scopritore del sistema del mondo morì a Londra a 85 anni nel 1727. Sulla sua tomba, nella storica abbazia di Westminster, si legge:

Sibi gratulantur Mortales talem tantumque exstitisse
Humani generis decus.

LA GRAVITAZIONE UNIVERSALE. — Una leggenda, lanciata o accreditata da Voltaire, che esprime l'istintivo bisogno degli uomini di drammatizzare la storia della scienza, figurandola come una serie di lampi improvvisi del genio umano, vuole che l'idea della gravitazione sia venuta a Newton dalla caduta d'una mela staccatasi da un albero: egli si domandò che cosa sarebbe accaduto se la mela fosse stata lanciata dalla vetta di un albero alto quanto la luna. Ma nessuna grande idea esce dalla mente del suo scopritore come Minerva armata dal cervello di Giove. E la gravitazione non si sottrae a questo principio di continuità storica.

Copernico esprime esplicitamente il concetto d'un'attrazione tra i corpi celesti ⁽¹⁾: « La gravità è un'attrazione dei corpi e tende alla loro unione... Se due pietre fossero poste vicine in qualche luogo del mondo, fuori dell'azione di altri corpi, esse, a somiglianza

(¹) *Opere*, III, 151.

di due magneti, si riunirebbero in un luogo intermedio, percorrendo intervalli in ragione inversa della loro massa. Se la Luna e la Terra non fossero ritenute da qualche forza animale o da altra equivalente... la Terra ascenderebbe verso la Luna, percorrendo la cinquantaquattresima parte dell'intervallo, e la Luna discenderebbe verso la Terra ». L'attrazione del Sole sui pianeti abbiám pur visto figurare nella costruzione delle ipotesi che dirigono la ricerca di Keplero.

D'altra parte non erano dimenticate le antiche speculazioni dei filosofi greci, quali Anassagora e Democrito, tendenti a spiegare il peso dei corpi sulla Terra come caso particolare d'una più generale gravitazione: della quale si cercava in varii modi la causa meccanica.

Un'eco di tali speculazioni si ha nella famosa teoria dei vortici di DESCARTES, ripresa poi e sviluppata in chiari termini scientifici, da HUYGENS, anche in contrasto colla teoria di Newton. L'idea fondamentale consiste nell'immaginare la Terra e i corpi celesti circondati da una sottile materia rotante: la rotazione crea un campo di forze centrifughe, che in certe condizioni spingono fuori la parte più sottile e fanno convergere l'una verso l'altra e verso il centro le parti pesanti. Huygens, facendo l'esperimento con l'acqua, osservò che vortici simili si creano per arresto brusco del recipiente: e cercò di immaginare un meccanismo corrispondente per l'etere.

Spiegazioni di questo genere rispondevano ad un ideale scientifico assai più ambizioso di quello realizzato dalla dottrina newtoniana: si volevano bandire le cosiddette *qualità occulte*, cioè ridurre tutte le ragioni dei fenomeni alle proprietà intuitive d'una materia estesa, qualitativamente indifferenziata. Appunto come qualità occulta appariva l'attrazione, poichè essa non risulta dal semplice concetto della materia geometrica. Ma di ciò più oltre. Qui basti aver accennato ad un ordine d'idee che creava un ostacolo pregiudiziale alla via percorsa da Newton.

Pure il tentativo cartesiano recava un indiretto aiuto al progresso della scienza, ponendo il problema della *forza centrifuga*, che fu trattato da Huygens: la forza centrifuga è proporzionale al quadrato della velocità, e rivolta secondo il raggio verso l'esterno della traiettoria. Che per mantenere il mobile nella sua orbita, a codesta

forza debba rispondere una forza centripeta o attrattiva, diretta verso il centro, uno scolaro di Galileo, GIOVANNI ALFONSO BORELLI, nel 1666 aveva già osservato, con riferimento al caso dei pianeti. Gli studi di Huygens sulla forza centrifuga sono stati pubblicati nel 1674, mentre Newton fino dal 1666 aveva visto che la Terra, nel caso di orbite circolari, viene sollecitata da una forza attrattiva del Sole in ragione inversa del quadrato della distanza.

Ora, si affacciava un duplice problema: 1°) trovare la legge matematica dell'attrazione capace di causare il moto ellittico dei pianeti; 2°) e riconoscere che codesta forza attrattiva non è altro che quella che si manifesta a noi, sopra la Terra, come gravità.

In quest'ultimo punto si ravvisa il più alto volo della fantasia scientifica: è una grandiosa applicazione del principio di continuità che conduce a chiedere se, per avventura, il moto di caduta d'un proiettile lanciato con una certa velocità dall'alto d'una torre potrebbe cangiarsi nel moto d'un satellite della Terra, qual è la Luna, ove la torre crescesse fino all'altezza della Luna. Galileo si era imbattuto in un problema di tal genere ⁽¹⁾, domandandosi quale traiettoria descriverebbe un proiettile lanciato nell'interno della Terra, ove il suo moto non fosse impedito dalla resistenza della Terra stessa, e potesse quindi continuarsi dentro di questa, restando sempre costante l'attrazione della gravità verso il centro. La risposta è che la traiettoria descritta sarebbe una spirale avvolgente il centro della Terra, sicchè il moto si continuerebbe indefinitamente, avvicinandosi il corpo ad un punto limite.

Nella ricerca di Galileo si vede già la caduta del grave comporsi con l'inerzia in un moto avvolgente il centro d'attrazione. Occorre comprendere che, modificando l'ipotesi sul modo d'agire della forza attrattiva, potrebbe nascere in tal guisa un moto periodico in un'orbita chiusa, per esempio sopra un circolo. A prima vista sembra che in tal caso non vi sarebbe affatto caduta verso il centro, perchè il punto mobile si mantiene sempre ad egual distanza

⁽¹⁾ Questo precedente è stato rievocato dal prof. G. Vacca.

da questa. Ma se si pensa che il punto, lanciato con una certa velocità iniziale lungo la tangente al cerchio, si muoverebbe per inerzia sopra questa retta, appare tosto che la deflessione della retta medesima costituisce in ogni istante una caduta.

Si può indovinare in qual modo varii la forza attrattiva che fa circolare i pianeti attorno al Sole, ove si pensi l'attrazione stessa come un irraggiamento: allora la forza dovrà essere inversamente proporzionale al quadrato della distanza, ossia alla superficie di una sfera col centro nel Sole. In tal guisa appunto l'ipotesi della gravitazione si presentò a HOOKE, indipendentemente dagli studi iniziati da Newton per proprio conto, ma non comunicati ad altri: Hooke ha annunciato pubblicamente la sua idea nel 1674.

Nel 1684 HALLEY — l'astronomo inglese celebre per la scoperta della cometa che porta il suo nome — riscoprì ciò che abbiamo detto Newton avere osservato fin dal 1666: cioè che la terza legge di Keplero, nel caso di orbite circolari, porta di conseguenza una forza attrattiva del Sole in ragione inversa al quadrato della distanza. Una lunga discussione si aprì allora fra Halley e Hooke, e il grande architetto Wren, sul problema di determinare quale traiettoria dovrebbe descrivere in genere un corpo per effetto di siffatta attrazione; e la risposta, che già Newton possedeva, fu da questi comunicata a Halley. Allora soltanto Newton, sollecitato da Halley, si decise a pubblicare i suoi risultati nelle *Propositiones de Motu* (1684) e poi nei *Principia Philosophiæ naturalis*, del 1686.

In tutta la storia della scoperta si rivela l'estrema circospezione dell'autore, che una prima volta era stato distolto dal render note le sue conclusioni per un lieve divario nella misura del raggio terrestre, che rendeva inesatto l'accordo della misura della gravità col valore dedotto dalla teoria, ed anche aveva esitato a lungo ad ammettere che il Sole e i pianeti possano trattarsi come punti materiali, fin che riuscì a provare che una sfera attraente formata di strati omogenei concentrici agisce sui punti esterni come se la sua massa fosse riunita nel centro.

Ridotto alla sua espressione schematica, il ragionamento di Newton consiste:

1°) nel calcolo della forza centripeta che spiega il moto dei pianeti nelle orbite ellittiche, moto conforme alla legge delle aree (seconda legge di Keplero);

2°) nell'introdurre l'ipotesi generale che « i corpi si attraggano proporzionalmente al prodotto delle masse e in ragione inversa al quadrato delle distanze », spiegando così il moto dei pianeti intorno al Sole e dei satelliti (in particolare della Luna) attorno ai loro pianeti;

3°) nel confronto della forza attrattiva, esercitata dalla Terra sulla Luna, con quella che si manifesta alla superficie della Terra stessa, come gravità.

La prima conferma che Newton aveva tentato sulla base delle misure geodetiche di Snellio, non era riuscita perchè queste misure erano erronee. Perciò Newton aveva abbandonato la ricerca. Vari anni dopo, quando conobbe la correzione data da Picard in una seduta della Società Reale del 1682, rifece sommariamente i calcoli. Sul punto di giungere alla conferma delle sue deduzioni, la sua commozione fu tale, che dovette pregare un amico di terminare il calcolo.

Infine, conviene riflettere al significato della spiegazione meccanica newtoniana. Ammessa la forza attrattiva, e ammesso che i pianeti si trovino in un determinato istante animati da una certa velocità iniziale (diretta secondo la tangente all'orbita), la dottrina spiega come l'inerzia del pianeta, e la forza attrattiva esercitata su quello, si compongano nella descrizione dell'orbita ellittica: nell'inerzia galileiana si concreta la « forza animale » che Copernico aveva intuito impedire la caduta dei pianeti sopra il Sole. Rimane tuttavia inesplicito il fatto che in un determinato istante, preso come inizio delle nostre considerazioni, i corpi celesti si trovino animati da quelle date velocità, le così dette velocità iniziali (tangenti all'orbita). Newton riconosce qui l'atto creativo della Divinità: la « chiquenaude initiale » di cui parla Voltaire. Un tentativo di spiegazione naturalistica (ossia di riduzione del fatto ad un fatto anteriore) si trova soltanto un secolo più tardi, quando Laplace fa nascere i pianeti per distacco della massa fluida rotante

del Sole: il corpo distaccato possiede naturalmente una certa velocità iniziale.

CONCETTI E PRINCIPI DELLA DINAMICA. — La teoria di Newton contiene una sistemazione della dinamica galileiana. Si danno tre leggi generali del moto di un punto materiale. La prima legge è quella d'inerzia, che dopo Galileo, Descartes aveva enunciato in forma generale ed astratta ⁽¹⁾.

La seconda legge newtoniana dice che la forza è proporzionale all'accelerazione, cioè alla variazione della velocità e non alla velocità stessa. Questo punto era stato chiarito da Galileo per il caso delle forze di gravità, ma restava ancora oscuro per altri pensatori come Descartes.

La terza legge newtoniana (ad ogni azione si accompagna una reazione eguale e contraria) eleva a principio generale ciò che già appariva nelle intuizioni di altri geometri (Descartes, Huygens) nei casi elementari dell'urto e della forza centrifuga generata dalla rotazione intorno a un centro di un peso legato a una fune.

Il sistema della dinamica suppone alcuni concetti fondamentali: massa o quantità di materia, e moto assoluto, ovvero spazio e tempo assoluti.

La quantità di materia vien concepita da Newton, come da Galileo, in base al presupposto metafisico di una materia qualitativamente indifferenziata; Newton sembra aver accolto qui l'ipotesi atomica democritea, rinnovata dal suo contemporaneo Boyle. In un punto egli è andato più oltre di Galileo, cioè nel riconoscere la differenza fra massa e peso (Mach).

Per quanto riguarda il moto, Galileo aveva già implicitamente richiamato il postulato democriteo che conferisce un significato al moto (assoluto) rispetto al vuoto. Questo figura come presupposto essenziale della legge d'inerzia, poichè la traiettoria rettilinea di un punto materiale su cui non agiscano forze appare in ge-

⁽¹⁾ *Principia philosophiae*, II, 39.

nerale curva per rapporto a sistemi di riferimento mobili. Tuttavia la questione se il moto sia da prendere in significato assoluto, ovvero abbia soltanto un senso geometrico relativo, rimane sempre controversa tra i geometri contemporanei. La relatività è sostenuta anzitutto da Descartes (che non si vede come la conciliò con l'inerzia), e viene ampiamente discussa in una corrispondenza fra Huygens e Leibniz del 1694, otto anni dopo la pubblicazione dei *Principia*; ed anche più tardi nella terza lettera di Leibniz a Clarke del 1715.

Newton mette in luce la differenza che esiste fra il caso dei moti rettilinei e quello dei moti circolari, in cui si sviluppano forze centrifughe. Questa differenza è interpretata da lui nel senso che le leggi del moto valgono rispetto allo spazio assoluto, indipendentemente dai corpi che vi si trovano. Analogamente egli conclude all'esistenza di un tempo assoluto, vero o matematico, che fluisce in maniera uniforme, indipendentemente dai fenomeni che si possono assumere per misurarlo.

Queste argomentazioni sono filosoficamente assai deboli. Lo stesso argomento della forza centrifuga sviluppata dal moto circolare (e così anche le prove sperimentali di cui diremo più oltre) esprimono soltanto una proprietà del moto relativo al sistema delle stelle, e non allo spazio vuoto, che in sé non è nulla, come ai giorni nostri ha rilevato Ernesto Mach.

Contro al concetto dello spazio assoluto rimane perfettamente valida la critica che Leibniz ne faceva in base al principio di ragion sufficiente, nella citata lettera a Clarke del 1715:

« Lo spazio è alcunchè di assolutamente uniforme, e senza le cose che vi si trovano un punto dello spazio non differisce affatto da un altro. Di qui segue, supposto che lo spazio sia in sé stesso qualcosa oltre l'ordine delle cose tra loro, che non può esservi una ragione per cui Dio, conservando le reciproche posizioni dei corpi, abbia collocato i corpi nello spazio in un certo modo e non altrimenti, e perchè tutto ciò non sia stato invece invertito, per esempio, come uno scambio dall'Oriente all'Occidente. Ma se lo spazio non è altro che quell'ordine o rapporto e non è proprio nulla senza

i corpi, tranne la possibilità che dei corpi sian collocati, quei due stati, l'uno qual è, l'altro supposto invertito, non differiscono punto fra loro... »).

La critica di Leibniz tende a superare i termini della controversia scientifico-teologica, quale era stata suscitata dal sistema copernicano. Prima di discutere se il Sole si muove attorno alla Terra, o piuttosto la Terra attorno al Sole, « occorre definire quale sia il vero significato del moto ». Il senso comune, che cercava rifugio nella fede, adotta una sua propria definizione, conforme al punto di vista antropocentrico. Galileo e Newton vi hanno sostituito un significato nuovo, e più raffinato, cadendo tuttavia nell'errore di riferire la definizione stessa del moto allo spazio. Ma, prescindendo da quest'errore formale, viene sostanzialmente precisata l'intuizione di Copernico: i fenomeni di moto si debbono interpretare non già col riferimento particolare a qualcuno dei corpi che costituiscono l'universo fisico, ma in relazione all'insieme di tutti questi corpi, e la Terra non ha rispetto agli altri nessuna ragione di privilegio.

L'insieme delle stelle vale effettivamente a definire un sistema di rette o di direzioni, i cui angoli mutui restano sensibilmente invariabili a cagione della grande distanza delle stelle medesime in confronto al loro reciproco moto. Rispetto a queste direzioni le leggi del moto assumono la forma semplice di Galilei-Newton.

Reciprocamente, se dentro un proiettile di Giulio Verne, che si muova comunque nello spazio, si trovino dei fisici provvisti di tutti i mezzi per studiare i fenomeni di moto dei corpi appartenenti al loro piccolo ambiente, quelle leggi permetteranno loro di *definire* il moto del proiettile a meno di una traslazione; in altre parole, le esperienze interne di quei fisici varranno a segnare, entro il proiettile, un sistema di direzioni cosmiche, facenti angoli invariabili coi raggi che vanno alle stelle più lontane, e così potranno rivelare ogni eventuale moto rotatorio di cui il proiettile stesso sia animato rispetto a quelle direzioni.

Invece non si potrà in alcun modo determinare se il proiettile sia fermo o si muova con moto di traslazione uniforme: anzi questa questione non ha senso per sè stessa, ma solamente rispetto ad

un corpo analogo. Perchè le forze entrano in giuoco solo nel caso di una traslazione non uniforme.

Queste considerazioni si applicano al moto della Terra. Le proprietà dell'invarianza del piano d'oscillazione del pendolo, e della permanenza degli assi del giroscopio, che conseguono dalla dinamica di Galilei-Newton, hanno offerto in effetto il modo di verificare sperimentalmente la rotazione della Terra intorno a sè stessa (Foucault 1850). Un'altra verifica si ha nel fenomeno della piccola deviazione orientale dei gravi cadenti, prevista da Coriolis, che va all'incontro della deviazione occidentale affermata a priori dagli anticopernicani, e che è stata constatata da Tadini (1796) e più perfettamente da Reich (1831).

La prova sperimentale della rotazione della Terra attorno al Sole è più delicata, ma tuttavia si può ricondurre alla variazione della gravità durante le diverse ore del giorno misurata più recentemente da due americani, T. Newcomb e Sterneck.

ANALISI INFINITESIMALE. — Il problema risoluto da Newton determinando la forza attrattiva capace di produrre il moto dei pianeti secondo le leggi di Keplero, e reciprocamente il moto d'un corpo o punto materiale sottoposto a quella forza attrattiva, appartiene ad un ordine di questioni matematiche interamente diverse da quelle che si traducono nelle equazioni algebriche. Questo nuovo ordine di questioni costituisce l'oggetto dell'analisi infinitesimale, il cui sviluppo si congiunge a quello della meccanica.

Per ricostruire la genesi storica dei nuovi concetti che qui intervengono, conviene risalire ad Archimede.

Il geometra siracusano ha avuto occasione di trattare due ordini di problemi, che preludono di fatto alle nuove ricerche :

1°) i problemi di determinazione d'aree e volumi, e quelli strettamente connessi, relativi ai baricentri di date masse;

2°) la descrizione della spirale, detta appunto di Archimede, generata dal moto di un punto che si avvicina o si allontana uniformemente ad un centro, mentre ruota del pari con velocità angolare uniforme, intorno a questo.

Sebbene questi due problemi appaiano a prima vista essenzialmente diversi, una stessa idea permette di tentarne la risoluzione.

L'area contenuta da una curva, per esempio dal cerchio, si può determinare con approssimazione, se si sostituisce alla curva un poligono, a lati molto piccoli, che si confonda praticamente con essa; appunto così si riesce a determinare l'area del cerchio, e ciò con un'approssima-

zione che si può rendere grande quanto si vuole, aumentando opportunamente il numero dei lati del poligono, e diminuendone la lunghezza. L'idea che domina il metodo d'Archimede si può esprimere così: l'area del cerchio verrà data con approssimazione infinita, cioè con esattezza, ove si consideri la curva come un poligono d'infiniti lati, di lunghezza infinitesima! Propriamente parlando, le espressioni infinito e infinitesimo non hanno senso; è ovvio che nessun segmento, comunque piccolo, può dirsi infinitesimo, a meno che non ci si riduca al segmento nullo, costituito da un sol punto: ma mettendo dei punti uno accanto all'altro non si arriva mai a formare una linea!

Perciò il discorso precedente dev'essere inteso non in un senso statico, ma in senso dinamico: significa che l'area cercata si presenta come ultimo termine irraggiungibile, o *limite*, di una serie di approssimazioni successive.

Lo stesso ragionamento che abbiám fatto per l'area del cerchio vale per il volume della piramide, del cilindro, del cono, della sfera, ecc. Se per semplicità ci riferiamo al caso della piramide T , il volume di T è uguale a quello di un prisma P con la stessa base e con un terzo dell'altezza di T . E sebbene il processo di scoperta faccia appello all'intuizione dell'infinito, la dimostrazione di questo risultato si può rendere affatto rigorosa secondo lo schema d'Eudosso (metodo d'esauzione) ⁽¹⁾: in modo preciso si dimostra che l'ipotesi di una differenza fra P e T dà luogo ad un assurdo, perchè tale differenza dovrebbe essere minore di qualsiasi solido piccolo a piacer nostro: e ciò è impossibile, trattandosi di una differenza fissa tra due solidi fissi.

Anche nella descrizione della spirale d'Archimede ricorre un concetto analogo: la curva descritta si definisce come limite di una poligonale a lati infinitesimi. Infatti si consideri il punto P in una determinata posizione. Se P fosse animato soltanto da una velocità che tenda ad allontanarlo dal centro O , in un tempuscolo t descriverebbe un piccolo segmento PP' sul raggio OP ; se invece P fosse soggetto soltanto alla velocità di rotazioni del raggio vettore OP attorno ad O , nello stesso tempuscolo t esso si troverebbe portato sopra un raggio OP'' , ruotato di un angolo L proporzionale alla lunghezza PP' .

La composizione dei due moti porta che P dovrà trovarsi (press'a poco) nel punto P_1 in cui il raggio OP'' incontra la parallela per P' a PP'' . Tornando ad applicare a P_1 le stesse considerazioni, e così di seguito, si tratterà una poligonale $PP_1 P_2 P_3$ ecc. che si avvicina alla spirale di Archimede tanto di più, quanto più piccolo è stato scelto l'intervallo di tempo t , che ha servito alla sua costruzione.

Archimede, come abbiám detto, è stato profondamente studiato nel Rinascimento. Abbiamo già accennato alla traduzione fattane da Commandino, e agli sviluppi che il suo scolaro Benedetti, e più amplia-

(1) Adottato negli «Elementi» d'Euclide.

mente il belga Stevino, hanno dato ai problemi della statica: in questi occorre la ricerca dei baricentri, la cui determinazione costituisce un problema analogo a quello delle aree e dei volumi.

In modo interessante interviene qui LUCA VALERIO, che Galileo chiama « il novello Archimede dei nostri tempi ». Nello studio dei centri di gravità dei solidi (1604), egli ha avuto occasione di raccogliere le diverse applicazioni del metodo d'eshaustione alla determinazione d'aree e volumi in un principio generale, che vale in sostanza a giustificare una volta per tutte il procedimento infinitesimale. Frattanto, in modo spesso ardito, ma con felice intuito matematico, Keplero andava facendo sempre più larghe applicazioni di questo procedimento: le formule ch'egli ha dato per il volume delle botti hanno un valore che oltrepassa di gran lunga lo scopo pratico della ricerca. Del resto il pensiero di Keplero è sempre dominato da un principio di analogia o di continuità, a cui già innanzi abbiamo avuto occasione di accennare.

Al problema delle aree e dei volumi reca poi un contributo essenziale la Geometria degl'Indivisibili di BONAVENTURA CAVALIERI (1635), che è il precedente storico immediato del calcolo integrale. L'ipotesi che il continuo sia costituito da elementi indivisibili (per es. la superficie da linee e i solidi da superficie), viene liberata dalle sottigliezze metafisiche di un Bradwardino, per essere ripresa qui come una *finzione* di comodo: si fa vedere che adottandole, i ragionamenti condotti secondo determinati principî riescono a risultati che possono anche giustificarsi secondo il classico schema eudossiano.

Particolarmente feconde sono le applicazioni che Cavalieri fa del principio: se due superficie del piano vengono segate da un fascio di rette parallele, secondo segmenti che stanno in un rapporto costante, anche le aree delle due superficie stanno nello stesso rapporto (poichè vengono concepite come somme delle due serie di segmenti intercetti, elementi o rettangoli infinitesimi generatori). Un analogo principio si applica ai solidi.

D'altra parte il problema della spirale d'Archimede sembra aver suggerito allo scozzese NEPERO (John Napier, 1550-1612) lo studio di un nuovo problema di moto, per cui vengono ad apparire nel modo più naturale i logaritmi. In sostanza si tratta di determinare sulla retta il moto di un punto, in cui la velocità è proporzionale allo spazio percorso. Questo problema appare subito essenzialmente diverso da quelli in cui si ricercano numeri incogniti che soddisfano a date equazioni algebriche, perchè qui si vuol trovare — non già un valore dello spazio o del tempo — ma la legge con cui lo spazio descritto dal mobile dipende dal tempo, cioè lo spazio come *funzione* del tempo.

Non ci dilungheremo a spiegare come i concetti infinitesimali permettano di trattare il problema di Nepero. Ci basti avere richiamato questa indagine come precedente storico della ricerca di Galileo sul moto uniformemente accelerato. Qui si assume la velocità proporzionale al tempo, e si vuol determinare lo spazio percorso dal mobile.

A tale scopo Galileo rappresenta la variazione della velocità del punto mobile con un diagramma: sul raggio AT a partire da O vengono segnati i tempi successivi, e per ogni tempo TT' s'innalza dall'estremo del punto rappresentativo una perpendicolare all'asse OT di lunghezza uguale alla velocità. Gli estremi di questi segmenti si trovano sopra una retta, passante per O , che noi consideriamo oggi con Cartesio rappresentare l'equazione $v = kt$. Galileo riconosce che gli spazi percorsi dal mobile corrispondono alle aree dei triangoli $OT P$, $OT'P'$ ecc.

Quest'osservazione acquisterà più tardi un'importanza fondamentale, quando se ne sarà intesa la portata generale: qualunque sia la legge con cui varia la velocità del punto mobile (supposto per semplicità a partire dallo stato di quiete) la costruzione di Galileo conduce ad una curva, in cui le ordinate relative all'asse dei tempi figurano le velocità, mentre le aree comprese fra la curva, l'asse e le ordinate anzidette, rappresentano gli spazi percorsi.

L'uso dei diagrammi, che abbiamo incontrato da Oresme a Galileo, e che appare anche nella trattazione di diversi problemi geometrici col metodo dei luoghi, viene ora sistemato nella geometria analitica di RENATO DESCARTES e di PIETRO FERMAT (1637). Mediante l'opera in gran parte indipendente di questi due grandi matematici, s'impara a rappresentare in generale un'equazione fra due variabili x e y con una curva i cui punti hanno le distanze x ed y da due assi ortogonali fissi, e a tradurre quindi i problemi geometrici in problemi dell'algebra. Qui si presenta la questione di determinare in ogni punto la normale e la tangente alla curva.

In particolare la ricerca dei punti in cui la tangente riesce parallela all'asse delle x (orizzontale) corrisponde a quella dei massimi e minimi delle funzioni (punti più alti e più bassi della curva): ricerca in cui si rivela il genio di Fermat.

Questi problemi segnano gl'inizi di quel ramo dell'Analisi che costituirà il calcolo differenziale (in contrapposto al calcolo integrale). Il chiarimento dei concetti che qui occorrono è l'opera di matematici, su cui non possiamo indugiare. Citeremo soltanto EVANGELISTA TORRICELLI (1608-1647) e GILLES DE ROBERVAL (1602-1675), gli studi dei quali furono resi noti nel 1644, e risultano indipendenti.

Da questi studi si trae in particolare che, rappresentando il moto rettilineo d'un punto con un diagramma in cui il tempo è preso come ascissa e lo spazio come ordinata, la velocità viene rappresentata dalla direzione della tangente alla curva, ed è misurata precisamente dalla sua tangente trigonometrica.

Questa osservazione acquista una grande importanza, quando sia ravvicinata a quella che abbiamo visto scaturire dai diagrammi di Galileo: risulta infatti che, se si considera una curva rappresentativa di una funzione $y = f(x)$, e un'altra curva rappresentativa di $y = F(x)$, costruita prendendo come ordinata le aree racchiuse della prima curva da una sua ordinata variabile, dall'asse delle x e da una sua ordinata fissa, la rela-

zione fra la curva f e la F si può anche esprimere prendendo come ordinate della f le tangenti trigonometriche delle rette che toccano F . In altre parole, le operazioni che occorrono nel calcolo delle aree e nel calcolo delle tangenti sono inverse una dall'altra!

Questa è la scoperta che sta a base del calcolo infinitesimale. Essa si è venuta chiarendo a poco a poco, attraverso le ricerche particolari dei geometri anzidetti e di altri come SLUZE, HUDDE, MICHELANGELO RICCI, ecc.; ma soprattutto nelle *Lectiones Geometricae* ⁽¹⁾ di ISAAC BARROW, il maestro di Newton.

Con perfetta chiarezza la cosa appare a NEWTON e a LEIBNIZ. Newton sembra avere costruito prima il suo « metodo delle flussioni », che adopera in largo senso nei *Principia* (1687). Leibniz ha pubblicato nel 1684 il suo « *Nuovo Metodo per i massimi e minimi e per le tangenti* » ⁽²⁾ che costituisce l'algoritmo anche oggi adottato del Calcolo.

Non c'indugeremo sulla polemica per la priorità, sollevata contro Leibniz. L'importanza che le si è attribuito (anche all'infuori delle questioni nazionalistiche che hanno soffiato nella controversia) riesce assai diminuita dal riconoscere le influenze di diversi precursori, che si sono esercitate egualmente sui due matematici. Ad ogni modo convien dire che Newton — il quale aveva lungamente meditato non soltanto l'opera di Barrow, ma anche la mirabile *Arithmetica infinitorum* di WALLIS — ha compreso nel senso più largo lo spirito dell'analisi infinitesimale, oltrepassando di molto quei problemi particolari di equazioni differenziali, che altri aveva incontrato prima di lui: diciamo, per esempio, quelli trattati dal geometra cartesiano F. DE BEAUME nel 1639. Tuttavia la forma geometrica adottata da Newton rimane assai inferiore a quella analitica di Leibniz: che è il vero creatore del *simbolismo* del *Calcolo differenziale*. Altre differenze caratteristiche fra gli spiriti di Newton e di Leibniz danno ragione dei diversi progressi realizzati nelle due scuole. Il modo di esposizione che oggi si dà del Calcolo infinitesimale (partendo dal concetto generale della « funzione » arbitraria, secondo DIRICHLET), discende direttamente dalla concezione leibniziana, tendente alla generalità astratta; per contro le esemplificazioni concrete che Newton ha tenuto sott'occhio (particolarmente le funzioni implicite definite da equazioni algebriche) han dato origine ad un'analisi più larga delle singolarità, ed anche ai problemi sulla rappresentazione delle funzioni per mezzo di *serie di potenze* (TAYLOR, 1685-1731; MACLAURIN, 1698-1746).

Secondo le vedute di Newton, il problema delle equazioni differenziali appare legato al problema della dinamica: si tratta invero di ricercare « il moto di un punto soggetto a date forze, e partito un dato istante da una certa posizione, con una certa velocità iniziale ».

⁽¹⁾ 1669, 1674; Lect. X.

⁽²⁾ Una traduzione annotata di questo, per cura di E. Carruccio, si può leggere nel *Periodico di Matematiche*, novembre 1927.

L'analisi del moto si compie supponendo il tempo decomposto in tanti istanti successivi, in ciascuno dei quali si ha da comporre la velocità iniziale con la piccola variazione data dalla forza. Il punto mobile P descriverà una curva di cui si conosce per ogni punto la tangente e il modo di variare di questa (curvatura). In sostanza, il problema generale del moto viene ricondotto ad una successione di casi elementari: dove, essendo data la posizione e la velocità del mobile, in un dato istante, e la forza agente, si determina la posizione e la velocità nell'istante successivo. Dalla serie successiva dei moti istantanei si passa per *integrazione* alla descrizione del moto, nella sua continuità!

LA MECCANICA CELESTE. — Nella teoria newtoniana si parte dalla conoscenza delle leggi di Keplero per dedurre la forza attrattiva che produce il moto dei pianeti. Ma, ciò che a prima vista può sembrare paradossale, la stessa deduzione porta a correggere il suo presupposto.

Anzitutto, se la formula dell'attrazione è quale si desume dalle prime due leggi, la terza legge di Keplero (proporzionalità dei quadrati dei tempi ai cubi dei grandi assi) risulta soltanto approssimata, stante la piccolezza delle masse dei pianeti rispetto al Sole.

Ma, in secondo luogo, l'ipotesi di un'attrazione fra Sole e pianeti, e fra pianeti e satelliti, porta naturalmente ad ammettere che anche i pianeti (e in generale due masse qualsiansi) si attraggano fra loro. Questa grande induzione newtoniana introduce così una causa *perturbatrice* nel moto dei pianeti: per esempio la Terra non descriverà più intorno al Sole un'ellisse, ma una curva più complicata, un'« ellisse perturbata » dalla presenza di altri pianeti che le si avvicinino.

Newton si è reso conto dell'effetto qualitativo di queste perturbazioni; ma lo studio preciso di esse ha richiesto gli sforzi dei più grandi matematici che sono venuti dopo: da EULERO (1707-1783), a CLAIRAUT (1713-1764), a D'ALEMBERT (1714-1783), a LAGRANGE (1736-1813), a LAPLACE (1749-1827), ecc.

Questi studi hanno fornito le più brillanti conferme della teoria. Così Clairaut aveva preveduto per il gennaio 1759 la ricomparsa della cometa di Halley, osservata anni prima; egli aveva stimato ad un mese il limite di errore della sua previsione. E con un mese

ed un giorno di anticipo, la cometa fu veduta il giorno di Natale del 1758!

Un trionfo anche più splendido dell'astronomia newtoniana è la scoperta del nuovo pianeta Nettuno, visto da Galle, dall'osservatorio di Berlino, il 23 settembre 1846. Infatti, questa scoperta era stata preannunciata da LEVERRIER, per spiegare le perturbazioni che gli astronomi osservavano da tempo nel moto di Urano, il pianeta scoperto da Herschel nel 1789.

Leverrier era giunto col calcolo a precisare la posizione che lo sconosciuto corpo perturbatore doveva avere nel cielo, e Galle lo trovò a meno di un grado dal luogo che gli assegnava il matematico francese. È anche giusto aggiungere che la scoperta avrebbe potuto esser fatta prima, nell'autunno 1845, se l'astronomo reale inglese Airy avesse accolto con maggiore fiducia la comunicazione fattagli dal giovane J. C. ADAMS, che fin dal 1844 aveva studiato per suo conto il problema di Urano.

Una mente scientifica proverà non minore ammirazione dinanzi ad altri aspetti della teoria newtoniana.

Basti pensare che la teoria trova una verifica nelle più remote regioni dei cieli, dove i moti rivolutivi delle stelle doppie, messi in evidenza da W. HERSCHEL, appaiono compiersi in orbite kepleriane, come Felice Savary ha osservato per primo nel 1827 per la ζ dell'Orsa Maggiore. D'altra parte, la stessa teoria riceve una diretta conferma terrestre nella esperienza di HENRY CAVENDISH (1798) in cui si misura l'attrazione di due masse di piombo ravvicinate. Questa misura ci fornisce il fattore di proporzionalità c che entra nell'espressione della forza attrattiva $f = c \frac{mm'}{r^2}$ (m, m' designando le masse ed r la distanza). Così essendo determinata la costante c , diventa possibile di calcolare le masse del Sole e dei pianeti dagli effetti della loro attrazione, visibili nel moto: come se si riuscisse a pesare i corpi celesti colla bilancia!

In particolare per la Terra si trova una densità media di circa 5,50, che concorda abbastanza bene col valore trovato da AIRY (1826-1852) in base alle oscillazioni del pendolo nelle profondità terrestri.

Per quanto riguarda l'estensione della teoria newtoniana, la tavola costruita da Leverrier, e nuovamente calcolata da Newcomb, astronomo americano, dimostrano concordanze meravigliose. Le ineguaglianze così numerose e complicate, talune anche notevoli, del moto della Luna, sono rappresentate in modo che il massimo scarto dalla posizione calcolata sale ad un angolo di $15''$ in due secoli e mezzo: entro questo intervallo si può prevedere dunque che l'orlo illuminato della Luna passerà davanti al filo del nostro telescopio, anticipando o ritardando tutt'al più un secondo di tempo sulle nostre previsioni.

Le posizioni dei pianeti per un secolo e mezzo sono rappresentate a meno di un angolo di $1''$, con una sola eccezione; in alcune regioni dell'orbita, Mercurio avanza o ritarda fino a $8''$ di angolo ($1/2$ secondo di tempo) in un secolo, ciò che porta uno spostamento del suo perielio fino a circa $40''$. Ebbene, gli astronomi hanno raggiunto un'esattezza così grande che questo errore può accertarsi superiore agli errori di osservazione. Esso dà luogo a un problema, a cui viene data risposta dalla nuova dinamica relativistica di Alberto Einstein.

La teoria newtoniana permette anche di studiare teoricamente la forma dei corpi celesti e in particolare della Terra, partendo dall'ipotesi d'uno stato iniziale fluido: il corpo fluido rotante deve naturalmente prendere una forma d'equilibrio, sotto l'azione della forza attrattiva e della forza centrifuga. Newton, riprendendo in questo punto le considerazioni di Huygens, ha preveduto che in tali condizioni la forma dei corpi celesti, e quindi anche della Terra, non dovrebbe essere esattamente sferica, ma appiattita ai poli. La cosa fu subito verificata con l'osservazione di Giove. Gli sviluppi ulteriori della dinamica celeste hanno portato anche in questo campo a notevoli concordanze e verifiche. In particolare lo schiacciamento della Terra ai poli può essere determinato, non solo dalle misure geodetiche, sì anche da una speciale perturbazione del moto lunare che ne dipende.

XXX.

Razionalismo e metodo sperimentale.

IL METODO GALILEIANO. — La rivoluzione scientifica maturata attraverso il Rinascimento ed affermatasi con GALILEO GALILEI reca non solo un nuovo sapere, sì anche un nuovo metodo di ricerca della verità.

L'insegnamento d'Aristotele faceva posto insieme al ragionamento e all'osservazione. Osservazioni erano raccolte con larghezza e confrontate fra loro e colle idee che ci formiamo delle cose; ma il confronto si fermava a semplici analogie, e la *spiegazione* razionale non andava oltre il constatato accordo dei fatti coi concetti del senso comune. Invero l'intima ragione delle cose era insita nella loro *qualità*, ritenuta causa e fine dell'essere e dell'accadere, come se la natura fosse ordinata in ogni suo particolare alla realizzazione di scopi, secondo il modello umano.

Questo compromesso di razionalismo e di empirismo peccava soprattutto dal lato razionale. In principio almeno, gli aristotelici erano ben lungi dal negare la testimonianza dei sensi. Quando Cremonini rifiutava di guardare nel cannocchiale le macchie solari, per rispetto alla dottrina dell'incorruttibilità solare del maestro, egli offriva soltanto la caricatura dell'insegnamento aristotelico, degradato nelle scuole. Assai più vicino ad Aristotele è il Simplicio galileiano, quando afferma che « secondo l'opinione di tutte le sette dei filosofi.... il senso e l'esperienza sono le nostre scorte nel filosofare....; e che.... nella posizione del Copernico, i sensi

vengono ad ingannarsi grandemente, mentre visibilmente scorgono da vicino in mezzi purissimi i corpi gravi scendere rettamente a perpendicolo » laddove « per il Copernico la vista in cosa tanto chiara s'inganna, e quel moto non è altrimenti retto, ma misto di retto e circolare ». E così quando egli dice che « le sensate esperienze » (cioè le esperienze sensibili) si debbano anteporre a qualsiasi discorso fabbricato dall'ingegno umano; e... « che quelli che avessero negato il senso, meriterebbero di esser castigati col levargli quel tal senso » (1).

A questo empirismo si contrapponeva nella mente di Galileo e dei fondatori della scienza moderna, l'idea già espressa da LEONARDO: « nel mondo vi sono infinite ragioni, che non furono mai in esperienza ». Anzi la concezione copernicana si allontanava volutamente dalle apparenze sensibili, per seguire un criterio razionale; e, comunque, la scelta fra le ipotesi di Tolomeo, di Copernico e di Tycho Brahe non poteva farsi dipendere dalla conferma o dalla contraddizione delle osservazioni, onde Keplero, che aveva raffrontato quei sistemi, non ad esse aveva ricorso, bensì al principio che « non debet esse licentia astronomis fingendi quidlibet sine ratione » (2).

Il criterio razionalistico della scienza si mostra in tutta la ricerca di Galileo, che tende sempre alla deduzione dei fenomeni da principî semplici formulati e trattati nel linguaggio delle matematiche. L'osservazione (e quindi anche l'esperienza) viene invocata per suggerire le ipotesi, ma di queste si chiede una « dimostrazione necessaria ». La quale apparirà effettivamente possibile, se si ammetta che gli enti formanti l'oggetto del pensiero matematico siano anche gli elementi costitutivi della natura. Tale è appunto la fede di Galileo. « La filosofia, dice egli, è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi agli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscere i caratteri, ne' quali

(1) *Opere*, VII, 75.

(2) *Epitome astronomiae copernicanae*. Lib. I.

è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola... » (1).

Queste parole servono di premessa ad una discussione intorno alla materia, che Galileo, nel *Saggiatore* stesso, tende a spogliare delle qualità sensibili, ritornando così alla visione eleatico-democritea. La materia si riduce, dunque, ad una estensione figurata, cui si aggiunge soltanto l'attributo della impenetrabilità. Ed è notevole che questa critica prenda come criterio di ciò che effettivamente esiste le « possibilità » del nostro pensiero: « Ben sento tirarmi dalla necessità, subito che concepisco una materia o sostanza corporea, a concepire insieme che ella in relazione con altra è grande o piccola, ch'ella è in questo o quel luogo, in questo o quel tempo, ch'ella si muove o sta ferma, ch'ella tocca o non tocca un altro corpo, ch'ella è una, poche o molte, nè per veruna immaginazione posso separarla da queste condizioni; ma ch'ella debba esser bianca o rossa, amara o dolce, sonora o muta, non sento farmi forza alla mente di doverla apprendere da cotali condizioni necessariamente accompagnata.... Per lo che vo io pensando che questi sapori, odori, colori, ecc..... non sieno altro che puri nomi, ma tengano lor residenza solamente nel corpo sensitivo... ». E più avanti: « Ma che nei corpi esterni, per eccitare in noi i sapori, gli odori e i suoni, si richiegga altro che grandezze, figure, moltitudini e movimenti tardi e veloci, io non lo credo ».

Questa dottrina della materia si ritrova con poche variazioni in DESCARTES, che formula nel modo più rigido il concetto della *materia estesa*, e poi in LOCKE (1690), che la esprime con la sua distinzione delle *qualità primarie* (estensione, impenetrabilità) e delle *qualità secondarie* (puramente sensibili).

C'è qui un'influenza caratteristica della filosofia democritea che si spiega su tutti i pensatori rappresentativi fin dagli inizi del secolo XVII, ed è un problema storico di riconoscere i motivi che in essa concorrono, e i modi con cui si propaga. Da un punto di vista

(1) *Opere*, VI, pag. 232.

esterno si può ricordare la diffusione fra gli umanisti del poema di Lucrezio « De rerum natura », che era rimasto ignoto al Medio Evo: invero il primo codice lucreziano fu scoperto da Poggio Bracciolini verso il 1417, e l'opera fu pubblicata per la prima volta nel 1479, e diffusa più largamente colla 3^a edizione, dopo il 1570.

Comunque sia, il pensiero democriteo riappare e si afferma, con poche variazioni, nella veduta d'una materia spoglia di differenze qualitative, in forme relativamente indipendenti: citiamo — accanto a G. BRUNO — G. SENNERT e SEBASTIANO BASSO (1621), che precedono di poco GALILEO; poi GASSENDI, DESCARTES, ecc. La dottrina conduce naturalmente a domandare una spiegazione meccanica della fisica, e questa ricerca ha dominato per quasi due secoli lo sviluppo di questa disciplina: si tratta di dedurre a priori il vario complesso dei fenomeni da postulati semplici ed intuitivamente evidenti. Ma di questo sviluppo, che risponde all'ideale cartesiano, e che dovrà venire a un compromesso con la costruzione della dinamica newtoniana, diremo più avanti. Qui basti notare come le vedute sulla materia rivelino il fondamento razionalistico del pensiero di Galileo, che si manifesta d'altronde in tutta la sua opera e che è d'accordo col concetto ch'egli si formava della verità matematica, come la verità stessa d'Iddio.

Ma, designando Galileo come razionalista, noi sembriamo andar contro alla tradizione che scorge in lui soprattutto l'instauratore del *metodo sperimentale*; giacchè l'opinione comune vede nell'esperienza un mezzo empirico di scoperta e di prova, che si appella ai sensi indipendentemente dalla ragione. La storia, non meno che la critica filosofica, ci aiuta a correggere questo modo di vedere. L'esperienza galileiana non è un semplice appello alla percezione sensibile, ma un cimento per cui si sfida la natura a rispondere, in condizioni razionalmente preordinate. Quando Galileo sperimentava sulla caduta dei gravi, per provare che la velocità è indipendente dalla massa (salvo la resistenza dell'aria, resa trascurabile nelle condizioni dell'esperienza), egli era già « persuaso dalla ragione prima che assicurato dal senso », poichè si era « formato un

assioma da non potere essere revocato in dubbio » (1): essendo chiaro a priori che due corpi uguali debbono cadere con velocità uguali, qualora essi vengano riuniti, non vi è ragione per cui uno possa crescere la velocità dell'altro; ma in tal modo si dà origine ad un corpo di massa doppia, che dovrà cadere con la velocità dei precedenti.

Il significato dell'esperienza, come « cimento », per cui il ragionamento sperimentale potè essere rassomigliato da DUHEM e da VAILATI ad un procedimento di riduzione all'assurdo, appare dal titolo che assunse l'accademia fiorentina (del Cimento), nella quale i discepoli proseguivano l'opera di Galileo. Esso si rivela egualmente nelle più celebri esperienze galileiane — p. es. sulla caduta dei gravi sul piano inclinato — e in quelle dei suoi immediati continuatori; p. es. nell'esperienza torricelliana del barometro, di cui diremo più avanti.

Ma nel pensiero di Galileo l'esperienza non è soltanto cimento per far brillare una verità razionalmente preveduta o cavare la « maschera » a una falsa opinione, che tanto più apparirà falsa quanto più ci si sforzi di verificarne le conseguenze; accade infatti che la spiegazione razionale, pur limitata dal postulato di semplicità della natura, lasci adito a diverse possibilità, fra cui l'esperienza sarà chiamata a scegliere. Che valore dovrà conferirsi a questa scelta sperimentale? Il matematico che cerca una spiegazione della natura vorrà trarne soltanto argomento per un esame più accurato e conclusivo delle possibilità razionali. Però, a poco a poco, si farà strada l'idea che le esperienze stesse, come testimonianze di fatto, possano porsi a fondamento della scienza. C'è qui l'avviamento a comprendere il metodo sperimentale, in un senso più empirico, come si può scorgere in una lettera di G. B. BALIANI a Galileo del 1639 (2):

« Io invero ho giudicato che le esperienze si debbano por per

(1) Esercitazioni filosofiche di Ant. Rocco, *Opere*, VII, 731.

(2) *Opere* di Galileo, XVIII, 69.

principî della scienza, quando son sicure, e che dalle cose note per lo senso sia parte della scienza condurci in cognizione delle ignote ». E più avanti: « Sì come i principî delle scienze sogliono essere deffinitioni, assiomi e petitioni, giudico che queste nelle cose naturali sieno per lo più esperienze, e sopra tali sono fondate l'astronomia, la musica, la meccanica... ».

Del resto la ricchezza di motivi che è nel pensiero stesso di Galileo, spiega l'influenza storica che questo ha potuto esercitare nei sensi più opposti: sia nella cerchia degli studiosi della natura, sia sul razionalismo di Cartesio e su quello — più temperato — dei pensatori matematici della scuola newtoniana, sia infine sui filosofi inglesi dell'esperienza. Uno dei quali, David Hume, nell'appendice alla storia del suo paese, potrà dichiarare che proprio da Galileo, e non da Francesco Bacone, è derivato il rinnovamento dello spirito dell'Inghilterra.

ESTENSIONE DEL METODO SPERIMENTALE. — Il metodo sperimentale insegnato da Galileo ha suscitato una immensa fioritura di ricerche, che dalla scuola galileiana s'allarga a tutto il mondo scientifico: l'esperienza tipica appare dapprima preordinata da un ragionamento deduttivo, ma a mano a mano rivelandosi sempre più la ricchezza inaspettata della natura, diventa il mezzo di nuove induzioni, onde scaturiscono concetti e principî, capaci di dominare una più estesa realtà.

Un esperimento caratteristico (che ha pure qualche precedente) condusse EVANGELISTA TORRICELLI ⁽¹⁾ alla scoperta del barometro, risolvendo la questione del peso dell'aria. Aristotele aveva negato che l'aria pesi, in base ad una esperienza che concordava d'altronde con la sua idea a priori della leggerezza assoluta di cotesto fluido. Egli aveva paragonato soltanto il peso di un otre pieno d'aria, e di un otre sgonfiato, senza tener conto della pressione atmosferica. Galileo aveva corretto quest'errore nei « Discorsi e dimostrazioni ». Infatti era riuscito a pesare l'aria, comprimendola in un recipiente in

(1) Nato a Faenza nel 1608, morto nel 1647.

cui veniva iniettato un volume noto d'acqua. Tuttavia è singolare che non gli sia venuta l'idea di ricollegare al peso dell'atmosfera il fenomeno della salita dell'acqua nelle pompe, che fu spiegato invece da Torricelli. Questi argomentò che, se la pressione atmosferica spinge l'acqua nelle pompe ad una diecina di metri, essa dovrà sostenere e sollevare in un tubo vuoto una colonna di mercurio d'ugual peso, e perciò fino all'altezza di circa 76 cm. e non di più.

La celebre esperienza che realizza questa previsione fece grande rumore anche in Francia, e suggerì a BIAGIO PASCAL ⁽¹⁾ l'idea di un'altra geniale ricerca. Se l'aria pesa in ragione dell'altezza dell'atmosfera, salendo sopra una montagna, il peso che viene misurato dalla colonna barometrica dovrà diminuire. Questa diminuzione fu effettivamente verificata da Périer, cognato di Pascal, nella celebre *esperienza del Puy-de-Dôme* ⁽²⁾. Anche il modo come si trasmette la pressione entro l'aria, o in generale entro un fluido qualsiasi, liquido o gassoso, è stato chiarito da Pascal: la pressione che si eserciti in un punto del fluido si trasmette ugualmente in tutte le direzioni. Perciò in un recipiente pieno di liquido, la pressione che si eserciti in un punto della superficie si farà sentire ugualmente su tutti gli altri punti della superficie stessa. Questo principio ha condotto l'autore all'idea della *pressa idraulica*, con la quale oggi,

(¹) Blaise Pascal (1623-1662) fu uno dei geni più singolari e profondi della storia francese. Dotato di straordinaria precocità matematica, diede in gioventù basi scientifiche al calcolo delle probabilità, e perseguì celebri ricerche in varie direzioni (teoremi sulle coniche, sulle proprietà dei numeri, triangolo aritmetico ecc.), oltre a quelle fisiche qui sopra menzionate. Non tutti sanno per altro che oltre alla sua macchina calcolatrice inventò — o piuttosto reintrodusse — quel veicolo assai semplice che è la carriola sospesa, e che per primo propose la creazione di un servizio di omnibus a cavalli. Appena trentenne, ebbe una crisi mistica in seguito alla quale si dedicò interamente alla meditazione religiosa. Ne uscirono le *Pensées* che sono uno dei capolavori della letteratura francese e della filosofica. In questi frammenti di una apologia del cristianesimo, che non furono terminati per la morte precoce dell'autore, si tende in sostanza a dimostrare, con vigore di stile e arditezza di scorci metafisici non più eguagliati, la tesi seguente: « La nature confond les Pyrrhoniens et la raison confond les dogmatistes; nous avons une impuissance à prouver invincible à tout le dogmatisme, nous avons une idée de la vérité invincible à tout le Pyrrhonisme » (*Pensées*, XXI).

(²) Il fatto era stato già notato cinque anni prima da Claudio Beriguardi sulla torre di Pisa. Cfr. V. ANTINORI, *Saggi di naturali esperienze fatte nell'Accad. del Cimento*, 1841, p. 29.

per mezzo di pochi chilogrammi applicati al pistone minore, si può esercitare una pressione di migliaia di tonnellate sul pistone maggiore. Secondo tale principio si spiega perchè l'altezza della colonna barometrica risulti indipendente dalla superficie della vaschetta.

I fenomeni della pressione atmosferica sono suscettibili di più larghe e dirette verifiche, mediante la creazione artificiale del vuoto, che si compie con la macchina pneumatica inventata da OTTONE VON GUERICKE: due emisferi metallici che combaciano, quando sia fatto il vuoto entro la sfera, sono tenuti aderenti dalla pressione dell'aria, in tal modo che due coppie di cavalli non riescono a staccarli: questa è la celebre esperienza degli *emisferi di Magdeburgo*, che Guericke presentò al parlamento di quella città, e più tardi all'imperatore nel 1654.

In alcuni casi le esperienze — osservazioni provocate accanto ad osservazioni accidentali — sono adoperate come mezzo per la costruzione induttiva di concetti teorici.

Dal semplice osservare le oscillazioni della lampada nel duomo di Pisa, Galileo diciannovenne era stato condotto a riconoscere l'isocronismo delle piccole oscillazioni del pendolo, di cui si è valso per la misura del tempo. Ma volendo poi dare a questa scoperta un fondamento teorico, egli ha confrontato la caduta d'un punto sopra un cerchio in un piano verticale, con la caduta sopra una serie di piani inclinati: la caduta da A o da B fino all'estremo inferiore O risp. lungo AO o BO, ha la medesima durata. Galileo ritiene di aver dimostrato in tal modo che le oscillazioni del pendolo, più ampie o più piccole, si compiono sempre nel medesimo intervallo di tempo.

Pure l'esperienza non conferma questa teoria; vi è un sensibile divario per le oscillazioni più lunghe. Sembra che Galileo attribuisse la maggior durata di queste alla resistenza dell'aria. Ma HUYGENS ne ha spiegato la vera ragione: la caduta di un grave lungo una curva non può assimilarsi alla caduta lungo la corda, se non in via d'approssimazione per curve piccolissime; in generale

la caduta lungo una curva posta in un piano verticale, si può sostituire con la caduta lungo una successione di piani inclinati, i cui profili formano una poligonale iscritta. In tal guisa Huygens è stato condotto a scoprire che la curva (taucrona), su cui le oscillazioni di caduta hanno sempre uguale durata, è la cicloide, mentre per il cerchio o per un'altra curva qualsiasi, l'isocronismo vale sensibilmente per le piccole oscillazioni.

Il pendolo è il principio dell'orologio meccanico, ideato e in una prima maniera costruito da Galileo; ma che, nella forma attuale di orologio a scappamento, sia appeso, sia tascabile, costituisce una memorabile invenzione di Huygens (1657).

Accenneremo soltanto ad altre esperienze adoperate come mezzo di ricerca induttiva nel campo del calore e dell'ottica. L'accademia del Cimento, che prese come motto « provando e riprovando », con esperienze successive riuscì a stabilire i principî elementari della dilatazione dei corpi col calore, cui si lega anche l'invenzione del *termometro*.

DESCARTES — che considereremo più tardi come teorizzatore del razionalismo — sperimentando sulla rifrazione della luce, è riuscito a precisare ed estendere l'osservazione fatta su un caso particolare da SNELLI, e così a stabilire la legge che il seno dell'angolo d'incidenza sta al seno dell'angolo di rifrazione in un rapporto costante (indice), che dipende solo dalla materia attraversata.

Ci limiteremo a questi semplici esempi, ma vogliamo almeno accennare al rinnovamento profondo che il metodo sperimentale ha portato anche al di là del campo della fisica, per esempio negli studi sulla circolazione del sangue, di cui già abbiamo discusso, e in generale nella fisiologia e nella medicina: rinnovamento così grande che si distingue correntemente un periodo pregalileiano e un periodo postgalileiano della scienza medica.

D'altra parte il risultato di alcuni studi sperimentali, (pensiamo in particolare alla scoperta del microscopio (HOOKE)) ha dato un nuovo ed enorme impulso alla osservazione anatomica, specie negli animali inferiori.

FRANCESCO BACONE. — Galileo, pure ispirandosi ad un concetto filosofico della scienza, non ha propriamente teorizzato il metodo sperimentale; motivi empirici e razionali del conoscere vengono in esso fecondamente conciliati dalla retta mente scientifica, secondo le esigenze della ricerca, in guisa da esprimere nella maniera più splendida lo spirito generale dell'epoca, portato all'interrogazione della natura; ma all'intuizione del procedimento non si accompagna ancora una critica esplicita dei suoi principii.

La giustificazione teorica del metodo è stata intrapresa più tardi da BACONE e da CARTESIO, il primo dei quali si fa araldo dell'empirismo, l'altro del razionalismo, dando luogo così ad una consapevole opposizione, che doveva poi maturare una più alta veduta del procedimento matematico-sperimentale delle scienze, in cui vengono armonizzati gli opposti principii.

FRANCESCO BACONE ⁽¹⁾ riprendendo l'indirizzo già propugnato in Italia dalla filosofia del Telesio, vede nella scienza un procedimento che sale dai particolari sensibili (osservazioni ed esperienze raccolte nel modo più largo) ai concetti più generali.

Per quest'uomo così rappresentativo dello spirito inglese il sapere è un strumento di potenza; con questa veduta egli esalta sopra le dispute ideologiche il possesso dei *fatti*.

Nella forma vivace della sua polemica filosofica, Bacone appare araldo (*buccinator*) della nuova concezione della ricerca maturatasi nei circoli scientifici; e di questi esprime l'intimo sentimento anche nelle « stroncature » che fa di Platone ed Aristotele, esaltando Democrito: « non Platone ed Aristotele, ma Genserico, Attila e i barbari cacciarono questa filosofia », ma dopo il suo naufragio « le tavole platoniche e aristoteliche, come materia più lieve e gonfia, rimasero a galla e furon tramandate fino a noi ».

Il metodo preconizzato è l'induttivo; dice che l'interpretatio naturae « a sensu et particularibus exercitat axiomata, ascendendo

(¹) N. a Londra nel 1561, dalla carriera del diritto salì rapidamente ad alti onori sotto la regina Elisabetta, guadagnandosi la protezione regale, fino a divenire Gran Cancelliere del regno. Ma accusato e convinto di peculato, egli fu degradato nel 1621. Riabilitato dal re non tornò però alla vita politica, e morì nel 1626.

continentur et gradatim, ut ultimo loco perveniatur ad maxime generalia » (1). Egli vuol dunque paragonare le osservazioni e le esperienze particolari, tenendo conto non solo delle somiglianze, come nella *enumeratio simplicium* di Aristotele, sì anche dei responsi negativi. E del resto non accetta così ingenuamente il dato del senso, e la sua interpretazione secondo la comune apparenza, anzi dichiara e corregge le più ordinarie cause d'errore, distinguendo quattro specie d'illusioni o false immagini, che turbano le nostre percezioni.

Le prime, *idola specus*, provengono dalle limitazioni del singolo sperimentatore e possono venir corrette col confronto tra le esperienze di più individui. Più gravi gl'*idola theatri*, che si fondano sull'autorità dell'insegnamento, contro la quale Bacone afferma vigorosamente la necessità di nulla ricevere senza il controllo dell'esperienza propria. Affini agl'*idola theatri* son gl'*idola fori*, che vengono dal linguaggio, mentre gl'*idola tribus* hanno fondamento nella stessa natura dell'uomo. Bacone non dice come possiamo liberarci da questa limitazione essenziale, che dà origine al problema critico della conoscenza; ma segnala come errore massimo di questa specie la spiegazione teleologica, cui contrappone la causalità meccanica.

Nonostante tutti questi motivi di scienza nuova, Bacone rimane impigliato nell'ideologia platonico-aristotelica, là dove propone la ricerca delle *forme o nature semplici* delle cose (denso, raro, bianco, ecc.) da cui le cose stesse dovrebbero risultare per composizione, alla maniera degli alchimisti. Il filosofo non ha veramente compreso il senso del metodo scientifico, quale era messo in opera dai suoi grandi contemporanei, GILBERT e GALILEO. Il punto più debole della sua metodica consiste nel disconoscere il valore delle matematiche: la deduzione dal generale al particolare resta per lui semplicemente contrapposta all'induzione; gli sfugge la circostanza essenziale che, discendendo dal generale al particolare, essa permette anche di controllare le ipotesi induttivamente conseguite.

(1) *Novum organum scientiarum* (1620), I, 19.

CARTESIO. — Mentre in Inghilterra Bacone empirista teorizza il metodo induttivo, in Francia il matematico Descartes, ispirandosi al più schietto razionalismo, elabora una teoria del metodo deduttivo, che pure tende ad esprimere le esigenze del lavoro scientifico contemporaneo.

RENATO DESCARTES (latinamente Cartesius), nato nel 1596, morto nel 1650, è noto soprattutto come il fondatore di una nuova metafisica, da cui dipende lo sviluppo ulteriore dello spiritualismo.

La sua vita e la sua personalità rispondono alla mente in una maniera caratteristica. Uscito dal convento dei gesuiti de la Flèche, a 17 anni decide di abbandonare i libri e la coltura scolastica per cercare la scienza nel gran libro dell'Universo. Uomo di mondo, militare, peregrinando attraverso l'Europa al servizio di diversi principi, raccoglie il materiale delle sue meditazioni. A venticinque anni crede aver trovato un metodo universale di conoscenza, attraverso la generalizzazione del metodo analitico che aveva applicato alla geometria. Avendo ormai chiaramente in vista il suo scopo, va maturando il sogno di una verità integrale negli anni errabondi che seguono. Nel 1629 si fissa in Olanda per poter vivere senza fastidi (« Bene vixit qui bene latuit »), e si dedica alla redazione delle sue opere, passando successivamente dal campo della fisica e della matematica alle speculazioni filosofiche e cosmologiche. Il *Discorso sul metodo* è del 1637 e le *Meditazioni metafisiche* del 1641. Come ricercatore scientifico Descartes apprezza pienamente il metodo induttivo di Bacone, basato sulle più larghe osservazioni ed esperienze, ma — avendo lungamente meditato gli argomenti scettici sulla fallacia dei sensi — non crede che la ricerca empirica possa anche fornire la prova sicura della verità, della quale egli cerca il criterio nella immediata certezza intuitiva che al geometra offrono le « idee chiare e distinte ».

Cartesio ha sentito potentemente il fascino della geometria, il senso di stupore e di ingrandimento del proprio io, che accompagna la scoperta di proprietà sempre nuove e più riposte, scaturenti da ovvie premesse per semplice deduzione. Come è possibile che il pensiero, approfondendo se stesso, discopra tanta ricchezza di

conoscenze che si impongono come necessarie, precorrendo osservazione ed esperienza ?

Archimede, essendo giunto a trovare che il volume della sfera è $\frac{2}{3}$ del cilindro circoscritto, si fermava ad ammirare questa verità, e già Platone aveva invocato nel « Menone » la teoria della reminiscenza che per lui è prova dell'origine divina dell'anima, e in virtù della quale lo schiavo incolto, guidato da abili domande, riesce a scoprire in sè la risposta al problema della duplicazione del quadrato. Si trovano qui i precedenti della dottrina cartesiana che attribuisce all'anima il possesso di « idee o conoscenze innate ». Da queste deve muovere, per Descartes, lo sviluppo della scienza razionale: sviluppo deduttivo, dal generale al particolare, secondo l'ideale dei Greci.

Ma nuovo è l'ardimento con cui il filosofo francese appresta il suo disegno di conoscenza universale d'Iddio e del mondo. Qui è lecito scorgere una grandiosa attuazione sistematica dell'idea di Galileo, che la ragione del geometra dia a questi il possesso d'una verità non inferiore (intensivamente) alla verità conosciuta da Dio; poichè il pensiero galileiano era penetrato nella Francia contemporanea, per opera di filosofi e di dotti come GASSENDI, PEIRESC e MERSENNE.

Cartesio vuole ricostruire nelle sue linee principali l'ordine della natura, spiegando tutta la fisica come una geometria del movimento.

A dir vero, questo sistema cosmologico, e in ispecie la teoria dei vortici, che ne forma parte essenziale, appare nella storia come una costruzione arbitraria di dubbio valore, che non potè essere salvata nemmeno dagli sforzi di un matematico superiore quale fu Huygens, e dovette infine cedere di fronte alla meccanica newtoniana. Ma le idee filosofiche ispiratrici rimangono ancora dominanti negli sviluppi della fisica teorica fino ai nostri giorni.

Infatti appartiene a Cartesio il primo tentativo di ridurre sistematicamente la spiegazione dei fenomeni fisici al *meccanismo*. Le esigenze di questa spiegazione sono definite nella maniera più rigida:

1°) La materia resta privata di tutte le qualità che non siano geometriche, riducendosi così al concetto dell'*estensione figurata*.

2°) In conseguenza, lo spazio identificandosi con la materia, si riesce alla *negazione del vuoto*: c'è qui un ritorno dal concetto atomistico della materia di Democrito a quello di Parmenide; e tuttavia nel *pieno* dell'Universo si possono pensare delle particelle solide, soddisfacenti cioè al *legame* della invariabilità di forma, che prendono il posto degli atomi democritei.

3°) L'ipotesi del « pieno » porta che accanto alla materia visibile s'introduca una *materia invisibile* (etere, fluidi, ecc.). Questa supposizione risponde al bisogno di rappresentare l'*azione causale* come *contigua* nello spazio e nel tempo: non si può concepire che un corpo agisca a distanza, cioè in un punto dello spazio dove non si trova, se non attraverso l'intermediario di altri corpi; e tanto meno riusciamo ad immaginare che una causa possa agire alla fine di un intervallo di tempo, senza aver esercitato durante questo alcun effetto.

4°) Le condizioni precedenti si esprimono nel sistema cartesiano e in quelli che ne derivano (fino a LORD KELVIN e HERTZ) con la riduzione delle forze a pure *reazioni di legami* o vincoli di tipo geometrico: in questo senso il primo esempio è stato offerto dalla forza centrifuga, che nasce dal movimento circolare di un corpo costretto a serbare distanza invariabile dal centro (HUYGENS).

È chiaro come una rappresentazione cosmologica costruita in base a tali esigenze tenda ad offrire una visione del mondo fisico così chiara ed evidente come quella che possiamo formarci dal funzionamento di una macchina, di cui ci siano presenti tutti i congegni.

NEWTON E LE IPOTESI RAPPRESENTATIVE. — Tuttavia, per costruire il sistema della Dinamica, NEWTON è stato costretto ad abbandonare alcune di codeste esigenze intuitive e ad ammettere come dato di fatto le forze attrattive esercitanti fra le particelle materiali. Si suppongono dunque *forze istantanee a distanza*, rompendo il postulato della contiguità dell'azione causale nello spazio. Ma Newton non pretende dare nel suo sistema le vere cause da cui debbono risultare le forze osservate; egli si limita

a dire che tutto procede « come se » fra le particelle materiali si esercitassero le suddette forze attrattive: « Hypotheses non fingo ». Le ipotesi di cui qui si parla, e di cui l'autore dice che nella filosofia sperimentale « pro nihilo sunt habendae » (1) sono le *ipotesi rappresentative* di tipo cartesiano, con le quali si introducono eteri o fluidi invisibili, dotati a priori di certe proprietà, alla cui evidenza si pretende di piegare l'osservazione dei fenomeni.

Newton s'allontana dal quadro della scienza cartesiana, anzitutto perchè rifiuta il concetto *a priori* della materia, che esclude ogni proprietà non attinente all'estensione figurata: accanto a tali proprietà geometriche l'A. ammette anche quelle che risultano induttivamente dal confronto di più larghe osservazioni.

Ora questi due ordini di conoscenze (intuitive e meno intuitive) hanno veramente il significato che loro attribuisce il criterio cartesiano, scorgendo nella geometria un'espressione delle cose in sè, indipendente dall'esperienza sensibile?

A tale domanda dà una risposta negativa la critica filosofica degli empiristi. Già GASSENDI (1592-1655) sostiene che le intuizioni evidenti postulate da Cartesio riflettono soltanto osservazioni ed esperienze familiari. Più tardi la scuola psicologica inglese distrugge con LOCKE (2) la credenza di Cartesio nelle idee innate, e giunge con BERKELEY ad attaccare direttamente la distinzione fondamentale fra proprietà primarie e secondarie della materia, dimostrando che la stessa idea dell'estensione nasce dall'associazione di sensazioni possibili, e non può quindi pretendere in nessun modo a rappresentare la realtà delle « cose in sè ».

È chiaro come queste critiche convergano in una veduta liberatrice coi criteri direttivi della costruzione scientifica newtoniana: se l'evidenza dei principî consiste soltanto nell'abitudine ad osservazioni molte volte ripetute, perchè il pensiero dovrebbe inibire

(1) *Optices*, Lib. III.

(2) John Locke (1632-1704) durante i suoi studi di medicina dovette occuparsi di scolastica, e l'avversione per le inutili dispute lo condusse a cercare la verità per un'altra via che gli sembrava più conforme al buon senso. Fu segretario di legazione in Germania, poi consulente e amico di Lord Shaftesbury, che accompagnò in esilio, a due riprese, in Francia e in Olanda.

a se stesso una più larga scelta di premesse possibili, negandosi di attingere a nuove osservazioni ed esperienze rigorosamente accertabili?

Tuttavia il rifiuto del criterio dell'evidenza — che risponde insomma a certe esigenze subiettive del pensiero — si accompagna d'altra parte ad una limitazione della ricerca, entro i confini non superabili dei dati sperimentali, con divieto di speculare comunque sopra una realtà ultrafenomenica. Come si è detto, Newton ha condannato, in questo senso, le ipotesi rappresentative, che nella filosofia sperimentale « *pro nihilo sunt habendae* ». Ma nello studio dell'Ottica è stato tratto dalle esigenze della ricerca a formulare egli stesso un'ipotesi dell'emissione; e certo la controversia fra questa e l'ipotesi dell'ondulazione di Huygens ha avuto nel progresso della scienza un influsso decisivo.

INDUZIONE E DEDUZIONE. — Il criterio newtoniano della ricerca implica una revisione del metodo scientifico, per cui l'induzione e la deduzione vengono più strettamente congiunte, come i due aspetti di un medesimo sviluppo. Secondo questo criterio, i principî non riposano più sulla base dell'evidenza immediata, ma figurano come conclusioni provvisoriamente adottate d'un ragionamento induttivo o analitico, in cui si confrontano nel modo più largo osservazioni ed esperienze: nella filosofia sperimentale, dice Newton (IV regola), le proposizioni tratte per induzione dai fenomeni debbono esser considerate — nonostante ogni preconetto in contrario — come se fossero esattamente vere; finchè altri fenomeni o le confermino del tutto, o mostrino fino a che punto esse vadano soggette ad eccezioni.

Tuttavia il ragionamento che risale dagli effetti alle cause, non acquista piena validità fino a che non sia completato mediante la sintesi, cioè la dimostrazione che dai principî-cause si deducono veramente tutti gli effetti conosciuti ⁽¹⁾. Riesce così armonizzato,

(¹) « *Methodus analytica est experimenta capere, phaenomena observare, indeque conclusiones generales inductione inferre. Nec ex adverso ullas objectiones admittere, nisi quae vel ab experimentis vel ab aliis certis veritatibus desumantur...* »

in un senso che più si ravvicina a Galileo, il dissidio fra le posizioni di Bacone e di Cartesio; il primo dei quali, come si è visto, dava esclusivamente risalto al momento induttivo della ricerca scientifica, disconoscendo l'ufficio della deduzione, mentre il secondo, che pure aveva accolto qualcosa dello spirito baconiano, diminuiva il valore dell'induzione non concedendole di condurre a principî estranei all'evidenza intuitiva.

Questo schema teorico della scienza newtoniana contempla un sapere in qualche modo perfetto e rigorosamente sistemato; all'atto pratico lo sviluppo della dottrina costruita da Newton s'è trovato esorbitare da tale schema; poichè le leggi di Keplero, che figurano come premesse del calcolo delle forze attrattive, verranno corrette in base all'induzione stessa, che porta a conferire alla formula della gravitazione il suo significato universale: ammettendo dunque che anche fra le masse planetarie si esercitino le stesse forze che han luogo fra sole e pianeti, fra pianeti e satelliti.

In tal modo deduzione e induzione risultano nella pratica del sistema newtoniano anche più strettamente congiunte che nello schema teorico; e si disegna già la veduta di un processo scientifico ascendente a principî sempre più generali, in cui la deduzione stessa appare come un momento del cammino induttivo del sapere.

LEIBNIZ E IL PRINCIPIO DI RAGION SUFFICIENTE. — Cerchiamo di approfondire la controversia fra razionalismo ed empirismo domandandoci in qual modo ragione e senso contribuiscano alla costruzione scientifica. Per Cartesio la ragione, lungi dal ridursi ad una mera facoltà trasformatrice dei dati della conoscenza, fornisce già i primi principî quali verità evidenti e necessarie. Ma, come abbiamo detto, la critica empiristica riconosce in codeste verità evidenti un possesso acquisito per osservazioni ed esperienze familiari,

Hac analysi licebit, ex rebus compositis ratiocinatione colligere simplices; ex motibus vires moventes.... ex effectis causas; ex causisque particularibus generales; donec ad generalissimas tandem sit deventum. Atque haec quidem est methodus analytica. Synthetica est, causas investigatas et comprobatas assumere pro principis, eorumque ope, explicare phaenomena ex iisdem orta, istasque explicationes comprobare ». (*Optices*, Lib. III, p. 165, Patavii 1749).

e così, in ultima analisi, una conoscenza sensibile. La polemica che si suscitò a questo proposito fra i filosofi, pose nettamente il problema delle *idee innate*. JOHN LOCKE, il maestro e predecessore di Berkeley nella scuola empirica inglese, ha confutato la possibilità di tali idee: « nihil est in intellectu, quod prius non fuerit in sensu ».

Ma LEIBNIZ, pur accettando questo aforisma che risale già alla scolastica, soggiungeva *nisi intellectus ipse*, cioè: la ragione assume bensì i suoi dati dal senso, ma possiede una sua originalità propria, che è il modo di appropriarli e di trasformarli. L'ufficio proprio della ragione si deve riconoscere nei criteri stessi del ragionamento, induttivo o deduttivo: là dove per esempio Newton enuncia come « regola del filosofare » che le cause non sono da moltiplicarsi senza necessità, perchè la Natura non fa nulla invano, o che effetti naturali dello stesso genere debbono riferirsi a cause uguali: « così, egli dice, la respirazione nell'uomo e nella bestia, la caduta di una pietra in Europa e in America, la luce del fuoco quaggiù e nel sole ». Donde ha appreso Newton la razionalità e l'unità della natura postulata con queste regole?

Qui ci urtiamo in un problema gravissimo che non ha ricevuto ancora una risposta esauriente. Le tesi degli empiristi, che il senso fornisca non soltanto i dati della conoscenza, ma anche il modo con cui questi vengono associati ed elaborati dal pensiero, appaga così poco come le ipotesi immaginate dai razionalisti per spiegare che la funzione del pensiero stesso sia *a priori* adeguata alle esigenze del conoscere, ciò che implica in qualche modo un'armonia prestabilita fra pensiero e realtà. Comunque, il fisico inglese non si è fermato su tali problemi, limitandosi ad esprimere i criteri di metodo ch'egli trovava nella sua sana intuizione scientifica.

Maggiore approfondimento, anche in senso metafisico, questi problemi hanno ricevuto da GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ, che riesce almeno ad illuminare i diversi aspetti dell'esigenza razionalistica. Dalle meditazioni del filosofo tedesco raccogliamo soltanto la veduta di alcuni principî generali, che hanno dimostrato il loro valore nel progresso della ricerca scientifica.

Soprattutto Leibniz ha illuminato la condizione d'intelligibilità del reale, col *principio di ragion sufficiente*: « aucun fait ne saurait se trouver vrai ou existant, aucune énonciation véritable, sans qu'il y ait une raison suffisante pourquoi il en est ainsi et non pas autrement, quoique ces raisons le plus souvent ne puissent pas nous être connues » (1).

Questa affermazione esprime un'esigenza fondamentale del pensiero scientifico: se la realtà fenomenica può essere espressa con un sistema di concetti, bisogna che i rapporti reali fra gli oggetti dati trovino una adeguata rispondenza nei rapporti logici di codesti concetti rappresentativi, e in particolare che nel sistema di questi si rispecchino le condizioni del determinismo esterno (2).

In particolare, se quelli che si assumono come i dati-cause presentano una certa simmetria, la medesima simmetria dovrà riscontrarsi negli effetti. Un'applicazione di questo principio (3) trova Leibniz nel postulato di cui fa uso Archimede (4) che una bilancia caricata di pesi uguali sia in equilibrio. Similmente è lecito postulare che se un punto è sollecitato da forze uguali, la risultante di queste deve appartenere alla bisettrice del loro angolo, ecc. Queste applicazioni sono affatto elementari. Ma il principio di simmetria ha rivelato più tardi il suo valore euristico, per esempio nella forma generale datagli da PIERRE CURIE (1904).

Un altro aspetto del principio di ragion sufficiente conduce al postulato che i processi della natura rispondano in generale a certe condizioni di massimo e minimo: per esempio, la riflessione della luce risponde a un minimo della linea che congiunge due punti, toccando il piano dello specchio, od anche un punto che si muova

(1) *Monadologia* (1695) in *Opera philosophica*, ed. Erdmann, pag. 707.

(2) Così in ogni teoria fisico-matematica, traducendo un ordine di fenomeni in un sistema di equazioni differenziali, si deve richiedere che le costanti arbitrarie che figurano negli integrali riescano univocamente determinate dalle condizioni iniziali che possono essere assunte, a rappresentare le cause determinanti il processo fenomenico: e d'altra parte ogni aspetto possibile dei fenomeni deve rientrare nella rappresentazione posta.

(3) Che veramente si ritrova già in Anassimandro.

(4) Cfr. *Oeuvres*, Parigi 1908.

per inerzia sopra una superficie, percorre una linea di minima lunghezza su di questa, cioè una *geodetica* (una retta sul piano, un circolo massimo sulla sfera, un'elica sul cilindro, ecc.).

Leibniz vede in tali casi un aspetto finalistico della natura: ogni concetto costruito dal pensiero esprime un « possibile » che tende a realizzarsi; ma non tutti i possibili sono copossibili senza contraddizione; perciò il filosofo concepisce diversi sistemi di possibilità — diversi mondi possibili — e postula che nel mondo reale si avveri un massimo di possibilità coesistenti (un minimo di condizioni negative). In questo senso appunto il nostro riuscirebbe « il migliore dei mondi possibili ». C'è qui un paradosso mordacemente illustrato dal « *Candide* » di Voltaire.

Quale che sia l'opinione in cui si tengano le spiegazioni teleologiche, sta di fatto che il criterio finalistico ha anche dopo Leibniz una larga parte nella scoperta dei principî di massimo e minimo che reggono la fisica matematica: dal principio di minima azione di MAUPERTUIS (1698-1759) e di HAMILTON (1805-65), al principio d'inerzia generalizzato della meccanica di HERTZ-EINSTEIN. Vero è che questi principî figurano oggi nei trattati di meccanica e di fisica-matematica soltanto come regole positive, giustificate con semplici trasformazioni formali di altri principî; e d'altra parte pensatori che non possono appagarsi di un tale formalismo hanno tentato di ricondurre le condizioni di massimo e minimo a condizioni di simmetria, o più in generale alla determinazione univoca degli effetti per mezzo delle cause (MACH, PETZOLDT).

Valgano ad ogni modo questi cenni a mostrare che lo sviluppo della scienza non è proceduto soltanto per arricchimento delle osservazioni e delle esperienze, sì anche per un approfondimento dei criteri *a priori* che la ragione riconosce come connaturali a sè stessa, e che essa elabora e svolge, e poi anche corregge, nello sforzo di comprendere la realtà.

Il meccanicismo e gli sviluppi della scienza moderna.

Nel sistema di Newton si ha ormai il tipo della dottrina scientifica moderna, sicchè un libro volto a spiegare l'evoluzione e la formazione della scienza potrebbe a questo punto arrestarsi, lasciando nell'ombra il lavoro già iniziato dai suoi contemporanei per mettere le basi di altre discipline, che dovevano ricevere in appresso importanti sviluppi. Nondimeno, prima di concludere la nostra trattazione, volgendoci a discutere i problemi della teoria della conoscenza che di qui prendono origine, vogliamo gettare uno sguardo al progresso scientifico che riceve impulso dal metodo e dallo spirito di ricerca affermatosi nella dinamica di Galilei-Newton. Quali frutti si raccolgano da questo lavoro mostra il vasto orizzonte dischiuso dalle scoperte e dalle conquiste del secolo decimonono, brillantemente proseguite nel ventesimo; sebbene a noi non sia dato fermarci sui risultati di questa età feconda, che dobbiamo percorrere cogli stivali delle sette leghe.

MECCANICISMO. — L'influenza della dottrina newtoniana si esercita in due direzioni opposte: sia nell'indirizzo che assume, in conseguenza di essa, il programma democritico-cartesiano, che tende a ridurre tutti i fenomeni fisici al giuoco di cause meccaniche, figurando i fenomeni stessi come apparenze di un soggiacente meccanismo; sia nell'indirizzo, che fu più tardi teorizzato come positivo (o *positivistico*), per cui — facendo astrazione da ipotesi rap-

presentative — si cerca soltanto di descrivere i fatti, traducendo in precise formule matematiche le relazioni che intercedono fra i dati sperimentali.

Abbiam detto che la spiegazione meccanica era l'ideale di Cartesio e in generale dei filosofi all'inizio del secolo XVII, ripreso da Democrito; che anzi il filosofo francese — volendo dare ragione delle forze, che gli apparivano come « qualità occulte » — definiva rigidamente le esigenze del suo meccanismo, col fare appello soltanto alle proprietà di estensione e d'impenetrabilità o di rigidità della materia (legami di tipo geometrico). Tuttavia negli stessi circoli cartesiani l'idea di sviluppare un sistema meccanico nei suoi particolari, fino alla previsione esatta dei fenomeni, appariva un sogno. Dice Pascal:

« Il faut dire en gros : cela se fait par figure et mouvements, car cela est vrai; ... mais de dire quels, et composer la machine, cela est ridicule ».

Invece il sistema dinamico di Newton, pur venendo ad un compromesso colla realtà sperimentale, da cui assume il « dato » delle forze, suscitava la speranza concreta di « comporre la macchina », riuscendo alla costruzione di una teoria fisica soddisfacente, fondata su ipotesi meccaniche; ed a questo scopo si volgevano infatti gli sforzi di molti fisico-matematici, combinando, secondo le occorrenze, la supposizione delle forze centrali coll'idea cartesiana dei legami, e valendosi anche della più larga concezione della dinamica dei sistemi, quale si trova nella *Meccanica analitica* di LAGRANGE.

I principali ordini di fenomeni fisici di cui si può cercare una spiegazione meccanica sono:

- 1°) i fenomeni della elasticità, sia statica (resistenza, tensione ecc.), sia dinamica (onde elastiche ecc.);
- 2°) il suono;
- 3°) i fenomeni della luce;
- 4°) quelli del calore;
- 5°) della elettricità e del magnetismo;

6°) e infine le trasformazioni della materia che formano l'oggetto della Chimica.

ELASTICITÀ: TEORIA CINETICA DEI GAS. — Alcuni fenomeni di elasticità appaiono già alla base dei sistemi cinetici democritico-cartesiani, sicchè il loro studio è richiesto per l'intelligenza di questi: quando si figura un sistema di punti materiali mobili ed urtantisi fra loro, si è condotti invero a formulare le leggi dell'urto, che partendo dai principii della conservazione della somma delle quantità di moto e delle forze vive, sono state bene riconosciute da HUYGENS ⁽¹⁾ (1656). Inoltre lo studio delle tensioni elastiche (resistenze dei materiali, ecc.) dà luogo ad un ramo della meccanica dei sistemi, in stretto rapporto colle applicazioni tecniche (travi, ponti ecc.). Questi problemi hanno ricevuto, fino ad un certo punto, una trattazione matematica, che costituisce una vera estensione della statica e della meccanica classica di Galilei-Newton. Ma una adeguata rappresentazione cinetica, che risponda alle leggi conosciute, si è sviluppata solo per i gas. Il primo modello all'uopo è stato costruito da DANIELE BERNOULLI (1738): un gas viene assimilato ad un sistema di particelle liberamente mobili, ed urtantisi fra loro, dotate tutte della medesima velocità; secondo il concetto cartesiano, dai loro urti sulle pareti risulta la pressione. La temperatura del gas dipende dalla velocità degli atomi. Lo schema dà ragione delle note leggi di Boyle e di Mariotte (pressione inversamente proporzionale al volume e proporzionale alla temperatura).

Questa teoria cinetica, che realizza, in una maniera estremamente interessante, se pure in un ordine particolare di fenomeni, l'ideale democriteo, è stata proseguita, dopo Bernoulli, da diversi fisici, qualcuno dei quali — per raggiungere una più esatta concordanza coi fatti — ha ammesso che fra gli atomi mobili si esercitino delle forze centrali. Ma, senza fermarci su tali sviluppi, vogliamo almeno accennare al progresso portato da CLERK MAXWELL, nel secolo XIX.

(1) « De motu corporum ex percussione ». Op. post., 1703.

Il fisico inglese ha osservato che lo schema assunto da Bernoulli, in cui si suppone che tutte le particelle abbiano eguale velocità, è a priori astrattamente semplificato, come quello che contravviene al principio di ragion sufficiente. Bisogna ammettere che le velocità sieno estremamente varie (se anche fossero eguali in un istante iniziale, diverrebbero, in seguito agli urti, affatto differenti!), e anzi che esse sieno suscettibili di prendere — entro certi limiti — tutti i valori possibili. Quindi lo studio del gas conduce a porre il problema della ripartizione di codeste velocità; la pressione del gas risulterà dalla *media* delle velocità stesse ecc.

Così, per la prima volta, s'introduce nella scienza l'idea di leggi fisiche che sono, nella loro essenza, *leggi statistiche*, rappresentanti l'aspetto medio di una massa di fenomeni elementari, e perciò un ordine probabilistico, che esprime la regolarità d'insieme di un sistema disordinato. C'è qui un concetto affatto nuovo della legge naturale, che ha ricevuto ai dì nostri la più vasta estensione, e mercè cui il significato stesso della scienza appare in una nuova luce.

SUONO. — Lo studio dell'elasticità dinamica ha importanza fondamentale per alcuni rami della fisica: in ispecie per l'acustica e per l'ottica, dove si tratta appunto della propagazione di onde in un mezzo elastico.

I fenomeni del suono sono stati studiati fino dall'antichità (scuola pitagorica) in rapporto alla lunghezza delle corde vibranti che loro danno origine. Lo studio è stato ripreso da GALILEO, e poi dal P. MERSENNE che esplicitamente riferisce le comunicazioni avute dal maestro fiorentino: vengono messi in evidenza i rapporti fra l'altezza delle note e la velocità delle vibrazioni, e quindi le ragioni degli accordi ecc.

Il problema della velocità del suono attrasse successivamente l'attenzione nel secolo XVII. P. GASSENDI ha corretto un errore d'Aristotele e ha intrapreso la prima determinazione sperimentale di codesta velocità di propagazione, riconosciuta indipendente dall'altezza. BORELLI e VIVIANI hanno rettificato il valore trovato

(che era assai superiore al vero). Frattanto si discuteva se il suono consista propriamente in vibrazioni dell'aria traverso a cui si trasmette, ovvero sia portato da speciali particelle di materia entro l'aria stessa: così p. es. supponeva Gassendi. La veduta più semplice trionfava in seguito agli esperimenti di O. GUERICKE, mercè cui si rileva l'ufficio essenziale dell'aria per la trasmissione del suono. Quindi NEWTON, considerando il suono come semplice vibrazione dell'aria (mezzo elastico), giungeva ad una formula che doveva dare, a priori, la velocità di esso. Il disaccordo fra il valore teorico così determinato e l'esperienza (perchè il valore di Newton è troppo basso) ha condotto molti matematici (Eulero, D. Bernoulli, Lagrange, D'Alembert) a sviluppare la teoria delle onde elastiche. Pare tuttavia che la fondamentale distinzione fra le onde *longitudinali*, che si hanno nei gas, e le onde *trasversali*, che si producono nei solidi, sia stata riconosciuta — in connessione coll'esperienza — soltanto da E. F. CHLADNI (1799).

In definitiva l'acustica si lascia costruire come un ramo della dinamica, cioè come teoria delle onde propagantisi in un mezzo elastico, che è in generale l'aria, ma che può essere anche solido o liquido.

LUCE. — Le speculazioni intorno alla natura della luce, nel mondo moderno, cominciano con CARTESIO, il quale — avendo supposto lo spazio tutto pieno d'un fluido sottile, o etere — ne fece il veicolo di trasmissione della luce, concepita, non già come qualcosa di corporeo, bensì come reazione di codesto mezzo (dotato di elasticità infinita), che dovrebbe propagarsi in maniera *istantanea*. La questione se la luce abbia una velocità di propagazione (finita) era già stata tentata da Galileo, che non potè giungere, in proposito, ad una conclusione. La effettiva velocità di propagazione fu riconosciuta soltanto più tardi (1675) dall'astronomo danese OLAF ROEMER, in rapporto alle eclissi dei satelliti di Giove. Infatti le leggi di Keplero permettono di determinare, in modo preciso, l'istante in cui questi satelliti si debbono rendere visibili, ed invece l'osservazione dà uno scarto, che Roemer aveva stimato

più forte ma che in realtà sale fino a 16': lo scarto riesce spiegato se si ammette che la luce solare, per venire fino alla nostra Terra, impieghi 8 minuti primi, ciò che fa una velocità di circa 300 mila km. al minuto secondo. La stessa velocità è stata misurata con esperienze terrestri, molto più tardi, da FIZEAU e FOUCAULT (1839-62).

La veduta cartesiana è stata precisata da HOOKE (1665) e da HUYGENS (1678) nel senso di considerare la luce come vibrazione dell'etere, propagantesi per onde: questa rappresentazione è suggerita per analogia del suono, concepito appunto come vibrazione dell'aria. Huygens ha dato all'ottica *ondulatoria* uno sviluppo matematico, riuscendo a spiegare il concetto dell'onda (cilindrica o sferica) che si genera in un mezzo elastico, a partire da una perturbazione iniziale. Si pensi per esempio al caso di un sasso gettato nell'acqua: l'increspamento della superficie ci presenta un sistema di onde circolari concentriche, che si vanno sempre più allargando. Per rendersi conto del fatto, pensiamo che la particella o colpita dal sasso fu sollecitata da un moto oscillatorio normale alla superficie, che, in un certo intervallo di tempo si è propagato a tutti i punti P di un circolo di centro O. I quali divengono allora altrettanti centri di analoghe oscillazioni.

C'è qualche difficoltà a rappresentarsi l'effetto di tutti questi moti ondosi generati da ogni punto della superficie; ma Huygens vi riesce con felice intuizione geometrica, scoprendo che le onde secondarie rappresentate da cerchi uguali di centro P, si compongono in un'onda principale che è l'involuppo di codesti cerchi, sul quale soltanto si rendono sensibili gli effetti del moto oscillatorio. Questo è il celebre *principio di Huygens*, che permette anzitutto al suo autore di spiegare la propagazione rettilinea della luce, e poi anche i fenomeni di riflessione e di rifrazione.

Nonostante questi successi, NEWTON, dopo lunghe esitazioni, respinse l'ipotesi ondulatoria, ponendo in sua vece un'ipotesi dell'*emissione*, cioè una concezione balistica: la luce è portata da particelle emesse dal corpo luminoso. Questa è la supposizione più semplice e naturale che possa farsi da chi ammetta l'esistenza del vuoto, e già si era presentata nell'antichità. Essa rende a prio-

ri evidente la propagazione rettilinea, e spiega con eguale semplicità le leggi della riflessione e della rifrazione. Newton, sia pure attraverso prudenti riserve, fa propria questa ipotesi ⁽¹⁾, precisandola nel senso che le particelle luminose sarebbero imponderabili. Egli riesce anche a spiegare la composizione della luce bianca per mezzo dei colori dello spettro, che aveva dimostrato sperimentalmente, a partire dall'analisi col prisma ⁽²⁾; infatti basta percepire particelle luminose di specie diversa secondo i colori. Soltanto più tardi (1745) EULERO mostrava che il fenomeno può ugualmente spiegarsi nell'ipotesi ondulatoria, facendo corrispondere ai diversi colori diverse lunghezze d'onda.

Sia per la semplicità delle spiegazioni, sia per l'autorità del nome di Newton, la teoria dell'emissione fu accolta dai fisici contemporanei, lasciando nell'ombra l'ipotesi ondulatoria per oltre un secolo. Ma un fatto scoperto dallo stesso Newton e da lui non spiegato, valse a richiamare in vita le idee di Huygens: si tratta degli *anelli* alternativamente chiari e oscuri (o iridati) che si osservano guardando per trasparenza una lente convessa posata sopra un cristallo piano. Questo fenomeno si lascia comprendere in base all'*interferenza* delle onde luminose riflesse fra le superficie della lente e del piano (YOUNG, 1801). Sorse allora una vivace polemica nel corso della quale MALUS, che teneva per l'ipotesi balistica newtoniana, sfidò Young a spiegare il fenomeno di polarizzazione per riflessione da lui scoperto. La risposta fu data soltanto più tardi da FRESNEL (1821), il quale dimostrò che per render conto di tale ordine di fenomeni le onde luminose debbono supporre *trasversali* e non *longitudinali*: il che significa che la vibrazione delle particelle eteree deve essere perpendicolare alla direzione del moto della luce, e così nel caso di onde sferiche, tangente alla superficie sferica dell'onda. Ciò porta che l'etere debba figurare come un mezzo elastico analogo ad un solido, anzichè ad un gas (si pensi al modo in cui si propagano le oscillazioni lungo una corda, con-

⁽¹⁾ « Optices libri tres » (1704), 2^a ed. allargata (1717).

⁽²⁾ La decomposizione della luce era stata già indicata da GRIMALDI (1665).

frontandolo col progresso delle vibrazioni dell'aria in un tubo sonoro).

Ora si è condotti ad ammettere che lungo un raggio di luce polarizzata, la particella dell'etere vibrante si muova sempre normalmente al raggio entro un piano fisso; nel caso della luce comune il piano di oscillazione varierebbe continuamente. Con questa geniale ipotesi Fresnel è riuscito a spiegare sistematicamente tutti i complessi fenomeni di riflessione, rifrazione, diffrazione e polarizzazione della luce, in modo da prevederne a priori le circostanze, ed anche da scoprire fatti nuovi (attinenti p. es. all'ottica dei cristalli, come la rifrazione conica), che hanno ricevuto una piena verifica sperimentale.

Questa splendida architettura, che armonizza mirabilmente ipotesi ed esperienze, doveva poi fondersi in una sintesi più generale colla teoria elettromagnetica della luce.

CALORE. — Nella teoria cinetica dei gas si assume che il calore sia soltanto « movimento (più o meno veloce) delle particelle elementari del corpo ». Questa veduta non era nuova ai tempi di Bernoulli; tuttavia la questione intorno alla natura del calore è rimasta, anche dopo di lui, lungamente incerta e disputata. Già Galileo, riprendendo l'antica idea di Democrito, aveva concepito dei corpuscoli, « ignicoli », che, penetrando i corpi, determinerebbero un intimo moto di agitazione delle loro particelle. E l'idea viene accolta da Gassendi. Francesco Bacone più nettamente esprime l'opinione che il calore sia puro « moto delle particelle del corpo » (*Novum Organum*, II, 21). Similmente per Descartes il calore è una « agitation des petites parties des corps terrestres » (*Essai sur les météores*, 4^o partie, art. 29-31). ROBERTO HOOKE e ROBERTO BOYLE cercano di dimostrare la veduta cinetica discutendo varie osservazioni ed esperienze. Il primo (1665) non soltanto afferma che il calore è una « proprietà dei corpi che consiste nell'agitazione delle loro parti », ma, distinguendo chiaramente il calore dal fuoco, vede nella fiamma soltanto un effetto dell'aria circostante ai corpi infiammati, e mette in ridicolo l'ipotesi che si

dieno atomi di fuoco capaci di penetrare i pori della materia: « non occorre che ci tormentiamo a cercare quale specie di pori possano contenere gli atomi di fuoco... e quale Prometeo li tragga dalle regioni dell'aria... » (*Micrographia*, Oss. VIII, pag. 46).

Nondimeno Boyle, nel suo scritto « Sull'origine meccanica del calore e del freddo » (1675) scorge ancora nel fuoco qualcosa di distinto dal calore, ed anzi attribuisce alla fissazione degli atomi di fuoco l'aumento di peso che si constata nei metalli per la calcinazione. E la rappresentazione del fuoco come una sostanza (etere, fluido calorifico, ecc.) doveva naturalmente prevalere nei circoli dei chimici seguaci della teoria del flogisto (vedi più avanti). Essa si vedrà permanere ancora, alla fine del secolo decimottavo, nella mente di Lavoisier, che concepisce il *calorico* — materia imponderabile della luce — come qualcosa che si combina coi corpi nella combustione e conferisce ai gas prodotti il loro carattere specifico.

D'altra parte codesto concetto riceve apparente conferma, non solo dai fatti relativi alla propagazione del calore nei conduttori, sì anche dall'irraggiamento calorifico, soprattutto se si cerchi di rappresentarsi tale fenomeno secondo lo schema adottato da Newton nella teoria della luce (teoria dell'emissione). Così, nonostante la costruzione del modello cinetico dei gas di cui si è discusso (Bernoulli, 1738) la spiegazione meccanica del calore trovò poche accoglienze nel secolo decimottavo. Per esempio, alla metà del secolo, il fisico e chimico irlandese J. BLACK intraprendeva importanti ricerche calorimetriche, nelle quali viene supposto che il calore sia una sostanza.

Alla fine del secolo RUMFORD (1798) e DAVY fanno a sostegno della teoria cinetica delle esperienze che sembrerebbero decisive: citiamo soltanto la fusione di due blocchi di ghiaccio per semplice confricazione. E tuttavia l'ipotesi del fluido calorifico, col postulato di conservazione che esso implica, compare ancora in due celebri ricerche compiute da matematici francesi: Fourier e Sadi Carnot.

FOURIER (1822) intraprende lo studio della propagazione del calore nei conduttori, riuscendo per la prima volta a dare la teoria

matematica di un ordine di fenomeni fisici senza basarsi su ipotesi meccaniche, per la qual cosa questa doveva essere ammirata da Augusto Comte siccome il modello di una dottrina positiva! Ma i principî della detta teoria implicano che il calore sia qualcosa, come un fluido che si conserva. SADI CARNOT si volge a spiegare il funzionamento delle macchine a fuoco (1824), riconoscendo che il rendimento dipende dalla differenza di temperatura della sorgente e del refrigeratore. Egli scopre, in sostanza, quello che è stato assunto più tardi (da CLAUSIUS e da WILLIAM THOMSON) come secondo principio della termodinamica; ma nello sviluppo delle sue deduzioni muove dall'ipotesi del fluido calorifico, accettando il relativo postulato di conservazione: un errore che, fortunatamente, non toglie alla giustezza delle sue conclusioni fondamentali. Così, per vedere definitivamente risolta la questione del calore, in senso cinetico, occorre andare fino alla metà del secolo decimonono, e alla fondazione della Termodinamica.

Invero all'epoca cui ci riferiamo, l'ideale democritico-cartesiano della scienza sembra assai affievolito. Ciò che fu audace presentimento o intuizione dei pionieri del secolo decimosettimo appare sempre più come ipotesi da non accettare nei singoli domini, senza una prova. L'influenza di Newton si esercita in questo senso, per l'aspetto positivo del suo metodo di ricerca, piuttosto che per il motivo meccanico che esso contiene e sviluppa. Così la scoperta dell'equivalente dinamico del calore, che costituisce il *principio della conservazione dell'energia*, si fa dal medico ROBERTO MAYER nel 1842, indipendentemente da quella veduta meccanica che avrebbe potuto suggerirla, sebbene — a dir vero — la posizione del problema stesso dell'equivalenza derivi storicamente da codesta veduta.

Bisogna aggiungere che la scoperta di Mayer ha avuto dei precursori e degli emuli che solo per ragione cronologica non possono contenderne la priorità. Carnot, negli ultimi tempi della sua vita, era giunto a correggere l'ipotesi della indistruttibilità del calore che figura nel suo lavoro del 1824 e a riconoscere l'equivalenza di calore e lavoro; ma le sue note rimasero inedite per quarant'anni

dopo la sua morte, avvenuta nel 1832. D'altra parte Mohr, nel 1837, movendo dall'idea che il calore sia movimento, ne induceva la permanenza di qualcosa, che oggi chiamiamo *energia*.

Accanto ed indipendentemente dal Mayer, JOULE e COLDING (1843) arrivano pure a stabilire con precisione il principio d'equivalenza, di cui essi comprendono bene il rapporto colla teoria meccanica del calore. E questo rapporto è messo nella più chiara luce da HERMANN HELMHOLTZ (1847). Infatti la conservazione dell'energia per un sistema meccanico esprime una proprietà rilevata per la prima volta in un caso particolare da Galileo e poi successivamente estesa da diversi pensatori e matematici: si tratta del principio delle forze vive, concepito come principio universale di *permanenza del moto nel mondo*, che prende origine da una imperfetta veduta di Cartesio, corretta da LEIBNIZ, e che da HUYGENS viene stabilito per i meccanismi cartesiani, da DANIELE BERNOULLI per i sistemi (newtoniani) retti da forze centrali. Al quale principio finalmente LAGRANGE ha dato la maggiore estensione.

La scoperta della conservazione dell'energia, che costituisce il primo principio della Termodinamica, recava dunque una magnifica conferma all'ipotesi meccanica. Per contro una difficoltà del meccanicismo doveva scaturire dal *secondo principio*, che sta a base del teorema di Carnot: « la trasformazione del calore in lavoro in una macchina termica dipende dalla differenza delle temperature fra la sorgente calorifica e il refrigeratore »; che invero si riconduce al *postulato di Clausius* (1850): « il calore non può passare, senza lavoro, da un corpo più freddo ad un corpo più caldo ».

Secondo questo principio la trasformazione dell'energia meccanica in energia calorifica costituisce un fenomeno non interamente *reversibile*: la quantità totale di energia che si trova nel mondo sotto forma di calore, va continuamente crescendo. Invece nell'ipotesi meccanica tutti i fenomeni dovrebbero essere reversibili, poichè invertendo in un dato istante le velocità iniziali dei punti materiali di un sistema dinamico, il sistema stesso ripassa in senso inverso per le posizioni precedenti.

Come si accorda dunque la reversibilità dei fenomeni dinamici colla irreversibilità delle trasformazioni di energia, nelle quali cresce la quantità di calore ?

Diverse spiegazioni sono state proposte; la più soddisfacente viene offerta dai fondatori della moderna teoria cinetica dei gas (MAXWELL, BOLTZMANN): l'irreversibilità corrisponderebbe soltanto ad un aspetto probabilistico dei fenomeni, per cui i moti disordinati appaiono molto più frequenti dei moti ordinati. Per esempio: se si mescolano due polveri, dopo un certo tempo è enormemente più probabile di trovare un miscuglio in cui le parti di esse sieno estremamente compenstrate, anzichè uno stato in cui esse sieno separate in due sostanze pure; e nondimeno ad ogni possibile moto del sistema che fa passare da uno stato di separazione ad uno di miscuglio, risponde un moto possibile in senso inverso, che riconduce il miscuglio alla separazione!

ELETTRICITÀ E MAGNETISMO. — Accanto al calore e alla luce i fenomeni dell'elettricità e del magnetismo dovrebbero pure ricevere una spiegazione meccanica, se si vuol conferire al meccanismo un valore universale. Ma all'epoca della fondazione della dinamica essi erano troppo poco conosciuti perchè si potesse osare un simile tentativo. Così in questo campo l'influenza del pensiero scientifico di Galilei-Newton si è esercitata, lungo il secolo decimottavo, soltanto nell'allargare le prime nozioni trasmesse dall'antichità, raccogliendo osservazioni ed instaurando esperienze, secondo le regole del buon metodo induttivo.

Abbiamo già ricordato la grande opera di GILBERT che, nel « De Magnete » (1600), studia accuratamente i fenomeni magnetici, con speciale riguardo al magnetismo terrestre. Qui si trova la più chiara confutazione delle antiche spiegazioni miracolistiche, ed una buona raccolta di fatti, discriminati con sano criterio. In particolare l'attrazione elettrica viene distinta dall'attrazione magnetica. Gilbert ha avuto, durante il secolo decimosettimo, varii continuatori. E questi si volgono a considerare maggiormente l'elettricità che — apparendo meno utile ai fini pratici — aveva richiamato

meno l'attenzione degli studiosi. Citiamo NICCOLÒ COBEO che scopre la *repulsione* elettrica, non ancora osservata dai predecessori (« *De philosophia magnetica* », Ferrara 1629); ed OTTONE DI GUERICKE che costruisce la *macchina elettrica* (produttrice dell'elettricità statica) e compie, in questo campo, esperienze fondamentali. Ricordiamo ancora la *bottiglia di Leyda*, un trovato dei fisici olandesi del 1746, che sollevò gran rumore nella società parigina contemporanea.

La produzione di potenti scariche doveva richiamare l'attenzione sull'analogia cogli effetti del fulmine. Si narra che un osservatore, assistendo ad esperimenti colla macchina di Guericke, abbia esclamato: « È la luce del lampo e il rumore del tuono! » Alla spiegazione elettrica del fulmine ha lavorato sopra tutti BENIAMINO FRANKLIN, il primo cittadino del nuovo mondo che abbia fornito importanti contributi scientifici, l'uomo imbevuto di un ideale di libertà, che fu acclamato a Parigi nel 1776, quando venne a portarvi la voce dell'America, la quale aveva allora gridato la sua « dichiarazione d'indipendenza ». In quell'occasione fu coniato per lui il famoso verso:

Eripuit coelo fulmen, sceptrumque tyrannis.

Franklin ha compiuto una serie di studi sull'elettricità atmosferica, facendo esperimenti con un cervo volante. Già gli era occorso di uccidere un pollo colla scarica di più bottiglie di Leyda. Egli è riuscito infine a realizzare l'identità dei fenomeni di cui si parla, e ne ha tratto l'invenzione del *parafulmine* (1752). Quale impressione abbia fatto questo trovato sui contemporanei, ci dice Vincenzo Monti nell'ode a Montgolfier:

Rapisti al ciel le folgori
che debellate innante
con tronche ale ti caddero
e ti lambîr le piante.

Ai progressi indicati si accompagnano più lenti progressi della fisica dell'elettricità nel campo teorico. Nella prima metà del secolo XVIII il francese Dufay teorizza distinguendo due fluidi elettrici, che sono stati chiamati poi positivo e negativo. E Franklin,

che pure era portato dallo spirito della sua nazione piuttosto verso la pratica che verso la teoria, prosegue queste considerazioni. Verso la fine del secolo s'iniziano quelle misure quantitative che dovevano permettere più tardi la trattazione matematica di tale ordine di fenomeni. COULOMB (1785-89) estende alle masse elettriche e magnetiche le leggi newtoniane dell'attrazione, che comportano qui anche il caso negativo della repulsione.

Con tutto ciò si era rimasti nel campo della elettricità statica. La *corrente elettrica* è stata scoperta, alla fine del secolo 18°, da LUIGI GALVANI e ALESSANDRO VOLTA. Galvani, professore a Bologna, sperimentava sull'elettricità che si svolge dalle rane, fino dal 1780. Volta (¹), che ebbe con lui fin dal 1794 una memorabile polemica sulla spiegazione di tali fenomeni, giunse all'invenzione della *pila* (circa 1800): che doveva ben presto essere adoperata, in Inghilterra, come mezzo per la decomposizione (elettrolitica) delle sostanze e fornire così il più potente strumento ai progressi della Chimica.

Con tali scoperte si era aperto tutto un mondo nuovo di fenomeni, la cui estensione appare a noi, nella vita di ogni giorno, attraverso le molteplici applicazioni pratiche. Sviluppare la teoria dei fenomeni elettrodinamici è stato il compito del secolo 19°.

Il danese H. C. OERSTED riconosce l'azione della corrente sull'ago magnetico (1820). In Francia BIOT e SAVART e poi LAPLACE stabiliscono le leggi matematiche delle azioni elettromagnetiche. A. M. AMPÈRE va più a fondo nella visione di quest'ordine di fenomeni (1820-27) scoprendo e determinando le azioni (elettrodinamiche) fra le correnti. Su tutte queste ricerche si esercita l'influenza diretta di Newton (Ampère fu designato da Maxwell come « il Newton dell'elettricità »!), non già nel senso del meccanicismo, ma piuttosto nell'indirizzo positivistico; si cercano relazioni precise fra dati sperimentali senza farle dipendere da ipotesi rappresentative: il titolo stesso della memoria fondamentale di

(¹) ALESSANDRO VOLTA, n. a Como nel 1745 e morto ivi nel 1827, fu professore di Fisica all'Università di Pavia dal 1780 al 1819.

Ampère esprime questo concetto: « *théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques, uniquement déduite de l'expérience* ». Tuttavia non si può dire che Ampère si astenesse da ogni ipotesi: per spiegare il magnetismo egli ha ammesso che si riduca semplicemente a correnti elettriche; questa è invero un'ipotesi che doveva trovare accoglienze solo più tardi nella fisica contemporanea.

I lavori di cui abbiamo discusso (a cui si legano ricerche ulteriori di NEUMANN, WEBER, FELICI, MOSSOTTI, ecc.) hanno un significato teorico. Ma essi hanno avuto pure vaste applicazioni tecniche, colle dinamo elettriche (*anello* di PACINOTTI, 1861 ⁽¹⁾ e *campo magnetico rotante* di GALILEO FERRARIS).

Posti i fondamenti della scienza dell'elettricità, diventa possibile tentare la costruzione di una teoria generale che abbracci tutti i fenomeni di questa specie. Attraverso le concezioni di FARADAY e di CLERK MAXWELL, questi tentativi si svolgono, a partire dall'ipotesi di una spiegazione meccanica, fino a LORENTZ, conducendo a sintesi grandiose in cui appare l'intima parentela o unità delle forze della natura, ma riuscendo infine a conclusioni affatto inaspettate.

Una scoperta di Faraday, cioè la deviazione del piano di polarizzazione della luce in un campo magnetico, suggerisce a Maxwell l'identità della luce e dell'elettromagnetismo. Maxwell intuisce, a priori, la possibilità di onde elettromagnetiche, che dovrebbero comprendere, come caso particolare, le onde luminose: fra queste e quelle non altra differenza che la lunghezza d'onda. E HERTZ, sedici anni dopo (1887) realizza la previsione. Le onde hertziane — di cui AUGUSTO RIGHI ha verificato sempre meglio l'analogia colle onde luminose — sono entrate oggi nella vita nostra di ogni giorno, colla radiotelegrafia di GUGLIELMO MARCONI.

Frattanto lo sviluppo della elettromagnetica ha condotto, in due direzioni, a superare l'ipotesi meccanica, da cui ha preso le mosse. La teoria di Lorentz, mercè la critica di ALBERTO EINSTEIN, è riu-

⁽¹⁾ Precede W. SIEMENS (1867), nonchè la realizzazione industriale di GRAMME (1869), che aveva avuto notizia della invenzione di Pacinotti.

scita alla nuova dinamica che, elevando a principio la negazione del moto assoluto (d'accordo colle esperienze di MICHELSON), prende nome di *teoria della relatività*. In essa le leggi di Galilei-Newton vengono sostituite da formole più complesse, rispetto a cui quelle rappresentano un'approssimazione. La dinamica einsteiniana corregge specialmente la precedente per quel che concerne gli effetti secolari (com'è il lento spostamento del perielio di Mercurio), ovvero le grandi velocità, quali si incontrano in certe radiazioni di corpuscoli, ecc.

Per un'altra parte lo studio della fisica delle radiazioni è venuto ad allargare straordinariamente il campo dei fenomeni conosciuti: ne è risultato il mezzo di scrutare coll'occhio della scienza il mondo interno degli atomi e di realizzare così una veduta unificatrice della materia. Ma questa unità, che importa in qualche modo l'unità delle forze naturali, non riesce, come si presumeva, a ridurre tutti i fenomeni alla meccanica, ma piuttosto ad invertire il problema tradizionale, sottomettendo la meccanica stessa ai fenomeni elettrici. Col varcare, nel piccolo come nel grande, i limiti delle consuete dimensioni umane, si scopre un nuovo mondo retto da leggi nuove, di cui i fisici vanno, ai nostri giorni, approfondendo l'indagine.

CHIMICA. — La diffusione del pensiero democriteo, atomistico e meccanico, nel secolo XVII, porta un radicale rinnovamento delle idee per riguardo alla costituzione della materia e alle sue trasformazioni, sebbene questa rivoluzione, urtandosi contro la forza delle vedute tradizionali e contro le difficoltà delle cose stesse, non poté subito affermarsi, anzi dovette presto cedere alla ripresa dei motivi avversi.

Per intendere gli ostacoli che il pensiero chimico doveva superare, si rifletta intanto che bisognava sbarazzarsi del pregiudizio antico che fa di ogni corpo particolare un *ens sui generis*, come un fascio di proprietà apparenti che sembrano costituirne tutta l'essenza. Similmente la formazione di un corpo per reazione di altri, con proprietà affatto nuove ed inaspettate, era apparsa, per lunghi secoli, un vero atto creativo in cui qualcosa nasce alla vita, quasi per

interno arbitrio. Nonostante la critica contro la filosofia scolastica (che vedemmo avversata da Paracelso) le concezioni dominanti in questo campo restavano pur sempre legate alle « forme » d'Aristotele: le forme dei componenti si perdono per dar luogo alla nuova « forma » del composto.

Occorreva spingere assai più avanti la critica antiaristotelica, e a tal uopo sovvenivano le intuizioni dei naturalisti presocratici, e specialmente degli atomisti. DANIELE SENNERT (a partire dal 1619) e, indipendentemente da lui, SEBASTIANO BASSO (in un lavoro pubblicato il 1621) sono gli antesignani di questa battaglia. Sebbene non si liberino interamente dalla soggezione del filosofo avversato, tentando qualche accomodamento eclettico fra l'antica dottrina dei quattro elementi e la veduta cinetica democritea (o anche colle dottrine di Anassagora), essi riescono tuttavia a prospettare la possibilità di far dipendere le differenze tra quegli elementi (differenze di stato fisico dei corpi) dal diverso ordine e dal moto di infime particelle costitutive, e così — in principio almeno — a spiegare cinematicamente le qualità sensibili: è l'idea che abbiamo visto venire enunciata nella forma più chiara dal « Saggiatore » di Galileo (1624).

L'influenza di Sennert e di Basso — e specie di quest'ultimo — sembra d'altronde essersi esercitata direttamente sopra Cassendi, rivendicatore della filosofia epicurea; il quale, a sua volta, influisce pure sul pensiero di Boyle, che già adolescente (in un viaggio a Firenze durante l'inverno del 1641-42) aveva avuto modo di formare il suo spirito a contatto coi circoli galileiani.

ROBERTO BOYLE, di nobile famiglia irlandese (1627-1691), ritornato in Inghilterra dopo l'accennato viaggio, nel 1644, trovò ivi l'ambiente favorevole agli studi, partecipando alla formazione di quell'istituto che doveva diventare la Società Reale di Londra, di cui egli fu uno dei primi soci (1663). Con l'aiuto di Hooke, avendo perfezionato la pompa pneumatica di Guericke (1659), compì i suoi celebri studi sull'aria che culminano nella scoperta della nota legge (volume inversamente proporzionale alla pressione), ritrovata poi da Mariotte (1676).

L'opera di Boyle nel campo della chimica si esprime in due opere classiche: il *Chymista scepticus* (1661) e gli « *Experimenta et considerationes de coloribus* » (1663).

La scepsti di Boyle — all'opposto di quella che finì per prevalere nelle scuole antiche, p. es. con Sesto Empirico — non è un atteggiamento antirazionalistico che si attacchi alla realtà sensibile, anzi una critica delle apparenze fenomeniche, valutate bensì con sano criterio positivo, ma scrutate infine al lume di un'ipotesi direttiva: cioè che i corpi constino di corpuscoli inscindibili o atomi, costituiti da una medesima materia fondamentale e diversi fra loro soltanto per grandezza, figura e movimento. Perciò, fin dalle prime pagine del *Chymista scepticus*, l'A. invita Leucippo « audace e acuto » a recargli luce coi suoi paradossi atomici.

La veduta atomica annulla anzitutto la concezione sostanzialistica delle « qualità »; e la critica di Boyle si volge a dimostrarne, per quanto è possibile, il carattere illusorio o accidentale: dei colori, in particolare, egli spiega minutamente il significato e l'origine, in rapporto alla luce e alla testura della superficie dei corpi.

Ma la stessa veduta suggerisce che possano aversi più corpi semplici o elementi, in corrispondenza ad un certo numero di figure geometriche ben definite degli atomi; e perciò riesce a demolire l'antica dottrina dei quattro elementi, così come quelle dei tre principii degli alchimisti e dei paracelsiani.

L'A. denuncia vigorosamente l'arbitrio di queste classificazioni aprioristiche: non è affatto vero che le qualità dei corpi che non si è riusciti a decomporre si lascino dedurre da quelle che gli aristotelici pretendono attribuire agli elementi; per esempio la terra dovrebbe essere causa della densità e della pesantezza, ma l'oro è più denso e pesante della terra stessa. Inoltre i paracelsiani parlano dei loro principii, ora supponendoli corpi reali e tangibili, ora facendone degli enti puramente simbolici, portatori di certe proprietà; per esempio, che si deve dire dello zolfo: è desso quel corpo giallo che ben conosciamo, ovvero il principio della combustibilità?

Infine la medesima veduta getta luce sui modi di composizione dei corpi, aiutando a comprendere la distinzione fra « miscuglio »

e « combinazione », quale fu posta da Boyle, sicchè ne risulta il concetto chiaro dell'*analisi* chimica: il nome stesso è di Boyle!

Certo la considerazione dell'elemento che fa capo alla forma dell'atomo resta lontana dalla realtà sperimentale. Ma lo spirito scientifico di Boyle si manifesta qui con una *definizione positiva*, che egli introduce almeno come ipotesi di lavoro, in attesa che venga colmato il vuoto che separa il mondo dei fenomeni sensibili dalla dottrina metafisica. *Elementi* saranno dunque, per l'A., i *corpi indecomposti* che appaiono indecomponibili, cioè che non si è riusciti a decomporre coi mezzi chimici di cui si dispone.

Si potrebbe credere che il pensiero rinnovatore di Boyle, prescrivendo alla chimica la disciplina dell'ipotesi meccanica e dell'esperienza, dovesse aprire subito un periodo costruttivo della scienza, in cui l'analisi proceda col sussidio di misure quantitative, ricercando nel composto la somma dei pesi dei componenti. Ma per realizzare questo programma (che fu poi quello di Lavoisier) occorreva specialmente essere in grado di raccogliere e di pesare i gas. Ostavano inoltre le troppo scarse conoscenze di fatto, nonchè l'incertezza sulla natura del calore e della luce. Abbiám detto che Boyle stesso ha interpretato la calcinazione dei metalli come addizione e fissamento di particelle luminose o calorifiche, spiegando così l'aumento di peso del prodotto. Questa dottrina, sostenuta dall'autorità dell'uomo, fu generalmente accettata: a preferenza della veduta di Hooke, che aveva indicato aversi qui fissamento di aria o di una sua parte; mentre un lavoro precedente in questo senso di JEAN REY, passava affatto inavvertito fino al momento in cui si accese la polemica intorno alle idee rivoluzionarie di Lavoisier. Nemmeno si prestò attenzione ad una ricerca del giovane medico J. MAYOW (morto, a 34 anni, nel 1679), che produceva esperienze significative sul consumo di una parte dell'aria durante la calcinazione e spiegava, sia pure con qualche oscurità, questo fenomeno, come combinazione con uno *spiritus igneo-aereus* contenuto nell'aria stessa, ravvicinandolo alla combustione.

L'eredità di Boyle in quanto concerne lo studio della chimica

analitica, doveva essere raccolta dalla scuola tedesca secondo uno spirito affatto lontano dal meccanicismo: mentre in Francia, NICOLA LÉMERY, che professava la dottrina atomistica, tentava spiegazioni delle diverse qualità della materia alla maniera ingenua del vecchio Democrito, ammettendo per esempio che le punte degli atomi si facciano sentire sulla lingua, nel pizzicore prodotto dagli acidi.

L'indirizzo della scuola tedesca del secolo XVIII, pur risentendo l'influsso dei rinnovatori meccanicisti, resta ancor dominato dai motivi vitalistici e mistici che continuano la tradizione paracelsiana. KUNCKEL, lo scopritore del fosforo, e BECHER ⁽¹⁾, da cui Stahl riprende sotto altro nome la concezione del *flogisto*, collegano i loro argomenti ad interpretazioni arbitrarie della Bibbia. Attraverso a queste l'aspetto quantitativo dei fenomeni cede appunto ad una veduta vitalistica.

La teoria sviluppata da G. E. STAHL (1660-1734), spiega i fenomeni di combustione e al tempo stesso di calcinazione dei metalli, ammettendo che il corpo bruciato o calcinato perda un elemento particolare, che, in qualche modo, gli conferisce vita o energia, cioè il « flogisto ». Invece di guardare a ciò che, nella reazione, si guadagna o si perde di peso, si porge attenzione alla circostanza che il « bruciare » ed il « calcinare » implicano la perdita di una qualità che ha un valore ed assomiglia ad una energia vitale. Ma, nonostante l'errore che contiene, presentandoci il rovescio della realtà, la dottrina flogistica ha il pregio di unificare i fenomeni di combustione e di calcinazione, che Boyle aveva distinto. È questo il grande merito di Stahl e il compito storico assolto dalla sua scuola.

Lo schema della teoria flogistica ha servito, lungo il secolo XVIII, a inquadrare ed interpretare il lavoro sperimentale dei chimici, che fu — in questo periodo — veramente cospicuo. Diremo soltanto della chimica *pneumatica*, cioè dello studio dei gas,

(1) « *Physica subterranea* », 1670.

proseguito, con una serie di memorabili scoperte, da Black, Cavendish, Scheele, Priestley, Volta e dallo stesso Lavoisier.

Maneggiare i gas, raccogliarli e pesarli, è invero una premessa necessaria dell'opera riformatrice che doveva compiere Lavoisier, abbattendo la teoria del flogisto. In particolare per la più chiara intelligenza dei risultati è essenziale conoscere l'elemento che — nella combustione — si combina colla materia infiammata, cioè l'ossigeno: prima che da Lavoisier esso fu isolato da SCHEELLE e da PRIESTLEY (1771-74) per riduzione dell'ossido rosso di mercurio; e secondo le vedute del tempo fu considerato come « aria deflogisticata », mentre l'idrogeno (che Lavoisier (1783) vide bruciare nell'ossigeno dando origine all'acqua) appariva come portatore del flogisto o per taluno come flogisto puro.

A. L. LAVOISIER, nato a Parigi nel 1743, di agiata famiglia, divenne a 26 anni « fermier général » (cioè appaltatore delle imposte) e quindi innanzi divise le sue cure fra l'ufficio e il lavoro scientifico, entrando all'Accademia delle scienze, di cui fu fino all'ultimo uno dei membri più attivi e più autorevoli. Accusato dal governo rivoluzionario della *Convenzione* il 24 novembre 1793, fu arrestato insieme agli altri « fermiers généraux » e mandato a morte. Subì il supplizio mostrando la calma e la forza d'animo d'un saggio. « Pochi istanti — ha detto Lagrange — sono bastati a far cadere quella testa, e non basterà forse un secolo a riprodurre una simile ».

La rivoluzione portata da Lavoisier nella chimica, consiste nell'aver riconosciuto che il processo della combustione, al pari di quello della calcinazione dei metalli, è una combinazione in cui al comburente (o ad una parte di esso) si aggiunge una parte dell'aria, e precisamente l'ossigeno: accade dunque l'opposto di ciò che veniva figurato dalla teoria del flogisto, dove il corpo che brucia perde qualche cosa.

Il chimico francese è pervenuto alla sua scoperta (cui pure altri, press'a poco nel medesimo tempo, indipendentemente si ravvicinano) mercè una chiara critica del problema « perchè i metalli crescono di peso nella calcinazione ». Questo fatto che non si vo-

leva vedere ma pur costituiva un paradosso imbarazzante nella teoria del flogisto, si rivela a lui caso particolare di un altro più generale: l'accrescimento di peso si verifica egualmente in tutti i processi di combustione. Appunto a delle esperienze in questo senso sullo zolfo, si riferisce il primo annunzio che l'A. dà delle sue ricerche, in un plico suggellato depresso all'Accademia delle scienze nel 1772. Egli non ha cessato negli anni successivi di sviluppare quest'ordine d'idee; e, in seguito ad una visita di Priestley del 1774, è riuscito a precisare la natura dell'elemento che entra nelle combustioni (1776), rivivificando le calci metalliche a contatto col carbone incandescente: si ottiene così l'*aria deflogisticata* di Priestley, cioè l'ossigeno (1).

Attraverso una lunga polemica Lavoisier pervenne ad imporre al mondo le sue vedute. Egli ha rovesciato le idee correnti, spiegando un ordine di fatti che fino dall'antichità erano apparsi meravigliosi; e per effettuare questa grande rivoluzione non ha dovuto invocare principii nuovi e riposti, ma semplicemente il vecchio assioma della conservazione della materia, precisato nel senso che « nelle reazioni chimiche il peso del composto è la somma dei pesi dei componenti », e che « gli elementi si ritrovano invariati attraverso le composizioni e decomposizioni ».

Alla luce della sua scoperta tutta la Chimica si presentava agli studiosi in aspetto nuovo. Come osserva la signora Metzger, storica della scienza, i chimici si erano ormai assuefatti all'idea che esista un certo numero, abbastanza grande, di corpi semplici o elementi, comprendendo o meno fra questi gli antichi elementi aristotelici.

Per tale riguardo Lavoisier, colla sua chiarezza di spirito, ha dunque riconosciuto una situazione di fatto piuttosto che cambiato faccia alla scienza, quando scrisse nella prefazione al suo *Traité élémentaire de Chimie* la sua celebre definizione degli elementi:

(1) Accenniamo soltanto di passaggio che Lavoisier complicava in realtà il processo della combustione facendo intervenire la sostanza imponderabile del « calorico », che fu poi eliminata.

« Tout ce qu'on peut dire sur le nombre et la nature des éléments se borne suivant moi à des discussions purement métaphysiques.... si par le nom d'éléments nous entendons désigner les molécules simples et indivisibles qui composent les corps, il est probable que nous ne les connaissons pas: que si au contraire nous attachons au nom d'éléments ou de principes des corps, l'idée du dernier terme auquel parvient l'analyse, toutes les substances que nous n'avons pu encore décomposer par aucun moyen sont pour nous des éléments.... ».

In tal guisa Lavoisier riprendeva, nel suo aspetto positivo, il concetto dell'elemento di Boyle, e — in rapporto alle conoscenze acquisite — si apprestava, per la prima volta, a realizzarlo, dando una, sia pur provvisoria, tabella dei corpi semplici: i quali furono, per il momento, i metalli pesanti, i soli che allora fossero noti, e quelli che più tardi furono designati come metalloidi: ossigeno, idrogeno, azoto, carbonio, zolfo e fosforo (fra cui sono i componenti dell'aria e dell'acqua ormai cancellati dal novero degli elementi); ad essi tuttavia il chimico francese presentò doversi aggiungere altri corpi che sono stati isolati in seguito mercè la decomposizione degli alcali (soda, potassa ecc.). Egli poneva in questi termini il problema della classificazione della materia, e insieme con MORVEAU e con altri, lavorava a stabilire una adatta nomenclatura chimica, ispirandosi all'idea di Condillac, che la scienza è « une langue bien faite ».

Abbiam visto che Lavoisier, riprendendo il concetto dell'elemento di Boyle, ha fissato l'attenzione sul suo significato positivo, sperimentale, lasciando cadere l'ipotesi atomica. Ciò ha avuto per lui la conseguenza di accogliere inavvertitamente, al posto della metafisica sconfessata, un'altra metafisica che è quella del senso comune: invero gli elementi di Lavoisier sono concepiti come portatori di *qualità*, che essi conferiscono all'intero gruppo dei composti di cui fan parte. Ma, nonostante le limitazioni positivistiche, il criterio della misura quantitativa, introdotto nella chimica, debellando le idee vitalistiche, doveva disporre le menti a riaccogliere le in-

tizzazioni meccaniche ed atomiche; così com'è accaduto con mirabili frutti per la scienza.

Già durante la battaglia contro il flogisto, il fisico irlandese W. HIGGINS (1789) emise l'idea che, se la materia è costituita di atomi, si debbono avere diversi gradi di ossidazione aggiungendo all'atomo di una sostanza successivi atomi di ossigeno; ma non sviluppò chiaramente le conseguenze di questa veduta, nè intraprese alcuna esperienza analitica per dimostrarla: rimane così un precedente storico che non ha avuto grande influenza sullo sviluppo ulteriore delle dottrine.

Il problema che si poneva ai chimici « quale quantità di un dato alcali sia necessaria per saturare una certa quantità di acido, producendo un sale » ha condotto WENZEL a scoprire che c'è qui un rapporto fisso di combinazione; e questi risultati sono stati generalizzati da RICHTER (1795), che prelude così alla scoperta della « legge delle proporzioni definite ». Tuttavia BERTHOLLET combatteva le vedute di Richter o tendeva a restringerne la portata; secondo lui il ferro, lo zinco ecc. dovrebbero combinarsi coll'ossigeno in proporzioni suscettibili di variare per continuità.

Si accese allora in Francia una memorabile polemica: PROUST, imbevuto dell'idea atomistica, combatte Berthollet: « Nous [ne] pouvons [pas] créer... des combinaisons au gré de nos désirs. Quand vous croyez combiner les corps en proportions arbitraires, pauvres myopes, ce ne sont que des mélanges que vous faites et dont vous ne savez pas distinguer les parties; ce sont des monstres que vous créez et que vous ne savez pas disséquer ».

Invero è chiaro che, se la materia possiede una struttura atomica, e gli atomi si riuniscono a formare aggruppamenti elementari, in questi non potranno entrare frazioni di atomo, ma soltanto un atomo o due atomi ecc.

Che cosa resulti da tali considerazioni ha riconosciuto con perfetta chiarezza DALTON, il fondatore della nuova *teoria atomica*: questa teoria, postulando che tutti gli atomi di un corpo semplice abbiano lo stesso peso, contiene ed esprime, nella forma più semplice, la nota *legge delle proporzioni multiple* (1808).

Le vedute di Dalton furono accettate con entusiasmo dal grande chimico tedesco BERZELIUS, che gli scriveva: « Avete ragione: la teoria delle proporzioni multiple è un mistero senza l'ipotesi atomica, e per quanto sembra, tutti i risultati ottenuti finora contribuiscono a giustificare questa ipotesi ».

Berzelius ha lavorato lungamente a realizzare il programma della teoria atomica, determinando i pesi atomici dei vari corpi semplici, e valendosi di un adeguato simbolismo. Ma appunto in questo lavoro egli si è imbattuto in una difficoltà, che ha deciso, per alcun tempo, delle sorti della teoria.

GAY LUSSAC, nel 1808, era riuscito a riconoscere che, come i pesi delle sostanze combinate, anche i loro volumi, quando si tratta di gas, danno luogo ad una semplice legge di proporzioni multiple; le combinazioni dei gas si fanno dunque secondo rapporti volumetrici semplici o secondo multipli di questi, e anche le contrazioni di volume del gas prodotto hanno un semplice rapporto col volume di uno dei componenti. L'interpretazione di questa legge è stata data dal fisico torinese AMEDEO AVOGADRO (1811): conviene ammettere che gli atomi dei corpi si aggruppino in unità elementari d'ordine superiore (« molecole integranti » o semplicemente « molecole ») e che « alla stessa temperatura e pressione tutti i gas contengano lo stesso numero di molecole ».

Ma il profondo significato della scoperta di Avogadro (che pone in luce una « costante universale » dei gas) non fu, per il momento, apprezzato da quelli stessi che lavoravano alla costruzione della tavola dei pesi atomici. Ne risultarono confusioni ed incertezze che dopo il 1826, quando Berzelius aveva compiuto il suo grande lavoro e DUMAS si dibatteva nelle difficoltà inerenti alla rappresentazione monoatomica della molecola, portarono al prevalere di una veduta scettica nei riguardi dell'ipotesi atomica. WOLLASTON, volendo conservare gli acquisti positivi della teoria di Dalton, ha dato all'uopo la formula degli « equivalenti », che, prescindendo dalla rappresentazione corpuscolare della materia, esprime appunto la concezione positivista dei fatti, conforme allo spirito filosofico che si veniva affermando nella scienza in genere

e che doveva essere teorizzato poco appresso dalla filosofia di Augusto Comte. Il quale assegnava alla chimica lo scopo esclusivo di risolvere il problema fondamentale: « date le proprietà dei corpi semplici, determinare le proprietà dei composti ».

Bisogna arrivare al 1858 per vedere STANISLAO CANNIZZARO riprendere la teoria atomica, sviluppando le formule al lume dell'ipotesi di Avogadro, e — coll'aiuto di KEKULÉ e di WURTZ — far trionfare questa veduta nel congresso dei chimici tenuto a Karlsruhe nel 1860. E conviene rilevare che Cannizzaro, concedendo alle tendenze positivistiche dell'epoca, presentava l'ipotesi atomica designando come peso atomico il peso della più piccola parte di una sostanza che è suscettibile di entrare nelle combinazioni.

La ripresa della teoria atomica ha permesso di inquadrare in un simbolismo semplice ed espressivo i grandi progressi conseguiti da questa scienza; tanto più che l'introduzione delle cosiddette formule di *struttura* (prima nel piano, poi stereometriche), soccorrono a rappresentare i complessi rapporti degli elementi nei composti organici. Nondimeno sul significato ultimo della teoria, gli spiriti sono rimasti divisi fino a questi ultimi tempi.

Da una parte la visione, un po' audace, delle conseguenze a cui dovrebbe portare la struttura atomica della materia, specie se si assume che gli ultimi costituenti sieno formati da un'unica sostanza elementare; quindi le forze centrali esercitanti fra le particelle, che riusciranno poi a dare ragione delle *affinità* come azioni elettriche ecc.; dall'altra parte la visione positiva che si rifiuta di oltrepassare il fenomeno per seguire le vane chimere di una « mitologia meccanica ». Quest'ultima espressione è di MACH e di OSTWALD, che — nel primo decennio del nostro secolo — hanno rinnovato la battaglia antiatomistica. Ma le più precise misure delle dimensioni atomiche di JEAN PERRIN (in rapporto al cosiddetto movimento browniano) e poi gli sviluppi più recenti della fisica delle radiazioni, hanno avvalorato il concetto dell'atomo che — al lume delle nuove ricerche — appare ora, non più come elemento indivisibile, ma piuttosto come un mondo infinitesimo, che giovani ed arditi pionieri vanno esplorando.

Questi nuovi e meravigliosi sviluppi della scienza si collegano direttamente alle idee più audaci messe avanti da fisici e chimici atomisti: per esempio all'idea di PROUST che supponeva tutti gli atomi dei corpi semplici costituiti da atomi d'idrogeno. Del resto il primo successo positivo nel senso dell'unità del mondo chimico è costituito dal *sistema periodico degli elementi* di MENDELEEFF (1869) che ha assunto oggi un valore ed un significato molto al di là del riconoscimento di semplici analogie, secondo la mente del suo fondatore.

IL MECCANICISMO E LE SCIENZE DELLA VITA. — Prima di concludere il nostro rapido cenno sugli sviluppi della scienza moderna, vogliamo almeno accennare all'influsso che i progressi della fisica e della chimica, portanti il suggello dell'idea meccanica, hanno esercitato sulle scienze della vita. Anzitutto sulla fisiologia.

Per rendersi conto del mutamento radicale delle idee sopravvenuto in questo campo, basta confrontare le vedute aristotelico-galeniche che, in gran parte, dominavano ancora alla fine del secolo XVIII, colla fisiologia sviluppata verso la metà del secolo XIX da Claude Bernard. Una storia di questo meraviglioso progresso non è stata ancora scritta: non sarà, ad ogni modo, una storia sensazionale, con un grande numero di scoperte luminose che rischiarano la via, ma piuttosto il racconto di una lenta evoluzione del pensiero che riesce a dare, a poco a poco, l'intelligenza dei processi fondamentali dell'organismo: evoluzione che ebbe un forte impulso dalla rivoluzione della Chimica per opera di Lavoisier.

L'indirizzo della spiegazione fisica, e più specialmente meccanica, dei fenomeni della vita si era già iniziato cogli studi sul moto degli animali di G. A. BORELLI (1680) della scuola di Galileo e di Malpighi; successivamente la scoperta della circolazione del sangue aveva messo in luce un fenomeno essenziale per la conservazione della vita, che rileva insomma dall'idrodinamica. Le ricerche più moderne, intraprese da ED. WEBER (1836), sulla meccanica dei muscoli e degli organi di moto, si collegano a questi precedenti storici.

La visione degli stretti legami che intercedono fra molti fenomeni della vita ed i processi chimici appariva tradizionalmente manifesta, ed anzi suscitava un certo vitalismo chimico, che abbiamo trovato dominare già la scuola iatrochimica. Così il nuovo modo di comprendere la chimica, secondo le vedute della filosofia meccanica, doveva naturalmente reagire su tutto l'indirizzo della fisiologia. I precursori di Lavoisier che abbiamo nominato, in ispecie Mayow, comprendevano bene il rapporto fra la respirazione e la combustione, e lo provavano con apposite esperienze. Mayow sapeva precisamente che la respirazione ha per iscopo di portare nel circolo del sangue certe particelle d'aria, e che il feto — in cambio della respirazione — riceve direttamente dalla madre il sangue rosso, simile a quello che si versa nelle arterie dopo che il sangue venoso è venuto nel polmone a contatto dell'aria.

Lavoisier ha esposto sull'argomento le più chiare esperienze e dimostrazioni in memorie del 1787 e del 1789. Comincia dal ripetere la nota esperienza dell'uccello che muore asfissiato sotto una campana di cristallo, e spiega come i medesimi effetti e fenomeni della calcinazione dei metalli si ritrovino nella respirazione: « l'air qui a servi à la respiration ne contient plus, à la sortie du poumon, la même quantité d'oxygène; il renferme non seulement du gas acide carbonique, mais encore beaucoup plus d'eau qu'il n'en contenait avant l'inspiration... il en resulte que l'effet de la respiration est d'extraire du sang une portion de carbone et d'hydrogène, et d'y déposer à la place une portion de son calorique spécifique qui, pendant la circulation, se distribue avec le sang dans toutes les parties de l'économie animale... ».

Questa spiegazione apparirà perfetta quando si sarà eliminato il vuoto fantasma del calorico, e si arriverà a comprendere la produzione del calore e il suo ufficio vitale secondo i principii dell'energetica. È assai significativo che proprio dalla riflessione e dall'intelligenza di tali fenomeni, il medico Roberto Mayer sia stato condotto alla scoperta della conservazione dell'energia (principio d'equivalenza fra calore e lavoro).

D'altronde numerose esperienze, dirette e indirette, hanno con-

fermato che questo principio domina egualmente i fenomeni fisico-chimici e quelli che si producono nei viventi: ciò che è apparso porgere una notevole conferma dell'ipotesi meccanica in tale dominio.

Trascurriamo, senza fermarci, su alcuni nomi che segnano tappe del progresso della fisiologia, specialmente nei suoi rapporti colla Chimica, limitandoci a citare: J. LIEBIG scrive, nel 1842, un trattato di Chimica organica e delle sue applicazioni all'Agricoltura e alla Fisiologia; J. MUELLER (1801-1858) compie la più vasta opera come morfologo, anatomico e fisiologo; di lui dice Dubois Reymond: « Come dopo la morte di Alessandro Magno, i suoi successori si divisero i suoi domini »: infatti la necessità della divisione del lavoro ha portato, anche qui, la specializzazione. TH. SCHWANN, che ha subito l'influsso di Mueller — accogliendo, in qualche modo, l'ispirazione della filosofia corpuscolare — scopre la « cellula » elemento costitutivo dei tessuti, e R. VIRCHOW fonda su di essa la « patologia cellulare » (1858); CLAUDE BERNARD, allievo di MAGENDIE in Francia, sviluppa una fisiologia dominata dal concetto positivo del determinismo, che egli stesso spiega nella sua celebre « Introduction à la Médecine expérimentale » (1865). Le sue scoperte dell'azione delle ghiandole digestive, della funzione glicogenetica del fegato ecc. dischiudono la via ad un ordine di questioni che ha ricevuto largo sviluppo dalla scienza contemporanea.

Il determinismo fisiologico, che implica la possibilità delle scienze della vita, raggiunge il grado più alto di chiarezza quando si dà la spiegazione fisico-chimica dei fenomeni. Ma sarà possibile proseguire questa spiegazione senza arresto? non si verrebbe in tal guisa a sopprimere, quasi per definizione, la vita stessa dell'organismo che s'imprende a studiare?

Gravi domande, che la filosofia non ha cessato di agitare fino dai tempi antichi in cui Democrito elaborava il suo sistema materialistico.

Intanto la discussione di tali problemi metafisici suscita la ri-

chiesta, suscettibile di qualche delimitazione scientifica e positiva, di segnare la distinzione fra il vivo e il non-vivo.

L'idea tradizionale che negli esseri organizzati si trovino sostanze chimiche affatto diverse da quelle che si possono formare per sintesi nei laboratori, è venuta a cessare di fronte ai progressi della chimica organica. Le sintesi più significative sono state realizzate da WOEHLER e da MARCELIN BERTHELOT (1827-1907), grande figura di scienziato, e di filosofo e storico della scienza.

Ma se per questo aspetto si cancella una pretesa distinzione fra il « vivo » e il « non-vivo », all'opposto invece la distinzione appare più netta per quel che riguarda la generazione dei viventi. L'idea tradizionale della *generazione spontanea* di piccoli animali dalle acque torbide, viene battuta in breccia dall'esperienza: prima di tutto da LAZZARO SPALLANZANI (1765), che dimostrò non darsi luogo alla nascita di infusorii se dall'ambiente di cui si tratta si sieno accuratamente eliminati i germi. Ma il dubbio risorgeva per riguardo a forme di vita ancor più elementari; tantochè Buffon, nel secolo seguente, ristabilì l'antica concezione: che cadeva poi di fronte allo studio più rigoroso delle fermentazioni per opera di PASTEUR (1822-1895). Oggi che si ha un'idea meno imperfetta della enorme complicazione del più piccolo organismo unicellulare, l'idea di una formazione di esso per semplice concorso di semplici azioni chimiche appare, quasi a priori, assurda e impossibile.

Il contrasto del *meccanicismo* e del *vitalismo* si manifesta soprattutto nel problema del *fine*.

I fenomeni che si osservano negli esseri viventi appaiono di regola ordinati ad uno scopo, che è — in ultima analisi — il mantenimento o l'espansione della vita. E ciò va detto, non solo delle funzioni fisiologiche, sì anche della struttura degli organi e quindi della loro forma ecc.

La tradizione vitalistica, che nella cultura nostra è portata da Aristotele, ritiene lo scopo stesso quale causa o *vis a fronte*, che opera in modo assolutamente distinto dalla causa meccanica, concepita come *vis a tergo*. Invece la concezione meccanicistica di De-

mocrito scorge nella subordinazione dei fenomeni ad un fine una apparenza, che si domanda di spiegare mediante cause fisiche o meccaniche.

Certo vi sono molti fatti di apparenza teleologica che si lasciano spiegare secondo questa intuizione. Così i processi della fisica del nostro globo (per esempio la formazione del sistema oro-idrografico, il regime delle piogge anche in rapporto coll'avvicinarsi delle stagioni ecc.) s'intendono bene come effetti di un giuoco di forze fisiche, sebbene sembrano rispondere a scopi, in ordine alla vita delle piante e degli animali.

Anche nell'ambito dei processi che avvengono negli organismi viventi accade d'incontrare fenomeni, che contribuiscono al mantenimento della vita e che pure si spiegano come semplici effetti fisici o meccanici. Sorge quindi la domanda di dar ragione similmente di tutti i processi biologici fondamentali. E questa investe anche il problema più largo e più alto dell'origine degli esseri viventi, delle loro forme adatte all'ambiente ecc.

Lo sforzo più poderoso che si sia fatto per rispondere al desiderato di una siffatta spiegazione fisica è espresso dalla *teoria dell'evoluzione delle specie*.

L'idea di un passaggio progressivo dalle specie inferiori alle superiori, e quindi di un'origine degli animali e delle piante da infime forme (che si tende a concepire nascenti da sè per generazione spontanea), risale — come abbiamo accennato — agli antichi filosofi greci: da Anassimandro ad Empedocle e a Democrito, ecc. Ma, nella sistematica che si è venuta formando col progresso delle ricerche moderne, il grande classificatore LINNEO ⁽¹⁾ aveva sancito la fissità delle specie, le quali sarebbero prodotte secondo un disegno immutabile, nell'atto della creazione divina.

Soltanto BUFFON, alla fine del secolo XVIII, appare in contrasto con questa veduta che riprende e conferma la tradizione delle scuole. Nominalista convinto, l'autore de « *Les époques de la nature* » vede nella realtà nulla più che gli individui, ritenendo le

(1) « *Systema naturae* », 1768.

specie come pura astrazione della mente umana; ricercatore della storia della natura, egli avverte nel mondo organico le variazioni sensibili, provenienti da alterazioni successive, le combinazioni nuove e i mutamenti di materia e di forma che costituiscono, in qualche modo, uno sviluppo progressivo; descrittore dello stato primitivo dell'umanità, ne porge un quadro che s'ispira a Lucrezio, ed arriva a domandarsi se la scimmia non sia un uomo degenerato, ma si arresta di fronte all'ipotesi che l'uomo possa essere una scimmia perfezionata. Il senso che Buffon manifesta dell'unità del mondo organico, si esprime in una veduta più decisa dell'evoluzione delle specie, per opera di ST. HILAIRE (1772-1844) e di LAMARCK (1744-1829). St. Hilaire combatte l'opinione che le specie sieno formate secondo un disegno fisso e non suscettibili di variazione; ritiene anzi che esse subiscano l'influenza dell'ambiente: per esempio certe modificazioni dell'atmosfera debbono aver portato negli uccelli un incremento della temperatura del sangue e un rafforzamento dei muscoli. Lamarck, imbevuto dello spirito meccanicistico, non dubita che tutti i fenomeni della vita si riducano a puri fenomeni fisici e perfino il pensiero a semplice movimento di particelle cerebrali; e si fa assertore della generazione spontanea e del trasformismo. Nel suo libro « Philosophie zoologique » (1809) Lamarck contrappone alla fissità delle specie la tesi della loro variabilità per forza dell'adattamento all'ambiente, secondo la celebre formula che « la funzione crea l'organo ». Il significato di questa teoria è che le variazioni accidentali in tutti i sensi, sopravvenienti nelle piante e negli animali, vengono conservate o perdute, secondo l'uso o il non uso che se ne fa.

Ma le idee di Lamarck e di St. Hilaire non riuscirono a farsi accettare, di fronte all'autorità di CUVIER, difensore della dottrina della fissità della specie. Soltanto più tardi esse hanno trionfato in altra forma con CHARLES DARWIN, autore della nuova dottrina dell'evoluzione delle specie (1859) basata sul principio della *selezione naturale* (1). Riprendendo da MALTUS l'idea della lotta per la

(1) Accenniamo soltanto a qualche rapporto delle idee di Ch. Darwin con quelle del suo nonno Erasmo Darwin, e all'incontro con WALLACE; ricordiamo

vita in cui *multi sunt vocati pauci sunt electi*, il grande naturalista inglese postula che il risultato di siffatta lotta sia appunto di conservare e fissare (trasmettendole per eredità) le variazioni accidentali degli organismi viventi che loro riescano utili e contribuiscano quindi ad assicurarne la sopravvivenza.

La colossale opera di Darwin — che sollevò un crescente rumore quando il suo autore volle estendere la teoria anche all'origine dell'uomo (1871) — ha esercitato il più forte impulso su tutti i rami delle scienze naturali, suscitando, per esempio, una nuova concezione dell'anatomia comparata. I successori di Darwin — fra i quali E. HAECKEL — hanno cercato di precisare (non sempre con sufficiente cautela) la discendenza dell'uomo. E, in questi studi, si è affacciato più determinatamente il problema della *meccanica dello sviluppo*, che forma l'oggetto di vaste ricerche di W. ROUX (a partire dal suo programma del 1897).

Ma soprattutto l'evoluzione ha posto alla scienza, nella forma più precisa, il problema dell'*eredità*.

Anche questo è un problema antico che era stato ripreso, secondo una veduta scientifica positiva dello SPALLANZANI, nella seconda metà del secolo XVIII, colla produzione artificiale dei bastardi, ed illuminato d'altra parte da lui stesso collo studio delle rigenerazioni. Un avversario delle dottrine darwiniane, il frate agostiniano boemo GREGORIO MENDEL, ritorna sull'argomento studiando la formazione degli ibridi dei piselli, dei fagioli, ecc., (1866, 1870) e scopre quelle leggi, che portano oggi il suo nome: dalle quali appunto il nuovo ramo della *genetica* ripete la sua origine. Sebbene occorra dire che il lavoro di Mendel passò per lungo tempo inosservato, finchè le sue leggi non furono riscoperte da C. CORRENS, E. TSCHERMAK e H. DE VRIES (1900).

Indipendentemente dai principii esplicativi invocati da Lamarck e da Darwin (cui si riattaccano nella scienza successiva i partiti in

pure che HERBERT SPENCER ebbe ad affacciare delle vedute evoluzionistiche (in senso neo-lamarckiano) prima di Ch. Darwin.

lotta degli *epigenetisti* e dei *preformisti*) la dottrina dell'evoluzione delle specie contiene una veduta storica del mondo dei viventi che, come tale, può essere difficilmente negata. Tuttavia rimane senza alcun inizio di spiegazione l'origine della vita stessa, ed anche l'intimo significato delle forze interne che dominano lo sviluppo delle forme. Comunque, il trionfo della dottrina evoluzionistica, nel senso in cui essa si è realmente affermata, non implica la soluzione del problema fondamentale della riduzione dei processi vitali a ragioni fisiche. Nel suo celebre discorso sui limiti della scienza della natura, il fisiologo DU BOIS REYMOND (1872) traduceva questo concetto con una recisa affermazione agnostica: « Ignorabimus ».

Nondimeno la controversia metafisica fra fisicisti e vitalisti non si è lasciata imporre silenzio da questa, pur dogmatica, rinunzia; e si prolunga ancora nei fisiologi contemporanei: così per esempio, LOEB e BOTTAZZI perseguono le spiegazioni fisico-chimiche, mentre DRIESCH si fa rinnovatore del vitalismo e delle « entelechie » aristoteliche.

Nell'interesse del progresso scientifico si deve desiderare che la battaglia venga proseguita con vigore, dall'una e dall'altra parte; infatti i vitalisti hanno il compito di ricordare ai loro avversarii di non appagarsi di soluzioni semplicistiche poichè « la verità giace molto in fondo »; mentre la concezione dei fisicisti offre almeno un'« ipotesi di lavoro » da cui è derivata l'intelligenza sempre più chiara di processi che, per lo innanzi, erano rimasti oscuri e misteriosi.

XXXII.

Il problema filosofico della Scienza.

EMPIRISMO E RAZIONALISMO. — La costruzione della dinamica di Galilei-Newton che trova la più grandiosa e precisa applicazione nel sistema del mondo, sembra realizzare, sia pure in un campo limitato di fenomeni — l'ideale della scienza razionale e perciò ripropone in nuovo modo allo spirito del filosofo il problema del conoscere.

Abbiamo detto che questo problema sorse già presso i Greci, allorchè acquistarono consapevolezza che le sensazioni non offrono la copia esatta di una realtà oggettiva, e ci espongono ad errori che il ragionamento e il confronto di diverse osservazioni o esperienze riesce a correggere. S'inizia così quell'ordine di ricerche in cui le sensazioni stesse vengono spiegate come mutua azione e reazione di fenomeni obiettivi cogli organi di senso: ricerche che, nel secolo scorso, sono venute a formare una particolare disciplina scientifica, ordinata secondo il metodo sperimentale, che dicesi *psicologia fisiologica* (T. FECHNER, H. HELMHOLTZ, W. WUNDT).

Ma di fronte alla critica delle sensazioni e alla constatazione dei loro difetti e della loro inesattezza, sorge l'idea (che già vedemmo affacciarsi nella scuola d'Elea) che il criterio della realtà debba essere cercato nel pensiero. Attraverso il dibattito coll'empirismo dei sofisti, maturava quindi il razionalismo greco, nella duplice forma di Democrito e di Platone. Questo razionalismo, che abbiamo veduto rinascere agli albori dell'età moderna ed ispirare

il metodo costruttivo della scienza, si evolve, in diverse guise, nella storia della filosofia.

La concezione più semplice e naturale che si affaccia alle menti è che le idee (a differenza delle sensazioni) rispondano senz'altro a qualcosa che esiste nel mondo obiettivo. Così il successo del ragionamento, e in particolare della deduzione matematica, il suo potere di prevedere conclusioni che saranno convalidate dall'esperienza sensibile ed anzi di sfidarne il cimento, riesce spiegato *a priori*: poichè il ragionare viene concepito come un vedere nella sua intima realtà il mondo degli oggetti riflesso dal pensiero. Ma tale concezione solleva gravi difficoltà tostochè si cerchi di approfondirne il significato.

Anzitutto: il pensiero opera con idee generali o concetti che, rispetto alle cose sensibilmente date, appaiono come forme o schemi. La veduta platonica che tali idee rispondano ad enti di un mondo intelligibile cui la pluralità delle cose stesse sarebbe subordinata, cede di fronte alla critica psicologica dei *nominalisti* che riconoscono la formazione del concetto nella mente umana mercè un processo d'associazione e d'astrazione, a partire dai dati sensibili.

Abbandonata la posizione dei così detti realisti medioevali, i razionalisti dell'età nuova (Galilei, Descartes, ecc.) ritengono che il valore del pensiero e in ispecie del ragionamento matematico sia giustificato in altra maniera: assumendo che le forme o figure rappresentate dalla mente rispondano ad oggetti che hanno effettiva esistenza e posseggono veramente in sè stessi le proprietà geometriche colte dalla nostra intuizione spaziale. Ma abbiamo pur detto che questa distinzione delle qualità primarie e secondarie della materia, è stata confutata dalla critica di BERKELEY.

Il razionalismo combattuto da tale critica reca con sè anche un altro presupposto: cioè che il rapporto di dipendenza logica tra i concetti rispecchi esattamente il rapporto di connessione che nella realtà concepiamo intercedere tra le cose e le loro proprietà come rapporto necessario di cause ed effetti. Questo tema viene sviluppato in una maniera altamente significativa dalla metafisica di SPI-

NOZA ⁽¹⁾: *ordo et connexio idearum idem est ordo et connexio rerum.*

Ma contro la veduta sopra espressa si leva, a sua volta, la critica di HUME ⁽²⁾. Il quale dimostra che nella rappresentazione della realtà che ci viene fornita dalla coordinazione dei dati sensibili, non è dato nè può esser dato alcun rapporto di successione *necessaria*, ma soltanto rapporti di successione ripetuta, che per abitudine assumiamo induttivamente come costanti.

Attraverso queste tappe successive l'empirismo ha smantellato una dopo l'altra tutte le posizioni fortificate del razionalismo. Sembra non resti più che la pura tesi empirica: la conoscenza è semplicemente percettiva.

Nondimeno le sensazioni da sole non ci danno che un sapere frammentario e affatto impreciso, da cui sarebbe vano attendere il frutto che ricaviamo invece dal coordinamento razionale di esse o dalla riflessione. Se vogliamo ridurre tutto il conoscere alla reazione del soggetto sensibile di fronte ai fenomeni, conviene pure ammettere che questa reazione non si esaurisce nel momento percettivo, ma si prolunga in operazioni per cui la realtà che cade sotto i sensi viene semplificata e idealizzata nel nostro pensiero. Che è dunque questa facoltà di pensare e di ragionare, e come può essa avere un valore per la conoscenza della realtà?

KANT. — Il problema così posto è stato lungamente meditato da EMANUELE KANT ⁽³⁾ e ha dato origine ad una delle opere fon-

⁽¹⁾ Benedetto de Spinoza, n. ad Amsterdam da famiglia di ebrei portoghesi nel 1632, m. a L'Aja nel 1677, visse una vita di completa austerità meditativa, guadagnandosi il pane da artigiano. Il suo rigoroso monismo di stile cartesiano, la sua etica dedotta intellettualmente *more geometrico*, la forza mistica del panteismo, che traspare attraverso il suo sistema della sostanza unica, ebbero immensa influenza sulla filosofia posteriore e in ispecie sulla romantica.

⁽²⁾ David Hume (1711-1776), filosofo, statista e storico scozzese, parte da Locke per mostrare l'inconsistenza del concetto stesso di sostanza. La sua posizione è quella del criticismo più spinto, che non si arresta nemmeno, malgrado le interdizioni dell'epoca, di fronte al fatto religioso.

⁽³⁾ Emanuele Kant (1724-1804) nacque, visse e morì a Königsberg. La sua *Storia naturale generale e teoria del cielo* è del 1755, la *Critica della ragione pura* del 1781 (2^a ed. 1787), la *Critica della ragione pratica* del 1788.

damentali della moderna filosofia, qual è la « Critica della ragion pura » (1781).

KANT, educato alla filosofia razionalistica di LEIBNIZ e di WOLF, credette dapprima potersi fondare non soltanto la scienza, sì anche una metafisica, in cui il pensiero si elevi con puri argomenti razionali al possesso di verità trascendenti, intorno a Dio e all'immortalità dell'anima. Però, intorno al 1770, il dubbio sulla validità di tali costruzioni lo assalse sempre più forte. La lettura degli scritti di David Hume lo scosse dal « sonno dogmatico » avviandolo sopra una nuova via, che è la *critica*, nel senso da lui stesso definito. La difficoltà scorta da Hume non può risolversi in una pura risposta scettica. Perchè non può negarsi alla mente umana una qualche capacità di arrivare a giudizi significativi, cioè non tautologici, che hanno valore necessario ed universale e perciò non possono esser forniti dall'esperienza: sono i giudizi che Kant designa come *sintetici a priori*. E c'è almeno un campo dove essi si incontrano, cioè il campo delle matematiche. Alla sua veduta scettica, che distrugge ogni sapere razionale, Hume non si sarebbe lasciato andare se avesse riflettuto a questo aspetto del problema, poichè « in tal caso avrebbe visto che, secondo i suoi argomenti, non esisterebbe più neppure la matematica pura, e il suo buon senso lo avrebbe allontanato dal concludere in tal modo ».

Anche nella fisica Kant scorge giudizi sintetici a priori. Che cosa conferisce valore all'esperienza se non l'interpretazione di essa al lume di concetti e di principii che assumiamo come noti? « Quando Galilei fece rotolare le sfere su di un piano inclinato, con un peso da lui stesso scelto, e Torricelli fece sopportare dall'aria un peso, che egli stesso sapeva di già eguale a quello di una colonna d'acqua conosciuta, fu una rivelazione luminosa per gli investigatori della natura. Essi compresero che la ragione vede solo ciò che essa stessa produce secondo i propri disegni, e che, con principii dei suoi giudizi secondo leggi immutabili, deve essa entrare innanzi e costringere la natura a rispondere alle sue domande; e non lasciarsi guidare da lei, per così dire, colle redini; perchè altri-

menti le nostre osservazioni non metterebbero capo a una legge necessaria, che la ragione cerca e di cui ha bisogno ».

Come il significato di ogni singola esperienza dipende dalle teorie o dai principii che essa presuppone, così il corso delle esperienze, che costituisce l'intera fisica, trae il suo valore dai presupposti generali, che debbono essere logicamente anteriori ad ogni esperienza, in quanto sono condizioni per cui l'esperienza stessa riesce possibile. Questi presupposti generali, li riconosciamo anzitutto nei principii della geometria d'Euclide, e poi in quegli altri principii che vengono postulati nell'esposizione della scienza del moto, secondo la sistemazione di Newton.

Ma una conoscenza a priori non può esprimere proprietà reali dell'oggetto in sè, che non si sa per quale miracolo sarebbero conosciute; essa deve essere l'apporto dell'attività della mente, ordinatrice dei dati sensibili.

Lo spazio non è qualcosa in sè stesso, ma — come Kant si sforza di dimostrare — un'intuizione puramente subiettiva che costituisce « l'ordine della sensibilità esterna », mentre il tempo risponde all'« ordine della sensibilità interna »: queste due forme danno i quadri in cui vengono ordinati i dati della vista, del tatto, ecc., dipendenti insomma dalla struttura degli organi di senso.

Con ciò non si esaurisce l'apporto del soggetto alla conoscenza, poichè si deve tener conto dei principii a priori che tengono all'attività dell'intelletto: per esempio, alla necessità di concepire i rapporti dei fenomeni secondo le categorie di *sostanza* e di *causa*. Invero noi siamo tenuti a rappresentarci ogni cambiamento delle cose come inerente ad alcunchè che rimane in esse invariabile, e che pensiamo costituirne la sostanza: della quale diciamo appunto che « nulla si crea e nulla si distrugge ». Parimente ci rappresentiamo la successione dei fenomeni nel tempo, secondo il rapporto necessario di causa e d'effetto.

Tutti i giudizi a priori, cioè necessari ed universali, che formuliamo in tal guisa precorrendo ogni esperienza, valgono come canoni d'interpretazione dell'esperienza stessa e riescono giustificati

dal fatto che l'esperienza è possibile. C'è qui un punto caratteristico della dottrina kantiana.

Il mondo dei fenomeni, egli dice, non può essere rappresentato e compreso dalla mente se non lo si subordini a certe condizioni che esprimono le leggi stesse dell'attività mentale; qualora non si piegasse alle dette condizioni, resterebbe affatto inintelligibile. C'è dunque una scelta da fare: mondo inintelligibile, in cui le combinazioni dei dati sensibili non assumono mai il valore di esperienze (razionalmente interpretabili), ovvero realtà intelligibile, per cui le condizioni di razionalità imposte dalla mente vengono soddisfatte, in guisa che diventi possibile la scienza. Ma questa scienza razionale esiste in fatto, poichè tale è la geometria d'Euclide e la dinamica di Newton: dunque c'è veramente un'esperienza interpretabile e debbono essere soddisfatte nella realtà le condizioni a priori imposte dalla ragione.

Con questa critica Kant ritiene di aver fatto nel campo dei problemi della conoscenza una rivoluzione copernicana: come Copernico è riuscito alla più semplice descrizione dei moti planetarii, abbandonando il punto di vista della Terra immobile e facendo girare l'intero sistema attorno al Sole, così egli — Kant — crede di trionfare delle difficoltà inerenti al vecchio razionalismo, rinunciando a cercare nel mondo esterno i principii necessari ed universali di cui la mente avrebbe una miracolosa conoscenza innata, e facendo girare il mondo dei fenomeni attorno al soggetto, alle cui esigenze a priori deve subordinarsi per essere compreso dalla mente così come essa è costituita.

Abbiamo riassunto e cercato di chiarire le vedute di Kant intorno al problema della scienza, ed esamineremo più avanti le obiezioni che esse sollevano. Intanto non possiamo comprendere veramente i motivi del pensiero kantiano, se non prendiamo in considerazione anche l'altro aspetto della sua critica, che è la negazione della metafisica.

Il filosofo, abbiám detto, era stato educato alla speculazione

razionalistica di Leibniz e di Wolf. Ma questa speculazione opponeva ormai una resistenza sempre più debole alle correnti del pensiero contemporaneo. Specialmente nei circoli della cultura francese, enciclopedisti e materialisti (Voltaire e Diderot, La Mettrie e D'Holbach) avevano diffuso lo spirito di quella filosofia dei lumi, che senza rispetto per le tradizioni più venerabili, domanda alle antiche fedi, alle idee morali e agli istituti sociali e politici, di giustificare la loro ragion d'essere. Kant si rendeva conto che questo movimento sovversivo, che nell'ordine politico mette capo alla Rivoluzione francese, traeva alimento, non soltanto dalla scepsti di Hume, ma dallo stesso dogmatico razionalismo con cui si pretendeva di contrastarlo.

Se la mente umana si arroga senz'altro il potere di decidere i problemi metafisici cogli stessi criteri che essa ha messo in opera nella costruzione scientifica, il trionfo della scienza sembra dover riuscire senz'altro alla demolizione di ogni fede. Importa perciò di circoscrivere l'attività del pensiero scientifico nello stretto campo della ricerca naturalistica. Kant dichiara esplicitamente questo suo motivo nell'introduzione alla seconda edizione della grande « Critica »: « io dovevo abbassare la scienza per lasciar posto alla fede ».

La scienza, o piuttosto la ragion costruttiva della scienza, viene abbassata, in quanto si riconosce che il suo potere non va oltre i principii a priori che sono presupposti nell'uso dell'esperienza. Essa non ha titolo per giudicare problemi o stabilire principii come quelli d'Iddio o dell'anima, che rivelano invece tutto il loro significato nell'attività pratica dell'uomo. Così la « Critica della ragion pratica » potrà fondare codesti supremi principii sulla fede che è presupposto dell'azione, e specialmente della azione morale, conforme alla rigida legge del dovere.

L'IDEALISMO TEDESCO. — La filosofia di Kant, combinandosi con diversi motivi della cultura, ha esercitato un'influenza profonda su varie correnti del pensiero del secolo decimonono. Anzitutto

sulla scuola dei filosofi idealisti, da Fichte a Schelling a Hegel, in cui si esprime un aspetto di quell'atteggiamento spirituale che è la romantica tedesca.

In questo ambiente il pensiero illuministico dei francesi suscitò la più viva reazione: che a sua volta, cresciuta nel periodo delle lotte napoleoniche, doveva straripare dalla Germania negli altri paesi d'Europa, e nella stessa Francia. Le ardite concezioni dei materialisti, che — riprendendo l'antica veduta democritea — riducevano la spiegazione del mondo ad un puro meccanismo, e la critica chiarificatrice, che nei circoli francesi apparivano strumenti di liberazione dalla tirannia del costume e delle tradizioni, ricevevano ben altra accoglienza dalla gioventù tedesca avida d'ideali, che proprio in quel tempo acquistava consapevolezza della sua nazionalità e più tardi, nei conflitti conseguenti alla Rivoluzione francese, doveva vedere non già un moto d'emancipazione, ma piuttosto una violenza fatta alle idee e ai sentimenti più sacri.

GOETHE ⁽¹⁾ esprimeva queste impressioni dei giovani contemporanei, a proposito della lettura del « Sistema della natura » del barone D'Holbach: « Noi non comprendevamo che un tal libro potesse essere pericoloso. Ci pareva così opaco, così cadaverico, che a mala pena potevamo sopportarne la lettura ».

Ciò che dispiaceva a Goethe, come poeta contemplante la bellezza dell'universo, era di dissolvere il capolavoro della Creazione risolvendo il Tutto in una minuta analisi dei suoi elementi: « Quale impressione di sordo e di vuoto in questa triste seminotte dell'ateismo, in cui scompaiono la Terra colle sue creature, e il Cielo colle sue costellazioni! ».

Quello che importava a Goethe di ritrovare non era già il deismo tradizionale, ma una veduta panteistica della natura come « cosmo » armonico, in cui ogni cosa riceve senso e valore solo dall'insieme;

(1) Giovanni Volfango Goethe, n. a Francoforte nel 1749, m. a Weimar nel 1832. Il *Faust* è del 1775; gli studi di fisiologia e di ottica si estendono su tutta la seconda metà della sua vita.

per lui ogni tentativo di isolare questo o quel fattore di tipo meccanico, di « forzare » la natura fuor delle sue vie col cemento dell'esperienza, non può darci alcuna immagine del vero processo naturale.

L'artista che così sente e argomenta si leva, non tanto contro la veduta filosofica del materialismo, quanto contro la scienza stessa: quella scienza che da una parte informava del proprio spirito la ribellione del secolo contro l'eredità della storia e d'altra parte veniva a chiedere la sottomissione ad un ordine naturale esterno, indifferente ai nostri timori e alle nostre speranze.

Questo atteggiamento degli animi spiega l'indirizzo della filosofia postkantiana, che non solo — rompendo la tradizione dei classici precedenti — si distacca dalla scienza, ma le si pone contro, cercando di contrastarne e superarne le vedute.

FICHTE. — Kant aveva limitato il campo di validità della ragione scientifica lasciando fuori di questa la fede, fondamento dell'attività pratica. Subito dopo di lui FICHTE ⁽¹⁾ cerca in questa attività il principio d'una nuova visione speculativa del mondo, che dovrà poi suggerire una filosofia della natura. Per comprendere lo svolgimento del pensiero che qui si osserva, convien ricordare che Kant ammetteva che esistano al di là delle apparenze sensibili, cioè del « fenomeno », delle « cose in sè », per noi affatto inaccessibili, che costituirebbero la realtà intelligibile o il « noumeno ».

C'era qui un *caput mortuum* della vecchia tradizione metafisica che veramente, nell'organismo della critica kantiana, non aveva più alcun ufficio. Presto gli studiosi di Kant si accorsero che si poteva senza danno lasciarlo cadere. Un epigramma del tempo dice, in maniera incisiva:

Poichè la Metafisica è morta di recente senza eredi,
le Cose in Sé vengono messe all'incanto.

⁽¹⁾ Giov. Amedeo Fichte (1762-1814), autore della *Teoria della scienza* (1794), diede anche origine al pensiero nazionalista coi suoi *Discorsi alla nazione tedesca* (1808).

Qual è invero il significato dell'ipotesi che vi sia una realtà obiettiva? Essa spiega l'accordo degli uomini, la loro credenza di muoversi in un mondo comune di fenomeni che offre a tutti il medesimo spettacolo. Ma, secondo Kant, l'intimo accordo dei fenomeni è espresso dalla razionalità del mondo e viene a dipendere, non già dalle inconoscibili cose in sè, ma dalle condizioni a priori che il soggetto pensante impone all'interpretazione dell'esperienza sensibile. Noi crediamo tutti alla medesima realtà perchè i nostri Io individuali partecipano ad una ragione impersonale che se ne fa giudice. Perciò si affaccia l'ipotesi che non solo la forma della conoscenza, sì anche il suo contenuto, cioè la realtà stessa, sia un prodotto dell'attività costruttiva di una Mente superiore, l'Io infinito o Dio, in cui si prolungano e quindi si assommano e fondono i nostri Io finiti.

Fichte, partendo dall'attività pratica del proprio Io, trova che la legge morale a cui essa vuole liberamente subordinarsi fa appello ad un Io più profondo, in cui vede appunto la sostanza comune che si riflette nelle varie coscienze personali, e crea a se stessa il suo mondo. I corpi opachi che limitano l'attività del nostro spirito e la condizionano sono, per lui, la « materia sensibile del nostro dovere ».

Qui il campo della contemplazione teorica, che è la scienza, viene sottomesso alle ragioni della vita pratica, fino ad essere soppresso. A questo idealismo etico si è obiettato argutamente che non si vede, per esempio, qual parte dei nostri doveri possa essere incorporata nell'esistenza dell'anello di Saturno o delle cellule urticanti dei celenterati.

SCHELLING E LA FILOSOFIA DELLA NATURA. — La stretta veduta d'un mondo esclusivamente morale urtava d'altronde contro lo spirito irrequieto dei romantici, anelanti a riconoscere nella realtà esterna quella ricchezza di sensazioni artistiche che agitava il loro animo con sogni ed aspirazioni contraddittorie.

In questi circoli della cultura tedesca, agl'inizi del secolo decimonono, doveva presto essere superata la filosofia fichtiana.

Per Schelling ⁽¹⁾ l'Io infinito di Fichte si allarga fino a comprendere lo Spirito gigante della natura, che lotta innalzandosi a forme sempre più alte di vita, e giunge a divenire consapevole di sè nella coscienza dell'uomo.

Ognun vede la logicità di questo passaggio: se il nostro stesso Io, quando risaliamo alla profonda intimità dell'Essere, si rivela creatore del mondo, gli stessi motivi che agiscono dentro di noi — i nostri desideri, i nostri timori, le nostre passioni — diverranno i veri attori della realtà, le forze che agiscono apparentemente fuori di noi sulla scena della Natura. Donde una visione della natura tutta animata, all'opposto della rigida veduta meccanica che costituisce la classica scienza fisica.

Espressione della cultura romantica, dell'arbitrio e del capriccio che conferisce il proprio colore alle aspirazioni artistiche di quell'agitato periodo, la filosofia della natura non è esclusivamente il prodotto della fantasia schellinghiana. Hegel, riprendendo e approfondendo, dopo Schelling, i motivi dell'idealismo, gli conserva un posto nel suo sistema, sostenendone il concetto avverso la scienza newtoniana. E anche fuori della cerchia dei filosofi di professione, Goethe poeta coltivava questo indirizzo di ricerca, elevandosi a nuove ed efficaci considerazioni nel paragone delle forme organiche e, meno felicemente, polemizzando ancora con Newton a proposito della teoria dei colori. D'altra parte lo stesso ordine d'idee appare nelle speculazioni di taluni naturalisti e medici come Oken, che riprendono il vitalismo di Paracelso.

Le costruzioni arbitrarie e gli errori della filosofia della natura che durante la sua dominazione soffocò in un ambiente asfissiante la cultura tedesca, dovevano ovviamente rovinare questo frutto singolare di una metafisica sorta in antagonismo alla sana tradizione scientifica. Quando il suo destino si compì, verso la metà del secolo scorso, la caduta fu completa, nulla di essa parendo meritevole

⁽¹⁾ Federico Guglielmo Schelling (1775-1854), autore della *Filosofia della natura* (1799), dell'*Idealismo trascendentale* (1800), del *Bruno o del Principio delle cose* (1802).

di salvarsi. Poichè invero, alla stretta stregua scientifica, essa non ci ha lasciato propriamente scoperte di fatti, nè ha coadiuvato al progresso delle teorie; anzi si è trovata in aperto contrasto con ogni utile intuizione della realtà fisica. Eppure quell'indirizzo di studi conserva un'importanza caratteristica nella storia della cultura e non è passato invano anche per l'evoluzione del pensiero scientifico se le orecchie che sanno intenderla odono ancora l'eco di una musica lontana: non una dottrina, ma taluni motivi capaci di influire in qualche modo sul nostro atteggiamento spirituale e perfino sul nostro concetto della scienza.

Innanzi di spiegare questo giudizio che la massima parte degli scienziati considererebbe paradossale ed assurdo, dobbiamo chiarire il significato di quell'idealismo speculativo, che abbiamo detto essere stato spinto innanzi da Hegel.

HEGEL. — Hegel ⁽¹⁾, più vecchio di Schelling per l'età ma più giovane per le opere, vuole mettere un termine alle incomposte e contraddittorie aspirazioni di quei giovani romantici, che si appagavano di arbitrarie fantasticherie; il sogno e il capriccio debbono cedere alla ricerca di una regola fissa che vuole armonizzarsi in sistema. Egli raccoglie l'eredità romantica in un senso che assai bene s'accorda coll'evoluzione di altri circoli di studiosi usciti pure da quel movimento: dove l'interesse per ciò che è individuale e caratteristico si volge all'indagine delle antiche memorie della Nazione e quindi alla storia nelle sue forme più varie: rivendicazione del Medio Evo germanico, linguistica, storia dei costumi e delle religioni, scuola storica del diritto, ecc.

La filosofia di Hegel esprime appunto una veduta della realtà come storia, cioè come evoluzione d'idee rispecchiante nelle sue fasi successive il processo dello Spirito creatore, che è, per l'idealismo, lo spirito umano divinizzato. Il filosofo crede di scoprire il

⁽¹⁾ Giorgio Federico Hegel (1770-1831). *Fenomenologia dello spirito* (1806), *Scienza della logica* (1816), *Enciclopedia delle scienze filosofiche* (1817), *Filosofia del diritto* (1821).

più intimo aspetto di codesto processo in quello che è stato chiamato da Josiah Royce il « paradosso della coscienza ».

Ogni volta che cerchiamo di riconoscere uno stato d'animo o un'idea della nostra coscienza, ciò che tentiamo di afferrare come presente ci sfugge estraniandosi come passato. Ogni Io che si cerca, sotto pena di annullarsi in un vuoto isolamento, deve riconoscere se stesso perdendosi in relazioni con qualcosa fuori di sè, come padre, fratello, amico, ecc. Sembra di toccare qui all'intima natura di ciò che è spirituale. Il concetto o sistema di concetti che ci sforziamo di pensare in concreto come forza viva, tendendo a coglierne l'estremo significato, riesce immancabilmente a prolungarsi in una contraddizione. Si può dire che c'è un ritmo dialettico del pensiero per cui ogni *tesi* sufficientemente sviluppata, mette capo all'*antitesi*, la quale a sua volta darà origine ad una *sintesi*, dove la tesi si riafferma — come negazione della negazione — arricchita dei nuovi motivi che son portati dalle ragioni negative indissolubilmente congiunte.

La dialettica del pensiero, che osserviamo dentro di noi, si ripete nel ritmo del progresso della civiltà umana, come storia delle idee, precedente per azioni e reazioni, che mettono capo a più larghi ed armonici rinnovamenti; e questa storia rispecchia l'evoluzione delle cose, recando una sempre più alta consapevolezza del processo creativo del mondo. Essa si eleva, per gradi ascendenti, fino a culminare nell'Idea suprema di tutte le relazioni organiche che costituiscono, esprimono e unificano la vita della società e dell'Universo.

In questo sistema di Hegel la filosofia della natura — quasi nuova Genesi biblica — costituisce semplicemente il preludio del dramma cosmico, dove giocano come attori le passioni e le idee vittoriose attraverso le contraddizioni e le lotte dello spirito umano. Effettivamente la forza motrice del pensiero di Hegel è la sua eredità cristiana e teologale, che gli mostra la vita sotto l'aspetto di un mistero drammatico: ultimo svolgimento della visione di Giacomo Boehme.

LA STORIA NATURALE. — Quando l'ebbrezza della speculazione romantica cede ad una rigorosa valutazione del mondo obbiettivo, l'impulso che essa ha dato ad una più profonda intelligenza della storia resta ancor vivo nel lavoro degli eruditi e dei ricercatori positivi. E lascia il bisogno di comprendere il Cosmo non solo come ordine immutabile di leggi matematiche affatto indifferenti all'uomo, sì anche come evoluzione storica in rapporto ai valori umani.

Un'espressione di questo bisogno si scorge già nello sviluppo di particolari discipline come la geologia, ma più ancora in taluni caratteristici tentativi di sintesi scientifica, quale viene offerta dal « Kosmos » di A. HUMBOLDT.

Certo il concetto della scienza naturale che qui si afferma, non può dirsi nuovo. A prescindere dalle sue origini più lontane, che risalgono oltre Aristotele, BUFFON nel secolo XVIII aveva messo in luce e rivendicato l'interesse proprio di quell'aspetto del sapere che non solo contempla oggetti e fatti individuali, ma ricerca la loro concatenazione geometrica, non in un ordine d'idee astratto (cioè come sistema d'infinite possibilità), bensì in concreto, come storia. Al principio del suo scritto « Les époques de la nature » egli diceva: « Comme dans l'histoire civile, on consulte les titres, on recherche les médailles, on déchiffre les inscriptions antiques... de même dans l'histoire naturelle, il faut fouiller les archives du monde.... et rassembler en un corps de preuves tous les indices des changements physiques qui peuvent nous faire remonter aux différents âges de la nature ».

Queste concezioni sono maturate in Humboldt attraverso lo storicismo tedesco e la costruzione romantica della filosofia della natura.

L'ideale del sapere per Humboldt è una scienza umanizzata, quale si vede nel divenire concreto del cosmo e nella prospettiva che tutte le cose assumono in esso e rispetto a noi medesimi. « In questo saggio sulla fisica del mondo — dice nell'introduzione al « Kosmos » — non si tratta affatto di ridurre l'insieme dei fenomeni sensibili a un piccolo numero di principî razionali ed astratti.

La fisica del mondo, come io intendo esporla... è una *geografia fisica* riunita a una *descrizione degli spazi celesti* e dei corpi che li riempiono. L'unità ch'io mi sforzo di scoprire nello sviluppo dei grandi fenomeni dell'universo è quella delle composizioni storiche. Tutto ciò che dipende da individualità accidentali, dall'essenza variabile della realtà, sia che si tratti della forma degli esseri o dell'aggruppamento dei corpi, sia che si tratti della lotta dell'uomo contro gli elementi e dei popoli contro i popoli, non può essere razionalmente costruito, cioè dedotto da sole idee ».

LA FILOSOFIA DELL'EVOLUZIONE. — L'interesse per questo aspetto storico del sapere naturalistico penetra sempre più profondamente la coscienza scientifica contemporanea. La grande dottrina dell'evoluzione biologica, che agli inizi del secolo XIX si affaccia dapprima con LAMARCK ⁽¹⁾, in contrasto colla tradizione aristotelica della fissità della specie sostenuta da CUVIER e da GEOFFROY ST. HILAIRE, si afferma vittoriosa attraverso il principio della selezione naturale di CH. DARWIN ⁽²⁾; e nello stesso tempo si esprime in una generale filosofia dell'evoluzione coll'opera sistematica di H. SPENCER ⁽³⁾. Sebbene questa costruzione — all'opposto delle dottrine dei romantici — postuli soltanto principî meccanici, pure, ispirandosi più da vicino alla visione della vita, risponde in ultima analisi a quegli stessi motivi che hanno dato origine alla filosofia della natura e manifesta quindi la sua intima parentela con tale ordine di speculazioni, a cui taluni critici recenti l'hanno ravvicinata. Proprio a quei motivi — come illustrazione cosmica di una teoria del progresso che ha le sue radici nelle più

(¹) J. B. de Monet de Lamarck (1744-1829) formulò con geniale intuizione, in un ambiente che ancora non era preparato a comprenderla, l'idea di una evoluzione degli organismi viventi basata sul concetto: « la funzione crea o sviluppa l'organo ». Cfr. cap. XXXI.

(²) 1809-1882. *Origin of Species*, 1859; *Descent of Man*, 1871.

(³) Herbert Spencer, n. a Derby nel 1820, m. nel 1903. Le sue prime pubblicazioni (1852) precedono l'opera di Darwin. I *First Principles* sono del 1860, il sistema della *Filosofia sintetica* fu ultimato nel 1896.

profonde aspirazioni dell'animo umano — si deve il trionfo del sistema spenceriano alla fine del secolo scorso.

Ma anche dopo che il prestigio di questa speculazione ha ceduto ad altre correnti del pensiero contemporaneo, mentre i principî di essa hanno lasciato scoprire la loro debolezza, rimane ancor vivo l'interesse per tutto ciò che tocca alla storia del nostro Universo, del nostro sistema solare e della nostra terra, quale appare nelle più recenti dottrine sull'evoluzione della materia e dei mondi stellari, esposte magnificamente da EDDINGTON e JEANS.

IL POSITIVISMO DI A. COMTE. — Per comprendere i successivi sviluppi del problema della scienza, dobbiamo dire ora di AUGUSTO COMTE, il quale col « Cours de philosophie positive » (pubblicato in sei volumi dal 1830 al 1842) ha promosso un largo movimento di pensiero e un nuovo indirizzo della critica del conoscere.

Laddove Kant cercava nella costruzione scientifica ciò che vi ha di subiettivo, Comte vuole invece definire e rendere indipendente da qualsiasi intuizione del soggetto pensante ciò che la scienza contiene di obiettivo. In questo senso c'è fra i due pensatori una radicale opposizione, e ancor più netta appare l'opposizione fra il positivismo e l'idealismo maturato nei circoli romantici dopo Kant. Nondimeno, chi scruti più a fondo le origini della filosofia positiva, non tarderà a scorgere l'intima parentela dei motivi che ispirano i due opposti indirizzi del pensiero.

Come Kant aveva voluto reagire alla filosofia dei lumi, che precorre la Rivoluzione francese, Comte vuole porre un termine alla critica sovversiva dei cosiddetti *ideologi*, che pareva prolungare nelle agitazioni della Francia, durante i primi decenni del secolo XIX, lo stato d'animo della grande Rivoluzione. Queste agitazioni — egli ritiene — sono strettamente legate all'incertezza delle idee e dei giudizi individuali, non più sottomessi ai criteri della civiltà medioevale che era dominata dalla Chiesa cattolica. Perciò al periodo *organico* di quella società, si è visto succedere

il periodo *critico* in cui si dissolvono le forme e gli istituti tradizionali. Un nuovo equilibrio sociale, e quindi una nuova èra organica della civiltà, esige di porre un termine alla discordia delle opinioni e di ristabilire la conformità dei giudizi, fondamento di un' autorità universalmente accettata. Ma dove trovare il criterio del vero che in modo unico s' imponga necessariamente agli spiriti?

Quel principio d' unità che i romantici cercavano nella tradizione, Comte ricerca invece nella scienza quale si è venuta foggando o tende a foggarsi per effetto della sua evoluzione storica. Dell' opera dei grandi filosofi tedeschi contemporanei non pare che egli avesse una nozione precisa. Qualche accenno simpatico ed un po' ingenuo che fa ad Hegel, può suscitare un sorriso di compatimento, giacchè pare evidente che lo spirito del filosofo francese dovesse repugnare radicalmente da quello dell' idealista germanico; ma conviene ricordare che le idee hanno una loro forza propria di propagazione e di penetrazione, che consente loro di esercitare influenze indirette ed unilaterali, che forse male si eserciterebbero in contatti più immediati. Del resto, Comte ebbe notizia dell' idealismo romantico attraverso il suo maestro Burdin. Comunque, si riconosceranno non invano alcuni motivi comuni del pensiero di Comte e di Hegel: soprattutto la tendenza a ritenere l' individuo come prodotto della società in cui esso si prolunga e si completa, scorgendo nell' individuo isolato una pura astrazione.

Gli antichi dogmi, dice Comte, hanno ceduto alla critica negativa della metafisica, che ha preso il posto dell' antica teologia; però questo sviluppo tende, in ogni campo, a trascorrere dal capriccio della speculazione fantastica alla costruzione di una scienza positiva, che risolve i dubbi e gli arbitrii della metafisica nella constatazione di fatti uniformemente accettati. Quindi la scienza stessa, o meglio il criterio del sapere positivo che essa esprime ed insegna, deve diventare la nuova base del *credo* sociale, la fonte dell' autorità riorganizzatrice del mondo civile moderno.

Comte aspira perciò al governo tecnico (degli industriali, dei medici, ecc.) che deve sostituirsi a quello dei pensatori teorici — proclamatori dei sacri principî — secondo un ideale che era stato

già affacciato dal Saint-Simon, suo maestro, nei cui circoli si ritrova l'origine del socialismo contemporaneo.

Il significato filosofico del positivismo, come dottrina del conoscere, consiste nella critica che il suo autore persegue esaminando il contenuto delle singole discipline scientifiche, e cercando di definirne il valore obiettivo. Sotto questo aspetto la teoria di Comte è strettamente legata agli sviluppi della fisica matematica, e al contrasto delle tendenze che — da Newton in poi — ha diviso i cultori della scienza.

Di fronte all'ideale razionalistico di una spiegazione meccanica, che presume di possedere i principî veri della natura in se stessa (per es. gli atomi colle loro proprietà primarie), abbiam veduto svolgersi una più libera elaborazione delle teorie atte a render conto dei fenomeni. Tuttavia in queste teorie riman sempre qualcosa d'incerto e d'arbitrario, sicchè la scienza teorica offre lo spettacolo di una serie di costruzioni essenzialmente variabili, che vengono a contraddirsi l'una coll'altra. E nondimeno, attraverso tali vicissitudini, permane pure un nucleo certo di verità scientifiche, che è l'insieme dei fatti di cui le teorie vorrebbero spiegare il legame. Avremo dunque un possesso immutabile, in cui tutti dovranno accordarsi, se — lasciando cadere le ambiziose teorie che pretendono dirci qualcosa della natura o delle essenze delle cose, e delle loro vere cause — ci limiteremo a riconoscere ciò che costituisce il contenuto positivo della scienza, cioè l'insieme dei rapporti invariabili di concomitanza e di successione dei fenomeni, che traduciamo in precise formule matematiche e verificiamo coll'esperienza.

C'è qui una grande idea, di cui possono cercarsi i germi assai prima di Comte (risalendo a Newton), ma che — ad ogni modo — il fondatore del positivismo ha espresso nella forma più esplicita e sistematica. Essa corrisponde ad un aspetto unilaterale, ma non perciò meno significativo della evoluzione del nostro pensiero scientifico, ed è divenuta uno dei motivi dominanti del suo progresso ulteriore. Il suo influsso si è largamente propagato nei circoli scientifici, anche se sia mancata alla diffusione del positivismo quella

continuità che altre correnti d'idee traggono dal pubblico insegnamento. E perciò debbono pure riattaccarsi a Comte pensatori che sembrano non avere attinto direttamente all'opera sua.

Fra i più cospicui citiamo gli energetisti avversari dell'atomismo (E. MACH, W. OSTWALD) che tendono a costruire una fisica *senza ipotesi* (cioè senza ipotesi rappresentative che cadano al di là della semplice previsione di fatto). Per esempio, nel Saggio sull'Ottica di Mach, dove i fenomeni sono legati fra loro, a prescindere da quell'intermediario nascosto e puramente ipotetico che sarebbe l'etere, si scorge la migliore intelligenza e il più intimo approfondimento della veduta comtiana: che per questo aspetto non è stata compresa invece da altri filosofi positivisti, quali ROBERTO ARDIGÒ.

PRAGMATISMO E NEO-IDEALISMO. — Il positivismo, che ha informato del suo spirito la cultura dell'ultima parte del secolo XIX, pareva portare una soluzione dogmatica unilaterale del problema della scienza, in contrasto colla critica di Kant e cogli sviluppi che essa ha ricevuto nell'età romantica susseguente. Ma nel nostro secolo XX, sotto la pressione di diversi motivi d'ordine sociale e politico, la filosofia positiva doveva andare incontro essa stessa ad una reazione, che, da una parte si esprime in correnti di pensiero facenti capo ad un rinnovato idealismo, e d'altra parte prepara, specialmente nei circoli dei pensatori scientifici, una più profonda filosofia della scienza. Com'è naturale, questi due moti non restano affatto distinti fra loro e, attraverso consensi e dissensi, tendono anzi a penetrarsi reciprocamente e forse a fondersi in dottrine più elevate. Il fenomeno di un cambiamento radicale delle opinioni, negli ultimi tre o quattro decenni, offre un interesse particolare per lo studioso della storia della cultura, ed invita il filosofo a tentare di comprenderlo teoricamente, spiegandone le ragioni secondo la logica dello sviluppo delle idee. In verità questa dialettica interna dei sistemi — che esprime la più profonda veduta di Hegel — è l'aspetto apparente di un fenomeno complesso; per chi scruti la realtà sottostante, non ci sono soltanto correnti spirituali

che spingendo all'estremo certe tesi le prolungano nelle opposte, sì anche correnti sotterranee, che si sono propagate, in qualche modo, durante il dominio della mentalità avversa, e che — in un ambiente più favorevole — riprendono vigore dalla contenuta violenza.

Una evoluzione di positivismo che riconduce, per continuità di sviluppo, sul terreno dell'idealismo, si può scorgere nel cosiddetto *pragmatismo*. La filosofia positiva di Comte aveva piegato verso una interpretazione empirica nell'opera di STUART MILL (1). Ma in altri autori si manifesta la tendenza a riabilitare, in qualche modo, le attività *costruttive* ed *anticipatrici* dell'intelletto umano di fronte alle facoltà puramente *ricettive* e, per così dire, registratrici e classificatorie. Così in STANLEY JEVONS, e nel grande fisiologo CLAUDE BERNARD, autore della celebre « Introduction à l'étude de la médecine expérimentale » (1865). Questa tendenza si manifesta, in particolare, coll'interesse per il ragionamento deduttivo, di cui si scopre sempre meglio il valore, sia nel processo stesso dell'induzione, sia nell'esame delle idee, volto a spiegarne e chiarirne il significato.

Il logico matematico americano S. PEIRCE insiste specialmente sul modo di chiarire il significato delle idee e delle questioni astratte, deducendo le conseguenze che sono contenute implicitamente nei principii. Egli viene così ad enunciare la celebre formula: « Il senso d'una teoria consiste nelle conseguenze pratiche che se ne deducono ».

Nella sua mente questo criterio *pragmatico* voleva soltanto esprimere con linguaggio nuovo una dottrina antica, di cui in ispecie avevan fatto uso i filosofi della scuola di Berkeley, per decidere del significato delle idee astratte, sviluppando la conoscenza dei fatti che esse implicano. E questa dottrina, mettendo capo alla previsione di conseguenze sperimentabili, restava insomma nell'orbita della filosofia positiva. Ma sopravviene il suo compatriotta, lo

(1) John Stuart Mill, filosofo e uomo politico, n. a Londra nel 1806, m. nel 1873.

psicologo WILLIAM JAMES ⁽¹⁾ che riprende la formula in un senso apparentemente poco diverso: le conseguenze pratiche sono da intendere, non più soltanto sotto l'aspetto logico, ma più largamente dal punto di vista degli interessi del soggetto, e così tenendo conto degli effetti psicologici che su di lui possono esercitare le credenze accettate, indipendentemente dalla loro verità. Con questo passo avventuroso il criterio del vero non resta più riconosciuto nel conformarsi delle nostre attese alle esperienze possibili indipendenti dal timore e dal desiderio, ma viene ridotto alla categoria dell'*utile*. Ed è chiaro come la scienza perda in tal guisa il valore di un criterio normativo nei conflitti del volere, per cedere a criterii d'altro ordine, che la dottrina pragmatistica non indica, ma lascia liberi di adottare secondo le propensioni degli uomini o l'insegnamento delle tradizioni.

Importa riconoscere che il pragmatismo, così inteso come dottrina utilitaria della verità, non è soltanto lo sviluppo di una particolare formula logica, ma piuttosto il termine comune a cui mettono capo diverse correnti del pensiero contemporaneo. Giacchè in esso vedonsi confluire: il biologismo che cerca nel pensiero dell'uomo una espressione della sua vita animale, e il materialismo storico che tende a spiegare le idee come prodotto dell'ambiente economico della società.

La prima corrente deriva strettamente dalla concezione darwiniana dell'evoluzione che spiega, per gradi ascendenti, l'origine dell'uomo. Ma si svolge in elaborate critiche della teoria scientifica, come quella di E. Mach, il quale, — riprendendo, come sopra è detto, la ricerca del contenuto positivo della scienza — vuole pure spiegare il senso delle teorie e in genere dei concetti generali, e lo trova nella rappresentazione *economica* dei fatti: l'economia del pensiero esprimendo la legge dello sviluppo dell'intelligenza dell'uomo-animale.

Frattanto questa concezione biologica della mente umana fami-

⁽¹⁾ William James (1842-1910), fu professore all'Università di Harvard in America. I *Principi di Psicologia* sono del 1890.

liarizza gli spiriti coll'idea che la conoscenza del vero risponda in ultima analisi ad un interesse biologico, e perciò il vero medesimo cada nella categoria dell'utile. Filosofi idealisti come B. CROCE svilupperanno in questo senso la dottrina di Mach, traendo argomento dalla stessa legge d'economia per ridurre l'attività scientifica a mera attività pratica, di fronte alla quale si eleverebbe una attività artistica, storica e filosofica, propriamente teoretica.

Il materialismo storico, che fu formulato come dottrina economica dell'evoluzione sociale e politica, da Marx e da Engels nel 1848, contiene una spiegazione delle idee direttrici della società umana, come espressione della realtà economica soggiacente, ed in questo senso offre una particolare teoria della conoscenza. La quale, a sua volta, e in modo simile al biologismo, riconduce il vero sotto la categoria dell'utile, giudicando le credenze degli uomini per ciò che esse significano nei riguardi della loro attività pratica e specialmente economico-politica.

In queste sue varie forme il pragmatismo avvalora alcuni motivi caratteristici che sono propri dell'idealismo: interesse per il soggetto della conoscenza, veduta che ogni conoscenza fa appello alla conoscenza futura che deduttivamente ne consegue, storicità del nostro sapere. Non stupisce perciò che ne derivi un rinnovamento dell'idealismo. La « volontà di credere » postulata da W. James per il suo valore vitale, non può rimanere giustificata dall'utilità che il soggetto ne ricava, ma deve fortificarsi contro il dubbio evolvendo in una credenza che costruisca a se stessa il mondo ideale, atto ad appagare le intime aspirazioni dell'animo. L'interpretazione dei fenomeni spirituali in ordine al loro significato biologico porta a rivalutare le categorie attinenti alla visione teleologica della vita, in contrasto colle idee fredde e incolori della rigida meccanica.

Così dal pragmatismo di James vien fuori la nuova filosofia di H. BERGSON, che di fronte all'intelligenza e alla ragione scientifica, ridotta ad istrumento di pura attività pratica, esalta i poteri dell'intuizione e dell'istinto, quali si rivelano nello « *élan vital* », motore della « *évolution créatrice* ». E accanto a questa si vedono sorgere

diverse metafisiche vitalistiche, come quella di H. DRIESCH, che introduce le « entelechie » aristoteliche (la forma causa finale dello sviluppo).

Mentre in altri paesi, e particolarmente in Italia, la tradizione hegeliana, che aveva avuto una base nel movimento letterario per opera di B. SPAVENTA e di F. DE SANCTIS, e che fu appena sopita e soffocata durante il prevalere del positivismo, riprende il disopra esprimendosi nelle filosofie idealistiche di B. CROCE e di G. GENTILE.

In queste ultime forme d'idealismo si manifesta l'interesse per tutto ciò che è individuale (intuizione artistica) e per la storia in cui gl'individuali si compongono e atteggianno ad universale-concreto, di fronte alle generalità della scienza, considerate come astratte. Non già che questa debba venir superata, come avveniva per Hegel, con una filosofia della natura: la dialettica che governa i processi propriamente conoscitivi dello spirito, non si estende ai concetti distinti dell'intelletto scientifico, e perciò — dice Croce — l'attività costruttiva di tali concetti è semplicemente pratica.

Così il dualismo fra scienza e filosofia che Kant instaura, facendo dipendere dalla ragion pratica i postulati della morale, e che gli idealisti da Fichte a Hegel tendono a comporre e superare colle loro speculazioni, viene ora ristabilito in senso inverso: relegando nel dominio della pratica ciò che appartiene alla scienza naturalistica. La ragione teoretica non deve estendersi oltre il mondo (dello spirito) umano, a cui si riferiscono e limitano i suoi valori.

LA FILOSOFIA DELLA SCIENZA. — I motivi della filosofia contemporanea, che abbiamo cercato di disegnare, si riflettono, in varie guise, nello sviluppo della scienza. Così, per esempio, ravvisiamo la concezione pragmatica utilitaria delle teorie scientifiche nella veduta di CLERK MAXWELL, il grande creatore della teoria elettromagnetica della luce, che la spiegazione meccanica dei fenomeni fisici accoglie, non già come pittura delle cose in sè, ma come *modello* capace di suggerire utili analogie: dimessa la pretesa di ritrarre l'intima realtà subfenomenica, diventa lecito di fare

uso di modelli diversi ed incompatibili, per la descrizione di diversi ordini di fenomeni. Questo concetto fu soprattutto sviluppato dai fisici inglesi, primo fra essi LORD KELVIN. E nondimeno l'intima aspirazione del fisico, che è l'attività filosofica costruttiva della scienza, oltrepassa questa concezione collo sforzo unificatore della realtà che, come vedemmo, lo porta ad anticipare in via teorica l'esistenza delle onde elettromagnetiche, realizzate sedici anni più tardi, da H. Hertz.

Lo sforzo d'unificazione, continuato dopo Maxwell, è riuscito a rompere i quadri della classificazione delle scienze di Comte, che questi aveva concepito come sistema di limiti rigidi e conservativi: l'ottica elettromagnetica e la meccanica, l'astronomia e la chimica dei corpi celesti che lo spettroscopio ha reso possibile pochi anni dopo il divieto posto da Comte, la chimica e la fisica dell'atomo, si fondono ormai in un più largo ordine di studi.

D'altronde questo progresso non è soltanto il risultato di un semplice sviluppo delle antiche teorie, sì anzi di una nuova elaborazione di esse, che implica una profonda critica dei principii. E appunto dalla *critica dei principii* è sorta una revisione del problema della scienza, in cui il pensiero riformatore si è incontrato colle esigenze filosofiche di Kant e di Comte, riuscendo in più sensi a comporle e superarle.

Per comprendere il carattere rivoluzionario di tale critica conviene risalire alle origini della *geometria non-euclidea*, con GAUSS, LOBACEVSKY e BOLYAI. I tentativi proseguiti nei secoli per dimostrare il postulato V dell'Euclide (che porta l'unicità della parallela per un punto ad una retta data e quindi la dimostrazione della somma degli angoli del triangolo eguale a due retti), questi tentativi non mai riusciti vengono ripresi secondo un nuovo spirito. E riescono infine ad un nuovo sistema geometrico che prescinde dal detto postulato, e che costituisce la « geometria non-euclidea ».

Amnesso che il postulato sia dimostrabile (come conseguenza delle altre proposizioni sulla retta, il piano e l'eguaglianza dei triangoli), lo sviluppo delle deduzioni a partire dalla sua negativa dovrebbe con-

durre ad un assurdo. Ma, all'opposto, postulata questa proposizione negativa, le deduzioni che ne seguono offrono un corpo coerente di proprietà geometriche traducibili con formule analitiche compatibili. Cosicchè viene messa in luce la possibilità logica dell'ipotesi (affatto contraria alla nostra intuizione) che risponde alla negativa del postulato d'Euclide. In tale ipotesi la somma degli angoli del triangolo riuscirebbe, non più uguale, ma sempre minore di due retti; anzi il suo difetto (differenza da due retti) sarebbe proporzionale all'area, ciò che avviene di fatto sulle superficie curve. Il tentativo ci porta dunque a definire qualcosa di analogo alla *curvatura* d'una superficie (che si designa appunto con questo nome).

I creatori della geometria non-euclidea non esitarono ad interpretare il risultato ottenuto secondo i principii dell'empirismo: il postulato euclideo, che non è affatto necessario poichè può ammettersi logicamente la sua negazione, deve esprimere secondo loro una verità di fatto, da riconoscersi con l'esperienza (misura degli angoli d'un triangolo); la deduzione matematica induce anzi a domandarsi se codesta verità non sia soltanto approssimativa e debba venir corretta in un ordine di misure più largo, quale viene offerto dall'astronomia. Diciamo subito che le misure tentate non hanno condotto ad una correzione che si lasci affermare al disopra degli errori inevitabili delle osservazioni.

La tesi dei geometri non euclidei, che già Gauss aveva sostenuta contro Kant, viene in più largo contrasto colle dottrine di questo filosofo, nella seconda metà del sec. XIV per opera di H. HELMHOLTZ ⁽¹⁾ e di B. RIEMANN ⁽²⁾. E la discussione si prosegue dai pensatori matematici avverso le tesi dei filosofi neo-kantiani. Invero la tesi che l'intuizione dello spazio euclideo sia un presupposto necessario dell'esperienza fisica (questa necessità asserita da un punto di vista che supera la stretta logica), cade di fronte alla riflessione che l'esperienza da interpretare è inevitabilmente approssimata, e che il caso in cui la curvatura sia molto piccola non si distingue dal caso in cui sia zero, che ci riporta alla geometria euclidea. Questo ragionamento si lascia spiegare con una analogia esposta da Riemann e da Clifford. Immaginiamo un animaletto molto piatto che si muova sopra una superficie curva; quando sia molto piccolo, non avvertirà la differenza fra la sua superficie ambiente ed una superficie piana; con una intuizione affatto uguale a quella di un animaletto piatto egli potrebbe muoversi sulla propria superficie ed interpretare le sue esperienze geometriche senza mai accorgersi del divario che dipende dalla detta (relativamente piccola) curvatura.

La costruzione della geometria non-euclidea si allarga in una critica che investe generalmente i principii delle matematiche, del-

⁽¹⁾ Hermann Helmholtz (1821-1894) fu prima medico, poi professore di fisica a Berlino.

⁽²⁾ Bernhard Riemann (1826-1866), professore di matematiche a Gottinga.

la meccanica e della fisica. Questo lavoro rimette in discussione taluni punti controversi che avevano fermato agli inizi gli avversarii della dottrina newtoniana. Così, per esempio, il postulato del moto assoluto cede di fronte al concetto critico del moto relativo (MACH, POINCARÉ, ENRIQUES, GIORGI) che mette capo alla teoria della relatività di ALBERTO EINSTEIN. E riappare la possibilità di piegare le teorie a certe esigenze razionali, come la contiguità dell'azione casuale, che viene a sostituire le incomprensibili forze a distanza.

Ma ciò che conferisce il più grande valore all'anzidetta critica dei principii è il significato filosofico che essa assume in ordine al problema della scienza: anzitutto portando una rivoluzione nella logica.

C'è un'antica tradizione, che risale agli « *Analitica posteriora* » d'Aristotele, secondo la quale dovrebbe aversi un *ordine naturale delle conoscenze*, giacchè — dice Aristotele — i principii sono anteriori per natura alle conseguenze che ne dipendono, come le cause agli effetti. Kant fa appello implicitamente a questa tradizione, ove considera dato un ordine delle conoscenze in cui la geometria è presupposto necessario della meccanica e questa della fisica. Comte con la sua classificazione riconosce pure una gerarchia delle diverse discipline, che procedono secondo una generalità decrescente ed una complessità crescente, per modo che la scienza superiore non può mai ridursi all'inferiore.

La nuova logica non conferisce più ai postulati una posizione di privilegio rispetto alle altre proposizioni che costituiscono un sistema deduttivo; così come non riconosce un senso particolare ai concetti primi mercè cui gli altri concetti della teoria vengono definiti.

Dice GIOVANNI VAILATI: « Invece di concepire la differenza tra i postulati e le altre proposizioni che per mezzo loro si dimostrano, come consistente nel possesso, da parte dei primi, di qualche particolare carattere che li renda « per se stessi » più accettabili, meno discutibili, ecc., i logici matematici vedono nei postulati

delle proposizioni *come tutte le altre*, la cui scelta può essere diversa secondo gli scopi ai quali la trattazione mira, e deve dipendere, in ogni modo, dalle relazioni di dipendenza o di connessione che sussistono o si possono stabilire tra di esse e le rimanenti proposizioni di una data teoria, ed al confronto della forma che verrebbe ad assumere l'insieme della trattazione in corrispondenza a scelte diverse ».

« I postulati hanno dovuto cioè rinunciare a quella specie di « diritto divino » di cui sembrava investirli la loro pretesa evidenza, e rassegnarsi a diventare invece che gli arbitri, i « servi servorum » — i semplici « impiegati » — delle grandi « associazioni » di proposizioni che costituiscono i vari rami della scienza ».

La questione se esista un ordine naturale delle conoscenze è stata riaperta da H. POINCARÉ a proposito del significato fisico della geometria non-euclidea. Poincaré, ravvicinandosi a Kant, cerca di salvare, in nuovo modo, la priorità della geometria sulla fisica: i principii di essa non sono più ritenuti come postulati o ipotesi propriamente dette di cui l'esperienza possa verificare il contenuto, bensì piuttosto quali *convenzioni* scelte in ragione della loro comodità. Ma tale veduta è stata confutata da F. ENRIQUES: l'apparente priorità della geometria tiene alla considerazione di un gruppo di proprietà fisiche (proprietà relative al moto dei corpi solidi e alla propagazione della luce) che isoliamo dalle altre come geometriche; se non ci è dato di giudicare da queste circa il carattere della nostra geometria, ciò tiene al senso astratto della geometria stessa che, in concreto, deve prolungarsi nella meccanica e nella fisica. Proprio in quest'ordine di idee procede EINSTEIN costruendo la sua dinamica come geometria di uno spazio-tempo incurvato dalla materia.

Convien meglio chiarire come i risultati di questa critica superino la filosofia di KANT. Non soltanto cadono i giudizi sintetici a priori inerenti all'intuizione dello spazio e del tempo, sì anche quegli altri giudizi a priori che dovrebbero tenere alle categorie dell'intelletto: sostanza e causa. Diceva Kant: « fu chiesto ad un

filosofo che cosa pesi il fumo, ed egli rispose: togliete dal peso del corpo bruciato il peso della cenere: ciò che resta è il peso del fumo ». I kantiani ritengono giustificato in tal guisa il principio della costanza del peso nelle reazioni chimiche, appellandosi all'esigenza che in tutti i mutamenti fenomenici concepiamo qualcosa di invariabile, che costituirebbe la sostanza dei corpi. Ma come può asserirsi che il peso sia un carattere inerente alla sostanza medesima? Perciò il principio che Lavoisier doveva mettere a base della Chimica moderna, non può riguardarsi come una verità *necessaria*, ma soltanto come un'induzione che bene risponde alle nostre esigenze razionali, eppure deve essere comprovata dall'esperienza.

Dimessa la pretesa di scoprire e di mostrare a priori qualcosa che esprima le esigenze razionali della nostra mente, non perciò dobbiamo disconoscere il valore di tali esigenze: sono condizioni, non assolutamente rigide, che tendiamo a soddisfare nella costruzione delle teorie scientifiche, affinché esse abbiano per noi il massimo valore esplicativo della realtà. Questo riconoscimento porta al di là del positivismo, riabilitando l'attività poetica dello scienziato costruttore d'ipotesi rappresentative.

E. MEYERSON (1907) ricerca il valore esplicativo, oltre la semplice *legalità* che afferma l'esistenza di connessioni e successioni invariabili di fenomeni nella tendenza della ragione a identificare il diverso dell'esperienza: per esempio, la teoria cinetica del calore spiega la conservazione dell'energia scorgendo qualcosa di identico nei due fenomeni diversi, l'uno dei quali si produce come continuazione dell'altro (riscaldamento in seguito ad urti, percussione ecc.).

Una veduta simile si è affacciata, indipendentemente, a F. ENRIQUES nei « Problemi della scienza » del 1906: la finzione di masse e di moti nascosti (p. es. di un etere luminoso) vale a rappresentare nell'immaginazione il propagarsi o trasformarsi continuo dei fenomeni, così da soddisfare alle esigenze della comprensione razionale. Superando il conflitto tra la veduta di una conoscenza puramente percettiva e la veduta pragmatica volontaristica, Enriques ravvisa nella conoscenza di un oggetto o di un fatto reale un

rapporto invariante di connessione tra certi atti volontari e le sensazioni che ne susseguono (per es., l'affermazione che esiste davanti a me un tavolo, significa, non ch'io lo vedo, ma che potrò vederlo o toccarlo, guardandolo o movendomi in un dato modo ecc.) (1). Dalla definizione del fatto bruto si passa poi, per semplice estensione, al fatto scientifico: anche qui c'è un rapporto invariante fra una premessa volontaria e l'esperienza verificatrice; la premessa della conoscenza è l'ipotesi o la teoria che induttivamente immaginiamo per spiegare osservazioni o esperienze onde sorge un problema, e che viene foggiate dal nostro pensiero in guisa da soddisfare, per quanto è possibile, le sue proprie esigenze razionali. Ben inteso che il fatto scientifico, o la legge supposta, resta stabilito soltanto quando l'ipotesi riesce dimostrata nel cimento delle esperienze verificatrici.

Infine la nuova posizione della critica gnoseologica a cui conduce il progresso del pensiero contemporaneo, implica che i principii del sapere non sieno determinati una volta per tutte, in forma necessaria ed universale, ma vengano attinti ad ogni momento da un precedente sapere: ogni teoria scientifica procede da una teoria antecedente di cui qualche mancata verifica ha rivelato il difetto, ed una più larga induzione che tien conto di tali correzioni ne suggerisce le nuove ipotesi. I concetti stessi, per mezzo dei quali tentiamo di stringere la comprensione della realtà, non sono definiti prima d'ogni ricerca, ma progressivamente nell'evoluzione del pensiero scientifico, e perciò ad ogni momento in funzione di una precedente teoria. La scienza insomma non è più concepita come ordine di conoscenze immobili *sub specie aeternitatis*, ma solo come sviluppo storico e come progresso verso una conoscenza sempre più larga ed approssimata.

Chi guardi alla scienza, secondo questa veduta, verrà ora a cogliere diversi momenti ed aspetti del suo progresso: non più soltanto il sistema dei fatti ben concatenati, di cui il positivista vuole

(1) Una simile concezione della realtà si era già prima affacciata al filosofo ungherese JULIUS PIKLER.

l'inventario, sì anche lo sforzo dell'attività poetica che si esprime nella costruzione delle teorie e delle ipotesi rappresentative, e mercè cui lo scienziato anticipa la scoperta di nuovi veri realizzati più tardi nell'esperienza. Attraverso questo lavoro teorico, la ragione umanizzata non riesce a piegare la realtà alle sue proprie leggi, ma piuttosto ad armonizzarsi con essa in un processo continuo di adattamento, affatto analogo all'adattamento all'ambiente che si osserva in tutta l'evoluzione della vita. L'Io che accetta in tal guisa la disciplina del mondo, non perde se stesso in relazioni puramente esteriori, ma ritrova invece la continuità delle sue aspirazioni nella storia.

Così razionalismo e storicismo, i due motivi contrastanti della cultura del secolo XIX, si compongono e superano nel *concetto storico della scienza*, in cui sembra lecito scorgere la più alta consapevolezza che il pensiero scientifico abbia acquistato di se medesimo.

BIBLIOGRAFIA

Per la scienza antica si troveranno indicazioni bibliografiche e riferimenti sopra le fonti in :

F. ENRIQUES e G. DE SANTILLANA - *Storia del pensiero scientifico*. Vol. I : *Il mondo antico*. (Bologna, 1932).

Fonti.

Fonti della storia della scienza (almeno a prescindere dalle epoche più remote, di cui sopravanzano soltanto frammenti di opere e testimonianze di dossografi) sono anzitutto le opere stesse degli scienziati. Per gli autori più grandi esse si trovano generalmente raccolte in edizioni (e talvolta anche in traduzioni), che aggiungono spesso la corrispondenza epistolare, commenti e raffronti utili per lo studioso. Le edizioni principali si trovano indicate nella grande opera :

G. SARTON - *Introduction to the History of Science*, di cui finora sono stati pubblicati soltanto due volumi (il secondo diviso in due parti), giungendo fino a Ruggero Bacone (Cambridge, Massachussets, 1927 e 1931).

Le opere del Medio Evo, del Rinascimento, e molte anche di quelle che appartengono all'epoca moderna fino al termine del secolo XVIII, sono scritte in latino. La lettura delle più antiche esige che lo studioso si renda familiare con un linguaggio scientifico diverso dal nostro. Traduzioni in linguaggio moderno e in lingua tedesca si trovano in :

W. OSTWALD - *Klassiker der exakten Wissenschaften*, Lipsia.

Raccolte meno generali sono, ad esempio :

H. WIELEITNER - *Mathematische Quellenbücher* (Berlino, 1927-29); brani scelti, e annotati, dei classici della matematica.

Così pure i :

Source Books in the history of the sciences (GREGORY D. WALCOTT, General Editor), di cui sono usciti quelli per la Fisica, la Matematica,

l'Astronomia (New York e Londra, 1929-35). Si tratta di antologie di passi, scelti con criterio talvolta discutibile.

Confronta anche le riviste :

Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik, Astronomie und Physik edito da O. NEUGEBAUER, J. STENZEL, O. TOEPLITZ (Berlino, 1929, ecc.). La Sez. A riguarda le « fonti », la Sez. B gli « studi ».

Una pubblicazione parallela riguardante la storia naturale e la medicina è :

Quellen und Studien zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Medizin (edito da P. DIEPGEN e J. RUSKA, Berlino, 1931, ecc.) come continuazione dello *Archiv für die Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik* (Lipsia, 1909-1930).

La conoscenza diretta delle opere costituisce il primo dovere dello storico, giacchè è facile persuadersi che il lavoro di seconda mano espone ai più grandi pericoli : già per gli errori materiali che s'incontrano nelle citazioni, non sempre trascritte con la debita cura, e più ancora per le interpretazioni (riferimenti, connessioni, ecc.) che hanno un significato subiettivo, e quindi un valore subordinato alle vedute direttive della ricostruzione storica.

Ma la lettura delle opere originali offre difficoltà di vario ordine : anzitutto (come abbiamo accennato) inerenti al linguaggio dell'autore, specie se lontano dall'epoca nostra; in secondo luogo perchè i concetti, i problemi, le dottrine hanno un senso che dipende dalla loro posizione storica. A superare queste difficoltà giovano i testi accompagnati da speciali note storico-critiche, come si trovano in alcune delle più importanti edizioni o traduzioni delle opere sopra accennate.

Ad esempio dei criteri con cui si può definire la posizione storica delle opere, citiamo la raccolta : « *Per la storia e la filosofia delle matematiche* », diretta da F. ENRIQUES (edit. Zanichelli, Bologna). Ivi si trovano, tra i moderni, testi di : NEWTON, DEDEKIND, CLAIRAUT, BOMBELLI, GALILEO, ecc.

STORIE DELLA FILOSOFIA

H. HÖFFDING - *Geschichte der neueren Philosophie: eine Darstellung der Geschichte der Philosophie von dem Ende der Renaissance bis zu unseren Tagen* (trad. tedesca, dal danese : Lipsia, 1895-96; trad. francese di P. Bordier, Parigi, 1906; trad. italiana di L. Limen-

tani, Torino, 1915): opera concepita dal punto di vista della filosofia positiva, in cui è particolarmente interessante il ravvicinamento della filosofia al pensiero scientifico, che si scorge nel primo volume.

K. FISCHER - *Geschichte der neueren Philosophie* (4^a ediz., Heidelberg, 1897-1904): opera in 10 volumi, fondamentale per l'esposizione dell'idealismo tedesco.

W. WINDELBAND - *Lehrbuch der Geschichte der Philosophie* (6^a ediz., Tubinga, 1910); traduz. italiana di E. Zaniboni, 1910: ha come nota caratteristica il ravvicinamento della filosofia ai motivi generali della cultura: meno approfondito il legame con la scienza.

E. BRÉHIER - *Histoire de la philosophie* (Parigi, 1928-32): ripensamento in forma originale e attraente della storia del pensiero, con visione di più larga letteratura. Eccelle particolarmente per ciò che riguarda la filosofia ellenistica e medioevale.

F. ÜBERWEG - *Grundriss der Geschichte der Philosophie*. Vasta opera di orientamento, con le più larghe indicazioni bibliografiche.

Allgemeine Geschichte der Philosophie (dalla collana: *Die Kultur der Gegenwart*. Teil I, Abteilung V). II ediz. Lipsia e Berlino, 1923 (autori: W. WUNDT, H. OLDENBERG, W. GRUBE, T. INOUE, H. v. ARNIM, C. BAEUMKER, I. GOLDZIEHER, W. WINDELBAND). Particolarmente interessante per i rapporti sulle filosofie orientali (indiana, cinese, giapponese, islamica, ebraica).

Handbuch der Philosophie herausgegeben von A. BAEUMKER und M. SCHRÖTER. Monaco e Berlino.

In Italia abbiamo, da un punto di vista idealistico, gli studi di:

G. GENTILE - *I problemi della Scolastica e il Pensiero italiano*. Bari, 1913.

G. GENTILE - *Storia della filosofia italiana dal Genovesi al Galuppi*. I ediz., Napoli, 1903; II ediz. in 2 volumi, Milano, 1930.

Inoltre testi scolastici di F. FIORENTINO, G. DE RUGGIERO, A. ALIOTTA, ecc.

Pensiero e letteratura.

J. BURKHARDT - *Die Kultur der Renaissance in Italien*. IV ediz., Lipsia, 1886 (trad. ital., Firenze, 1899).

VOIGT - *Die Wiederbelebung des klassischen Altertums* (2^a ediz. 1880: opera tradotta in italiano).

G. TOFFANIN - *Storia dell'Umanesimo* (dal XIII al XVI secolo). Napoli, 1934.

L. OLSCHKI - *Struttura spirituale e linguistica del mondo neo-latino*. Bari, 1935.

Pensiero e religione.

W. E. H. LECKY - *History of the rise and influence of the spirit of rationalism in Europe*. VI ediz. Londra, 1873.

F. TOCCO - *L'eresia nel Medioevo. Studi*. Firenze, 1884.

C. BAEUMKER - *Die christliche Philosophie des Mittelalters*, in : *Die Kultur der Gegenwart*, Lipsia, 1923.

L. ROUGIER - *La scolastique et le Thomisme*. Parigi, 1925.

P. E. PRZYWARA S. J. - *Religionsphilosophie katholischer Theologie*, in : *Handbuch der Philosophie*. Monaco-Berlino, 1926.

A. DEMPFF - *Metaphysik des Mittelalters*, in : *Handbuch der Philosophie*. Monaco-Berlino, 1930.

G. SCHNÜRER - *L'Église et la civilisation au moyen âge*. Parigi, 1933.

Vedasi inoltre la collana : *Civilisation et Christianisme*, diretta da LOUIS ROUGIER.

FILOSOFIA E SCIENZA

Storie scientifico-filosofiche.

Accanto alle opere anzidette citiamo trattati, in cui qualche argomento generale della storia della scienza viene esposto nel suo significato filosofico :

A. LANGE - *Geschichte des Materialismus*. Iserlohn, 1866 (trad. francese di A. Pommerol, Parigi, 1877).

K. LASSWITZ - *Geschichte der Atomistik vom Mittelalter bis Newton*. Amburgo, 1890.

L. BRUNSCHVIG - *Les étapes de la philosophie mathématique*. Parigi, 1912.

R. CAVERNI - *Storia del metodo sperimentale in Italia*. Firenze, 1898. I cui riferimenti tendenziosi debbono accettarsi con cautela.

P. DUHEM - *Le système du monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*. Parigi, 1913-15.

P. DUHEM - *Les origines de la statique*. Parigi, 1905.

Queste opere del Duhem contengono il più vasto materiale erudito, offrendo larga conoscenza di testi medioevali interessanti; ma i giudizi

un po' tendenziosi che esse portano (mirando a denigrare Galileo) non possono accettarsi senza critica.

F. ENRIQUES - *Per la storia della logica: I principii e l'ordine della scienza nel concetto dei pensatori matematici* (Bologna, 1922). Trad. francese del 1926, trad. tedesca del 1927, trad. inglese del 1929.

CH. SINGER - *Studies in the history and method of science*. 2 voll. Oxford, 1921. Opera che doveva avere carattere di pubblicazione periodica, ma interrotta dopo il secondo volume.

Filosofia della scienza.

Citiamo soltanto alcune delle opere più moderne :

H. HELMHOLTZ - *Vorträge und Reden*. IV ediz., Braunschweig, 1896.

E. MACH - *Erkenntnis und Irrtum (Skizzen zur Psychologie der Forschung)*, II ediz., Vienna, 1906 (trad. francese, Parigi, 1906).

K. PEARSON - *The Grammar of Science*. Londra, 1892.

H. POINCARÉ - *La science et l'hypothèse*. Parigi, 1902.

H. POINCARÉ - *La valeur de la science*. Parigi, 1905.

H. POINCARÉ - *Science et méthode*. Parigi, 1908.

F. ENRIQUES - *Problemi della scienza* (Bologna, 1906 : II ediz. italiana del 1910, trad. francese del 1909, trad. tedesca del 1910, trad. inglese del 1914).

F. ENRIQUES - *Scienza e razionalismo*. Bologna, 1912.

F. ENRIQUES - *Per la storia della logica*. Op. cit.

E. MEYERSON - *Identité et réalité*. Parigi, 1908.

E. MEYERSON - *Du cheminement de la pensée*. Parigi, 1931.

P. BOUTROUX - *L'idéal scientifique des mathématiciens dans l'antiquité et dans les temps modernes*. Parigi, 1920.

E. CASSIRER - *Das Erkenntnis Problem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*. Berlino, 1906 e segg.

L. BRUNDSCHVIG - *L'expérience humaine et la causalité physique*. Parigi, 1922.

MORRIS R. COHEN e E. NAGEL - *An introduction to Logic and Scientific method*. New York, 1934.

P. ENRIQUES - *Il problema della vita*. Bologna, 1937.

Per la storia della filosofia della scienza durante il secolo XIX, lo studioso ricercherà gli scritti di COMTE, COURNOT, JEVONS, RIEMANN, HELMHOLTZ, DU BOIS REYMOND, CLIFFORD, CL. BERNARD, PEIRCE, VAILATI, ecc., alla cui lettura potrà anche attingere idee e suggestioni del più alto interesse.

STORIE GENERALI DELLA SCIENZA

W. WHEWELL - *History of the inductive Sciences from the earliest to the present Times*. Londra, 1837. Storia filosofica della scienza, concepita secondo una veduta kantiana.

A. HUMBOLDT - *Cosmos* (Saggio di una descrizione fisica del mondo). Trad. italiana: Venezia, 1861. Concepito nell'epoca post-romantica, secondo la prospettiva degl'interessi della civiltà umana.

F. DANNEMANN - *Die Naturwissenschaften in ihrer Entwicklung und in ihrem Zusammenhange*. Lipsia, 1910-13; 4 volumi, o edizione abbreviata in un solo volume.

A. WOLF - *A history of Science, Technology and Philosophy in the 16.th and 17.th centuries*. Londra, 1935.

J. T. MERZ - *A history of the European Thought in the 19.th Century* (3 volumi, 1896, 1903, 1912). Edimburgo e Londra.

Un'opera più antica, che riguarda particolarmente la tecnica ed espone le invenzioni in ordine strettamente cronologico, a guisa di elenco, è:

L. DARMSTÄDTER - *Handbuch zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik*. Berlino, 1908 (II ediz.).

Il più vasto trattato di storia analitica, che imprende a raccogliere tutte le notizie interessanti la storia delle scienze, con la più estesa bibliografia, contemplando insieme le culture di tutto il mondo, è l'opera già citata di:

G. SARTON - *Introduction to the History of Science*.

Opere in cui è prevalente l'interesse biografico sono:

PH. LENARD - *Grosse Naturforscher*. Monaco, 1929.

B. GINZBURG - *The Adventure of Science*. New York, 1930.

oltre ai dizionari biografici, tra i quali citiamo:

J. CH. POGGENDORFF - *Biographisch-Literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften*. (Lipsia; I parte 1863, II

parte 1898, III parte 1904, IV parte 1925). È un'opera che viene continuamente aggiornata.

Sono anche da consultare pubblicazioni come gli *Eloges* dell'Accademia delle Scienze di Parigi, ed altre analoghe.

Alle storie generali della scienza si possono riattaccare alcune collezioni riguardanti le storie delle scienze particolari, tra le quali citiamo :

LA CIVILISATION EUROPÉENNE, nella raccolta : L' HISTOIRE DU MONDE, diretta da M. E. Cavaignac, di cui c'interessa il Tomo XIII.

DIE KULTUR DER GEGENWART, *ihre Entwicklung und ihre Ziele*, edito da P. Hinneberg. Parte I e II : *Die geisteswissenschaftlichen Kulturgebiete*, Parte III : *Die naturwissenschaftlichen Kulturgebiete*, Parte IV : *Die technischen Kulturgebiete*. Ogni parte si divide in vari volumi. (Lipsia).

I volumi : XIV per la Matematica, la Meccanica, l'Astronomia, la Fisica e la Chimica e XV per le Scienze biologiche e la Filosofia della collezione :

L'HISTOIRE DE LA NATION FRANÇAISE. (Il vol. XIV ha un'introduzione di E. Picard).

L'EUROPA NEL SECOLO XIX, pubblicaz. diretta da D. Donati e F. Carli. Il terzo volume (Le scienze) si divide in : Parte I : Le scienze teoriche; Parte II : Le scienze applicate (Padova, 1932). Si tratta di un'opera di volgarizzazione, contenente alcuni articoli di valore.

STORIE PARTICOLARI

Storie della Matematica.

J. E. MONTUCLA - *Histoire des Mathématiques*. Parigi, 1758, 2 volumi. Nuova edizione completata da Jérôme de Lalande. Parigi, 1799-1802, 4 volumi.

A. G. KÄSTNER - *Geschichte der Mathematik seit der Wiederherstellung der Wissenschaften bis an das Ende des achtzehnten Jahrhunderts*. Göttingen, 1796-1800.

G. LIBRI - *Histoire des Sciences mathématiques en Italie*. Parigi, 1838.

Storia analitica dei progressi della matematica, che costituisce l'opera più vasta scritta sull'argomento, è :

M. CANTOR - *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik*. Lipsia, 1900-908, 4 voll.

Critiche relative a tesi particolari del Cantor si trovano specialmente in ENESTRÖM.

G. LORIA - *Storia delle matematiche*. Torino, 1929-33, 3 voll.

H. G. ZEUTHEN - *Geschichte der Mathematik im Altertum und Mittelalter*. Copenhagen, 1896 : trad. francese, Parigi, 1902.

H. G. ZEUTHEN - *Geschichte der Mathematik im XVI und XVII Jahrhundert*. Lipsia, 1903.

E. BORTOLOTTI - *Studi e ricerche sulla storia della matematica in Italia nei secoli XVI e XVII*. Bologna, 1928.

F. KLEIN - *Vorlesungen über die Entwicklung der Mathematik im XIX Jahrhundert*. Berlino, 1926-27.

Citiamo anche le storie di I. TODHUNTER, che si estendono alle matematiche applicate, trattando in vari volumi dello sviluppo storico del Calcolo delle probabilità (1865), del Calcolo delle variazioni, delle Teorie sull'attrazione e sulla forma della Terra, dell'Elasticità e resistenza dei materiali (quest'ultimo in collaborazione con PEARSON).

Storie della Meccanica.

E. MACH - *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt*. Lipsia, 1883 (IV ediz. 1901; trad. francese del 1904; trad. italiana di D. Gambioli, con prefaz. di G. Vailati, Roma, Milano, 1909).

Storie dell'Astronomia.

J. S. BAILLY - *Histoire de l'Astronomie*. Parigi, 1779-87.

R. WOLF - *Geschichte der Astronomie*. Monaco, 1877.

G. BIGOURDAN - *L'Astronomie. Évolution des idées et des méthodes*. Parigi, 1911.

E. ZINNER - *Geschichte der Sternkunde*. Berlino, 1931.

Storie della Fisica.

J. C. POGGENDORFF - *Geschichte der Physik*. Lipsia 1879, trad. francese del 1883.

F. ROSENBERGER - *Die Geschichte der Physik*. Braunschweig, 1887-1890.

E. HOPPE - *Geschichte der Physik*. Braunschweig, 1926, trad. francese del 1928.

E. HOPPE - *Geschichte der Elektrizität*. Lipsia, 1884.

Tra le più antiche citiamo :

A. LIBES - *Histoire philosophique des progrès de la physique*. Parigi, 1810-12.

Ricordiamo inoltre i manuali di F. CAJORI e di R. PITONI.

Storie della Chimica.

H. KOPP - *Geschichte der Chemie*. Lipsia, 1931 (2 voll.).

A. LADENBURG - *Histoire du développement de la Chimie, depuis Lavoisier jusqu'à nos jours* (Parigi, 1911 : I ediz. tedesca del 1869).

R. MEYER - *Vorlesungen über die Geschichte der Chemie*. Lipsia, 1922.

E. v. MEYER e M. e C. GIUA - *Storia della Chimica*. Milano, 1915.

EDV. HJELT - *Geschichte der organischen Chemie von ältester Zeit bis zur Gegenwart*. Braunschweig, 1916.

J. C. GREGORY - *Combustion from Heracleitos to Lavoisier*. Londra, 1934.

A. MIELI - *Pagine di storia della chimica*. Roma, 1922.

Per lo studio dell'evoluzione dei concetti, vedi specialmente :

W. OSTWALD - *L'évolution d'une science: la Chimie* (trad. francese, Parigi, 1909).

W. OSTWALD - *Elektrochemie: ihre Geschichte und Lehre*. Lipsia, 1896.

H. METZGER - *La Chimie* (Parigi, 1930), che fa parte della raccolta : *L'Histoire du monde*, già citata.

Oltre al volume della collezione « *Die Kultur der Gegenwart* », già citata, trattante della Chimica.

Storie della Medicina.

Tra le più antiche è ancora utilizzabile :

C. SPRENGEL - *Storia prammatica della medicina* (trad. ital., 2^a ediz. Firenze, 1840).

Tra le opere più moderne :

MEYER-STEINEG e C. SUDHOFF - *Geschichte der Medizin*. Jena, 1921.

CH. SINGER - *A short history of Medicine*. Oxford, 1928.

A. CASTIGLIONI - *Storia della Medicina*. Milano, 1927 (II edizione 1936).

Storia delle scienze naturali.

CH. SINGER - *A short history of biology*. Oxford, 1931 (trad. francese del 1934).

F. STRUNZ - *Geschichte der Naturwissenschaften im Mittelalter*. Stoccarda, 1910.

L. DARMSTÄDTER - *Op. cit.*

E. RADL - *Geschichte der biologischen Theorien*. Lipsia, 1905-909.

Storia della Tecnica.

BEITRÄGE ZUR GESCHICHTE DER TECHNIK UND INDUSTRIE - *Jahrbuch des Vereines Deutscher Ingenieure*, dal 1909, Berlino.

G. NEUDECK - *Geschichte der Technik*. Stoccarda, 1923.

L. DARMSTÄDTER - *Op. cit.*

Storie della Geografia.

L. VIVIEN DE ST. MARTIN - *Histoire de la géographie et des découvertes géographiques* (Parigi, 1873). Opera vecchia, ma ancora utile.

O. PESCHEL - *Geschichte der Erdkunde bis auf Alexander von Humboldt und Carl Ritter* (II ediz. edita da S. Ruge, Monaco, 1877). Un po' farraginoso, ma buona.

S. GÜNTHER - *Geschichte der Erdkunde* (Lipsia-Vienna, 1904). Molto ricca di indicazioni, ma non esente da errori: da consultarsi con cautela.

K. KRETSCHMER - *Geschichte der Geographie* (Lipsia-Berlino, 1930, II ediz.). Volumetto della Sammlung Göschen: molto succinto, ma ottimo.

J. SCOTT KELLIE e I. R. HOWARTH - *History of Geography*. (Londra, 1913). Opera succinta, buona.

I. N. L. BAKER - *A history of geographical Discovery and Exploration*. (Londra, 1931). Molto ineguale: estesa e buona soprattutto per i tempi moderni, specie per il secolo XIX e il XX.

OLSEN ÖRJAN - *La conquête de la Terre. Histoire des découvertes et des explorations depuis les origines jusqu'à nos jours*. (Parigi, 1933 : trad. francese. L'originale è in norvegese). Opera per il gran pubblico, narrativa, molto diffusa.

INDICAZIONI COMPLEMENTARI

Riviste.

Isis, edito da G. SARTON (dal 1913; Bruges).

Archeion (già *Archivio di Storia della Scienza*), edito da A. MIELI (dal 1919; Roma-Parigi).

Archivi per la storia della scienza e della tecnica (in russo : dal 1933; Leningrado. Con sommario in tedesco : ampie relazioni inglesi in *Isis*).

Thalès. Recueil annuel des travaux de l'Institut d'histoire des sciences et des techniques de l'Université de Paris, edito da ABEL REY, DUCASSÉ, P. BRUNET (dal 1934; Parigi).

Osiris, edito da G. SARTON (dal 1936; Bruges).

Annals of Science. A Quarterly Review for the History of Science since the Renaissance, edito da DOUGLAS MC KIE, H. BROWN e H. W. ROBINSON (dal 1936; Londra).

Bullettino di bibliografia e di storia delle scienze matematiche e fisiche, edito da B. BONCOMPAGNI (Roma, 1868-87; 20 tomi).

Abhandlungen zur Geschichte der mathematischen Wissenschaften mit Einschluss ihrer Anwendungen, edito da M. CANTOR, Lipsia, 1877-1913 (30 parti), dapprima come : *Historisch-literarische Abteilung dello Zeitschrift für Mathematik und Physik*.

Biblioteca Mathematica, edito da G. ENESTRÖM. Stoccolma-Lipsia, 1884-1915 (30 volumi).

Bollettino di bibliografia e storia delle scienze matematiche, edito da G. LORIA : Torino, 1898-1917. Dal 1919 è un'appendice del *Bollettino di matematica*.

Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik, Astronomie und Physik (già citato tra le fonti).

Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften, edito da L. VOSS (dal 1902; Lipsia).

Archiv für die Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, edito da F. C. W. VOGEL (1909-1930; Lipsia)

Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie (già citato).

Rivista di storia critica delle scienze mediche e naturali, edito da A. CORSINI (dal 1910; Firenze).

Quellen und Studien zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Medizin (già citato tra le fonti).

Abhandlungen zur Geschichte der Medizin und Naturwissenschaften, edito da P. DIEPGEN, J. RUSKA, J. SCHUSTER (dal 1934; Berlino).

Atti e memorie dell'Accademia di Storia dell'Arte Sanitaria. Roma, serie II dal 1935 editi da P. CAPPARONI e A. PAZZINI in: *La Rassegna di Clinica, Terapia e scienze affini*.

Esistono inoltre altre riviste particolarmente dedicate alla storia della medicina, per le quali rimandiamo all'articolo di G. Sarton: « *Bibliographie synthétique des revues et des collections de livres* », in *Isis*, vol. II (1914, pag. 125-161), e alle liste speciali, quali: « *A World List of Scientific Periodicals published in the years 1900-1933* ». Londra, 1934.

Anche in altre pubblicazioni si trovano lavori che possono interessare e orientare il cultore di storia della scienza; per esempio in Italia:

Scientia. (Bologna, dal 1907).

Periodico di Matematiche. Serie IV, diretta da F. ENRIQUES (Bologna, dal 1921).

Guide.

Introduzioni generali allo studio della storia della scienza, sia d'ordine concettuale, sia come ausilio alla ricerca bibliografica, sono:

F. ENRIQUES - *Il significato della storia del pensiero scientifico*. Bologna, 1936 (già pubblicato in francese nel 1935).

G. SARTON - *The history of Science and the new Humanism*. New York, 1931.

G. SARTON - *The study of the History of Science*. Cambridge, Massach., 1936.

G. SARTON - *The study of the History of Mathematics*. Cambridge, Massach., 1936.

G. LORIA - *Guida allo studio della storia delle matematiche*. Milano, 1916.

Storia delle Università e delle Accademie.

F. MONTEFREDINI - *Le più celebri università antiche e moderne.* Roma-Torino-Firenze, 1883.

P. H. DENIFLE - *Die Universitäten des Mittelalters bis 1400.* Berlino, 1885.

A. FLEXNER - *Universities American, English, German.* Oxford, 1930.

S. D'IRSAY - *Histoire des Universités françaises et étrangères des origines à nos jours.* Parigi, 1933-35.

Per le storie delle Accademie, vedasi la *Guida* già citata di G. LORIA (pag. 144-147).



INDICI

INDICE DEGLI AUTORI *

A

- (d') Abano Pietro, 323.
 Abel Niels, 293.
 Abelardo Pietro, 235, 236, 256, 265.
 Abul Wafa (Abū'l - Wāfā), 248.
 (d') Aquapendente Girolamo Fabrizio, 325, 326.
 Achillini Claudio, 321.
 Adams John Couch, 361.
 Adriano Romano (van Roomen), 294.
 (S.) Agostino Aurelio, 128, 220, 262, 269.
 Agricola (Georg Bauer), 322.
 Agrippa, 200.
 (d') Ailly Pierre, 271, 311.
 Airy George Biddel, 361.
 Alano da Lilla, 260.
 Albategno (al - Battāni), 248, 249, 250.
 Alberotti Taddeo, 324.
 Alberti Leon Battista, 278-291.
 Alberto di Sassonia, 271, 299.
 Alberto Magno (di Bollstädt), 266, 267, 290.
 Albumassar (Abū-ma'shar), 260.
 Alcideamante, 105.
 Alcmeone, 7, 67, 75, 140, 141, 173, 174, 178.
 Alcuino, 228, 230, 231.
 Aldrovandi Ulisse, 138, 328.
 Alessandro d'Afrodisia, 144, 261.
 Alessandro di Hales, 260, 266.
 Alfergano (al - Ferghāni), 260.
 Alhazen, 250, 268, 291, 303.
 Alighieri Dante, 87, 270, 272, 277, 301, 310.
 Altusio (Johannes Althusius), 287.
 Almarico di Bène, 262.
 Amicle, 129.
 Ampère Adrien Marie, 396.
 Anarizio (An - Narizī), 245.
 Anassagora, 4, 6, 58, 62-78, 82, 86, 108, 109, 348, 399.
 Anassarco, 89, 200.
 Anassimandro, 4, 16-23, 31, 32, 35, 37, 44, 67, 73, 96, 104, 156, 331, 381, 413.
 Anassimene, 4, 15, 16, 17, 21, 22, 32, 67, 77.
 Andronico da Rodi, 144.
 (S.) Anselmo d'Aosta, 97, 232, 234, 236, 262.
 Antifonte, 95, 98.
 Antinori Vincenzo, 369.
 Antipatro, 195.
 Antistene, 108.
 Apollonio di Perga, 244, 245, 291, 344.
 Arcesilao, 199.
 Archelao, 77, 109.
 Archimede, 8, 83, 90, 154, 160, 164, 244, 296, 303, 315, 355, 356, 375, 381.
 Archita di Taranto, 5, 119, 152.
 Ardighò Roberto, 435.
 Arianno, 211.
 Aristarco di Samo, 8, 48, 90, 163-165, 301-315.
 Aristeo, 153.
 Aristippo, 108, 191.
 Aristofane, 73, 103, 108.
 Aristone, 195.
 Aristosseno, 60, 144.

(*) Abbiamo adottato di regola la dicitura dei nomi latinizzati e spesso la loro traduzione italiana, cercando di uniformarci all'uso comune.

- Aristotele, 6, 16, 17, 19, 53, 58, 66,
 70, 71, 77, 85, 87, 88, 89, 90, 91,
 92, 99, 100, 117, 120, 130-139, 141,
 142, 144, 145, 146, 159, 160, 170,
 188, 191, 194, 196, 198, 226, 233,
 236, 240, 249, 260, 262, 263, 266,
 269, 272, 273, 277, 284, 290, 296,
 297, 299, 311, 326, 340, 386, 430,
 442.
 (v) Arnim Hans, 451.
 Arnolfo di Cambio, 276.
 Aryabhatta, 246.
 Asclepiade, 181, 182, 202.
 Ateneo, 129.
 (d') Autrecour Nicola, 298.
 Averroè, 243, 249, 261, 273, 324.
 Avicbron (Ibn Gabirol), 243, 262.
 Avicenna (ibn Sina), 241, 250, 261.
 Avogardo Amedeo, 407, 408.
- B
- Bacone Francesco, 329, 368, 372-373,
 374, 379, 380.
 Bacone Ruggero, 241, 264, 267, 268,
 269, 289.
 Baeumker Clemens, 451, 452.
 Baeumler Alfred, 451.
 Bailly Jean Sylvain, 456.
 Baker I. N. L., 458.
 Barrow Isacco, 346, 359.
 Basso Sebastiano, 366, 399.
 (de) Beauvais Vincenzo, 266.
 Becher Johann Joachim, 402.
 Beda (il Venerabile), 228, 259.
 Behaim Martino, 307.
 Benedetti Giovanni Battista, 335, 342,
 356.
 Bentham Geremia, 192.
 Bergson Henri, 438.
 Beriguardi Claudio, 369.
 Berkeley Giorgio, 95, 98, 377, 380,
 418, 436.
 Bernard Claude, 409, 411, 436, 454.
 Bernardo di Chartres, 231.
 (S.) Bernardo di Chiaravalle, 236.
 Beroso, 198.
 Bernoulli Daniele, 86, 385, 386, 387,
 390, 391, 393.
 Berthelot Marcelin, 412.
 Berthollet Claude-Louis, 406.
 Berzelius Jöns Jacob, 407.
 Bessarione (Cardinale), 284.
 Bhaskara, 246.
 Bianchini Giovanni, 306.
 Bignone Ettore, 68.
 Bigourdan G., 456.
 Bione d'Abdera, 89.
 Biot Jean Baptiste, 396.
 Biringuccio Vannuccio, 322.
 (Al) Biruni (al-Biruni), 246.
 Black Joseph, 391, 403.
 Boccaccio Giovanni, 278.
 Boehme Giacomo, 285, 429.
 Boezio Severino, 10, 226, 231, 232,
 236, 260, 288.
 Boileau Nicolas, 327.
 Boltzmann Ludwig, 394.
 Bólyai Farkas (Volfango), 440.
 Bolzano Bernardo, 289.
 Bombelli Raffaele, 293, 294, 295, 450.
 (S.) Bonaventura (Giovanni Fidanza),
 268.
 Boncompagni Baldassarre, 459.
 Boole George, 295.
 Bordier P., 450.
 Borelli Giovanni Alfonso, 349, 386,
 409.
 Bortolotti Ettore, 456.
 Boyle Roberto, 304, 323, 352, 385, 390,
 391, 399-402, 405.
 Bottazzi Filippo, 416.
 Bontoux Pierre, 453.
 Bracciolini Poggio, 278, 366.
 Bradwardine Thomas, 289, 357.
 Brahmagupta, 246.
 Bréhier Emile, 451.
 Brown H., 459.
 Brunelleschi Filippo, 282.
 Brunet Pierre, 459.
 Bruno Giordano, 318, 329, 330-332,
 333, 334, 366.
 Brunschvicg Léon, 452, 453.
 Buffon Georges-Louis Leclerc, (conte
 di), 413, 430.
 Buonarroti Michelangelo, 335.
 Burdin, 433.
 Buridano (Jean Buridan), 237, 271,
 298, 299.
 Burkhardt Jakob, 279, 451.

C

Cajori Floriano, 457.
 Calcidio, 227.
 Callicle, 105.
 Callippo, 119.
 Camerario (Rudolf Jakob), 328.
 Campanella Giovanni (Tommaso), 332-333.
 Campano Giovanni, 291, 301.
 Cannizzaro Stanislao, 408.
 Cantor Giorgio, 274, 289.
 Cantor Moritz, 455, 459.
 Capparoni Angelo, 460.
 Cardano Girolamo, 292, 293, 294, 295, 313, 321.
 Carli Filippo, 455.
 Carneade, 200, 201, 203.
 Carnot Sadi, 391, 392, 393.
 Carruccio Ettore, 359.
 Cartesio (vedi: Descartes).
 Cassini Gian Domenico, 344.
 Cassirer Ernst, 453.
 Cassiodoro, 10, 225, 227.
 Castiglioni Arturo, 458.
 Catone il Censore, 181, 213.
 Cauchy Louis Augustin, 293.
 Cavaignac Eugène, 455.
 Cavalieri Bonaventura, 289, 357.
 Cavendish Henry, 361, 403.
 Caverni Raffaello, 452.
 Cebete, 60.
 Celio Aureliano, 259.
 Celso Aulo Cornelio, 9, 182, 186, 213.
 Cesalpino Andrea, 325, 326, 328.
 (di) Champeaux Guglielmo, 234, 235, 256.
 Chladni E. F., 387.
 Chuquet Nicola, 290.
 Cicerone, 80, 83, 85, 182, 191, 192, 195, 196, 197, 206, 207, 213, 315.
 Cimabue Giovanni, 276.
 Clairaut Alexis-Claude, 360, 450.
 Clarke Samuel, 353.
 Clausius Rudolf Julius Emanuel, 392, 393.
 Cleante, 187, 194, 195.
 Clifford William Kingdon, 441, 454.
 Cobeo Niccolò, 395.
 Cohen Morris R., 453.

Colding Luigi Augusto, 393.
 Colombo Cristoforo, 170, 310-311, 313.
 Colombo Realdo, 315.
 Colonna Egidio, 298.
 Columella Moderato, 9.
 Commandino Francesco, 291, 356.
 Comte Augusto, 392, 408, 432-435, 440.
 Condillac Etienne Bonnot de, 405.
 Copernico Nicola, 169, 314-18, 331, 333, 334, 340-3, 351, 354, 363-4, 422.
 Coriolis Gustave-Gaspard de, 355.
 Correns Karl Erich, 415.
 Corsini Andrea, 460.
 Cosma Indicopleuste, 228.
 Coulomb Charles-Augustin de, 396.
 Cratete il Cinico (di Tebe), 193.
 Cratete di Mallo, 203.
 Cremonini Cesare, 336, 363.
 Crisippo, 187, 195, 196.
 Crisolora Manuele, 284.
 Croce Benedetto, 438, 439.
 Ctesibio, 148.
 Curie Pierre, 381.
 Cuvier George-Léopold, 141, 142, 414, 431.

D

D'Alembert (Jean Baptiste Le Rond), 360, 387.
 Del Ferro Scipione, 292.
 Dalgarno George, 295.
 Dalton John, 406, 407.
 Dannemann Friedrich, 454.
 Darmstädter Ludvig, 454, 458.
 Darwin Carlo, 19, 74, 88, 414, 415, 431.
 David di Dinant, 262.
 Davy Sir Humphry, 391.
 Dedekind Riccardo, 450.
 De Dondi Giacomo, 282, 324.
 Del Nero Andalone, 306.
 Demetrio del Falero, 148.
 Democrito, 6, 55, 60, 63, 74, 76, 78, 80-90, 94, 100, 112, 113, 114, 116, 117, 118, 121, 126, 130, 135, 137.

- 138, 139, 141, 144, 175, 178, 188,
189, 190, 195, 196, 200, 261, 270,
284, 289, 297, 298, 331, 340, 348,
376, 384, 390, 402, 411, 413, 417.
- De Morgan Augustus, 295.
Demostene, 146.
Dempf Alois, 452.
Denifle P. H., 461.
De Ruggiero Guido, 451.
De Sanctis Francesco, 439.
Desargues Girard, 292.
Descartes Renato, 45, 47, 72, 81, 235,
250, 294, 327, 333, 348, 352, 353,
358, 365, 366, 368, 371, 372, 374-
376, 377, 379, 384, 387, 390, 393,
418.
Diagora, 106.
Diccarco, 144.
Diderot Denis, 423.
Diels Hermann, 89.
Diepgen Paul, 450, 460.
Diocle di Fliunte, 60, 155.
Diodoro Crono, 116.
Diofanto, 155, 244.
Diogene di Sinope (il Cinico) 47, 52,
77, 108.
Diogene Laerzio, 56, 192.
Dioscoride, 182.
Dirichlet Lejeune, 359.
D'Irsay S., 461.
Donati Donato, 455.
Driesch Hans, 416, 439.
Ducassé Pierre, 459.
Dufay (Charles François de Cisterney
du Fay), 395.
Duhem Pierre, 273, 299, 367, 453.
Dumas Jean-Baptiste-André, 407.
Duns Scoto, 237, 242, 269.
Dürer Albrecht, 291.
- E
- Ecfanto, 5, 90, 157, 161, 297.
Echecrate, 60.
Eddington Arturo, 432.
Einstein Alberto, 362, 382, 397, 442,
443.
Elicone, 152.
Empedocle, 5, 6, 16, 62-7, 86, 88, 96,
97, 139, 174, 177, 208, 243, 413.
- Enesidemo, 200, 201.
Eneström Gustav, 459.
Engels Fiedrich, 438.
Enice di Auxerre, 232.
Enriques Federigo, 114, 189, 288, 291,
346, 442, 443, 444, 449, 450, 453,
460.
Enriques Paolo, 453.
Epicuro, 74, 84, 85, 88, 90, 182, 187-
192, 193, 208, 209.
Epitteto, 211.
Eraclide Pontico, 90, 119, 129, 160,
161, 162, 163, 164, 301.
Eraclito, 4, 15, 17, 23-26, 29, 59, 67,
73, 84, 96, 104, 125, 139, 174, 188,
193.
Erasistrato, 8.
Eratostene, 8, 90, 148, 170-171, 214,
309.
Ermolao Barbaro, 278.
Erodoto, 118, 140.
Erofile, 8, 180, 181.
Erone, 148, 155, 291.
Esiodo, 23, 30.
Euclide Alessandrino, 7, 50, 55, 90,
135, 151, 153, 154, 155, 244, 291,
356, 421, 422.
Euclide di Megara, 109, 226, 235.
Eudemo, 144.
Eudosso di Cnido, 7, 90, 119, 127,
129, 137, 152, 153, 157, 158, 159,
162, 170, 245, 316, 356.
Eulero (Euler) Leonardo, 360, 387,
389.
Euripide, 66, 100, 101, 106, 118.
Eurito, 60.
Eustachio Bartolomeo, 325.

F

- Fabricio Giovanni, 336.
Falea, 105.
(Al) Farābi, 240.
Faraday Michele, 397.
Fatio de Duilliers, 87.
Fechner Gustav Theodor, 417.
Federico II, 263, 264, 270, 285.
Felici Riccardo, 397.
(de) Fermat Pierre, 358.
Ferrari Ludovico, 292.

Ferraris Galileo, 397.
 Fibonacci (vedi: Leonardo Pisano).
 Fichte Giovanni Amedeo, 424, 425-426, 439.
 Ficino Marsilio, 284.
 Filippo di Opunte, 129.
 Filolao, 5, 31, 36, 37, 48, 60, 61, 157, 161, 301, 315.
 Filone, 200.
 Filopono Giovanni, 144, 297.
 Fiorentino Francesco, 451.
 Fischer Kuno, 451.
 Fizeau Armand-Hippolite-Louis, 388.
 Flavio Biondo, 278.
 Flexner Abraham, 461.
 Forti Umberto, 346.
 Foucault Léon, 355, 388.
 Fourier Jean Baptiste-Joseph, 391, 392.
 Fracastoro Girolamo, 19, 179.
 Franceschi Piero (detto della Francesca), 291, 292.
 Franklin Beniamino, 395.
 Fresnel Augustin-Jean, 289, 390.
 Frontino Giulio, 9.

G

Galeno Claudio, 8, 9, 167, 179, 182-186, 202, 250, 259, 324.
 Galilei Galileo, 81, 82, 85, 114, 130, 299, 300, 303, 314, 318, 319, 322, 333, 334-342, 345, 349, 352, 354, 357, 358, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 370, 371, 372, 373, 375, 379, 386, 387, 390, 393, 409, 418, 420, 450.
 Galle Joham Gottfried, 361.
 Galois Evaristo, 293.
 Galvani Luigi, 396.
 Gambioli Dionisio, 456.
 Garioponto, 259.
 Gassendi Pietro, 189, 366, 375, 377, 386, 387, 390, 399.
 Gaunilone, 97, 234.
 Gauss Carlo Federico, 293, 440, 441.
 Gay-Lussac Louis, 407.
 Gemino, 163.
 Gentile Giovanni, 277, 439, 451.
 Gentili Alberico, 287.
 Geberto (Papa Silvestro II), 254.

Gessner Corrado 138, 328.
 (Al) Ghazali (al-Ghazzālī), 243, 262.
 Gina Clelia, 457.
 Gherardo di Cremona, 245, 306.
 Gilbert de la Porrée, 260.
 Gilbert William, 314, 373, 394.
 Ginzburg Benjamin, 454.
 Gioacchino da Fiore, 268.
 Gioia Flavio, 306.
 Giorgi Giovanni, 442.
 Giotto, 277.
 Giua Clelia, 457.
 Giua Michele, 457.
 Giustiniano, 119.
 Goethe Volfango, 26, 424, 427.
 Goldziher Ignaz, 451.
 Gorgia, 6, 63, 93, 94-102, 109, 113.
 Gramme Zénobe-Théophile, 397.
 Gregory Joshua C., 457.
 Grimaldi Francesco Maria, 389.
 Grosseteste Roberto, 268.
 Grote George, 91.
 Grozio (Huig van Groot), 288.
 Grube Wilhelm, 451.
 (von) Guericke Otto, 370, 387, 395.
 Guicciardini Francesco, 286.
 Guidubaldo del Monte, 291, 303, 335.
 Günther Sigmund, 458.
 Gutenberg Johann, 279.

H

Haeckel Ernesto, 415.
 Halley Edmund, 350, 360.
 Hamilton (sir) William Rowan, 382.
 Harriot Thomas, 294.
 Harvey Guglielmo, 326, 327.
 (ibn) Hazm, 243.
 Hegel Giorgio Federico, 91, 235, 424, 427, 428-42, 433, 435, 439.
 Helmholtz Hermann, 393, 417, 441, 453, 454.
 Belmont Gian Battista, 323.
 Herschel Guglielmo, 361.
 Hertz Heinrich Rudolf, 376, 382, 393, 440.
 Hyggins W., 406.
 Hinneberg Paul, 455.
 Hjelt Edv., 457.
 Hobbes Thomas, 233.

Höfding Harald, 450.
 (d') Holbach Paul Heinrich Dietrich
 (barone di), 423, 424.
 Hooke Robert, 350, 371, 388, 390, 399,
 401.
 Hoppe Edmund, 456.
 Horapollo, 141.
 Howarth I. R., 458.
 Hudde Johan, 359.
 Humboldt Alessandro, 430, 454.
 Hume David, 368, 419, 420, 423.
 Hunayn ibn Ishaq, 239.
 Huyen Cristiano, 72, 304, 340, 346,
 348, 349, 352, 353, 362, 370, 371,
 375, 376, 378, 385, 388, 393.

I

Iabir ibn Hayym, 239.
 Iceta, 157, 161.
 Igino, 259.
 Inouye Tetsujiro, 451.
 Ipparco, 8, 155, 156, 166, 171, 249,
 297, 307, 340.
 Ippaso, 15, 41.
 Ippia d'Elide, 100, 106, 152.
 Ippocrate di Chio, 7, 151, 152.
 Ippocrate di Coo, 7, 84, 89, 141, 175-
 176, 181, 182, 250, 259, 324.
 Ippodamo, 103.
 Ippolito, 68.
 Ippone, 17, 77.
 Ipsicle, 155.
 Irnerio, 256.
 Isidoro, 227, 259.
 Isocrate, 93.

J

James William, 437, 438.
 Jeans James Hopwood, 432.
 Jevons Stanley, 436.
 Joule James Prescott, 393.

K

Kant Emanuele, 419-423, 425, 426,
 432, 435, 439, 441, 443.
 (al) Karkhi (Karagi), 247.
 Kästner Abramo G., 455.

Keplero Giovanni, 158, 169, 292, 314,
 316, 318, 321, 334, 336, 342-345,
 346, 348, 357, 364, 379.
 Kekule von Stradonitz Friedrich Au-
 gust, 408.
 (ibn) Khaldun, 243.
 (al) Khuwarizmi, 246, 247.
 (al) Kindi, 239, 240.
 Klein Felix, 456.
 Kopp Hermann, 457.
 Kretschmer Konrad, 458.
 Kunckel von Löwenstiern Johannes,
 402.

L

Ladenburg Albert, 457.
 Lagrange Giuseppe Luigi, 360, 384,
 387, 393, 403.
 Lamarck G. B. (de Monet de), 19,
 414, 415, 431.
 La Mettrie Julien Offroy de, 423.
 Lange Alberto, 452.
 Laplace Pierre-Simon, marchese di,
 360, 396.
 Lasswitz Kurd, 452.
 Lavoisier Antoine-Laurent, 304, 391,
 401, 403-405, 410, 444.
 Lecky William Edward Hartpole, 452.
 Leibniz Guglielmo, 81, 127, 235, 295,
 332, 353, 354, 359, 380-382, 393,
 420, 423.
 Lémery Nicola, 81, 402.
 Lenard Filippo, 454.
 Leonardo da Vinci, 19, 282, 291, 292,
 298, 300, 301-304, 332, 364.
 Leonardo Pisano (Fibonacci), 246, 255,
 260, 288, 289.
 Leopardi Giacomo, 332.
 Lesage (George Louis le Sage), 87.
 Leucippo, 6, 63, 76-80, 82, 84, 85,
 86, 87, 100, 400.
 Leverrier Urbain-Jean-Joseph, 361,
 362.
 Levi della Vida Giorgio, 247.
 Lewes George Henry, 91.
 Libes A., 457.
 Libri Guglielmo, 455.
 Licofrone, 195.
 Liebig Justus von, 411.

Limentani Ludovico, 450.
 Linneo Carlo, 138, 328, 413.
 Liucci (de' Luzzi) Mondino, 324.
 Lobacevsky Nicola, 440.
 Locke Giovanni, 81, 233, 365, 377, 380.
 Loeb Jacques, 416.
 Lorentz Hendrik Anton, 397.
 Lorenzetti Ambrogio, 291.
 Loria Gino, 456, 459, 460, 461.
 Lucrezio Caro, 9, 90, 115, 189, 190, 191, 206, 207, 208, 209, 210, 329, 366.
 Lullo Raimondo, 243, 295, 306, 330.
 Lutero Martin, 285, 318.

M

Mach Ernesto, 352, 353, 382, 408, 435, 437, 438, 442, 453, 456.
 Machiavelli Nicolò, 286.
 Mac Kie Douglas, 459.
 Mac Laurin Colin, 359.
 Magendie François, 411.
 Maimonide, 243, 253, 262.
 Maitani Lorenzo, 276.
 Malpighi Marcello, 327, 409.
 Malthus Thomas Robert, 414.
 Malus Etienne Louis, 389.
 Manuzio Aldo, 279.
 Manzoni Alessandro, 321.
 Marciano Capella, 226, 259.
 Marco Aurelio, 194, 207, 211.
 Marcolongo Roberto, 302.
 Marconi Guglielmo, 397.
 Marino di Tiro, 309.
 Mariotte Edme, 385, 399.
 Marsili Luigi, 278.
 Martin Raimondo, 243, 263.
 Marx Carlo, 438.
 Masaccio, 277, 291.
 (ibn) Masarra, 243.
 Maupertins Pierre Louis, 382.
 Maxwell Clerk, 86, 385, 394, 396, 397, 439.
 Mayer Roberto, 392, 393, 410.
 Mayow John, 401, 410.
 Melantone (Melanchton) Filippo, 318.
 Melisso, 5, 6, 46, 47, 57-59, 63, 67, 78.

Mendel Gregorio, 415.
 Mendeleeff Demetrio, 409.
 Menecmo, 153.
 Menelao, 291.
 Menodoto, 200.
 Mersenne Marin, 375, 386.
 Merz John Theodore, 454.
 Metone, 65.
 Metrodoro di Chio, 89, 115, 200.
 Metzger Hélène, 404, 457.
 Meyer E., 457.
 Meyer R., 457.
 Meyerson Emile, 444, 453.
 Michelson Albert, 398.
 Mieli Aldo, 322, 457, 459.
 Mill Stuart John, 95, 436.
 Mohr Karl Friedrich, 393.
 Montaigne Michel Eyquem, 280, 286.
 Montefredini F., 460.
 Monti Vincenzo, 395.
 Montucla Jean Etienne, 455.
 Morveau Guyton de, Louis Bernard, 405.
 Mossotti Ottaviano Fabrizio, 397.
 Müller Johannes, 411.

N

Nagel E., 453.
 Napier John, 357.
 (al) Nasawi, 247.
 Nassir Eddin, 245, 248, 249, 250.
 Nausifane di Teo, 89.
 Nemorario Giordano, 288, 294.
 (di) Nettesheim Agrippa, 321.
 Nendeck G., 458.
 Neumann Franz Ernst, 397.
 Newcomb Simon, 355, 362.
 Newton Isacco, 72, 84, 85, 98, 214, 288, 340, 345-355, 359, 360, 362, 376, 377, 378, 379, 380, 383, 384, 387, 388, 389, 391, 392, 396, 421, 422, 427, 434, 450.
 Nicola di Cusa (Nicola Chrypffs di Kues), 300-301.
 Nicola Pisano, 276.
 Nicomaco di Gerasa, 226.
 Norman Robert, 314.
 Novara Domenico Maria, 315.

O

- (di) Occam Guglielmo, 237, 269, 271, 298.
 Oersted Hans Christian, 396.
 Oken Lorenz, 427.
 Oldenberg Hermann, 451.
 Olsen Ärjan, 459.
 Olschki Leonardo, 278, 452.
 Omar Khayyam, 245, 247, 248.
 Omero, 23, 30, 62, 119.
 Orcagna Andrea, 276.
 Oresme Nicole, 271, 290, 299, 358.
 Osiander (o Osiandro) Andrea, 318.
 Ostwald Guglielmo, 79, 408, 435, 449, 457.

P

- Pacinotti Antonio, 397.
 Paciolo Luca, 255, 292.
 Panezio, 196, 197, 198.
 Pappo, 155.
 Paracelso (Teophrast Bombast von Hohenhain), 322, 323, 399, 427.
 Parmenide, 5, 42, 44-51, 53, 54, 57, 58, 59, 62, 67, 70, 74, 75, 78, 84, 94, 95, 97, 112, 113, 114, 116.
 Pascal Blaise, 292, 369, 384.
 Pasteur Luigi, 412.
 Patrizzi Francesco, 284, 330.
 Pazzini Adalberto, 460.
 Peano Giuseppe, 274, 295.
 Pearson Karl, 453-456.
 Peschel Oscar, 458.
 Peiresc, 375.
 Peirce Charles Sianders, 295, 436, 454.
 Périer Florin, 369.
 Perrin Jean, 408.
 Petrarca Francesco, 261, 278, 310, 324.
 Petzoldt J., 382.
 Peurbach Georg, 169, 306.
 Picard Emilio, 455.
 Piccard Jean (del secolo XVII), 351.
 Piccolomini Enea Silvio (papa Pio II), 278.
 Pico della Mirandola, 278, 284, 321.
 Pietro Lombardo, 265.

- Pigafetta Antonio, 307, 312.
 Pikier Julius, 445.
 Pirrone, 89, 199, 200, 201.
 Pitagora, 4, 5, 24, 27, 29-31, 35, 37, 39, 40, 50, 156, 284, 331.
 Pitoni Rinaldo, 457.
 Platone, 6, 37, 59, 71, 82, 83, 85, 87, 89, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 99, 100, 109, 112, 113, 114, 118-129, 130, 131, 136, 146, 151, 152, 157, 158, 161, 178, 218, 226, 233, 284, 375, 417.
 Platone Tiburtino, 248, 289.
 Pletone Gennisto Giorgio, 284.
 Plinio Secondo C., 9, 186, 213, 215, 216.
 Plotino, 284.
 Plutarco, 14, 146, 315.
 Poggendorff Johann Christian, 454, 456.
 Poincaré Enrico, 442, 443, 453.
 Polibio, 198, 202, 280.
 Policrate, 27.
 Polimnasto, 60.
 Poliziano Angelo, 278.
 Polo d'Agriiento, 105.
 Polo Marco, 255, 308, 310, 311.
 Pomponazzi Pietro, 324.
 Poncelet Victor, 292.
 Porfirio, 226, 231.
 Posidonio, 196, 197, 198, 199, 208, 214.
 Priestley Joseph, 403, 404.
 Proclo, 9, 65, 135, 166, 221.
 Prodo di Ceo, 99, 106.
 Protagora, 6, 63, 82, 92-102, 106, 107, 108, 109, 112, 113, 114, 116, 118, 123.
 Proust Joseph-Louis, 406, 409.
 Przywara P. E., 452.

Q

- Quételet Adolphe Jacques, 123.

R

- Radl Emil, 458.
 Ramus Pierre (de la Ramée), 293.
 Razes (Rhazes) ar Rāzī, 250.

Regiomontano Johannes Müller, 169,
291, 306.
Reich, 355.
Remigio di Auxerre, 232.
Retico Giovanni, 317.
Reuchlin Johannes, 321.
Rey Abel, 459.
Rey Jean, 401.
Rinaldo da Monte Croce, 263.
Richter Benjamin Jeremias, 406.
Ricci Michelangelo, 359.
Riemann Bernardo, 441.
Righi Augusto, 397.
(de) Roberval Gilles Personne, 358.
Robinson W., 459.
Rocco Antonio, 367.
Roemer Olaf, 387.
Roscellino di Compiègne, 231-235.
Rosenberger Ferdinando, 456.
Rougier Louis, 452.
Rousseau Jean Jacques, 233.
Roux Wilhelm, 415.
Royce Josiah, 429.
Ruffini Paolo, 293.
Rumford Thompson Beniamino, 391.
Ruska Giulio, 450, 460.
Russell Bertrand, 275, 295.

S

(di) Saint Hilaire Geoffroy, 143, 414,
431.
(di) Saliceto Guglielmo, 324.
Salutati Coluccio, 278.
Salvino degli Armati, 279.
Sanudo Marino, 307, 308.
(de) Santillana Giorgio, 449.
Sarton George, 449, 454, 459, 460.
Savart Félix, 396.
Savary Felix, 361.
Savasorda (Abraam bar Hiia), 289.
Scheele Karl Wilhelm, 403.
Scheiner Cristoforo, 336.
Schelling Federico Guglielmo, 424,
427, 428.
Schiaparelli Giovanni Virginio, 159,
164, 169.
Schnürer Gustav, 452.
Schopenhauer Arturo, 55.
Schröter Manfred, 451.

Schuster J., 460.
Schwann Theodor, 411.
Schwarz Bertoldo, 268.
Scoto Eriugena, 229, 232, 262.
Scott Kellie J., 458.
Seneca Lucio Anneo, 9, 192, 207, 210,
211, 212, 213, 214, 309.
Sennert Daniele, 366, 399.
Senofane, 4, 5, 23, 24, 42, 104.
Senofilo, 60.
Serveto Michele, 326.
Sesto Empirico, 98, 112, 200, 400.
Siemens Werner, 397.
Simmia di Tebe, 60.
Simplicio, 9, 51, 144, 221, 297.
Singer Charles, 186, 453, 458.
(da) Sluse René François, 359.
Snellio (Snell Willebrord), 250, 351,
371.
Socrate, 6, 24, 42, 60, 73, 77, 82, 91,
93, 94, 96, 103, 106, 112, 119, 120,
121, 126, 136, 194, 201.
Sofocle, 27, 118.
Solone, 14.
Soto Domenico, 299.
Spallanzani Lazzaro, 327, 412, 415.
Spaventa Bertrando, 439.
Spencer Herbert, 415, 431.
Speusippo di Atene, 129.
Spinoza Benedetto (Baruch de), 235,
261, 332, 333, 419.
Sprengel Curzio, 457.
Stahl Giorgio Ernesto, 304, 402.
Stenzel J., 450.
Sterneck Robert Doublebstky, 355.
Stevino (Stevin) Simone, 290, 303,
357.
Stiefel Michele, 294.
Stilpone Megarico, 193.
Strabone da Amasia, 9, 171, 198, 202,
214, 309.
Strabone di Lampsaco, 89, 90, 144,
148, 163, 261.
Strunz F., 458.
Sudhoff Karl, 457.

T

Tabit ibn Korra, 245.
Tabizio, 260.

Tadini Antonio, 355.
 Talete, 4, 13, 14, 17, 18, 77.
 Tannery Paul, 31, 51, 53, 64.
 Tartaglia Nicolò, 291, 292, 300.
 Taylor Brook, 359.
 Teeteto, 7, 119, 127.
 Telesio Bernardino, 329, 330, 333.
 Teodosio, 291.
 Teofrasto, 17, 75, 76, 78, 144, 198.
 Terenzio Varrone M., 9, 213.
 Thomson William (Lord Kelvin), 80, 298, 376, 392, 440.
 Ticho Brahe, 162, 318, 319, 321, 334, 341, 342, 343, 344, 364.
 Timone, 199, 201.
 Tocco Felice, 452.
 Todhunter Isacco, 456.
 Toeplitz O., 450.
 Toffanin Giuseppe, 452.
 Tolomeo Claudio, 8, 9, 155, 156, 167-170, 202, 227, 250, 268, 291, 306, 307, 309, 364.
 (S.) Tommaso d'Aquino, 235, 236, 266, 269, 270.
 Torricelli Evangelista, 289, 358, 368, 369, 420.
 Toscanelli Paolo, 310, 311, 316.
 Trasimaco, 105.
 Tschermak E., 415.
 Tucidide, 103, 104, 118, 208.

U

Überveg F., 451.

V

Vacca Giovanni, 349.
 Vailati Giovanni, 367, 442, 454, 456.
 Valla Lorenzo, 283, 284.
 Vanini Giulio Cesare, 285.
 Verne Giulio, 354.
 Veronese Giuseppe, 288.
 Vesalio Andrea, 325.
 Vespucci Amerigo, 313.
 Vieta (Viète) Francesco, 293, 294, 295.
 Virchow Rudolf, 411.
 Virgilio, 277.
 Vitellione (Witelo), 291.

Vitruvio Pollione, 9.
 Viviani Vincenzo, 386.
 Vivien de St. Martin Luigi, 458.
 Vogel F. C. W., 460.
 Voigt, 452.
 Volta Alessandro, 396, 403.
 Voltaire (Francesco Maria Arouet de), 72, 347, 351, 382, 423.
 Voss L., 459.
 (de) Vries Hugo, 415.

W

Walcott Gregory D., 449.
 Waldseemüller Martino, 313.
 Wallace Alfred Russel, 414.
 Wallis John, 359.
 Weber Edouard Friedrich, 397, 409.
 Wenzel Karl, 406.
 Whewell William, 454.
 Wieleitner Heinrich, 449.
 Wilkins, 295.
 Wiendelband Guglielmo, 95, 104, 451.
 Woehler Friedrich, 412.
 Wolf A., 454.
 Wolff R., 456.
 Wolf Christian, 420, 423.
 Wollaston Hyde William, 407.
 Wren Cristoforo, 350.
 Wundt Wilhelm, 417, 451.
 Wurtz Karl Adolph, 408.

Y

Young Thomas, 389.

Z

Zamberti, 291.
 Zaniboni E., 451.
 Zeller Edoardo, 85.
 Zenodoro, 155.
 Zenodoto, 148.
 Zenone Cizico, 146, 187, 193, 194, 195, 196.
 Zenone d'Elea, 5, 42, 47, 48, 50-57, 59, 64, 65, 75, 78, 83, 84, 99, 109, 113, 118.
 Zeuthen H. G., 40, 54, 456.
 Zinner E., 456.

INDICE SOMMARIO

PREFAZIONE	pag.	V
----------------------	------	---

PARTE PRIMA

LA SCIENZA ANTICA

I. - <i>Luoghi e tempi della scienza antica</i>	pag.	3
---	------	---

IL PROBLEMA DELLA MATERIA E LE ORIGINI DELLA FILOSOFIA GRECA.

II. - <i>I primi naturalisti ionici</i>	»	13
Talete e l'unità della materia	»	13
L'Infinito	»	16
Anassimandro	»	17
Anassimene	»	21
Relativismo	»	22
Senofane	»	23
Eraclito	»	24
III. - <i>I Pitagorici</i>	»	27
L'Italia « Illustre »	»	27
Pitagora e la scuola italice	»	27
Religione	»	28
La teoria delle monadi	»	30
Aritmetica e mistica dei numeri	»	33
Razionalismo e misticismo	»	37
Geometria	»	39
IV. - <i>Gli Eleati</i>	»	42
Parmenide	»	42
Le parole della verità	»	43
La materia estesa	»	44
È possibile cambiamento o moto?	»	46

Le parole dell'opinione	pag.	48
Geometria razionale	»	50
I paradossi di Zenone	»	50
Analisi infinitesimale	»	54
Origini della logica	»	55
Psicologia delle sensazioni	»	57
Melisso	»	57
Influenza sui circoli pitagorici	»	59
V. - <i>Le risposte al paradosso eleatico. Empedocle e Anassagora</i>		
Le tre risposte	»	62
Pluralismo	»	63
Il profeta e lo scienziato	»	65
Tratti comuni, osservazioni ed esperienze	»	67
Materia e forza: sistema cosmico d'Empedocle	»	68
Sistema cosmico d'Anassagora	»	71
Il <i>Nous</i>	»	72
Sopravvivenza dei più adatti nell'evoluzione della vita	»	73
Analisi delle sensazioni	»	74
Epigoni eclettici	»	76
VI. - <i>La teoria atomica di Leucippo e di Democrito</i>		
Atomi e vuoto	»	78
Proprietà della materia	»	80
Leucippo	»	82
Democrito	»	82
La teoria cinetica del mondo	»	84
Peso e gravitazione	»	86
Caso e legge	»	87
Biologia	»	88
Influenza storica	»	89
VII. - <i>I sofisti e la teoria empirica della conoscenza</i>		
Chi erano i sofisti	»	91
Che cos'è la verità	»	94
Empirismo e relativismo	»	96
Pensare ed esistere	»	97
Polemica antimatematica	»	98
Logica e analisi del linguaggio	»	99
Protagora	»	100
Gorgia	»	101

DA SOCRATE A PLATONE E ARISTOTELE.

VIII. - <i>Reazione alla sofistica: Socrate</i>	pag. 103
Filosofia dei lumi	» 103
Reazione	» 106
Socrate	» 108
IX. - <i>Il razionalismo di Democrito</i>	» 112
Esistenza degli intelligibili	» 112
La scienza « opinione vera »	» 114
Razionalismo	» 115
X. - <i>Platone</i>	» 118
Il dramma della filosofia	» 118
Evoluzione del pensiero platonico	» 120
Confutazione dell'empirismo	» 123
Essere e divenire	» 125
Ideale logico	» 126
Valore formativo delle matematiche	» 128
L'Accademia	» 129
XI. - <i>Aristotele e l'Enciclopedia del sapere</i>	» 130
L'ideale del professore	» 130
Le opere	» 132
Logica	» 134
Ideologia	» 135
La storia naturale	» 138
Il liceo	» 144

L'ETÀ ELLENISTICA E LO SVILUPPO DELLE SCIENZE PARTICOLARI.

XII. - <i>Il mondo ellenistico</i>	» 145
XIII. - <i>Le matematiche</i>	» 151
XIV. - <i>L'astronomia</i>	» 156
I pitagorici	» 156
Eudosso	» 157
Aristotele	» 159
Il moto dei pianeti attorno al Sole: Eraclide	» 160
Il sistema eliocentrico di Aristarco	» 163
Ipparco	» 166
Tolomeo	» 167
Misura della Terra	» 170

XV. - <i>La medicina</i>	pag. 172
Gl'inizi della medicina	» 172
Cnido e Coo	» 174
La scuola d'Alessandria	» 180
Le teorie di Galeno	» 183
Gli ultimi secoli	» 186
XVI. - <i>La filosofia ellenistica. (Epicurei, Stoici e Scettici)</i>	» 187
Le scuole etico-religiose	» 187
Epicuro	» 188
La morale epicurea	» 191
Gli Stoici	» 193
Il criterio della verità	» 195
Gli Stoici platonizzanti : Panezio e Posidonio	» 196
Gli Scettici	» 199
XVII. - <i>La coltura a Roma</i>	» 202
L'Impero di Roma	» 202
Caratteri generali della coltura romana	» 203
La Filosofia	» 206
Le Enciclopedie	» 213
La decadenza e la fine della scienza antica	» 217

PARTE SECONDA

DAL MEDIO EVO AI TEMPI MODERNI

XVIII. - <i>L'alto Medio Evo</i>	pag. 225
I resti della cultura antica	» 225
Accademia carolingia	» 228
XIX. - <i>La questione degli universali</i>	» 230
Motivi di risveglio	» 230
Realismo e nominalismo : Roscellino	» 231
S. Anselmo	» 234
Abelardo	» 235
Occam	» 237
XX. - <i>La coltura araba</i>	» 238
L'Islam	» 238
Alchimia	» 244
Matematiche	» 244
Astronomia e ottica	» 248
Medicina	» 250

XXI. - <i>La trasmissione dell'eredità orientale</i>	pag. 252
Rapporti dell'Occidente coll'Oriente	» 252
Le Università	» 256
Diffusione della scienza e libero pensiero	» 259
XXII. - <i>La Scolastica</i>	» 265
La nova logica	» 265
Il tomismo	» 266
Il pensiero francescano : Ruggero Bacone	» 267
L'influenza democritea	» 270
Conclusione	» 271
XXIII. - <i>Il Rinascimento</i>	» 275
Le arti e le lettere	» 275
Rinnovamento della tradizione latina	» 277
Scienza e arte	» 281
Rinascimento e scolastica	» 283
La rinascita di Platone	» 284
La riforma	» 285
XXIV. - <i>Le Matematiche del Rinascimento</i>	» 288
Risveglio delle Matematiche	» 288
Pittura e Geometria	» 291
Le scoperte degli algebristi	» 292
Vieta	» 294
XXV. - <i>La meccanica del Rinascimento</i>	» 296
La questione del moto	» 296
Nicola di Cusa	» 300
Leonardo da Vinci	» 301
XXVI. - <i>Le scoperte geografiche e la rivoluzione copernicana</i>	» 305
Progressi della navigazione	» 305
Esplorazioni marittime	» 308
Scoperta dell'America	» 309
Circumnavigazione terrestre	» 312
Fisica terrestre	» 313
Il sistema Copernicano	» 314
Tycho Brahe	» 318
XXVII. - <i>Le scienze della vita</i>	» 320
Scienze occulte	» 320
Iatrochimica	» 321

Le Scuole mediche e l'Anatomia	pag. 323
Circolazione del sangue	» 325
XXVIII. - <i>Filosofia: Telesio, Bruno, Campanella</i>	» 329
Telesio	» 329
Giordano Bruno	» 330
Campanella	» 332
XXIX. - <i>Il sistema del mondo e la fondazione della meccanica</i>	» 334
Galileo	» 334
Costruzione della Dinamica	» 339
Keplero	» 342
Newton	» 345
La gravitazione universale	» 347
Concetti e principî della Dinamica	» 352
La Meccanica celeste	» 360
XXX. - <i>Razionalismo e metodo sperimentale</i>	» 363
Il metodo Galileiano	» 363
Estensione del metodo sperimentale	» 368
Francesco Bacone	» 372
Cartesio	» 374
Newton e le Ipotesi rappresentative	» 376
Induzione e deduzione	» 378
Leibniz e il principio di Ragion sufficiente	» 379
XXXI. - <i>Il meccanismo e gli sviluppi della scienza moderna</i>	» 383
Meccanicismo	» 383
Elasticità: Teoria cinetica dei gas	» 385
Suono	» 386
Luce	» 387
Calore	» 390
Elettricità e Magnetismo	» 394
Chimica	» 398
Il meccanicismo e le Scienze della Vita	» 409
XXXII. - <i>Il problema filosofico della Scienza</i>	» 417
Empirismo e Razionalismo	» 417
Kant	» 419
L'Idealismo tedesco	» 423
Goethe	» 424

Fichte	pag. 425
Schelling e la Filosofia della Natura	» 426
Hegel	» 428
La Storia naturale	» 430
La Filosofia dell'Evolutione	» 431
Il Positivismo di A. Comte	» 432
Pragmatismo e Neo-Idealismo	» 435
La Filosofia della Scienza	» 439
<i>Bibliografia</i>	» 447
<i>Indice degli Autori</i>	» 465

44539

