

---

Atti della Società  
DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI  
IN TORINO

---

IL METRO ED IL MINUTO SECONDO  
NELLA GEOFISICA MODERNA

*Conferenza del Socio Ing. O. ZANOTTI BIANCO  
tenuta la sera del 25 marzo 1905*

---

*Egredi Colleghi - Signori,*

Permettete, o Signori, in cortesia, che prima d'ogni altra cosa io giustifichi l'ardimento mio, di chiamarvi qui questa sera, ad udire un messere che sa benissimo di non aver nessun titolo all'onore che voleste fargli di venirlo ad ascoltare. Or non è molto, si era in parecchi ingegneri ed uno di loro mostrava un suo bellissimo metro, su cui a raffronto stavano il metro, il piede inglese ed il piede renano: ed un suo eccellente cronometro a secondi indipendenti: senza avvedermene, celiando dissi: Sono belli, utili, ma non sono esatti. Da quel mio assurdo paradosso, botte, risposte, discussioni, spiegazioni, e finalmente da quelli amici miei, troppo indulgenti, il lusinghiero invito di dire qui qualche cosa intorno a quella questione: e cioè dell'errore del metro e della variabilità del minuto secondo, ed eccomi qua a tenere la promessa fatta. Siatemi, da buoni amici e colleghi, cortesi di benevolenza e larghi d'indulgenza.

Fra i ricordi della giovinezza e di quanto s'imparò in quegli anni troppo presto passati, sta la seguente definizione: « Il metro è la decimilionesima parte del quarto del meridiano terrestre. Ebbene, ecco un'altra illusione che gli anni hanno fatto svanire: quella definizione non è esatta, non vale; il metro non è quello che vi si dice, e che in molte scuole s'insegna ancora essere. Anche allora la si sarebbe potuta rendere meno inesatta aggiungendo al meridiano le parole — di Parigi —, perchè così era. Ma siccome ciò non si faceva, giova vedere quante ipotesi troppo ipotetiche, puntellassero molto inefficacemente questa proposizione.

Ai tempi della rivoluzione francese, quando si attuò la grandiosa idea della unificazione dei pesi e misure, scegliendone l'unità fondamentale nella natura, la

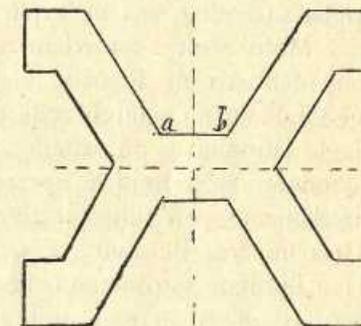
supposizione della forma sferica della Terra era stata sbandita dalla scienza. I lavori di Newton, Clairaut, Huygens avevano dimostrato che la Terra, animata com'è da un rapido moto di rotazione sopra se stessa, e supposta originariamente fluida, come molti e poderosi argomenti inducono a credere, non poteva avere una forma sferica, ma doveva essere foggata in forma poco differente da una ellissoide di rivoluzione schiacciata ai poli. Astraendo, ben inteso, dalle asperità, rugosità, che rendono così varia la superficie di questo globo, che il poeta chiamò *l'aiuola che ci fa tanto feroci*. In Francia, quando si stabilì la creazione del nuovo sistema metrico decimale, si adottò senz'altro il concetto che la Terra avesse rigorosamente la figura di una ellissoide di rivoluzione schiacciata ai poli: che potesse generarsi facendo ruotare un'ellisse intorno al suo asse minore, che era quello della rotazione diurna terrestre. In questo concetto i meridiani sono ellissi, quindi il problema si riduceva a cercare la lunghezza comune di essi.

Per ciò ottenere si stabilì di misurare il meridiano passante per l'Osservatorio di Parigi e precisamente per l'asse del cannocchiale del circolo meridiano di esso. I Francesi credettero che a dedurre lo schiacciamento dell'ellisse necessario per determinare la lunghezza del quarto del meridiano, sarebbe bastato l'arco che Méchain e Délabre misurarono tra Dunkerque e Barcellona, ma il valore dello schiacciamento che ne dedussero fu di  $\frac{1}{150}$ , assolutamente inammissibile secondo la teoria. Si pensò dunque di paragonare quell'arco con quello che contemporaneamente era stato misurato nel Perù da Bouguer, La Condamine, Godin e due ufficiali spagnuoli. Dietro questo confronto, si ottenne per la distanza dal polo all'equatore, misurata lungo il meridiano ellittico, 5130740 tese del Perù; l'unità materiale che aveva servito alla misura dell'arco di Délabre e Méchain, e detta del Perù.

La decimilionesima parte di questo quarto del meridiano fu trovata di 3 piedi 11 linee, 296, e questa si assunse come lunghezza definitiva del metro con legge del 19 Brumaire, anno VIII (10 dicembre 1799), e fu resa legale a partire dal 23 settembre 1801 con decreto del 4 novembre 1800. Il campione di platino di questo metro fu presentato all'Assemblea nazionale in Parigi il 22 giugno 1799. Nel giorno medesimo il campione del metro, insieme a quello del chilogramma, fu depositato all'Archivio di Stato di Parigi. A queste importantissime operazioni parteciparono sei italiani: il sommo Luigi Lagrange, l'abate Lorenzo Mascheroni, l'autore della *Geometria del Compasso*, bergamasco, inviato della Repubblica Cisalpina; Giovanni Fabbroni, fiorentino, inviato di Toscana; Multedo di Liguria; Prospero Balbo, sostituito poi da Vassalli-Eandi, fisico e meteorologo, piemontese, rappresentanti il re di Sardegna. È curioso che l'astronomo francese Bigourdan in un suo recente libro sul sistema metrico, ricco di documenti, scrive sempre erroneamente *Vassali* invece di Vassalli-Eandi.

I campioni depositati all'Archivio di Stato di Parigi non sono ora più altro che preziosi cimelii di metrologia. I veri campioni prototipi sono ora conservati all'Ufficio internazionale di pesi e misure stabilito in Parigi nel punto del parco di

Saint-Cloud, detto Bréteuil, verso la Senna, dalla parte di Sèvres. In quest'Ufficio esiste ora una raccolta d'istrumenti di metrologia, di precisione massima, quale non è mai esistita, nè si trova altrove. — L'Ufficio internazionale di pesi e misure fu creato allo scopo di unificare fra le varie nazioni le misure ed i pesi, al quale si tendeva da tanto tempo. Da Accademie, da Società scientifiche, da Congressi partivano voti e mozioni miranti a quell'unificazione cotanto necessaria. La Francia, che già era stata la creatrice del sistema metrico decimale e che ne custodiva ancora gelosamente i prototipi, accolse quei voti e quelle mozioni e si fece iniziatrice della loro attuazione. A tal fine, una prima riunione dei rappresentanti delle principali nazioni venne indetta dal Governo francese pel 1870 nel Conservatorio di arti e mestieri. Venticinque Stati accettarono l'invito: venti furono rappresentati alle adunanze di questa Commissione, che durarono dall'8 al 13 agosto 1870. Il cannone tuonante per la guerra franco-prussiana sciolse quella pacifica, civile e benefica congregazione. Le sedute furono riprese nel settembre 1872; ad esse assistevano rappresentanti di ben ventinove Stati d'Europa e d'America, dieci delegati francesi e trentasette stranieri. L'Italia vi figurava nelle persone del generale Ricci e del prof. Gilberto Govi. In quelle riunioni si stabilì che a tipo del metro internazionale si prendesse il metro degli archivi di Parigi, e che la lunghezza di un metro dovesse corrispondere a 0° di temperatura. Così si fece. Per costruire il metro internazionale e gli altri campioni che furono distribuiti alle varie nazioni, s'impiegò una lega composta di 90 parti di platino e di 10 di iridio. Questo prototipo del metro è un'asta lunga 102 centimetri ed avente una sezione retta in forma di due V di grossezza uniforme e di grande apertura, giacenti orizzontalmente e riuniti nei loro vertici alquanto allargati da una striscia metallica del medesimo spessore. Sulla faccia superiore, la *ab*, di questa così detta striscia stanno le estremità del metro, che sono definite da due tratti trasversali, ciascuno dei quali si trova in mezzo a due altri che distano da essi di mezzo millimetro: questi tre tratti sono attraversati da altri longitudinali distanti fra di loro di un decimo di millimetro, e che determinano l'asse del regolo. Ciò per il metro internazionale che è a tratti, ma si hanno anche campioni detti a testate; questi hanno la sezione di poco diversa dagli altri.



La forma adottata per il prototipo del metro fu proposta da Trezza, e con molta ragione il prof. Pittei, direttore dell'Osservatorio del Museo di Firenze, la paragonò a quelle sedie antiche dette alla Savonarola ed ora tornate di moda.

Questo campione del metro, costruito con ogni cura e diligenza, e paragonato con quello degli archivi, fu detto metro internazionale e viene indicato col simbolo  $m$ . Ad esso furono paragonati gli altri modelli che si distribuirono alle varie nazioni, detti perciò metri nazionali. All'Italia furono assegnati quelli aventi i

numeri 1 e 9 : essi vennero portati a Roma dal senatore Brioschi che rappresentava l'Italia alla conferenza generale tenuta in Parigi nel settembre 1889. Quei campioni del metro assieme a quelli del chilogramma sono conservati in Roma in apposito locale del laboratorio metrico centrale dipendente dal Ministero d'Agricoltura, Industria e Commercio, e si hanno le equazioni che ne danno la lunghezza alle varie temperature.

Il metro campione, o metro internazionale, fu assieme al chilogrammo campione depositato in un armadio di ferro che in un sotterraneo dell'Istituto di Breteuil serve a custodire i campioni internazionali, il 28 settembre 1889 da una Commissione di 5 membri del Comitato internazionale di pesi e misure. Quell'armadio viene aperto solo in rarissime circostanze in presenza di commissari speciali. In caso di guerra l'edificio di Breteuil ove è il laboratorio e l'Ufficio internazionale di pesi e misure sarà neutro ed inviolabile. Il primo direttore di quell'Ufficio fu l'italiano Gilberto Govi. Il senatore Blaserna, professore di fisica alla Università di Roma, rappresenta oggi l'Italia nell'Ufficio internazionale di pesi e misure.

Or bene, il metro degli archivi, il metro internazionale, costruito con tanta cura, così gelosamente custodito, non è la decimilionesima parte del quarto del meridiano terrestre, ma ne è più corto di circa due decimi di millimetro. Ed ecco come. Molti errori scoperti in parte subito ed in parte più tardi inquinavano la misura dell'arco di Francia. Nei calcoli si trascurarono le influenze delle attrazioni locali, manifestantesi colle deviazioni della verticale che alterano le longitudini, le latitudini e gli azimut. Biot ed Arago, che in sul principio del secolo decimonono ripeterono le operazioni di Méchain e Délabre, giunsero ad uno schiacciamento dell'ellissoide terrestre differente da quello ottenuto dai primi. Il geodeta francese Puissant poi scoprì un notevole errore nelle triangolazioni francesi : e l'insigne astronomo tedesco Bessel, rifacendo dopo ciò la ricerca della lunghezza del metro in base agli archi di Francia e del Perù, ottenne per essa un valore diverso da quello stabilito dalla legge francese. Si avverta poi che da uno studio dell'americano Preston risulta che l'arco del Perù sarebbe errato di molti minuti secondi. Per opera di geodeti francesi si sta ora ripetendo la misura dell'arco del Perù, ed il risultato di questo grandioso lavoro avrà un'influenza capitale sulla conoscenza delle dimensioni della Terra, poichè esso sarà il solo grande arco di meridiano misurato nell'emisfero australe coi rigorosi procedimenti moderni. Il risultato di Bessel fu confermato dai calcoli istituiti di poi, combinando col metodo dei minimi quadrati molte lunghezze d'archi di meridiano, misurate in progresso di tempo. Tutti questi calcoli condussero a dimensioni del globo non esattamente eguali; d'onde ne derivarono pei meridiani e quindi per quello di Parigi e per il metro lunghezze diverse. Ed è certo che computando le dimensioni terrestri man mano che si misurano nuovi archi, si otterranno lunghezze del meridiano, e quindi della sua quarantamilionesima parte, fra loro diverse. Così si venne introducendo nella scienza il concetto e l'espressione *l'errore del metro*. L'errore del metro è la differenza fra la lunghezza del metro che si conserva negli



archivi di Parigi a zero gradi centigradi di temperatura e quella della decimilionesima parte del quarto del meridiano quale risulta da ciascun calcolo delle dimensioni terrestri. Come già notammo, il metro campione è più breve di tutte le lunghezze che alla decimilionesima parte del quarto del meridiano assegnano i computi delle dimensioni terrestri istituiti fino ad oggi. Fra queste dimensioni quelle più in uso oggi sono quelle ottenute da Bessel nel 1841 e da Clarke nel 1880. Stando alle prime l'errore del metro sarebbe di millimetri 0,0856, ed alle seconde di millimetri 0,1868, che equivale a poco meno di tre spessori di capello umano, quando per questo si accetti, con Bessel, un quindicesimo di millimetro (\*). Se si volesse che il metro reale, la unità di lunghezza materiale della pratica, corrispondesse alla definizione datane dalla legge francese, bisognerebbe ad ogni computo della grandezza della Terra rifarlo e cambiare tutti i modelli, i campioni che ad esso si conformano. Ciò sarebbe fonte di confusione e d'incaglio enorme agli usi della pratica : ed a ciò evitare, si stabilì che l'unità della lunghezza fondamentale del sistema metrico decimale sia il metro campione di platino che si conserva negli archivi di Parigi, ed il metro internazionale che ne è la riproduzione precisa. Speriamo che introdottosi al più presto nella vita pratica di tutte le nazioni civili, esso corrisponda finalmente al motto : *A tous le temps, à tous les peuples*, inciso sulla medaglia coniata all'istituzione di quel mirabile e semplice sistema di misura.

Stabilito così, individuato per sempre il metro, l'unità fondamentale del sistema metrico decimale, che sarà la base della vita civile futura dell'umanità intiera, si può ben dire che l'ipotesi dalla quale la sua lunghezza si volle originariamente dedurre, non esiste: la Terra è rotonda, ma non è un'ellissoide di rivoluzione. Rotonda nel suo complesso ed astraendo dalle rugosità, dai rialzi ed avvallamenti che ne rendono la superficie così variata e disuguale : variazioni che come si sa sono insignificanti rispetto alle dimensioni terrestri totali. Rotonda adunque nello insieme, ma che cosa è questo insieme, che da tanti secoli gli uomini cercano di misurare ? Gli antichi non andavano tanto per il sottile a questo riguardo, e supponendo la Terra sferica, ne calcolavano il raggio deducendolo dall'ampiezza e dalla lunghezza di un arco di circolo meridiano, e misuravano quella ampiezza, quella lunghezza, che era poi la distanza dei due estremi dell'arco, all'ingrosso, lungo le strade che li univano, e malgrado ciò non giunsero a risultati troppo spropositati.

Poco per volta poi si passò a voler stabilire, definire meglio che cosa dovesse intendersi per figura dell'insieme della Terra, per la sua figura matematica. I lavori di Huygens e Newton fecero vedere che la Terra, animata com'è da un moto di rotazione sopra se stessa, supposta omogenea e fluida, deve avere una figura di ellissoide di rivoluzione schiacciata ai poli. Le ricerche posteriori di Clairaut

(\*) Per l'errore del metro vedasi ZANOTTI BIANCO OTTAVIO, *La forma e la grandezza della Terra*, « Il Pensiero Italiano », Milano, 1891: ristampata nella « Rivista di Topografia e Catasto », vol. IX, 1896-97 e nel libro *Istorie di Mondi*, Saggi d'astronomia, 3ª serie, Torino, Bocca, 1903.

e Laplace dimostrarono che la Terra non essendo nè omogenea nè intieramente fluida, non poteva avere quella forma che approssimativamente, ovvero con certe ipotesi sulla sua costituzione. Si riconobbe di più che data la Terra quale essa è in realtà, la figura complessiva ideale, per dir così, non poteva neppure considerarsi come geometrica. Fatti di ciò certi si pensò a determinare che cosa si dovesse intendere per figura della Terra, ed a cercare se, pur non essendo geometrica, essa fosse rappresentabile coi simboli matematici e come definibile. Seguendo le idee di Clairaut, Laplace, Gauss e Bessel si giunse a formulare quella definizione: ad essa ne occorre mandare innanzi alcune brevi premesse.

Non trovando, per la natura delle cose, modo di valersi della geometria per rappresentare matematicamente la figura della Terra, si ricorse alla meccanica dei liquidi: a ciò indotti dall'essere la Terra in gran parte coperta da liquido e dalle idee sull'origine del sistema solare che assegnano ad essa una condizione inizialmente fluida. Dalla meccanica si prese ad imprestito la definizione di superficie di livello di un liquido, e la si applicò al mare che per occupare tanta parte dello strato esterno del globo terrestre, si assunse come rappresentante del tutto. Voi m'insegnate che la superficie di livello è quella che delimita un liquido in equilibrio sotto l'azione di date forze, la cui risultante è in ogni punto poi normale ad essa.

Sul mare agiscono molte forze. Le attrazioni delle parti di tutta la massa terrestre, quella dei corpi celesti: la forza centrifuga proveniente dal moto di rotazione della Terra intorno al proprio asse: poi l'azione dell'atmosfera, statica e dinamica (pressione e venti). Sulla massa d'acqua marina agisce poi il sole come fattore termico, cagionando coll'evaporazione moti e correnti, e variazioni di salsedine, generanti a loro volta altre correnti. Perturbano poi in vario modo la stabilità del mare, i movimenti geologici del suo fondo e delle sue coste, le correnti fluviali che vi sboccano, i depositi organici e minerali che pei molluschi e per i fiumi vi si producono, pur astraendo dai depositi irregolari ed accidentali, a petto degli altri trascurabili, che avvengono pel fatto della navigazione. Queste forze son tutte, dal più al meno, variabili col tempo, quindi continuamente mutabile è la superficie del mare, che a noi si presenta sempre in movimento, e non mai foggiate a ferma e stabile superficie di livello. Siccome però si è di questa che si ha bisogno nella geodesia, così si esaminò se non fosse possibile lo scartare talune di quelle forze, come molto piccole e insignificanti rispetto alle altre: e tenendo conto solo delle preponderanti, tentare di accostarsi alla figura ideale voluta, per poi studiare colla teoria e coll'osservazione le perturbazioni che in quella producono le forze da prima lasciate in disparte. Così si fece. Si suppose nulla l'azione di tutti i corpi celesti: così si trascurarono le maree non solo, ma anche quelle deformazioni che le masse acquee da esse spostate producono, alterando nel muoversi le vicendevoli attrazioni delle parti del globo terrestre: si lasciarono poi anche da parte gli effetti dell'atmosfera e quelli termici del sole. Con ciò le forze operanti sulla massa terrestre vengono ridotte a due: la mutua attrazione delle particelle di materia che la costituiscono, e la così detta forza

centrifuga originata dal suo moto di rotazione. La risultante di queste due forze in un dato luogo è quella che dovrebbe chiamarsi la *gravità teorica*. La gravità pratica, quella che si verifica in realtà, dipende a tutto rigore da tutte le forze operanti sulla Terra, è quindi con queste variabili d'intensità e direzione, però queste variazioni nel tempo sono estremamente piccole e non determinabili per ora, almeno per l'intensità, coll'esperienza e coll'osservazione. Circa le variazioni della gravità in direzione se ne hanno delle prove nelle constatate oscillazioni di livelli a bolla d'aria posti in condizioni opportune; e nelle osservazioni del pendolo orizzontale. La variazione delle latitudini da molto tempo sospettata, ed ora ampiamente confermata dall'esperienza, e da prolungate osservazioni di tutta precisione, attesta indiscutibilmente la variazione della direzione della gravità nello spazio. La causa del fenomeno, di certi periodi di esso, non è ancora chiarita. Mi piace avvertire che nello studio delle variazioni della gravità in direzione e della variabilità delle latitudini l'Italia occupa uno dei primi posti. Sono legati a queste ricerche, e con molta lode, dal principio del secolo scorso fino ad oggi, i nomi di Brioschi, Nobile, Fergola, Schiaparelli. A Carloforte, nell'isola di S. Pietro in Sardegna, sta una delle cinque stazioni internazionali per lo studio della variazione delle latitudini: e questa per felicità di clima e valore di osservatori, occupa il primo posto: il prof. Ciscato e il dott. Bianchi che vi lavorarono, i dottori Volta e Camera che oggi vi osservano si sono meritata la intiera fiducia degli astronomi (\*).

Tenendo presente quanto precede si avverta che di quantità minime affatto differisce in direzione ed intensità la *gravità teorica* dalla *reale*: in pratica quelle due gravità si considerano come coincidenti, riserbando a più minute e delicate ricerche la disamina del loro divario. Per un dato istante e luogo della Terra, la gravità ha per direzione il filo a piombo completamente fermo, o quella dei gravi cadenti nel vuoto e per tempo brevissimo.

S'immagini ora che attraverso ai continenti esista una fitta rete di canali strettissimi comunicanti fra loro e col mare: la superficie libera dell'acqua completamente ferma nel mare ed in questi canali è quella che si chiama *figura matematica* della Terra. Conforme a quanto poc'anzi si disse, possiamo avvertire che essa è superficie di livello della gravità. Listing nel 1872 chiamò *geoide* la figura matematica testè definita.

Se la Terra fosse omogenea ed intieramente fluida, la sua figura matematica sarebbe, secondo quanto insegnò Newton, un'ellissoide di rivoluzione schiacciata ai poli. La Terra invece è eterogenea, esternamente in parte liquida ed in parte solida, nulla sappiamo di certo sul suo interno: in queste condizioni la sua figura matematica, il geoide, non è più la detta ellissoide. Il geoide in sostanza è quello che fu sempre detto il livello del mare, anche quando questo non era chiaramente

(\*) Per la variazione delle latitudini vedasi ZANOTTI BIANCO OTTAVIO, *La variazione delle latitudini*, « Cosmos di Guido Cora », serie II, vol. XI, 1892-93, uscito nel 1894: ristampata nella « Rivista di Topografia e Catasto », 1896, e nel libro *Istorie di Mondi* sopra ricordato.

definito: si sa ora che il geoide non troppo si scosta da una ellissoide schiacciata ai poli.

Siccome abbiamo ridotto a due le forze che agiscono sopra un punto qualunque della Terra, così l'equazione del geoide si può scrivere subito, e dobbiamo scriverla anche per amore di chiarezza e brevità del discorso. Riferiamo la massa terrestre ad un sistema di tre assi ortogonali passanti per il suo centro di gravità, chiamiamo  $r$  la densità della massa variabile da punto a punto,  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$  le coordinate del punto  $P'$  della massa terrestre nel quale sta l'elemento di massa

$dm' = \rho dx' dy' dz'$ . In un punto  $P$   $\left. \begin{matrix} x \\ y \\ z \end{matrix} \right\}$ , del geoide stia la massa  $m$ , sarà:

$$PP' = \sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2 + (z' - z)^2}.$$

Il potenziale newtoniano dell'attrazione di tutta la massa su  $P$  sarà:

$$V = m \iiint \frac{\rho dx' dy' dz'}{\sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2 + (z' - z)^2}},$$

supponendo eguale all'unità la costante dell'attrazione  $\gamma$  di Gauss. Gli integrali vanno estesi in modo da abbracciare tutto il volume che racchiude la massa terrestre. Chiamiamo ora  $w$  la velocità angolare della Terra attorno al suo asse,

cioè  $\omega = \frac{2\pi}{24 \times 60^2} = 0,000072721$ , quando si prenda per unità di tempo il minuto secondo siderale. Il così detto potenziale della forza centrifuga in  $m$  sarà  $m\omega^2 \frac{x^2 + y^2}{2}$ .

Così il potenziale delle forze che ci danno la gravità sarà:

$$\begin{aligned} W &= m \iiint \rho \frac{dx' dy' dz'}{\sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2 + (z' - z)^2}} + m\omega^2 \frac{x^2 + y^2}{2} = \\ &= V + m\omega^2 \frac{x^2 + y^2}{2} = V + \left(\frac{m\omega^2}{2}\right) r^2, \text{ se } r^2 = x^2 + y^2, r \text{ è il} \end{aligned}$$

raggio del parallelo di  $m$  (\*).

(\*) Per quest'equazione e la definizione del geoide, il lettore potrà consultare i seguenti libri a stampa italiani:

PUCCI: *Fondamenti di Geodesia*, Milano, Hoepli, 1883-87.

PIZZETTI: *Trattato di Geodesia Teoretica*, Bologna, Zanichelli, 1905.

ZANOTTI BIANCO: *Il Problema Meccanico della Figura della Terra*, Torino, Bocca, 1880-85.

Il *Trattato di Geografia Fisica*, del Prof. L. DE MARCHI (Milano, Vallardi, 1901) contiene un buon riassunto delle idee generalmente oggi accettate nella scienza sul geoide.

Se la Terra fosse omogenea,  $r$  sarebbe la stessa ovunque, e come costante la si potrebbe portar fuori dei segni integrali. Ma il guaio si è che la Terra, anzi che essere omogenea, è completamente eterogenea, e nulla di certo si sa della natura di questa eterogeneità: l'interno della Terra, per noi la massima parte di essa, è e sarà forse sempre sconosciuto agli uomini. Ma ancora,  $r$  in un dato punto è variabile col tempo, e tutti i fenomeni meteorologici, geologici, geofisici, che conosciamo, attestano di trasporti di masse nell'interno ed alla superficie terrestre, ossia di modificazione della densità  $r$  in un medesimo punto, modificazioni che si ripercuotono sopra  $V$ . Ma nel computo di questo  $V$ , c'è un altro guaio, maggiore, ed è che per estendere quegli integrali a tutto il volume occupato dalla Terra, occorre conoscere che figura abbia questo volume o meglio la superficie che lo delimita. Ora si è appunto invece questa che noi cerchiamo, perchè non ci è nota, quindi la necessità di ipotesi, approssimazioni, sviluppi in serie di funzioni sferiche che conducono però a risultati, se non rigorosi, certo molto prossimi al vero. Ma non è di ciò che io debbo trattenermi brevemente ancora. Mi permetterò richiamare la vostra attenzione sul fatto che fra le quantità che stanno al secondo membro dell'espressione di  $W$ , non solo  $r$  è variabile e nello spazio e nel tempo, ma anche  $w$  lo è nel tempo: così che  $W$  è variabile nel tempo corrispondentemente al variare di  $r$  ed  $w$ . Ma quell'equazione è l'equazione del geoide, e  $W$  deve essere costante lungo esso, come con valore differente lo è sopra ogni superficie di livello. Ma se  $W$  varia col tempo dovremo concludere che il geoide si deforma col tempo. Soggiungiamo subito che tali deformazioni sono tenuissime e lentissime, e che lo studio e la ricerca di esse, come quelle del divario fra il geoide e l'ellissoide, costituiscono oggi il problema fondamentale della geodesia.

Dissi che  $w$  varia col tempo ed eccomi così giunto a parlarvi del minuto secondo. Per scoprire, se e come  $w$  variò dobbiamo abbandonare la Terra e portarci in cielo: non molto lontano però, ad una sessantina di raggi equatoriali terrestri, a 385.000 chilometri, alla quale distanza s'aggira la pallida nostra luna.

Un sommo astronomo inglese, Halley, nel 1692, paragonando fra loro i ricordi lasciati dagli astronomi Caldei sulle più antiche eclissi, colle eclissi di quei tempi, aveva trovato che il periodo attuale della rivoluzione lunare è sensibilmente più corto che a quell'epoca remota: questo risultato fu confermato da un ulteriore paragone delle due serie d'osservazioni.

Risultò da questi confronti e da calcoli istituiti da varii astronomi, fra i quali anche il nostro Plana, che la quantità di cui varia il moto medio della Luna è di circa undici minuti secondi d'arco in un secolo: quantità piccola di per sè, ma che diviene considerevole accumulandosi cogli anni. Laplace chiamò quel fatto l'accelerazione secolare del moto medio della Luna e mostrò che vi era modo di spiegarlo a mezzo di una variazione dell'eccentricità dell'ellisse che la Terra descrive in un anno attorno al Sole. Ma Adams, inglese, dimostrò che Laplace aveva trascurato alcuni termini necessari, e che perciò la sua teoria non dava ragione che della metà solamente di quelli 11" d'arco. S'accese al riguardo in Francia una polemica — troppo e troppo spesso personale — tra gli astronomi francesi: ma la

vittoria rimase alla verità che era sostenuta, con Adams, da Delaunay, ingegnere delle miniere, ed una delle più poderose menti del secolo scorso, e da Hansen. Delaunay dimostrò che la parte inspiegata dell'accelerazione del moto medio lunare si deve attribuire ad un rallentamento della rotazione terrestre dovuto alle maree. Non era la Luna che venisse camminando più speditamente, era invece l'unità di misura che ci serve a misurare il tempo che si era allungata. Non altrimenti che se misurando una lunghezza il metro s'andasse man mano allungando senza che noi ce ne avvedessimo, la distanza ci risulterebbe più breve che se il metro si fosse mantenuto durante la misurazione rigorosamente invariabile.

Come il metro è l'unità di misura delle lunghezze, così il giorno lo è per l'estimo del tempo. Di giorni, in astronomia vi sono varie specie, tutte hanno per base la durata della rivoluzione terrestre, cioè il giorno sidereo, che è l'intervallo di tempo che la Terra impiega a compiere esattamente un giro su se stessa. Se quella durata, quell'intervallo, cambia senza che ce ne accorgiamo, crolla tutto l'edificio dei computi umani, la divisione del tempo, la cronologia. Se varia il giorno siderale varia anche il minuto secondo che ne è l'86400<sup>a</sup> parte. Ora così appunto accade, il giorno ed il minuto secondo vanno allungandosi. Ma soggiungiamo subito che quella variazione è estremamente tenue e tanto da riuscire insensibile e trascurabile, se non in quelle questioni d'astronomia e cosmogonia, nelle quali gli anni si contano a migliaia e migliaia. Come e perchè il giorno s'allunga? È un problema di meccanica: e forse la soluzione di esso, che per la storia dell'universo è di capitale importanza, fu dettata a Delaunay dalle sue cognizioni tecniche d'ingegnere di miniere, perchè quella soluzione va cercata nell'attrito. Così la scoperta dell'equivalente meccanico del calore, del quale tutti conoscete l'enorme importanza teorico-pratica, fu suggerita al medico Giulio Roberto Mayer dalle sue cognizioni di fisiologia e da alcuni salassi praticati all'isola di Giava nel 1840. Ma torniamo al giorno ed al suo tenuissimo e lentissimo accorciarsi.

Le maree, il flusso e riflusso del mare sono essenzialmente un innalzamento ed un abbassamento dell'acqua, che avvengono ad intervalli di circa sei ore. L'innalzamento avviene in un dato luogo ed ai suoi antipodi quando la Luna passa al meridiano, con un ritardo però sull'istante di questo passaggio, diverso da luogo a luogo, e che per ogni porto di mare dicesi *stabilimento del porto* e si sa calcolare. Questo sollevamento delle acque del mare avviene due volte al giorno, quindi nelle ventiquattro ore si ha due volte acqua bassa e due acqua alta. Questo movimento delle acque marine si propaga attraverso agli oceani seguendo quello apparente della Luna da oriente ad occidente, in senso opposto cioè a quello reale della rotazione diurna della Terra, che si compie da occidente ad oriente. Analogamente alla Luna anche il Sole produce delle maree, molto inferiori però a quelle lunari, giacchè la sua grande massa è in molta misura paralizzata dall'enorme distanza che lo separa dalla Terra, distanza che ammonta a ben 149 milioni di chilometri. Trascuransi le maree prodotte dai pianeti perchè assolutamente nulle in confronto di quelle prodotte dai due grandi luminari, come erano chiamati dagli astrologi il Sole e la Luna. Le maree solari e lunari combinandosi cagionano in questo feno-

meno una complicazione notevole, accresciuta ancora di molto dalla configurazione del fondo e delle coste marine, che oppongono, alla propagazione dell'onda di marea, ostacoli e resistenze d'ogni maniera. La teoria delle maree non è completa neppure oggi, e la loro predizione per ciascun porto è un computo assai lungo. Nel Mediterraneo le maree sono appena avvertibili, sono ben più manifeste nell'Adriatico, raggiungono il loro massimo nei grandi oceani; sulle coste dei quali avvengono con circostanze grandiose ed imponenti, ed in taluni luoghi la differenza fra l'acqua alta e l'acqua bassa, può nelle maree equinoziali primaverili raggiungere dodici o quattordici metri.

In breve, questo è l'essenziale, che per il fatto della marea, un'onda d'acqua si propaga più o meno alta attraverso ai mari, da oriente ad occidente, vale a dire in senso opposto al moto di rotazione diurno della Terra, che avviene da occidente ad oriente. Sono due moti che si contrastano, come in un freno applicato ad un albero in moto; da ciò resistenze, attriti e trasformazione di una certa porzione del movimento di rotazione terrestre in altre energie e segnatamente in calore che si diffonde e disperde, è proprio il caso di dirlo, pel cielo, pel mare, per la terra. Se vien tolta così alla Terra una frazione della sua energia di rotazione, questa si rallenta, la sua durata, che noi chiamiamo giorno, si allunga. Durante questo intervallo di tempo più lungo, la Luna descrive più lungo cammino: ed a chi sia inconscio ed ignaro dell'allungamento del giorno, sembrerà accelerare il suo passo, donde, a quella perturbazione del moto lunare, il nome di accelerazione del movimento medio della Luna. Lo stesso avverrebbe se noi avessimo un orologio, che mentre stiamo misurando la velocità di un corso d'acqua, andasse, a nostra insaputa, man mano ritardando: quell'acqua ci sembrerebbe scorrere più rapidamente che non facesse, perchè, noi inconsci, per il ritardo dell'orologio, il minuto si è allungato. Ora se l'orologio rallenta, ritarda, è perchè i suoi rotismi incontrano resistenze, attriti di varia natura. Or bene la Terra è l'orologio gigantesco che ci dà il tempo: le maree oppongono al suo movimento delle resistenze, generano degli attriti ed essa ritarda; il giorno, il minuto secondo si vanno allungando, cioè aumentano di durata. Il valore di questo ritardo o rallentamento della velocità angolare della Terra non è oggi conosciuto che molto all'ingrosso, perchè il computo di esso valore contiene elementi di una grande incertezza, giacchè le nostre cognizioni sul movimento della Luna non sono ancora perfezionate al punto da permetterci di calcolare esattamente eclissi avvenute molti secoli or sono. Ora si è appreso dalle circostanze di tempo e di luogo di quelle eclissi che dipende il calcolo dell'accelerazione del movimento medio della Luna e conseguentemente dell'allungamento del giorno. Ad ogni modo questo è certo, che durante gli ultimi tremila anni l'allungamento del giorno è stato molto tenue e lento.

I calcoli più attendibili al riguardo sono quelli di Schjellerup: questi partendo dalle teorie di Adams e Delaunay trova che negli ultimi 2400 anni l'allungamento del giorno fu di 0<sup>8</sup>,01252, ossia di 0<sup>8</sup>,0000052 ali' anno, e di 0<sup>8</sup>,00000014 al giorno, quantità così piccola che la mente non può averne idea, e che sfugge e forse sfuggirà sempre all'osservazione diretta. A questa stregua e con questo regime,

se al principio d'un secolo si mettesse in moto un cronometro perfetto a tempo siderale e la Terra, alla fine del secolo questa ritarderebbe su quello di  $0^8,00052$ . A tutto rigore dunque il minuto secondo non è costante, ma va allungandosi, però la ragione di tale aumento è così estremamente piccola, che per molti secoli e per tutte le esigenze della pratica e della scienza sperimentale anche la più delicata e minuziosa, essa può venir trascurata, ed il minuto secondo, l'unità di misura del tempo può riguardarsi come costante. Solo coll'accumularsi dei secoli, l'allungamento del giorno può rendersi sensibile, che anzi nell'istoria dell'universo dove i secoli si contano a milioni, ebbe ed avrà le più grandiose conseguenze, se le cognizioni umane non fallano, e se il fatale andare del creato non sarà deviato, dall'intervento di forze o potenze a noi ora sconosciute. Altre cause possono modificare la massa e la densità terrestre ed alterare la velocità angolare della Terra: l'aggiunta di corpuscoli che avviene per la caduta di bolidi, stelle cadenti, pulviscolo cosmico; non così insignificante come può sembrare ad un esame superficiale, il raffreddamento e concomitante restringimento del globo, la resistenza del mezzo propagatore delle energie fisiche e della gravitazione universale, le forze magnetiche, per tacere dell'opera dell'uomo, che scompare a petto di quella della natura. Ma tutte queste cause, se pur tutte attive, intorno alle quali sappiamo poco più del nome, hanno un'influenza che finora è sfuggita e si cela quasi intieramente alle investigazioni umane.

Giova accennare di volo che le maree non furono certo sempre tali quali ora sono in tutte le epoche geologiche attraversate dalla terra; ma variamente distribuite e potenti, influirono diversamente sulla rotazione terrestre. Così quasi certamente esse non dureranno in avvenire identiche a quelle che ora si verificano, e quindi la variazione della lunghezza del giorno, quanto si vuole tenue e lenta, non fu, non è e non sarà, non può essere costante.

Da questo fatto, furono dedotte, per altissimo intuito, specie di Darwin, figlio al sommo naturalista e degno del nome, le più profonde e lontane conseguenze per il passato e l'avvenire del sistema solare.

Lentissimamente variabili, sì da parere agli uomini costanti per migliaia di anni, e come ogni cosa negli avvolgimenti immani dell'universo, i minuti secondi, inflessibili, inesorabili, fatali, passano e vanno, dove? Rapidi, fulminei, volano nelle ore di pace e di gioia; tardi, pesanti, eterni, si trascinano nelle ore interminabili del dolore e dell'angoscia, passano e vanno, dove? E il tempo tutte cose travolge e distrugge, e, strazio maggior d'ogni maggior dolore, nella vorticoso fuga ci rapisce le adorate persone che hanno formato lo scopo e la benedizione di tutta la vita.

Riprendiamo ora l'equazione:

$$W = V + \frac{m}{2} \omega^2(x^2 + y^2) = V + \frac{\omega m^2}{2} r^2$$

Rappresentiamo con  $n$  la normale nel punto del geoide che si considera diretta all'infuori; si sa dalla meccanica, che in quel punto in cui la gravità sia  $g$ , si ha:

$$g = - \frac{\delta W}{\delta n}$$

Ora ci siamo fatti persuasi che  $W$  è variabile col tempo, assieme a  $r$ ,  $V$  ed  $w$ : dunque anche  $g$ , cioè la gravità, è variabile in un medesimo luogo col volgere del tempo.

Tutto è dunque mutabile col tempo, anche la gravità, il peso. Anche  $g$ , il buon  $g$  degli anni ridenti della fisica e della meccanica, l'industrie  $g$ , che al bianco carbone che dall'Alpe scende, conferisce misteriosa virtù di salute e di forza, magistero mirabile di luce e di calore, anch'esso muta cogli anni. Come e di quanto ignoriamo: quasi sicuramente anch'esso in ragione lentissima e tenuissima, come insegnano la teoria e l'esperienza, già lo avvertimmo. I metodi per la determinazione del valore della gravità, sia assoluta che relativa, benchè giunti ad un discreto grado di sviluppo e precisione, sono ancora soggetti a troppe cause di errore, perchè si possa fare assegnamento sui numeri che ci forniscono per scoprire la variabilità di essa. Molto e molto tempo passerà prima che tale scoperta sia possibile: oggi appena ci è dato di ricavare dall'esperienza valori della gravità, non dico esatti, ma attendibili, nella quarta decimale. Ora la teoria ci fa avvertiti che le variazioni della gravità modificano solo la quarta e più la quinta cifra dopo la virgola, cifra sulla rigorosa precisione della quale l'esperienza non ci dà alcuna fidanza.

E poichè ho menzionato la gravità, concedetemi che io rammenti che in Italia, Pucci e Pisati, Lorenzoni, Venturi, Riccò, Reina, ed il dr. Aimonetti, assistente del prof. Jadanza nostro buon collega e decoro della nostra Università, ed altri hanno istituito e calcolato determinazioni della gravità, assolute e relative, cogli apparecchi pendolari del francese Defforges e dell'austriaco Sterneck, e che ricordi che or sono parecchi anni, il venerato mio maestro, l'illustre Giovanni Schiapparelli, ha discusso il materiale d'osservazione allora esistente, radunato in parte grande dagli ufficiali della marina da guerra austriaca, in una sintesi nitidissima sulla distribuzione della gravità in Italia. Studii questi destinati a portare feconda luce sulla costituzione della crosta terrestre e su molti problemi di geologia e geofisica. Così che oggi la geologia, la geodesia, l'astronomia si porgono efficace aiuto e camminano di conserva alla soluzione dei grandiosi problemi che presentano il passato, il presente e l'avvenire del globo che abitiamo.

Ci siamo occupati di tutte le quantità che entrano nell'equazione del geoide:

$$W = V + \frac{1}{2} \omega^2 m(x^2 + y^2) = V + \frac{1}{2} \omega^2 m r^2$$

tranne che di  $m$ , massa del punto attratto; e vedemmo che quelle considerate,

tutte variano col tempo. Si potrebbe credere che almeno in base al principio di Lavoisier della conservazione delle masse, la massa del punto attratto, ossia la massa di ogni particella di materia rimanesse inalterata, invariabile; ebbene pare oggi che neanche ciò si avveri; molte menti elevatissime pensano oggi che la massa varia. Udite infatti le seguenti parole che uno dei viventi grandissimi matematici, Enrico Poincaré, leggeva il 24 settembre dell'anno scorso al Congresso di arti e scienze tenuto a Saint-Louis in America, in occasione di quella colossale e fantastica esposizione :

« Eccomi al principio di Lavoisier sulla conservazione delle masse. Certo, esso è tale, che non bisogna toccarlo, se non si vuole scompaginare la meccanica. Ed oggi parecchie persone pensano che esso ci sembra vero, solo perchè in meccanica non si considerano che velocità moderate, ma che cesserebbe di esserlo per corpi animati da velocità comparabili a quella della luce. Ora, si pensa di aver oggi realizzate quelle velocità; i raggi catodici e quelli del radio sarebbero formati da particelle piccolissime o elettroni, che si muoverebbero con velocità, inferiori senza dubbio a quella della luce, ma che ne sarebbero il decimo od il terzo.

« Questi raggi possono essere deviati, da un campo elettrico o da un campo magnetico, e si può, paragonando queste deviazioni, misurare ad un tempo la velocità degli elettroni e la loro massa (o meglio il rapporto della loro massa al loro carico). Ma quando si riconobbe che queste velocità s'avvicinano a quelle della luce, s'avvertì che era necessaria una correzione. Queste molecole, essendo elettrizzate, non possono scostarsi senza scuotere l'etere; per metterle in movimento, bisogna vincere una doppia inerzia, quella della molecola stessa e quella dell'etere. La massa totale od apparente che si misura, si compone dunque di due parti: la massa reale o meccanica della molecola, e la massa elettro-dinamica rappresentante l'inerzia dell'etere.

« I calcoli di Abraham e le esperienze di Kauffmann hanno allora mostrato che la massa meccanica propriamente detta è nulla, e che la massa degli elettroni, od almeno degli elettroni negativi, è d'origine esclusivamente elettro-dinamica. Ciò ci costringe a mutare la definizione della massa; non possiamo più distinguere la massa meccanica e la massa elettro-dinamica, perchè allora la prima svanirebbe; non vi è altra massa che l'inerzia elettro-dinamica; ma in questo caso la massa non può più essere costante, essa aumenta colla velocità; ed ancora essa dipende dalla direzione, ed un corpo animato da una velocità ragguardevole non opporrà la stessa inerzia alle forze che tendono a deviarlo dal suo cammino ed a quelle che tendono ad accelerare od a ritardare il suo andamento.

« V'è bensì ancora una scappatoia: gli elementi ultimi dei corpi sono degli elettroni: gli uni caricati negativamente, gli altri caricati positivamente. Gli elettroni negativi non hanno massa, lo si dice; ma gli elettroni positivi, stando al poco che se ne sa, sembrano molto più grossi. Forse essi hanno, oltre la loro massa elettro-dinamica, una vera massa meccanica. La vera massa d'un corpo, sarebbe in tal caso la somma delle masse meccaniche di questi elettroni positivi, gli elettroni negativi non conterebbero; la massa così definita potrebbe ancora essere costante.

Ma purtroppo anche questa scappatoia si chiude. Già vedemmo, trattando del principio di relatività, gli sforzi fatti per salvarlo. E non è solamente un principio che si tratta di salvare, sono i risultati indubitabili delle esperienze di Michelson. Ebbene, per rendersi conto di questi risultati, Lorentz è stato costretto a supporre che tutte le forze, qualunque sia la loro origine, venivano ridotte nella stessa proporzione, in un mezzo animato da una traslazione uniforme; ma non basta: non basta che ciò avvenga per forze reali, è d'uopo che lo stesso avvenga per le forze d'inerzia; bisogna dunque, dice egli, che le masse di tutte le particelle siano influenzate da una traslazione nel grado medesimo che le masse elettro-magnetiche degli elettroni.

« Così le masse meccaniche devono variare secondo le stesse leggi delle masse magneto-elettriche degli elettroni ». Fin qui il Poincaré (\*).

Ma che più, se varia la massa che ne sarà della legge di Newton, che sta a base di tutta l'astronomia, della geodesia, della meccanica e dell'idraulica, e che ci ha servito a calcolare il V nell'equazione del geoide? Poincaré esclama, con Amieto: Ecco la questione! In astronomia si è ancora incerti se l'esponente — 2 che affetta le distanze nell'espressione della legge di Newton, sia esatto oppure non, e coi concetti moderni sulla costituzione della materia, siamo in diritto di domandarci, sarà esso costante? Vi sono delle menti profondissime che ne dubitano.

Tutto dunque, o signori, muta in noi e intorno a noi: tutto: in vece assidua ogni creata cosa cambia e si trasforma; ma perenne, incessante, inesausta, la brama del vero, l'aspirazione al meglio permane e vive, ed agita e sospinge e muove lo spirito umano. Sola intatta, indistruttibile, in tanto rovinare e nascere di mondi, in tanto turbinare d'atomi e di viventi, sta la legge dell'evoluzione e del progresso, una tendenza misteriosa ma certa ad una meta, forse infinitamente lontana, forse irraggiungibile, ma alta, sublime, divina, la ricerca del vero, la perfezione e la felicità della nostra specie. L'ingegneria può dire con sano e giusto orgoglio, di avere più d'ogni altro ramo del sapere contribuito ai grandi passi onde su quell'arduo cammino l'umanità s'è avanzata in questi ultimi anni. L'ingegneria moderna che le astruse formole di Clerk-Maxwell, le geniali esperienze di Herz converte con Marconi nel pensiero che vola intorno al mondo; l'ingegneria che taglia il vetusto Nilo con una diga, emula delle piramidi; ed imprigiona le urlanti cascate del Niagara, e incanalate e dome, fatte elettricità, colla spirale di Pacinotti ed il campo rotante di Ferraris, le costringe a lavorare, come donne di casa, alla macchina da cucire e da far calze; o le trasforma, naiadi furibonde, in cantatrici celeberrime, che dal fonografo trillano e gorgheggiano colle melodie soavi dell'*Otello* e dell'*Aida*. L'ingegneria, o signori, che

(\*) *L'état actuel et l'avenir de la physique mathématique*, « Bulletin des Sciences Mathématiques », serie II, tomo XXVIII, 1904: ristampato nel libro *La valeur de la Science*, Paris, Flammarion, 1905.

realizza e concreta i concetti più eletti dell'arte nel monumento di Sacconi a Vittorio Emanuele, che materiato di genio e di granito, dirà ai posteri, in Roma eterna, l'istoria d'un popolo redento. Voi dunque, o colleghi, che siete ingegneri in tutto il senso grandioso e benefico della parola, concedete a chi lo è soltanto per indulgenza di professori e per la meschinità d'un diploma di laurea, concedete che nel ringraziarvi intensamente dell'onore che questa sera voleste fargli accorrendo così numerosi e benevoli ad ascoltarlo, egli mandi all'ingegneria ed a voi che ne siete così felici cultori, il più caldo saluto di riconoscenza e di ammirazione.

---

## COMUNICAZIONE

---

La *Verein deutscher Ingenieure* (Società degli Ingegneri tedeschi), la più grande Società tecnica del mondo, che conta più di 20,000 Soci, celebra quest'anno il suo cinquantesimo anniversario a Berlino, insieme col Congresso annuale, per il quale la Sezione di Berlino ha convocato i membri della Società per i giorni dal 10 al 14 giugno.

---