

L'opera scientifica dell'Istituto geografico militare

Comunicazione dell'Ing. ANTONIO LOPERFIDO

al Congresso di Catania della Società Italiana per il Progresso delle Scienze

La tradizione dell'arte-scienza che, per l'Istituto, in ben cinquant'anni, dal 1872 ad oggi, non ebbe mai contrasto, e fu anzi avvalorata nello strenuo ricorso della guerra, si trova anche congiunta alla Sicilia; più particolarmente a Catania che vive accanto al più grande vulcano della terra, perchè, nella valle del Simeto, l'Istituto, nel 1865, realizzò la misura di una base geodetica fondamentale, e, nel 1900, l'Osservatorio astrofisico del Mongibello fu collegato all'isola di Malta, insieme a due altre vette: il Monte Gemini, a ridosso di Cammarata, ed il Monte Santissimo nel territorio di Siracusa.

La Sicilia è anche congiunta alla Tunisia e da ciò specialmente poté derivare l'occasione di una nuova misura lineare diretta in vicinanza di Marsala. Questo, naturalmente, non travolge un motivo necessario in modo assoluto; ma è consigliato dal semplice concetto che l'indagine di scienza pone a confronto fatti e grandezze dello stesso ordine e della medesima specie.

La triangolazione della Sicilia assume le dimensioni da una base misurata quando nel campo della geometria terrestre era trasferita l'ipotesi di assoluta reversibilità per i fenomeni naturali; mentre in Tunisia la rete geodetica è connessa ad una base definita con un metodo che elimina quasi completamente l'accennata ragione.

D'altra parte, la rete geodetica italiana, per quanto logicamente posta con legge di continuità, sopra la superficie statica, ossia sull'ellissoide terrestre, in realtà, per le sue plaghe, è sempre rivolta alla base più vicina. Bisogna anche notare che il calcolo di compensazione, nel mettere a confronto anche le lunghezze misurate direttamente, non può mai affidarsi alle norme di tolleranza ammesse convenzionalmente dalla semplice agrimensura.

Deve invece cercare di eliminare, a priori, l'effetto di ogni causa perturbatrice di natura costante, e quindi considerare le equazioni delle basi solo quando il metodo delle misure dirette sia caratterizzato dalle medesime costanti fisiche. Altrimenti le teorie geodetiche, le quali devono considerare grandezze del medesimo ordine, non potrebbero mai sostenere le loro logiche conclusioni dinanzi all'incombente problema planetario.

Solo per questo legittimo scopo dunque l'Italia, all'epoca della sua raccolta, fu subito consigliata a rivedere le operazioni già eseguite nel Napoletano con una singolare coscienza scientifica, consueta a tutti i funzionari civili e militari dell'*Ufficio topografico*. Basta ricordare che ad Antennamare — la vetta più elevata fra l'Etna e Messina — nel 1845, il Cap. Fergola vi morì fulminato; egli, il giovane ardente, proprio quando la sua volontà più si accaniva verso il problema della conoscenza.

Fu così ricostruita la rete geodetica già orientata rispetto alla superficie dinamica (geoide) sulla verticale di Castanea e ricostruita altresì la Carta ottenuta col metodo di Cassini, nel novero della congruenza di Soldner che, più tardi, servì ad Andrae nel calcolo delle coordinate geografiche. Come è noto tale scopo aveva pure consigliato di rettificare un arco di meridiano col metodo differenziale, ossia applicando la serie di Taylor ad un campo con amplitudine centrale non maggiore di 2°.

La Carta di Cassini fu dunque sostituita, nell'Italia risorta, con un'altra definita più razionalmente e con norme più rapide, ossia col metodo di Bonne, modificato in modo da sembrare, a prima vista, un caso particolare della rappresentazione di Flamsteed; ossia rettificando piccoli archi di meridiano e piccoli archi di parallelo, ed attribuendo a queste due lunghezze il significato di coordinate cartesiane.

Il metodo è divulgato col nome di proiezione naturale e, pur lontano da quella elasticità logica che realizza Gauss col suo processo analitico a carattere conforme, contrapposto ai sistemi di Soldner, è molto opportuno tanto per le Carte civili quanto per le Carte militari.

Ormai tutti sanno quali sono le caratteristiche della proiezione naturale; ma giova ricordare che, nel caso più sfavorevole, cioè quando la sintesi grafica, nella scala del 100mila, è riferita ad un campo esteso a mezzo grado di longitudine ed a venti pri-

mi di latitudine, la massima deformazione angolare è appena di 5'. — La balistica esterna e la geologia dinamica possono allora utilizzare le nostre Carte senza alcun pericolo di vedere compromesse le loro buone conclusioni, perchè non sorge reazione contro la raccolta di tutte le ricerche sperimentali che fanno capo ad un allineamento prestabilito e di cui occorre determinare la lunghezza e l'orientamento.

Ma, prima di esaminare a fondo questo problema di grande utilità pratica e che rivela il suo delicatissimo aspetto con la precisione richiesta dalle costruzioni catastali, bisogna ricordare come è organizzata la rete geodetica rispetto al problema planetario e come sia connessa alla superficie dinamica della terra con la più chiara visione dell'alta matematica.

E intanto oggi, dinanzi alla maestà del Mongibello, in Catania, la terra delle armonie, che il popolo lancia alle plaghe del cielo dove la mente eletta di Annibale Riccò allarga i confini dell'astrofisica, prima di esporre, in modo breve, l'opera dell'Istituto geografico militare e le costruzioni che si propone di fondare in avvenire, deve rilucere quel sentimento che nelle ore solenni non ha parole; la gratitudine cioè verso la Sicilia, la quale al nostalgico canto avvinse la volontà sua, contro ogni ostacolo, al progresso civile.



Dalla Vetta d'Italia all'Isola di Malta, la rete geodetica procede senza interruzione, in modo che ormai è possibile calcolare un arco notevole del meridiano dell'Europa centrale e, lungo il parallelo medio, da Monte Tabor ad Aquileja. Ne scaturirebbero non solo i parametri più convenienti alla superficie statica limitata al territorio italiano, ma anche tante logiche conclusioni utilissime alla sistemazione del prototipo di misura lineare introdotto dalla Commissione francese nel XVIII secolo.

D'altra parte, come per le triangolazioni, così pure in ogni altra ricerca relativa alla superficie dinamica, l'Istituto pose il più razionale fondamento. Sorse così l'altimetria di grande precisione che fornì l'efficace opportunità di far conoscere la caratteristica locale del meccanismo del flusso e riflusso nei due ver-

santi principali della penisola ed a sfatare la leggenda di un presunto dislivello fra i diversi mari della Terra.

Il medesimo criterio asserito da Bourdaloué nel 1847 provò che il Mar Rosso ed il Mediterraneo sostavano sulla medesima superficie di livello.

Il mezzo più efficace per giustificare questa importante illazione, introdotta ormai nella definizione del geòide, è dunque la livellazione geometrica di precisione. Ora, nella valutazione di ogni origine occorrente al calcolo delle quote altimetriche, l'Istituto, per la prima volta, adottò, nella compensazione, lo stesso giusto criterio ammesso al confronto delle basi geodetiche fondamentali e che, con locuzione sintetica, può essere così enunciato: *cuique suum*.

Precisamente poi per l'aspetto diverso del fenomeno dinamico nel Mar Tirreno e nel Mare Adriatico, e nel Mediterraneo che alle coste di Sicilia è perturbato dal Marobbio, e fra l'Egeo ed il mare Jonio dalle stesse cause che si traducono in Sesse — specialmente nel ricorso equinoziale — l'Istituto può assumere intanto l'iniziativa di determinare le diverse superficie statiche locali, ed in tal caso si presenta ancora la necessità di misurare un'altra base, vicino a Marsala. Perchè nei problemi più comuni del mondo, vi è sempre qualche cosa che merita di essere trattata in modo speciale; non per l'importanza che può assumere in se stessa o relativamente al complesso delle condizioni con cui si esplica; ma soltanto per circostanze del tempo, durante il quale si rivela all'osservazione ed all'esperimento.

Le superficie topografiche che si addensano intorno al nostro continente, ai suoi confini settentrionali con forme singolari, non sono mai uguali fra loro, e mari e terre emerse possono adagiarsi intuitivamente al complesso di forze operose, perchè occorrerebbe la conclusione di tanti altri teoremi che bisogna discutere e non ammettere ciecamente.

Con l'ipotesi di Newton i campi meccanici della Terra rimangono al dominio della gravità e così si arriva a comprendere la forma sferoidica, ma non una superficie geometricamente definita. Tuttavia noi possiamo decifrare un sistema di traiettorie ortogonali, le quali, per la realtà della rotazione diurna, si traducono in superficie di livello e nelle linee di forza e determinano,

senza alcuna ambiguità, l'altitudine dei valichi alpini e la possibilità dei laghi artificiali.

Ma, finchè non è assegnata la grandezza dello sferoide terrestre, ossia il modo di variare della sua curvatura totale, non sarà mai possibile determinare la lunghezza di un suo arco ed, in generale, quella di un allineamento comunque limitato.

**

Possiamo ora comprendere perchè le condizioni probatorie, invocate per la sistemazione delle nuove frontiere, richiedano Carte topografiche molto precise relativamente alla scala massima adottata e quindi, la superficie dello sferoide — a cui sono adagate le plaghe geografiche — dev'essere geometricamente definita per mezzo dei paramenti più convenienti.

Chiunque allora, senza bisogno di essere uno specialista, può sapere che per le Carte di frontiera occorrono: una compilazione diligente ed il massimo accorgimento nella designazione delle superficie topografiche contigue.

Ora è noto che le cause capaci di far variare la forma di una plaga geografica non sono mai in modo irrevocabile conosciute, ed il loro numero non è mai nettamente intravisto a priori nella colleganza di un dato effetto.

Ma se tutto ciò crea ostacolo alla geologia dinamica, nel campo geodetico invece non ha alcuna influenza, perchè nel caso citato si tratta solo di ridurre ad un unico sistema due serie di misure relative ai medesimi enti topografici. E con questo criterio, l'apparenza di errori inalienabili sparisce e sono stabilite, senza alcun cavillo, le condizioni probatorie nel campo stesso della geometria terrestre.

**

Ritornando alla rete geodetica occorre far conoscere che la sua riduzione all'ellissoide terrestre con un unico sistema di equazioni relative alle condizioni imposte dalle misure eseguite — scalari e vettoriali — e dalla sua figura offre difficoltà di calcolo non lievi. E perciò, col canone di misurare una nuova base ogni quattrocento chilometri circa, ne conseguiva il diritto di con-

siderare un insieme di triangoli intorno ad ogni base; quindi otto gruppi in corrispondenza delle seguenti basi: *Somma, Udine, Piombino, Foggia, Lecce, Crati, Catania, Ozieri.*

Nei successivi calcoli di compensazione la poligonale di confine dev'essere considerata invariabile e così il metodo diventa perfettamente logico, perchè equivale a considerare, insieme alle condizioni generali, anche le equazioni delle basi, e perciò è conseguito il criterio di una perfetta reversibilità per la lunghezza di una geodetica rispetto ad una qualunque delle basi fondamentali.

Perchè poi è limitato il numero in ogni gruppo di triangoli?... Precisamente per la inevitabile propagazione degli errori angolari e per il limite dell'errore relativo lineare, la cui nozione scaturisce immediatamente da quella del differenziale logaritmico.

Con simile norma non è soltanto possibile raccogliere lo sviluppo delle reti di base attorno al minimo numero di triangoli attraverso i quali la base medesima è trasportata sul primo lato della triangolazione; ma si può anche dimostrare che non v'è forma, a priori, per il triangolo geodetico, tale cioè da rendere minimi gli errori relativi dei lati. Gli errori angolari sono i nemici della precisione lineare e mentre per ciò le reti di base devono comprendere, al massimo, quattro o cinque triangoli, relativamente al concetto di forma, la sola utilità è quella per cui il triangolo equilatero verifica, sull'ellisse terrestre, il teorema di Legendre fino ai termini del quarto ordine.

Nessun pregiudizio dunque nella realtà dei lavori geodetici: soltanto buoni strumenti, ed obbligo imposto all'osservatore della loro perfetta conoscenza, perchè non vi è peggiore strumento di quello che non si sappia adoperare.

**

Le basi geodetiche italiane sono state misurate tutte con l'apparato di Bessel, che utilizza la nozione del termometro metallico, e che può consentire, in ogni caso, l'errore relativo di $\frac{1}{500000}$; gli angoli con teodoliti nell'approssimazione unitaria di 2". Con 36 iterazioni si può quindi prevedere l'errore medio angolare di

0",25 e fissare poi il valore delle grandezze statiche di primo ordine, ossia:

$$\frac{A}{R} \leq 0,25 \text{ arc } 1'' \leq 0,03$$

Le grandezze piccole dinamiche rappresentano invece gli infinitesimi; ma in tutti i problemi di analisi esse possono essere egualmente eliminate con un concetto di graduale approssimazione.

Tutte le reti geodetiche sono state ridotte all'ellissoide fra le linee di curvatura isoterminiche — cioè le linee geografiche fondamentali, meridiani e paralleli — col mezzo di opportuni sviluppi in serie, introdotti da Legendre e Bessel, ovvero col metodo di Andraé e di Helmert.

In questo modo precisamente sono raccolti tutti gli elementi per la definizione della superficie statica locale. Quando poi sarà realizzato il collegamento fra la rete sarda e quella della Liguria, allora l'Istituto avrà modo di calcolare l'arco di meridiano fra Cramosino e l'Isola del Toro e l'arco di parallelo fra Monte Artica, in Corsica, e Lissa, e potrà allora essere definito l'ellissoide del versante tirrenico.

Con l'arco di meridiano dell'Europa centrale, da Termoli a Malta, e l'arco di parallelo da Pachino a Sidi Bu Said risulterà invece determinato l'ellissoide locale del versante opposto.

*
**

Attualmente la maggiore attività dell'Istituto interviene nelle grandi livellazioni che l'Amministrazione dei Lavori pubblici va compiendo in tutte le regioni d'Italia allo scopo di attribuire alle imprese industriali l'ampio sviluppo, ormai imposto, alla trasmissione della forza a distanza.

Questi lavori sono collegati alla rete altimetrica fondamentale riferita alla superficie dinamica della Terra, la quale raccoglie in sé i livelli medi di tutti i mari. Ed ecco perchè, già dal 1896, l'Istituto geografico poté assumere l'incarico di fissare le altitudini origine in vicinanza di opportuni osservatori mareali, a Genova, Venezia, Livorno, Porto Corsini, Ancona, Civitavec-

chia, Napoli, Taranto, Messina, Catania, Palermo e Mazara del Vallo.

Quando si trattò di definire l'altitudine d'ogni caposaldo, furono adottate le due teorie: ortometrica e dinamica per non trascurare il difetto di parallelismo delle superficie equipotenziali della gravità.

Ma, mentre la prima di queste teorie si appoggia alla nozione di superficie di uguale altezza, l'altra considera a fondo la variazione che subisce il potenziale della gravità fra due superficie di livello ellissoidiche accessibili alle nostre misure.

Per tutti i vertici della rete le quote altimetriche sono anche connesse alla simultaneità delle altitudini origini, ossia ad una unica superficie di livello stabile nella sua mobilità, vale a dire alla forma di equilibrio generale del geoide.

Così si realizza il vantaggio di avere, per ogni caposaldo, la altitudine a valore costante, prescindendo da ogni limitazione a priori.

La rete altimetrica che si va ora organizzando intorno ai più grandi fiumi d'Italia, darà anche il motivo per formare le carte ietografiche da cui emergono sicuri e reali vantaggi specialmente in ordine alla previsione del tempo: ma principalmente essa sarà utilizzata nei problemi industriali ormai riferiti alle inesauribili miniere di carbone bianco.

..

Tutto il materiale raccolto nelle accennate operazioni altimetriche riuscirà ancora più utile nei varî aspetti con cui si cerca ora di assegnare una logica soluzione al problema geodetico — in plaghe staccate della Terra — seguendo il metodo di Villarceau o adottando le conclusioni che ne derivano dal teorema di Stokes.

In questo caso gli scostamenti lineari delle due superficie fondamentali — il geoide e l'ellissoide terrestre — sono riferiti alle anomalie della gravità e viceversa. L'Istituto perciò dovrà eseguire, lungo le linee livellate, le misure relative della gravità per assumere i placiti della moderna teoria isostatica e verificare fino a che punto è valevole la correzione di Bouguer o il parere

di Faye per la riduzione al mare del vettore accelerazione gravimetrica.

Gli opportuni confronti condurranno infine all'insieme di quelle linee isoanomale che nella mente del Tenente Costanzi — già allievo della Scuola di Geodesia dell'Istituto geografico — devono intervenire per rintracciare, in più logica ipotesi, la conformazione orografica dei continenti.

Nel novero di questi lavori, non mancheranno naturalmente gli adeguati riscontri sulla variabilità della curvatura di una determinata traiettoria luminosa nel periodo semidiurno, è misurare di latitudine e di azimut, allo scopo di concretare, nel relativo campo della gravità, le due componenti dell'attrazione.

Allora precisamente il problema passa dal semplice campo altimetrico a quello più vasto delle ondulazioni geoidiche, e si connette al dinamismo celeste. L'esame delle deviazioni porta alla conclusione, che un difetto di densità continentale fa diminuire la gravità superficiale, ed un eccesso di densità, al disotto degli oceani, corregge l'effetto della tenue densità dell'acqua ed annulla la gravità in pieno oceano.

Così dunque la direzione della verticale e le anomalie della gravità sono effetti della medesima causa.

*
**

Relativamente alla cartografia delle Colonie, nell'Eritrea, in Somalia e nella Libia, l'Istituto aveva proceduto con l'indirizzo classico; ma ormai, dinanzi a tante difficoltà di ordine materiale e più ancora per la limitata precisione delle carte medesime e l'aspetto uniformemente pianeggiante delle superficie topografiche, potrà decidersi ad accettare la proposta, avanzata da oltre un decennio, di sostenere cioè le levate topografiche con una triangolazione astronomica.

E poichè occorre, in tal caso, la determinazione delle coordinate geografiche e dell'azimut col riferimento al sistema delle stelle fisse, così l'Istituto ha già fatto costruire tre universali goniometrici ed un apparato parallattico per la eventuale misura di un piccolo allineamento.

Il metodo adottato per la misura della latitudine è analogo a quello di Sterneek e di Talcott, perchè, pur valendosi di stelle

in culminazione, non mette alcun vincolo fra le diverse coppie; solo che per ognuna di esse l'istrumento dovrà assumere posizioni coniugate rispetto al meridiano.

La longitudine risulterà poi dagli azimut reciproci di successivi allineamenti contigui, ovvero utilizzando i segnali radio-telegrafici trasmessi da Bordeaux e Lione.

Bisogna notare che in alcuni casi potrà essere osservato anche il Sole, sia per la determinazione della latitudine e dell'azimut, sia per conoscere lo stato dell'orologio.

L'apparato longimetro sarà invece utilizzato non in modo sistematico; ma al solo scopo di verifica, dove si accentuano le perturbazioni topografiche o sia previsto un rapido cambiamento della densità superficiale terrestre; quindi soltanto per assumere opportune ragioni sulla variabilità del campo gravimetrico.

Ma se l'accennato lavoro dovrà procedere con successivi orientamenti dell'ellissoide terrestre rispetto al geode — col metodo a catena e l'intervallo massimo di venti chilometri — allora si potrà prescindere anche da questa verifica scalare.

Tali procedimenti che risalgono ad Ipparco — l'ideatore della Carta del mondo — sono già messi in uso metodico dai tedeschi, dai francesi e dagli inglesi per la costruzione della Carta delle loro Colonie, e furono anche accolte, con vero entusiasmo, dall'Istituto geografico di Buenos-Aires, nel 1911, per la costruzione della Carta generale dell'Argentina a scala piccolissima.

Naturalmente — come nelle epoche più critiche della scienza — anche oggi forse, riguardo alla triangolazione astronomica, i puristi ed i tradizionalisti non manifesteranno la loro piena adesione. Bisogna aver molto lavorato nelle regioni desertiche della Terra — sotto il tormento del Sole, circondati da ogni penuria — per comprendere che l'allontanarsi così, cioè non inconsapevolmente dai metodi classici, non significa votarsi al pragmatismo ed uccidere la scienza. Proprio no, perchè la scienza stessa, oggi specialmente, è molto vicina a quel gusto della utilità logica che non offende e non deroga dalle buone norme; ma concilia tutte le tendenze del mondo nel campo più produttivo delle indagini sperimentali.

La via prescelta dall'Istituto, e seguita in ogni tempo, non è mai fosca: dal più imponente problema connesso alle forme di equilibrio nello spazio, ai metodi sperimentali che riducono la geodesia al caso originario di una grande agrimensura, la sua missione non ebbe mai contrasti o visioni irrazionali e continuerà a progredire nello spazio senza curvatura, dove ogni processo va diritto come le stelle.

I suoi modesti lavoratori poi — civili e militari — lieti soltanto della loro missione, nella grande nobiltà che dà vita alle forme scritte, non chiedono nulla e vivono nella ricchezza di un silenzio immacolato.

Per la determinazione dell'ellissoide terrestre

Archi Terrestri	Amplitude corrispondente	Osservazioni
MERIDIANO —		
Cramosino - Isola del Toro . .	7° 30' 11"	
Roma - Gölbner Joch	4 54 2	
Termoli - Pachino	5 17 21	
PARALLELO —		
Monte Tabor - Aquileia	6° 48 28"	già calcolata.
Monte Artica - Lissa	7 8 38	
Pachino - Sidi Bu Said , . . .	4 44 33	dopo la misura di una base geodetica a Marsala.