

ANNUARIO
DELLA
REGIA UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI
GENOVA

Anno Scolastico 1892-93



GENOVA
REGIO STABILIMENTO TIPO-LITOGRAFICO
PIETRO MARTINI
Via Canneto il Lungo, N. 21, Piano Secondo
1893

GLI ODIERNI STUDI
SULLA
FIGURA DELLA TERRA



DISCORSO

LETTO

DAL PROF. PAOLO PIZZETTI

NELLA SOLENNE INAUGURAZIONE

Dell' Anno Accademico 1892-93.



Signori,

Wer da glauben wollte, dass nun alles gethan sei, der würde gewaltig irren, ja, er würde mit diesem glauben schon den Rückzug angetreten haben; denn es giebt in der menschlichen Entwicklung keinen Stillstand.

Vieles ist zwar geschehen, aber sehr Vieles bleibt noch zu thun übrig!

BABYER, Die Grösse und Figur der Erde.

Alle onoranze centenarie che Genova ha tributate al più illustre dei suoi figli, noi tutti partecipammo con quella emozione che nasce dall'affetto delle grandi memorie e dal giusto orgoglio del nome Italiano. Chiamato all'onore di parlarvi da questa cattedra, io non mi nascondo che la voce di un modesto cultore di scienze positive suonerà oggi più debole che mai in mezzo all'eco, non ancor spenta, di quelle nobili feste.

Ho fiducia tuttavia che, di fronte anche alle cerimonie testè compiute, questa nostra odierna non vi parrà nè inutile, nè discara.

Il ricordo dei grandi fatti del passato suscita in noi vivaci entusiasmi, ma non può essere pascolo quotidiano dell'anima nostra, e quando i fantasmi evocati dalla più splendida apoteosi sono ricaduti, per dirla con Castelar, nel loro letto mortuario di parole, vi ha pur sempre un pensiero che è capace di tener deste e di eccitare le migliori nostre energie: il pensiero del lavoro che ci aspetta, del lavoro dell'indomani, al quale la nostra Università porta oggi il suo augurio solenne. Per modeste che siano le nostre speranze, vi ha tuttavia nella esplicazione della nostra forza individuale, nella preparazione dell'opera nostra una intima compiacenza cui niun'altra pareggia, e questa compiacenza è vostra più che d'altri, o giovani studenti, che vi affacciate alla vita operosa senza sconcerti, senza preconcetti, senza volgari interessi.

Sulle fatiche, il più delle volte modestissime, della generazione presente si fonda l'edificio di chi sa quali glorie avvenire, ed è perciò che voi saluterete con gioia la bandiera del lavoro che oggi, secondo il vecchio costume, si pianta sui baluardi del nostro Ateneo.

* * *

Uno studioso di scienze positive, al quale sia assegnato l'onore del discorso inaugurale, pensa talvolta a rendersi più gradito ai propri ascoltatori, lasciando per

un giorno il corso consueto de' suoi studi e trattando o le così dette questioni Universitarie, ovvero argomenti generali di filosofia scientifica. Quanto a questi ultimi, non ho giudicato pari al compito le mie forze; quanto alla questione Universitaria, noi tutti, che facciamo professione d'insegnamento, siamo, chi più chi meno, competenti a discorrere.

Ma, a dir vero, io non conosco alcun argomento meno opportuno di questo per un'orazione inaugurale, nè più adatto a generare malumori, sospetti, scoraggiamenti. Come nelle famiglie, così nelle altre associazioni umane, vi hanno delle giornate di festa, come è appunto la nostra odierna, in cui la concordia e l'affetto si sentono più vivi che mai e non intorbidati dalla più lieve amarezza, e queste giornate ci son necessarie per riprendere con animo sereno l'aspro cammino della vita. Perché vorremo noi offuscare la serenità d'oggi con quell'atmosfera di polemica e di politica, nella quale vive la questione Universitaria?

Dedichiamo piuttosto anche questa giornata alla scienza; facciamo sì, per quanto a ciascuno di noi è dato, che i nostri giovani sappiano e fortemente sentano che vi hanno negli studi delle lotte feconde da combattere, delle mete eccelse da conseguire. — Sarà forse questa, per l'Università, la migliore guarentigia di salute.

* * *

Lasciando dunque da parte le questioni generali, io vi parlerò di Geodesia teorica, senza tuttavia dissimularmi che una scienza già arrivata a maturità, quale è questa, pone l'oratore nel difficile bivio o di dir cose notissime ovvero di entrare in tediosi particolari; laddove le scienze nuove o rinnovellate, per l'arditezza dei loro concetti e la freschezza dei loro risultati, di preferenza attraggono l'attenzione di un uditorio anche elettissimo.

In tale condizione di giovanile freschezza e di favore in faccia al pubblico dotto si trovava la Geodesia nel secolo scorso e al principio di questo, chè allora gli studi teorici e sperimentali sulla figura della Terra tenevano uno dei primi posti nella mente degli studiosi.

Newton poggiandosi sopra considerazioni idrostatiche tanto semplici, che sono ora chiare ad ognuno, avea dimostrato che la figura delle grandi superficie acquee del globo deve essere schiacciata ai poli; mentre in Francia Domenico Cassini, traendo partito da misurazioni, alquanto inesatte, eseguite sul territorio Francese prima da Picard, poi da lui stesso, avea avanzata l'idea contraria, ossia che la terra fosse allungata verso i poli. Allora una vivace e curiosa controversia si accendeva nel pubblico scientifico, diviso fra le due opposte opinioni, nè tale dissenso accennò ad aver termine, fino a chè il Maupertuis, reduce nel 1737 dalla celebre

spedizione astronomico-geodetica in Lapponia, pubblicando i risultati della misura di un grado di latitudine presso il circolo polare, ebbe posto fuor di dubbio lo schiacciamento della terra ai poli.

L'impresa condotta dal Maupertuis fu giustamente considerata come di eccezionale importanza; il nome di lui divenne popolare e nelle mostre delle botteghe di Parigi si vide la figura dell'illustre Astronomo travestito da Ercole Lappone colla leggendaria clava nella mano destra e colla sinistra in atto di comprimere un globo terrestre. A lui Voltaire mandava i suoi clamorosi rallegramenti, per avere, egli diceva, schiacciato il mondo e Domenico Cassini.

Quando una curiosità scientifica riceve una prima risoluzione grossolana, qual'era quella data dal Maupertuis riguardo alla forma della terra, gli spiriti comuni si acquetano e si riaddormentano; resta invece generalmente eccitata l'attività degli uomini di genio, i quali, non paghi del pressapoco, cercano l'esatto; dalla ricerca vaga, empirica, unilaterale si elevano alla vera ricerca scientifica.

E mai forse dattorno a un solo problema, come intorno a questo della figura della terra, si vide raccolta tanta potenza di mezzi, tanto numero di sommi ingegni. È un vero libro d'oro delle matematiche pure ed applicate per circa 150 anni, e voi mi perdonerete la noja di una breve enumerazione.

Nelle spedizioni geodetiche, iniziate a gara dalle nazioni civili, vediamo partecipare uomini quali Celsius, Bouguer, Lacondamine, Boscovich, Lacaille, Delambre... Gli strumenti geodetici ed astronomici si affinano, si trasformano per opera dei Ramsden, dei Borda, dei Tobia Mayer..... e questo perfezionarsi dei mezzi di osservazione geodetica è forse primo ed efficace inizio della moderna Fisica di precisione.

Ma più ricca è la storia delle ricerche teoriche.

Newton, avea vagamente ammesso, non dimostrato, che il nostro globo, supposto fluido e omogeneo, dovesse avere la forma di un ellissoide di rotazione, ed ecco per la precisa discussione di una tale ipotesi sorgere la celebre teoria della attrazione degli ellissoidi, nella quale brilla innanzi tutti il nome di Maclaurin, poi quello di Simpson, del Frisi, di Lagrange, di Laplace, e più recentemente di Poisson, di Gauss, di Ivory, di Plana, di Chasles....

Huygens, Clairaut, D'Alembert primeggiano nello stabilire quei principi idrostatici, in base ai quali la figura della Terra dev'essere investigata.

Stirling per la prima volta dimostra che un ellissoide di rotazione schiacciato può veramente essere la figura di equilibrio per un fluido rotante omogeneo; Maclaurin poi, Simpson e Clairaut, che ho già nominati, e finalmente Legendre e Laplace portano la teoria fisico-matematica della figura della Terra ad un'altezza

tale, che di poco è stata superata dalle opere dei loro successori.

Ad agevolare le complicate ricerche teoriche sull'argomento che ci occupa, Laplace inventa la così detta funzione *potenziale*, Legendre le funzioni *sferiche*, e tali invenzioni restano poi come principali strumenti di calcolo nella moderna Fisica matematica.

Delle formule adatte al calcolo delle triangolazioni geodetiche sull'ellissoide terrestre vediamo occuparsi Delambre, Legendre, Laplace e più tardi Bohneberger, Gauss, Bessel.....

La teoria delle probabilità, che fu uno dei più belli e difficili soggetti di studio per i matematici del secolo scorso riceve nuovo incremento nelle mani di Laplace, di Adrain, di Young per la necessità di applicarla alla critica dei risultati sperimentali, ora nel calcolo delle dimensioni della terra, ora in quello della lunghezza del pendolo a secondi.

Senza mettere in conto i vantaggi pratici che dalla Geodesia sono derivati per gli usi della vita civile (e primo di tutti la famosa scelta dell'unità di misura lineare fatta dall'Accademia Francese nel 1791) la copia di importanti risultati, che si connette colla storia della geodesia, è tale da render ben giustificata l'asserzione di Humboldt, che: « eccezzuate le investigazioni riguardanti « la parallasse delle stelle fisse, la storia della scienza « non presenta alcun altro problema, nel quale l'im-

« portanza dello scopo raggiunto sia di sì gran lunga
 « superato dall'incidentale vantaggio che i lunghi ed
 « ardui studi occorsi hanno apportata alla coltura
 « generale e al progresso delle conoscenze matematiche
 « ed astronomiche ».

Io non ho impreso a farvi la storia della Geodesia teorica; avrei dovuto cominciare ben più da lontano la mia rassegna, chè i Greci eran certo più avanzati nella conoscenza geometrica della Terra di quel che non fosse il secolo di Colombo e parte del successivo. Volevo soltanto rievocare, con qualche nome, i giorni di un glorioso passato, sul quale non è male che la mente dei nostri giovani studiosi sia di tanto in tanto ricondotta.

A noi cultori di scienze positive si muove spesso l'accusa di non curare abbastanza gli insegnamenti dei nostri predecessori, di aver la pretesa di voler far tutto di nuovo, di ignorare la storia delle scienze. Se con ciò s'intende dire che noi preferiamo gettare di tanto in tanto lo sguardo sullo splendido campo dei fatti naturali piuttosto che continuamente rimuginare e discutere le idee e le parole degli antichi: che noi, ammiratori e seguaci del nostro immortale Leonardo, chiudiamo volentieri l'orecchio all'*eterno gridore* delle scienze sofistiche, non del tutto spente ai di nostri: se questo si dice, l'accusa è vera e noi crederemmo viltà lo scolparcene.

Ma chi potrebbe asserire che noi trascuriamo l'im-

menso tesoro di esperienza e di meditazione lasciatoci dagli studiosi del passato? Come potremmo noi farlo quando ci troviamo dinnanzi a scienze già tanto progredite, quando sovra molti dei nostri problemi si sono già affaticate delle menti tanto superiori? Chi di noi non ha intellettualmente gioito, leggendo nelle opere di quei Sommi l'espressione genuina, limpida di quelle idee che sono poi rimaste come fari luminosi per la scienza d'oggi?

Chi di noi dispregia la storia delle scienze? Certo, se la si fa consistere unicamente nella ricerca bibliografica minuta, uniforme, senza critica, nella completa rassegna delle più strane teorie, di quei tentativi che non han lasciato alcuna traccia di sè, nelle polemiche sulla priorità di certe scoperte, o simili, non ho difficoltà a dire che la storia delle scienze così intesa, benchè nobilissima forma di attività intellettuale, non contribuisce, a mio parere, al progresso delle conoscenze speciali. Ma al contrario lo studiare e seguire, per sommi capi, i lavori di coloro che hanno contribuito a far avanzare grado grado, e senza vane deviazioni, la conoscenza di un dato soggetto, come p. es. nella teoria fisico matematica della figura della Terra, venir passo passo dal rude calcolo di Newton fino ai recenti lavori, illustrando, semplificando, criticando, ove occorre, coi mezzi che l'analisi moderna ci porge, ecco una cosa di utilità grandissima e che io non mi stan-

cherò di consigliare a quei giovani che vogliono dedicarsi allo studio speculativo delle scienze.

È qui per esser sinceri, dobbiamo pur riconoscere che qualche cosa di giusto vi ha in quella accusa che ora ho combattuto; ed è che nell'insegnamento Universitario non si dà forse in generale (almeno nel campo matematico) la dovuta importanza alla parte storica delle scienze, ed è male. L'enunciazione pura e semplice dei metodi moderni, senza alcun indizio intorno alla evoluzione di idee che li ha generati, non basta talora a dare ai giovani la spinta necessaria al lavoro individuale: essi restano spesso più atterriti che incoraggiati; mentre nel lento e faticoso lavoro che ha condotto alla formazione delle moderne conoscenze, vi ha qualche cosa di umanamente accessibile a tutti, almeno in apparenza, che dà agli animosi intelligenti l'iniziativa e il desiderio di proseguire la ricerca del vero.

Ma io ho divagato e ve ne chieggo perdono.

*
*
*

Artisti e poeti chiedono sovente all'alta montagna le loro più geniali ispirazioni; il Geodeta vi cerca estesi orizzonti, libera corsa ai lati delle triangolazioni geodetiche.

Il fortunato viaggiatore il quale dal magico paese dell'Alhambra, muove alle vette della Sierra sovrastante,

dopo qualche giorno di faticosa salita si trova in vista del Mediterraneo, e se l'atmosfera è eccezionalmente limpida, può vedere al di là di 200 chilometri di mare, disegnarsi confusamente le colline settentrionali dell'Algeria.

Fra la Sierra Nevada e la costa Algerina si compieva, appunto tredici anni or sono, per mirabile energia dei Francesi, per eroica perseveranza degli Spagnuoli, una delle più forti imprese geodetiche che la storia ricordi.

Il collegamento Geodetico ed Astronomico, come si dice in linguaggio tecnico, dell'Africa colla Spagna, non esigeva a dir vero gran copia di risultati numerici.

Immaginate due punti (*vertici*) ben fissati sulla Nevada, altri due nell'Algeria e, del quadrilatero formato dai quattro punti, tracciati i lati e le diagonali. Si trattava di misurare gli angoli fra questi lati e queste diagonali, e di più determinare astronomicamente le latitudini, la differenza di longitudine di due vertici, e l'orientamento di uno dei lati del quadrilatero. Ma la quantità di lavoro necessaria per conseguire quella precisione di risultati, che era qui indispensabile, e le condizioni eccezionalmente difficili nelle quali un tale lavoro si compieva, rendono veramente memorabile il felice risultato dell'impresa.

Fra la punta di Mulhacen (uno dei vertici spagnuoli) e la collina di Filhassen (uno degli Algerini) la

distanza è di circa 270 chilometri; laddove le visuali, cui fino allora erano avvezzi i nostri cannocchiali geodetici, superavano di poco la lunghezza massima di 100 chilometri. Soltanto coll'ajuto di potentissimi fari elettrici poterono essere rese osservabili l'una dall'altra le stazioni del quadrilatero. Nel lungo tragitto attraverso un'atmosfera turbata dai vapori dell'ampia superficie marina, la luce emanata da un proiettore elettrico della forza di circa 44,000,000 di lampade Carcel perdeva tanto della propria intensità, da apparire nel campo del cannocchiale, situato nell'opposta stazione, quasi una debolissima stella tremolante, una imagine discontinua e fuggevole che l'occhio dell'osservatore dovea pazientemente incrociare coi fili del reticolo.

Anco una persona estranea a queste cose non può restare indifferente, leggendo nella relazione pubblicata per cura dei compianti generali Ibañez e Perrier il tranquillo racconto degli sforzi occorsi per l'impianto delle stazioni, delle fatiche e delle peripezie incontrate durante il lavoro. Gli strumenti geodetici ed astronomici, gli apparecchi per la proiezione luminosa, la macchina a vapore per produrre l'energia elettrica, i materiali per costruire gli edifizi provvisorii di lavoro e di abitazione, tutto ciò dovette esser trascinato all'altezza di quasi 3500 metri attraverso un cammino difficile anco per un alpinista.

In quelle vette inospitali, ufficiali e soldati spagnuoli

passarono circa due mesi e mezzo, dapprima nell'attesa paziente ed ansiosa dei segnali Algerini, che per più settimane restarono invisibili, poi nel lavoro di osservazione compiuto di notte nei brevi intervalli di buone condizioni atmosferiche; operazioni delicatissime che esigerebbero nell'osservatore le migliori condizioni fisiologiche, laddove lassù la temperatura era molte volte di 12° C sotto zero, e la velocità del vento giungeva spesso a 125 chilometri all'ora.

Non parlo delle penose interruzioni, dei pericoli, dei danni di vario genere dovuti alle bufere tristamente celebri, che, in quell'epoca appunto, devastarono le provincie di Murcia e di Almeria; il fulmine visitò il piccolo accampamento, abbattè due soldati, gettò il terrore e la confusione negli altri; poco mancò non rovinasse per sempre istrumenti e macchine. Ma dileguato il mal tempo, riparati i guasti, il lavoro ricominciava colla severità consueta, con quello spirito di sacrificio, con quella disciplina, che sono il segreto di molti grandi successi.

Finalmente il 45 Novembre 1879 l'opera potea dirsi compiuta: il confronto dei risultati ottenuti nei quattro vertici nè attestò l'esito eccellente. L'arco di meridiano che, partendo dalle isole Shetland e passando per l'Inghilterra e la Francia, si spingeva già fino alle coste meridionali della Spagna, risultò così prolungato mediante una catena non interrotta di triangoli fino al

limitare del Deserto di Sahara, per una estensione di circa $27^{\circ} \frac{1}{2}$ di latitudine.

Alla preziosa serie di dati che un tale arco ci fornisce per lo studio della figura della Terra, fa riscontro quella che si compendia nell'arco di parallelo che dalle coste Occidentali di Irlanda per l'Inghilterra, pel Belgio, per la Germania Nord e per la Russia si spinge fino al limite orientale d'Europa per quasi 70° di longitudine. Un altro grande e famoso arco di meridiano va per 27° di latitudine circa dal Mar Glaciale fino al Sud della Rumania, un altro dal Sud della Sicilia fino a Bodo in Norvegia per più di 30° di latitudine.

È poi ben noto che quasi tutte le regioni di Europa, come anche gran parte dell'India, degli Stati Uniti d'America, del Messico e talune regioni dell'America del Sud sono coperte da una rete di triangoli geodetici. Un tale lavoro, destinato dapprima specialmente a scopi pratici, ha preso dovunque l'aspetto di una completa ricerca scientifica, dopochè l'Associazione Internazionale per la misura dei gradi ne ha assunto, per così dire, la direzione morale, cercando di dare ai lavori geodetici dei varii paesi quell'indirizzo razionale ed uniforme, che meglio varrà a far progredire le nostre conoscenze sulla figura della Terra.

Il generale Baeyer che fu illustre compagno di Bessel nella triangolazione della Prussia Orientale, pubblicava nel 1861 un bell'opuscolo, nel quale, insieme con una

felice sintesi dei principali problemi che la Geodesia ha risolti o deve ancor risolvere, dava uno schema di progetto per un grande arco di meridiano da misurarsi fra Palermo e Cristiania, e, a tal uopo, vivamente eccitava i varii Stati dell'Europa Centrale ad associarsi per eseguire questo disegno. « Non è forse la scienza, « diceva Baeyer, l'unico comune vincolo della umanità, « che già troppo è stata spezzata e minuzzata in tante « parti e particelle dalla politica e dalla Chiesa? Vo- « gliamo noi strappare ancora questo vincolo? o non « vogliamo piuttosto far sì che i popoli siano uniti « nella politica e nella religione, come, per grazia di « Dio, lo sono nella scienza? Io credo che la scelta « non sia dubbia ». La bella proposta del Baeyer ebbe piena attuazione, e diede frutti insperati, poichè la Associazione per la misura dei gradi nell'Europa Centrale, fondata per la sua iniziativa nel 1861, ha ora talmente esteso il suo campo di azione per tutte, o quasi, le nazioni civili, da prendere, come già dissi, il nome di Associazione Internazionale.

Singolare fortuna delle cose e notevole esempio della evoluzione cui vanno soggette, sotto il benigno influsso della scienza, le varie forme della attività umana! La Geodesia, la quale nei suoi intenti pratici è specialmente indirizzata a scopi militari, è diventata ora un vincolo di fratellanza fra le nazioni. E le assemblee internazionali del Grado, costituite in buona parte da



uomini addetti all'arte della guerra, per la serenità delle discussioni, e la concordia degli intenti, potrebbero utilmente essere prese a modello dai Comizi Internazionali per la Pace.

La utilità di questa Associazione Geodetica risulta evidente a chiunque getti lo sguardo sui Rendiconti delle riunioni annuali d'essa.

Il problema di paragonare i livelli medii dei differenti mari, quello del confronto dei vari prototipi di misura, quello della variabilità delle latitudini per ciò che riguarda un possibile spostamento secolare e periodico dei poli terrestri, la determinazione delle differenze di longitudine, le misure differenziali della gravità attraverso catene montuose per rintracciare l'effetto della attrazione delle montagne: ecco altrettante questioni che non potrebbero essere risolte in modo razionale e sicuro senza un perfetto e continuo accordo degli Istituti geodetici dei diversi paesi. (1)

(1) Per esempio, nei Rendiconti delle adunanze tenute dall'Associazione a Firenze nel Settembre 1891 troviamo fra l'altre cose: una relazione del prof. Helmert sullo zero delle altitudini, altra dello stesso sulle osservazioni istituite a Honolulu, per conto dell'Associazione, per studiare la variazione periodica annua delle latitudini; uno studio del dottor Benoit dell'Ufficio Int. di Pesi e Misure, intorno al paragone delle *tese* che han servito come campioni in gran parte dei lavori geodetici Europei; una relazione del maggiore Sterneek sulle misure di gravità eseguite da lui fra Monaco (Baviera) e Padova attraverso Innsbruck, Brixen e Trento; la notizia di una misura di differenza di longitudine eseguita fra Rivesaltes (Francia Sud) e Desierto di Las Palmas (Spagna Est).

Con vera soddisfazione poi è lecito affermare che, nella Associazione Geodetica Internazionale, la parola e l'opera dell'Italia è altamente apprezzata. Le operazioni di Astronomia geodetica eseguite dagli Osservatorii di Arcetri, Genova (R. Marina), Milano, Napoli, Padova, Palermo, Roma (Campidoglio), Torino hanno notevolmente arricchita la carta geodetica di Europa; ma soprattutto grandissima lode è dovuta al nostro Istituto Geografico Militare, sia pei lavori geodetici che esso dirige, sia pel contributo che i suoi egregi Ufficiali apportano al progresso teorico e tecnico della Geodesia.

*
* *

Le scabrosità apparenti della superficie terrestre, che il topografo determina con minuta accuratezza, non possono evidentemente figurare in uno studio complessivo sintetico della figura della Terra.

Esse son piccole, è vero. L'ingenuo trattatello di geografia, che noi studiavamo nei nostri primi anni, le paragonava alle rugosità d'un arancio. Ma se ad un fisico, avvezzo alle misure di precisione, noi domandiamo di studiare la forma dell'arancio, è chiaro che egli non vorrà tentare la ricerca, fino a che anche quelle piccole rugosità non sian tolte via, o materialmente, o per ipotesi.

Bisogna dunque sopprimere queste irregolarità della

superficie del globo; ma, d'altra parte ciò non si può far in modo arbitrario. Se noi vogliamo che il nostro studio sia suscettibile d'una indefinita precisione, noi dobbiamo stabilir chiaramente in qual modo noi procediamo, col pensiero, a levar di mezzo le montagne e a colmare gli abissi; in altri termini noi dobbiamo dare una definizione, per quant'è possibile, matematica di quella figura della Terra, che è la meta delle nostre ricerche.

Essa non è altro che una così detta *superficie di livello*, (1) ossia, per dirla brevemente, una superficie la quale è *orizzontale* in ciascuno dei suoi punti.

Ci formiamo una idea materiale di una superficie di livello pensando che la superficie libera di un liquido in equilibrio si dispone orizzontalmente. — Immaginiamo che una lenta evoluzione geologica dilavi le montagne, sicchè il mare ricuopra tutta la Terra, che, cessata l'ira dei venti e il palpito periodico delle maree, arrestate ovunque le correnti oceaniche, questo nostro mondo

(1) Vi ha naturalmente un'infinità di *superficie di livello*, e non essendovi, a priori, una speciale caratteristica, che serva a scegliere una di esse, a preferenza delle altre, quale *figura matematica della terra*, noi possiamo dire che scopo della Geodesia è di determinare il sistema delle superficie di livello che passano per punti accessibili della corteccia terrestre. Soltanto quando si fosse dimostrato che i punti di livello medio dei varii mari sono tutti sensibilmente sopra una stessa superficie di livello, si potrebbe opportunamente definire come figura matematica della terra (*Geoide*) quella superficie di livello che contiene il livello medio dei mari.

continui ad aggirarsi come corpo senza vita; ebbene allora perduta ogni varietà d'aspetto, la superficie libera di quel mare senza confini sarebbe una *superficie di livello*.

Chi di voi ha avuta occasione di vedere un teodolite geodetico, ovvero uno di quegli strumenti astronomico-geodetici che servono a misurare la latitudine e il tempo siderale, avrà osservato due piccole livellette, nelle quali la superficie libera di un liquido mobilissimo serve a stabilire il piano dell'orizzonte. Con queste due microscopiche porzioni d'orizzonte, delle quali i metodi astronomici ci insegnano a fissar la direzione rispetto a punti fissi della sfera celeste, (1) il Geodeta va studiando sulla terra la forma della superficie di livello.

Voi vedete dunque come semplice, come opportuna sia la definizione geodetica della figura della Terra. Essa non è una pura finzione matematica; essa è legata nel modo il più diretto al sistema delle forze materiali, che sollecitano ogni punto del nostro globo, voglio dire

(1) Non volendo entrare in particolari intorno alle operazioni astronomico-geodetiche, ho voluto sintetizzarle con questa espressione, forse un poco artificiosa, ma che ha il vantaggio della brevità e della relativa chiarezza. È facile persuadersi che quando, per un dato istante, noi conosciamo le coordinate astronomiche (ascensione retta e declinazione) dei due punti celesti, che corrispondono a due direzioni date *oa*, *ob* del nostro orizzonte, noi potremmo costruire sulla sfera celeste le posizioni della Zenit e del Meridiano del luogo, sicchè resterebbero determinate la latitudine e la longitudine relativa del luogo stesso, nonchè l'azimut astronomico della linea *oa*.

l'attrazione della intera massa e la forza centrifuga dovuta al moto di rotazione diurno.

È per questo che allo studio della figura della terra si attaccano tante questioni fisiche, e prima di tutto quella della costituzione interna della terra e dello stato primitivamente fluido di essa. È per questo che allo studio della figura della Terra, oltrechè i metodi datici dalla Astronomia pratica per determinare latitudini e longitudini ed azimut, servono pure altre vie, come gli studi teorici d'Astronomia sulla precessione e la nutazione, e sovra tutto le osservazioni sulla lunghezza del pendolo a secondi.

Poichè la configurazione della superficie di livello è legata da certe relazioni matematiche col modo di variare della forza di gravità da un punto all'altro della terra. Quando un pendolo vien trasportato dall'Equatore verso i Poli, le sue oscillazioni diventano più rapide per l'aumentarsi della intensità della gravità. Un tal fatto era già stato indicato da Richer (1672) ai tempi di Newton, il quale specialmente da ciò trasse argomento alle proprie ricerche sulla figura della Terra.

Da Richer in poi, fisici ed Astronomi non hanno cessato di rivolgere la loro attenzione a questo prezioso elemento che è la *misura della lunghezza del pendolo a secondi*, o, ciò che è lo stesso, la *determinazione della gravità*. La teoria ne è stata da più punti studiata, le misure sono state eseguite può dirsi in ogni

parte del mondo. Esse costituiscono ora un arduo capitolo della Fisica di precisione, poichè il valutare esattamente la durata delle oscillazioni del pendolo, il misurarne la lunghezza fino al *micron*, l'eliminare le cause d'errore o il calcolare gli effetti di esse, e soprattutto il tener conto della influenza dell'aria sul moto pendolare, costituiscono un'insieme di difficoltà, a vincere le quali occorrono, non solamente attitudini speciali nell'osservatore e bontà di mezzi sperimentali, ma altresì il sussidio di delicate ricerche di Fisica matematica.

*
* *

Il misurare la lunghezza del pendolo a secondi, e quindi l'intensità della gravità, costituisce, come ho detto, un diretto contributo allo studio della forma della Terra, ma, indipendentemente da ciò, è al di d'oggi di sussidio indispensabile nelle così dette *livellazioni di precisione*, delle quali debbo pur dare un cenno.

Qualunque siano le vaghe notizie che la Storia può darci circa le antichissime ricerche sulla figura della Terra, non vi ha dubbio che le prime e più chiare idee su questo soggetto debbono essere nate nell'animo di arditi navigatori, i quali nella uniforme curvatura della linea dell'orizzonte e nelle più semplici osservazioni celesti aveano una prova continua della quasi-sfericità del nostro pianeta.

La superficie del mare, che ebbe tanta parte nello svolgersi di tale importante idea, presta ora non piccolo argomento di studio al geodeta moderno. Il quale, prefiggendosi per iscopo, come ho detto, la determinazione di una superficie di livello, e non potendo d'altronde eseguire le proprie misurazioni altrove che sulla crosta accidentata del terreno, ha bisogno di conoscere qualche punto almeno di una vera e reale superficie di livello, alla quale riferire i risultati delle operazioni geodetiche. A tale oggetto serve, almeno prossimamente, la superficie marina.

Ma, tenuto conto della grande precisione occorrente nei risultati, il geodeta deve esser in grado di rispondere, in modo sicuro, a questa domanda: « *Può la superficie del mare rappresentare, con sufficiente approssimazione, una così detta superficie di livello?* »

Poichè è chiaro che, pure astrazion fatta dal grande fenomeno delle maree, dal quale il livello medio del mare, dedotto da una lunga serie di osservazioni, può forse ritenersi indipendente, ⁽¹⁾ l'equilibrio degli oceani

(1) Dico forse, perchè non si può asserire a priori che in una costa qualsiasi la posizione *media* fra tutte quelle che il livello marino assume in causa della marea, sia appunto coincidente con quella posizione teorica che si avrebbe quando si immaginasse eliminata del tutto l'azione lunisolare. Il Bruns opina anzi che, in alcune regioni, la differenza (livello medio *meno* livello teorico) possa essere assai rilevante.

è turbato sia dalla circolazione meteorica delle acque, sia dal non essere uguale dappertutto la densità, nè uguale la pressione atmosferica media nelle varie regioni del globo. — In tali condizioni la massa marina non può essere in equilibrio, nè la superficie libera del mare può essere una superficie di livello, e di ciò è prova, del resto, la presenza delle correnti che formano al di d'oggi soggetto di tante interessanti ricerche.

Occorrerebbe una conoscenza precisa della direzione e della velocità delle correnti oceaniche per tutto il globo (nonchè della pressione atmosferica media), prima di potere, sia pure con formole empiriche, calcolare di quanto la superficie media corrispondente allo stato dinamico del mare differisca da quella superficie ideale di livello, che corrisponderebbe allo stato di equilibrio. Per ora noi dobbiamo contentarci di studiare a posteriori questo fatto, per mezzo delle *livellazioni di precisione*, le quali, attraverso i continenti, si stendono da un mare all'altro e servono così a paragonare i differenti livelli medi.

Fino a poco tempo fa, i risultati delle livellazioni in Europa sembravano veramente poco propizii alla Geodesia. Fra il livello medio dell'Atlantico a Brest e quello del Mediterraneo a Marsiglia si trovava una differenza di più di un metro, e di circa tre quarti di metro sembrava essere il dislivello fra il Mediterraneo e il mare del Nord. Queste ed altre simili irregolarità

della superficie marina sarebbero veramente tali da sconcertare il Geodeta, che ha bisogno di ricorrere ad essa come ad unica superficie di riferimento delle proprie operazioni. Fortunatamente, dinnanzi ad una critica rigorosa dei risultati delle livellazioni, quelle supposte irregolarità sono scomparse o tendono a scomparire, poichè, dopo i calcoli di Helmert, le differenze di livello fra i mari ora menzionati sonosi ridotte così piccole, da cadere quasi entro i limiti degli errori inevitabili in tal sorta di paragoni.

Se le nuove osservazioni confermeranno vieppiù questo fatto, che ora si è in via di dimostrare, voglio dire che la superficie media del mare si scosta di quantità molto piccole da una vera superficie di livello, sarà questo un risultato oltremodo importante non solo per la Geodesia teorica, ma altresì per la Geodesia pratica e per lo studio dei lenti movimenti del suolo.

*
* *

Se, con quel che ho detto fin qui, io non ho fatto che accennare molto imperfettamente l'insieme delle differenti ricerche geodetiche, spero tuttavia che avrò abbastanza dimostrato come non sia piccolo, nè per valore teorico, nè per difficoltà pratica, il lavoro di analisi che la Geodesia sta compiendo per lo studio della superficie di livello terrestre.

Quale lavoro di sintesi corrisponde al di d'oggi ad una tale analisi faticosa?

Questa è certo la domanda, alla quale meglio che ad ogni altra mi corre l'obbligo di rispondere, ma la risposta è alquanto difficile, nè, per ora, può essere conclusiva.

E, se non m'inganno, non soltanto nel campo della Geodesia, ma in quella di tante altre scienze, forse di tutte, la indagine minuta e coscienziosa ha così allargato, ai dì nostri, il campo delle questioni da risolvere, che lo studioso vede sempre più allontanarsi il giorno in cui si potrà dire quali verità conclusive e non dubbie siano il corollario di un dato sistema di ricerche.

Era un detto caro ai nostri avi questo, che la natura è semplice nelle sue manifestazioni, e che nei più semplici enunciati sta la verità.

Ahime! che invece il mirabile intreccio della foresta Africana, descritta da Stanley, può ben porgerci un'idea della complicata varietà dei fenomeni naturali. E quanto al modo d'interpretarli, la semplicità sognata dai nostri avi ci va sempre più sfuggendo dinnanzi alle indagini degli studi progrediti, poichè dintorno alle teoriche approssimate, che furono il primo glorioso risultato del metodo sperimentale si vanno raggruppando teoriche secondarie, che alterano le linee principali di quelle, ed una congerie di fatti non ancor disciplinati da teorica alcuna.

Paragonando la complicazione e la varia difficoltà delle vie che oggi ci conducono attraverso i fatti naturali, colla semplicità degli schemi teorici da principio intraveduti, siamo talvolta tratti ad invidiare i nostri predecessori e a chiederci se la faticosa strada della scienza non abbia ben presto a terminare in un laberinto senza uscita.

Ma un tal sentimento di sconforto non può essere che breve.

Meglio cento volte il dubbio che la affermazione affrettata: meglio il ragionare lento, prudente ed umile, che il compiacersi in grandiose teoriche, che il debole sorriso della generazione avvenire disperderà senza misericordia. Se procedendo nella difficile via poco orizzonte si scopre finora ai nostri sguardi, ciò non toglie tuttavia che noi ci avanziamo verso la conquista del vero.

Così il passeggero che dalla pianura ha potuto osservare l'aspetto generale di una montagna e ha creduto di veder chiaro e facile il sentiero da percorrere, trova poi, nel procedere verso la cima, ora un avvallamento non osservato da prima, ora una boscaglia intricata, che non solo rendono difficile la via, ma gli tolgono per qualche tempo la libera vista del luogo. Non pertanto egli si trova, ad ogni passo, più avanzato verso la meta, e alla fine l'aperto orizzonte e la piena conoscenza della montagna sono il premio della sua perseverante fatica.

*
**

Una specie di via di comunicazione fra la minuta indagine sperimentale e la sintesi teorica ci è offerta da un sistema di ricerche matematiche, le quali, se possono utilmente servire in ogni ramo delle scienze fisiche, sono di speciale vantaggio e di uso continuo e generale nella Geodesia.

La congerie dei risultati sperimentali, che la scienza sta raccogliendo, passerà inutile e talvolta ingannatrice eredità ai nostri posteri, se un intelligente principio non guida di continuo l'osservatore nella scelta delle condizioni dello sperimento e soprattutto nella critica dei risultati.

La quale critica, non possiamo nascondercelo, è soprattutto affidata allo acume naturale dello studioso, ma è tuttavia notevolmente agevolata e ridotta a metodo da quell'insieme di formule matematiche che costituiscono la così detta *teorica della combinazione delle osservazioni*, o altrimenti anche *teorica degli errori*.

Sia che si tratti di scegliere il più probabile valore di un ente fisico da una gran copia di dati d'osservazione, sia che da una serie di esperienze fatte per studiare l'andamento d'un fenomeno occorra di far scaturire, almeno prossimamente, l'espressione di una legge fisica, sia, e soprattutto, che si voglia valutare quale fiducia si possa riporre nel risultato di uno sperimento,

la teoria alla quale ora accenno ci fornisce mezzi, non dirò matematicamente esatti, ma tuttavia di un indiscutibile valore filosofico.

Ognuno sa che nelle delicate ricerche odierne, le quantità fisiche che si vogliono apprezzare sono talora così piccole, che tendono facilmente a sfuggire dietro la incertezza propria delle osservazioni. In tal caso il valutare quale sia, secondo ogni probabilità, il limite dell'errore, in più o in meno, del quale il risultato dell'osservazione può essere affetto, diventa un coefficiente essenziale del valore *logico* di quelle deduzioni che dagli esperimenti si traggono, delle teoriche che sopra di essi si fondano.

Non dobbiamo nasconderci che il campo di applicazione delle formule matematiche, alle quali accenno, è piuttosto limitato, e che le troppo ardite speranze, che si erano concepite da principio, di poter applicare tali formule allo studio di qualsiasi fenomeno naturale e specialmente a tutti i fatti statistici, sono alquanto scemate dinanzi ad una logica rigorosa.

Ma non è scemata tuttavia l'importanza della Teoria degli Errori per quelle scienze che, come l'Astronomia e la Geodesia, fanno uso di strumenti e metodi di grande precisione.

*
* *

Ho di nuovo, e largamente, divagato, o Signori, ma non ho voluto eludere la risposta alla domanda che mi era posta poc' anzi.

Le investigazioni geodetiche dello scorso secolo e della prima metà di questo partivano da un concetto quasi *aprioristico*, che cioè la superficie di livello cercata fosse un *ellissoide di rotazione schiacciato*, del quale l'asse minore coincidesse con quello della rotazione diurna.

In tale ipotesi, lo studio della figura matematica della Terra, o, come brevemente si dice, del *Geoide*, si riduceva tutto al calcolo dei *due* assi di questo ellissoide, e *due* sole misure di grado fatte a latitudini differenti bastavano, teoricamente, a risolvere il problema. Che se la giusta idea di eliminare, per quant'è possibile, l'influenza degli errori d'osservazione, induceva i Geodeti a dedurre i valori di queste *due* incognite dal concorso di *molte* triangolazioni, anzichè da due sole, era da attendersi che, coll'aumentare di numero dei lavori geodetici posti a contributo, si accrescesse notevolmente la precisione nel calcolo delle dimensioni dell'ellissoide cercato.

Ma ciò non avvenne, nè, verosimilmente, chi volesse dal ricco materiale ora disponibile dedurre la misura più probabile dell'ellissoide, si approssimerebbe alla vera

forma della Terra più di quel che fecero Bessel nel 1844 e Clarke nel 1858; nè più fortunato sarebbe il tentativo (già fatto da Clarke e da altri) di sostituire all'ellissoide un'altra superficie di rotazione un pò meno semplice.

Da questo fatto, che, col moltiplicarsi dei dati d'osservazione, non cresce sensibilmente la sicurezza dei risultati, una sola conseguenza deve necessariamente dedursi, ed è che le contraddizioni fra i risultati delle osservazioni astronomico-geodetiche e i valori teorici corrispondenti all'ipotesi ellissoidica (o ad altra ipotesi di pari semplicità) non debbono soltanto attribuirsi ai difetti inevitabili delle misure, ma bensì anche ad una *insufficienza* di tale ipotesi fondamentale.

È dunque ormai lecito concludere dallo studio degli archi terrestri finora misurati che, se l'ellissoide di rotazione (o quello di Bessel o meglio quello di Clarke) è già abbastanza prossimo alla vera figura della terra, da potersi ad essa sostituire, senza sensibile difetto, in tutti quei lavori (anche di molta precisione) che hanno scopo *tecnico*, esso non può invece, dal punto di vista scientifico, rappresentare la vera superficie di livello.

La direzione della verticale e la intensità della gravità sono, nella maggior parte dei casi, sensibilmente diverse da quel che si converrebbe alla ipotesi ellissoidica; e lo studio di tali differenze, che vanno sotto il nome improprio di *attrazioni locali*, forma al di d'oggi il nucleo delle ricerche della Geodesia Scientifica.

*
* *

Queste anomalie, mi affretto a dirlo, non erano ignote ai nostri predecessori, ai quali anzi non era sfuggito come lo studio di esse non abbia soltanto un'importanza di accurata ricerca geometrica.

Non dobbiamo dimenticare come la Fisica matematica ci fornisca a priori delle importanti nozioni sulla figura della Terra.

Se noi ammettiamo, secondo l'ipotesi di Laplace, lo stato primitivamente fluido del nostro pianeta, e cerchiamo di stabilirne la forma, come quella di un fluido rotante attorno ad un'asse, la Fisica matematica dimostra che, ammesso a priori (ciò che è fuor di dubbio) che il globo terrestre sia poco diverso da una sfera, e salve certe restrizioni intorno al modo di variare della densità nell'interno di esso, la figura di equilibrio corrispondente a quello stato di fluidità è, con molta approssimazione, quella di un ellissoide di rotazione.

È dunque naturale di considerare le attrazioni locali, ossia le deviazioni fra l'Ellissoide e il Geoide, come anomalie dovute all'attrazione Newtoniana di quelle *irregolarità di forma e di densità* della corteccia terrestre, che si sono esplicate durante la solidificazione del nostro globo, e trar partito da quelle per studiare queste, o reciprocamente.

E, per vero, fino dal 1778 Hutton si valeva delle deviazioni della verticale per calcolare la densità media della Terra; più recentemente l'aver osservato che presso talune catene di montagne (presso l'Imalaya, presso i Pirenei, nelle Alpi, nel Caucaso) e nelle Isole Oceaniche le anomalie nella direzione della verticale e nella intensità della gravità non sono precisamente quelle che la teorica dell'Attrazione farebbe prevedere, ha dato luogo ad ipotesi notevoli (benchè finora non abbastanza sicure) intorno alla distribuzione della densità negli strati prossimi del suolo. (1)

(1) Dintorno alle montagne si trovano, in generale, le attrazioni locali notevolmente minori di quelle che si prevedevano, tenendo conto dell'attrazione delle prossime masse montuose. Questo fatto si verifica tanto per la direzione della verticale, quanto per la intensità della gravità (le recenti osservazioni di Sterneck nelle Alpi Tirolesi ne danno una nuova conferma) ed esso può sintetizzarsi colle parole di Clarke che: « esistono cause ignote, o modi di distribuzione della « materia, i quali contrastano l'azione delle masse montuose visibili ». Più esplicitamente dice Helmert che: « l'azione delle masse continentali sulla verticale sembra restare più o meno compensata da « una diminuzione della densità della crosta terrestre al di sotto dei « continenti medesimi ».

Per le isole, la gravità sembra essere maggiore di quello che la teoria assegna, ma è appena necessario osservare che le deviazioni della gravità nelle isole sono finora meno sicuramente conosciute di quello che nei continenti. Il così detto *metodo di condensazione* di Helmert (che serve ora di base al calcolo delle dette deviazioni) esige infatti che si conosca, almeno prossimamente, lo scostamento fra Ellissoide e Geoide nella regione che si studia. Ora, com'è naturale, la nostra conoscenza generale del Geoide è finora meno incerta nelle parti di terraferma, che non nelle regioni Oceaniche.

Alcuni geologi ne hanno persino tratto argomento per convalidare l'idea, sempre dibattuta, della fluidità interna della terra.

*
* *

Non erano dunque ignote queste discordanze dei risultati geodetici e gravimetrici dalla teorica ellissoidica, ma esse eran considerate fino a poco tempo fa come fenomeni puramente locali, e quindi accidentalmente sparsi sul globo e tali da non valer la pena di tenerne conto nella generale ricerca sulla figura del nostro pianeta.

La moderna Geodesia ha riconosciuto invece che, in parte almeno, queste deviazioni fra il Geoide e il supposto Ellissoide sono fenomeni sistematici di grande estensione e tali da dover essere accuratamente studiati. Si tratta di grandi ondulazioni che, secondo ogni probabilità, rispecchiano, in scala ridotta, le maggiori irregolarità della crosta terrestre, e che ci obbligano ad abbandonare la ipotesi semplice della forma ellissoidica.

Inutile dire quanto, in tal modo, si complichino le difficoltà della ricerca.

Quando noi rinunciavamo a quel principio che serviva di base ai calcoli di Bessel e di Clarke, cui ho pocanzi accennato, il risultato della combinazione di varii archi terrestri viene ad avere un valore alquanto inferiore a quel che avea da prima.

Bisogna infatti pensare che molte delle triangolazioni,

poste a contributo per quei calcoli, sono tra loro affatto distaccate. Una volta ammesso che la superficie matematica della terra abbia, nelle varie regioni del globo, forme tra loro matematicamente indipendenti, i risultati di quei calcoli ci danno non già l'ellissoide che, nel miglior modo possibile, si approssima a tutto quanto il Geoide, ma bensì un ellissoide, del quale *tante singole porzioni staccate e convenientemente collocate, ciascuna indipendentemente dalle altre*, possono alla meglio adattarsi alle singole triangolazioni indipendenti.

Segue da ciò che gli *errori medii* degli elementi dell'ellissoide, quali risultano da sintesi analoghe a quelle di Bessel e di Clarke, non ci danno un'idea del medio scostarsi del Geoide da un *unico* ellissoide. E le attrazioni locali, che quei calcoli pongono in evidenza, non hanno che un valore *relativo* per quanto riguarda gli studi accennati testè, perchè esse pure non rappresentano le deviazioni del Geoide da un ellissoide unico; lo sarebbero soltanto quando per un momento, ammettendo l'impossibile, noi immaginassimo tutta la terra coperta da una completa e non interrotta triangolazione, e applicassimo a questa il calcolo Besseliaco.

*
*
*

Questo ideale non potrà mai raggiungersi, ma tuttavia coll'estendere e collegare fra loro, per quanto è possibile, le triangolazioni, si accrescerà l'importanza dei singoli risultati, e noi ci approssimeremo ognor più ai valori assoluti degli scostamenti tra Ellissoide e Geoide.

Fra i quali preme, più di tutto, studiare quelle depressioni e quegli elevamenti del Geoide che corrispondono rispettivamente alle regioni marine e alla terraferma. E qui noi siamo, si può dire, appena al principio della ricerca, alla quale dovrà contribuire una copia di dati, geograficamente più varia, di quel che ora non possediamo. Bisognerà studiare l'emisfero Sud in varie regioni; bisognerà che i mari di piccola estensione siano circondati da triangolazioni, com'è avvenuto del Mediterraneo, pel quale il collegamento geodetico delle coste risultò completo coll'attacco della Sicilia alla Tunisia, eseguito con molta lode dal nostro Istituto Geografico. Converterà studiare l'Arcipelago Indiano per quella parte che geodeticamente è possibile, e una specie di avviamento a questo lavoro ci è indicato dalle recentissime triangolazioni che l'Olanda ha eseguite nelle Isole di Giava e di Sumatra.

Certo quando la Geodesia propriamente detta avrà fatto tutto quel ch'essa può, quando una unica trian-

golazione collegherà il Capo di Buona Speranza col Capo Nord, il Capo Horn colla Terra di Baffin, quando arditi esploratori avranno portato il teodolite e l'apparecchio di base sui ghiacci delle regioni polari, rimarrà pur sempre inesplorata una immensa porzione della superficie del globo.

Ma è da osservare che, se le più segregate isole dell'Oceano sfuggono per la loro picciolezza alle reti trigonometriche, si può tuttavia anche da quelle aver notizie sulla forma del Geode mediante le misure della gravità, alle quali è senza dubbio riservata una parte importantissima negli studi avvenire.

Giacchè una tal sorta di ricerche può essere e sarà ancora perfezionata tanto, che non è forse vana chimera la speranza di rendere possibile la determinazione della gravità anche in alto mare; nel qual caso gli arditi naviganti diverranno ancora una volta i veri scopritori della figura della Terra.

*

* *

Ho accennato qualche momento fa a talune conseguenze che dallo studio delle attrazioni locali possono dedursi per quel che riguarda la distribuzione della densità nella corteccia terrestre.

Mi affretto a dire che tali conseguenze non possono in alcun caso essere assolute, ma sempre sono subor-

dinate a qualche ipotesi, e che in ogni caso la semplice conoscenza della forma del Geode e della intensità della gravità non sono dati sufficienti per una indagine sulla costituzione interna della Terra.

Considerazioni geometriche di vario genere (e fra le altre le belle ricerche di Chasles e di Green sugli *strati di livello*) pongono in evidenza come si possa, senza alterare la esterna superficie di livello, dare una infinità di differenti distribuzioni alla interna massa; mentre poi Stokes ha dimostrato che, quando è assegnata la forma della superficie esterna di livello, il valore della gravità all'esterno della terra sarà sempre lo stesso comunque sia internamente distribuita la densità.

E val la pena di ricordare come anche qui, come in tanti altri casi, il progredire dell'analisi abbia fatto cadere una teoria troppo frettolosamente edificata.

Clairaut partendo dall'ipotesi che la terra sia costituita da strati ellissoidici di uniforme densità, avea dimostrato che una certa relazione numerica assai semplice deve sussistere fra lo schiacciamento terrestre, la variazione della gravità dall'equatore ai poli e la velocità angolare della rotazione diurna. E poichè i valori numerici, forniti dalle osservazioni, effettivamente soddisfanno a questo classico teorema di Clairaut, si era creduto di poter concludere che la distribuzione interna della densità è effettivamente quella regolare supposta dal grande Geometra.

Il teorema di Stokes dianzi accennato toglie ogni valore a questa ultima deduzione, e del resto è facile dimostrare direttamente che, salve certe restrizioni, con una qualsiasi distribuzione delle masse terrestri, la relazione di Clairaut resta pur sempre verificata.

È però da notare che, se non è lecito stabilire a priori una disposizione matematicamente esatta della massa terrestre in strati ellissoidici di uniforme densità, è però oltremodo ragionevole ammettere che la densità vada regolarmente crescendo dal centro della terra verso la superficie e che tale accrescimento si compia pressochè in egual misura per tutte le direzioni. Se ciò si presuppone, i dati delle misure astronomico-geodetiche, insieme coi dati della teoria astronomica del moto rotatorio della terra, e colla valutazione della densità media della Terra, ci permettono di stabilire dei limiti entro i quali deve essere compresa la densità interna del globo alle varie profondità. E questo è già qualche cosa.

*
* *

Vi ho parlato finora delle ricerche sulla figura della Terra, ammettendo tacitamente che essa sia qualche cosa di assolutamente invariabile. Il fenomeno tanto evidente delle maree altera di continuo una tale figura; ma quando pure, con opportuno calcolo di valori medi, noi cerchiamo di fare astrazione da questo fatto, vi

sono tuttavia delle mutazioni, che la Geologia ha da lungo tempo accertate, e che non possono ormai sottrarsi alle ricerche sempre più delicate della Geodesia e dell'Astronomia.

Nelle sabbie del deserto Libico, sulle coste settentrionali d'Europa, in gran parte di quelle dell'Asia, nell'America centrale, nel Sud dell'Australia il geologo e il paleontologo trovano o conchiglie fossili, o cordoni littorali, o tracce di erosione marina, che dimostrano come in altri tempi si trovassero coperte dall'oceano delle regioni che ora sono segregate di gran tratto dal mare, o sopra questo elevate notevolmente. Tracce di foreste sommerse, banchi madreporici, tombe e caverne preistoriche, celebri dighe innalzate a difesa dei flutti ci dimostrano d'altra parte, per la loro posizione altimetrica, come in altri tempi il livello marino fosse, in taluni luoghi, meno elevato di quello che nol sia ora.

Nè si tratta di fatti avvenuti soltanto in epoche remotissime, o per azioni violente. Di molte di tali trasformazioni è testimone la Storia; non poche di esse si compiono, direi quasi, sotto i nostri occhi, benchè con estrema lentezza.

È bene osservare che di queste mutazioni, parecchie, puramente locali, non interessano il geodeta; esse sono dovute, secondo ogni probabilità, al semplice abbassarsi od innalzarsi del terreno solido senza una sensibile alterazione di forma della superficie marina. Ma non

tutte possono plausibilmente spiegarsi così: anzi quei generali spostamenti delle linee littorali, che si estendono per interi continenti, non possono ammettersi senza che ad essi si annetta l'idea di una effettiva deformazione della superficie di livello, o, ciò che è lo stesso, di un variare sensibile delle latitudini e delle longitudini astronomiche.

Ecco pertanto che dallo studio matematico della Terra, considerata quale corpo senza vita, noi siamo tratti ad uno studio ben più complesso di una Terra di continuo mutata da quelle forze operose che affaticano tutte le cose materiali, da un problema di statica noi siamo elevati ad un problema di dinamica, il quale presenta più gravi difficoltà, ma senza dubbio prepara un nuovo cospicuo contributo alle nostre conoscenze non solo sulla forma, ma anche sulla costituzione interna della Terra: un problema che, se non erro, sarà tormento e gloria della Geodesia dell'avvenire.

Alla quale, ripeto, importa soltanto considerare quelle deformazioni della crosta terrestre, le quali sono abbastanza forti da rendersi manifeste mediante sensibili cangiamenti delle latitudini e delle longitudini astronomiche.

Che tali cangiamenti abbiano luogo, molti astronomi son propensi ad ammettere, e già da un pezzo si parla di variazioni lente di latitudine negli osservatori di Pulkowa, di Napoli, di Washington ed altri. Novis-

simo risultato, che commuove, se mi è lecito usare questa parola, la moderna Astronomia, è quella variabilità periodica annuale delle latitudini, che è stata osservata a Berlino, a Potsdam, a Praga. Le osservazioni fatte nello scorso anno a Honolulu nell'Oceano Pacifico, per incarico della Associazione Internazionale, sembrano porre fuor di dubbio che questo variare periodico delle latitudini sia dovuto ad uno spostamento periodico dell'asse terrestre nell'interno del globo, o ciò che è lo stesso, ad un movimento dei poli sulla superficie terrestre.

Lo studio dei movimenti periodici e secolari dei poli rientra, o quasi si identifica, col problema, cui poc' anzi ho accennato, del movimento rotatorio della terra riguardata come di forma mutabile.

A proposito del quale studio dovrei ben a lungo intrattenervi se dovessi dire dei lavori di W. Thomson, di Giorgio Darwin, di Schiaparelli, di Gylden ed altri, i quali hanno discusso, vuoi la questione generale del moto di rotazione di una massa variabile di forma, vuoi quelle più particolari dell'influenza che sulla rotazione terrestre hanno le azioni geologiche, l'attrito delle maree, le deformazioni dovute all'azione lunisolare, i fenomeni della precessione e della nutazione, ecc.

Ma io non vi parlerò di tutto questo per due ragioni: prima per non abusare della vostra pazienza, poi perchè tali studi non sono finora tanto avanzati

da permettere a chi si professa matematico almeno nell'intenzione, di enunciare qualche sicura conclusione.

Si tratta di ricerche difficili, ma senza dubbio feconde e necessarie. Così, ad esempio, le deformazioni elastiche della parte solida del globo, alle quali i geodeti fino a poco tempo fa non posero mente, non possono omai più trascurarsi e ce lo ha dimostrato il Thomson.

Questo grande cultore della filosofia naturale ha calcolato che, quando noi supponiamo che la Terra sia internamente fluida e che la corteccia solida abbia uno spessore di 500 chilometri ed abbia la rigidità dell'acciaio, questa si deformerebbe tuttavia sotto l'attrazione variabile del Sole e della Luna non altrimenti che se fosse di gomma elastica. In tal caso, col moto apparente diurno del Sole e della Luna, la terraferma si alzerebbe ed abbasserebbe alternamente come fanno le acque dell'Oceano, talchè non essendovi variazione relativa di livello, le maree passerebbero del tutto inosservate. È poi noto omai quasi a tutti che da questo e da altri calcoli il Thomson deduce una dimostrazione, secondo lui, decisiva, della rigidità interna della Terra.

Ma comunque si pensi di questa particolare deduzione del Thomson, una cosa vi ha di positivo ed è che mentre, secondo la teoria del potenziale, la semplice determinazione della superficie di livello e della intensità della gravità all'esterno della terra non ci danno alcuna notizia matematicamente sicura intorno

alla distribuzione della densità nell'interno della terra, invece quelle teorie che studiano la rotazione della Terra, considerata come variabile, di forma sono atte a darci qualche lume intorno a questo misterioso problema.

*
* *

Ed ora, o Signori, prossimo omai alla fine del mio discorso, io potrei, sfogliando le storie della vecchia Geodesia, mostrarvi come anche la Liguria abbia nobili tradizioni nel campo degli studi Astronomici e di Geografia matematica; e ne trarrei ragione di eccitamento ai nostri giovani studenti, perchè qualcuno d'essi almeno si accinga a coltivar con amore queste belle ricerche.

Ma non credo vi sia bisogno di un tale eccitamento.

Dice il grande Navigatore Genovese in una sua lettera ben nota che: *l'arte nautica inspira a chi la esercita il desiderio di conoscere i segreti di questo mondo*. Quanto all'arte nautica, non è d'uopo dire come e con qual frutto essa sia coltivata in Liguria: quanto ai *segreti del mondo* il problema della figura matematica della Terra è senza dubbio uno dei più grandiosi.

Certo al viaggiatore che studia il vario spettacolo delle genti e dei climi, all'artista che ritrae sulla tela le tempeste del mare, i paesaggi alpestri, le valli fio-

renti, al poeta che affratella tutti i popoli e tutte le età in una voce d'ammirazione per le bellezze del creato, sembrerà ben fredda e triste l'opera del Geometra, il quale, ragguagliando le mille splendide irregolarità del nostro globo, si appaga della superficie levigata ed uniforme che è campo dei suoi calcoli. Questo freddo lavoro dello scienziato quasi giustifica la esclamazione del Leopardi che:

..... conosciuto il mondo
Non cresce anzi si scema e assai più vasto
L'etra sonante e l'alma terra e il mare
Al fanciullin che non al saggio appare.

Antitesi ben naturale in bocca di un poeta, sebben profondo pensatore qual'era il Leopardi!

Ma se è naturale che l'opera del Geodeta scolori di fronte alle mille fantasie che l'arte ha intrecciato intorno a questo nostro mondo, non per tanto essa è meno degna di considerazione. Le ricerche sulla figura della terra, quand'anche non fossero *per se* abbastanza pregevoli, trarrebbero sufficiente titolo d'onore dalla loro intima connessione colle ricerche astronomiche.

Il principio dell'Attrazione Universale, che rese immortale il nome di Newton, serve di base sia agli studi sulla figura del nostro globo, sia a quelle sulla struttura dei cieli. Le speculazioni del Laplace, che dedicò al nostro argomento gran parte della sua *Mecanica celeste*, degnamente proseguite ed ampliate al

di d'oggi dai lavori del Poincaré, del Tisserand, del Maxwell, mentre gettano luce sulla forma matematica della terra, ci elevano ad uno studio generale della figura dei pianeti e ci condurranno un giorno alla completa discussione delle ipotesi cosmogoniche e allo studio della evoluzione delle nebulose e dei sistemi stellari.

Non vi ha dunque pericolo che queste ricerche, sulle quali ho chiamato oggi la vostra attenzione, divengano troppo umili o per ristrettezza di orizzonte o per volgarità di metodo. Piuttosto è facile che si muova contro di esse l'accusa contraria, ed io, mentre preparava questo mio discorso, ho avuto qualche volta, benchè per pochi istanti, il sospetto che, a giudizio di taluno di voi, il mio parlare si staccasse troppo da quegli argomenti di scienza viva che hanno più stretta attinenza coi sentimenti e gli interessi di tutti gli uomini.

Ma ho pensato che a voi, Signori, che avete da gran tempo gustate le dolcezze degli studi, nulla può essere estraneo o indifferente di ciò che è nobile fatica intellettuale.

Benchè noi vediamo al di d'oggi tanto ramificarsi e specializzarsi l'attività scientifica, pure oggi più che mai ognuno di noi sente quanta unità di concetti e di sforzi vi sia nell'opera del pensiero umano, quanto sia opportuna questa sacra concordia di studi e di intenti che può soltanto albergare sotto le grandi ali dell'Università. — Oggi più che mai, sollevando lo sguardo

dalle analisi faticose, noi ci accorgiamo come l'insieme delle cognizioni scientifiche sia un tutto, del quale le parti si collegano nello spazio e nel tempo; oggi più che mai appare improvvida la idea di coloro, che, apprezzando soltanto il lato utile e professionale degli studi, vorrebbero strappar fronde e radici all'albero della scienza per lasciarne le frutta avvizzire innanzi la maturità.

*
* *

Nè i calcoli meschini di costoro, nè il freddo sorriso degli scettici vi distolgano, o giovani egregi, dalla feconda operosità degli studi.

A chi vi dirà che la scienza, nella freddà visione dei propri ideali, dimentica i più vivi bisogni dell'umanità, voi memori di Galileo e di Volta, risponderete che dalla ricerca disinteressata del vero derivano, talora per lungo cammino, le migliori conquiste dell'industria e dell'arte; a chi dirà che la Scuola vive troppo lontana dall'ambiente del civile progresso, voi direte che agli studi Universitari è soprattutto affidata l'alta coltura intellettuale e che questa prepara le vere grandiose evoluzioni sociali che si sottraggono alla vista della politica di ogni giorno; e finalmente agli scettici che vi dipingeranno la scienza come vana ricerca di verità che eternamente ci sfuggono, voi risponderete che la scienza è un bisogno non discutibile dell'anima umana, che

essa è il più nobile lavoro che la natura ci richiegga, che chiunque si sente ad essa chiamato non può sottrarsi senza taccia di viltà.

E a chi compie, con sincera coscienza, questo lavoro, non possono mancare conforti eletti e duraturi.

I disagi e le lotte della vita pongono a dura prova i più forti caratteri, le esigenze faticose dell'esercizio professionale strappano non poche penne all'ala dell'ingegno e riducono talvolta le menti più feconde in uno stato di poco superiore all'inerzia. Affinchè questa fatale vecchiezza dell'anima sia da noi, quant'è possibile, lontana, occorre che nell'età giovanile, la nostra vita sia indirizzata ad un'alta meta e la mente si educi a sforzi generosi, a studi severi per la loro elevatezza e la loro generalità. Se voi rigarderete la Università come palestra di tali sforzi, come iniziatrice di tali studi, i vostri anni avvenire saranno resi migliori per voi, per la famiglia, per la patria, e voi potrete, a buon dritto, ricordare i giorni passati alla Università come i più belli della vita.

