POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

SULLA BASE GEODETICA TORINO – RIVOLI e sul “GRADO TAURINENSE” (1760- 1764)

Original
SULLA BASE GEODETICA TORINO – RIVOLI e sul “GRADO TAURINENSE” (1760- 1764) / Sena, Carmelo. - ELETTRONICO. - (In corso di stampa).

Availability:
This version is available at: 11583/2507948 since:

Publisher:

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

25 April 2024

SULLA BASE GEODETICA TORINO – RIVOLI

e sul "GRADO TAURINENSE" (1760- 1764)

Carmelo Sena

carmelosena@virgilio.it

Premessa.

Questo breve studio nasce su sollecitazione fatta da un Collega che mi chiedeva notizie sulla *base geodetica*[1] in occasione di alcuni lavori di risistemazione (2011-2012) di Piazza Statuto a Torino, in cui si trova un estremo della base. Ho colto con interesse l'invito che, oltre gli aspetti storici, riguarda un tema sempre caro ai Topografi (l'effettuazione di una base geodetica) e perché su di essa sono state fatte parecchie critiche, forse non tutte giustificate: il valore ed il significato tecnico della base non ha avuto così seguiti pratici, con preferenza ad esempio per un'altra base vicina (quella di Somma Lombarda, misurata nel 1788), da parte dei Cartografi che hanno avuto il compito, nel tempo, di costruire le cartografie regionali e nazionali. Già critiche pesanti furono fatte da alcuni geodeti francesi ed in particolare, tra gli altri, da J. B. Delambre nei primi decenni del 1800. Ho quindi voluto esaminare in particolare queste critiche (fatte anche sull'altra importante operazione correlata del calcolo del "grado taurinense") e cercare di capirne le ragioni (e sino a che punto si potevano condividere), in una visione attuale. Ho cercato di dare spero una dettagliata risposta alla richiesta che mi era stata fatta, con la speranza così di avere fornito sul tema alcune considerazioni generali, credo utili, per inquadrare il problema scientifico del duplice lavoro anche in una visione storica.

* * *

[1] Distanza tra due punti significativi del territorio,misurata con elevata precisione, essendo fattore dimensionale per altre operazioni di carattere geodetico.

I Francesi hanno avuto, assieme ad Inglesi e Tedeschi, una più profonda attenzione nel tempo ai problemi della Geodesia ed Astronomia: tutto il discorso sulla forma della Terra e sulle sue dimensioni, sulle osservazioni astronomiche, sulla misura di archi e sulla direzione e misura di meridiani (in particolare ad esempio quello di Parigi), l'istituzione di reti di triangolazioni impegnative, ecc. hanno in quegli studiosi trovato terreno fertile ed hanno formato una notevole competenza ed interessi, sia tecnici che scientifici, diffusi già sin dal secolo XVI .

Si fanno le misure dell'arco di Fernel (1528), degli archi Alkmaar-Bergen (1617) e di Norwood (1630), del meridiano di Francia (1669-1790), dell'arco di Lapponia (1736-1737/ 1801-1803) e del Perù (1735-1739), il collegamento tra l'Osservatorio di Parigi e quello di Greenwich (1787-1820), misure in India (1810) , ecc. Segue la fondamentale ricerca per definire il nuovo sistema metrico con una nuova unità di misura di lunghezza tratta dalla natura (il *metro* viene definito inizialmente dalla Accademia delle Scienze di Parigi, pari alla decimilionesima parte del meridiano di Parigi e cioè di quell'arco di meridiano terrestre che collega il Polo Nord con l'Equatore, passando vicinissimo a Parigi): ciò porterà alla Convenzione del Metro del 1875.

Anche *Jean Baptiste Joseph Delambre* (1749-1822), autore del testo principale da cui ho ricavato alcune delle notizie sul tema della base di Torino [2] (testo che tratta proprio il problema delle varie misure d'arco sino ad allora effettuate) esprime questa sensazione di autorevolezza e competenza nel suo trattato, scritto verso la fine della sua vita (1822) . La critica espressa nei riguardi dei lavori fatti dal padre G.B. Beccaria sia nella misura della *base di Rivoli* che nella misura del così detto "*grado taurinense*", piuttosto pesante, risente di questa impostazione generale ma anche del fatto che in realtà Beccaria che non apparteneva all'ambito dei Geodeti europei,era considerato uno sconosciuto chiamato a fare un'operazione di grande impegno (Delambre invece era ben titolato, avendo anche personalmente accumulato una notevole esperienza facendo le misure, assieme a Pierre Méchain, del grado di meridiano di Parigi nel 1792; era autore della "Base du Systém mètrique décimal" Paris , in 3 voll. 1806-1807-1810 ed ancora autore di : "L'Histoire de l'Astronomie

[2] " Grandeur et figure de la Terre" pubblicato nel 1912 da Gauthier- Villars, Imprimeur-Libraire de l'Osservatoire de Paris e du Bureau de Longitudes, Quai des Grands Augustins,55 Paris,

ancienne" Paris 1817, "L' Histoire de l'Astronomie au Moyen –Age" Paris 1819, " L'Histoire de l'Astronomie moderne" Paris 1821 e postuma " L'Histoire de l'Astronomie au XVIII siecle" Paris 1827).

In precedenza in Italia era stato misurato il "grado di Roma" da parte dei padri J.C. Maire e R.J. Boscovich (1751) appoggiandosi per le strumentazioni necessarie a quelle francesi ; e si disponeva così quanto necessario per la successiva effettuazione, su autorizzazione di Papa Benedetto XIV, della carta geografica degli Stati del Papa.

Si misurava il "grado di Vienna" da parte di Liesganig (di cui si parla in una pubblicazione del 1770) che aveva, quasi in contemporanea al "grado di Torino", misurato il "grado di Ungheria". E poi ancora si misura il "grado di Pennsylvania", da parte di C. Mason e J. Dixon (1764-1768).

Su principale sollecitazione di Ruggero J. Boscovich, padre gesuita che aveva come sopra detto misurato un arco di meridiano tra Roma e Rimini nel 1751 (lavoro pubblicato nel 1755), il *re di Sardegna Carlo Emanuele III* incaricò [3] nel **1759** *Giovanni Battista Beccaria* (Mondovì 1716-Torino 1781) di misurare "il grado di Torino" per affrontare principalmente il problema di vedere qual'era l'effetto delle masse montuose in gravimetria (e cioè come la gravità varia in particolare la sua direzione per effetto dell'attrazione esercitata dalle montagne). Per rispondere a questa domanda si era infatti proposto, a livello di iniziativa scientifica di tipo "europeo", di fare effettuare "misure del grado" in paesi di montagna ed in paesi pianeggianti: furono così progettate due misure di gradi, uno in un paese pianeggiante come l' Ungheria (affidato a Liesgang), e l'altro appunto in un paese di montagne, come il Piemonte. C'erano ovviamente altre importanti ricadute derivanti da questo tipo di operazioni: ad esempio, vedere qual' era il valore del grado alle diverse latitudini, ancora per lo studio della forma della Terra (per Terra non sferica i vari gradi di meridiano dovrebbero sottendere lunghezze diverse sulla superficie di riferimento).

[3] Perché viene scelto padre Beccaria? Forse perché trattandosi di un problema "scientifico", non si ritiene di interessare il Corpo (militare) della Topografia Reale, istituito già nel 1655 e poi diventato l'Ufficio Topografico del Reggio Corpo dello Stato Maggiore(e poi, dopo l'Unità d'Italia, l'Ufficio Tecnico del Corpo di Stato Maggiore dell'Esercito Italiano e poi ancora l'Istituto Topografico Militare -Firenze 1872); del resto in Torino la scelta doveva essere allora difficile e limitata (ad esempio, padre Giulio Accetta, matematico ed astronomo di valore, professore all'Università sino al 1750, si era trasferito all'Accademia delle Scienze di Parigi).

Queste operazioni richiedevano l'effettuazione di *reti di triangolazioni*[4] che diventano poi lo scheletro, la struttura per le operazioni necessarie per lavori di cartografia del territorio: da qui l'importanza e la necessità di avere misure di precisioni adeguate, nei vari casi.

Sull' argomento della misura della base Torino -Rivoli, necessaria per fare la misura del "grado di Torino", affronterò però solamente alcuni aspetti generali senza approfondirne altri che avrebbero richiesto più lunghi ed impegnativi esami di materiali diversi .[5]

G.B. Beccaria, Padre scolopo, era Professore di Fisica sperimentale all'Università di Torino . Probabilmente, come da molti affermato, non aveva mai fatto osservazioni astronomiche o geodetiche (era un noto studioso di fenomeni fisici e si interessava di elettricità tanto da essere in seguito definito "il padre dell'elettricismo in Italia"). Collaborò per questo prestigioso incarico con Domenico Canonica, altro professore di Fisica ed abate, che forse non aveva maggiore esperienza in Geodesia ma di cui si parla come di *uomo pieno di ardore per le misure e di scienza per i calcoli.* La costruzione e la cura degli strumenti necessari allo scopo furono affidate al sig. Francalancia *meccanico*, come ancora scrive Delambre (pagg.189-192 del testo citato), *noto solamente per la partecipazione a questo lavoro.*

La zona scelta per queste operazioni doveva quindi essere vicina alle montagne: comprende infatti come estremi Mondovì, prossima alle Alpi Marittime e Andrate, vicina alle Alpi Graie.

Lo schema delle operazioni richiedeva anzitutto la misura di una base adeguata (infatti era necessaria la misura di almeno un lato per dare consistenza geometrica a una rete di triangolazione).

"*Le loro prime cure furono per la scelta della base, scelta non facile in un paese montuoso e pieno di fiumi e torrenti. Fortunatamente trovarono la grande strada di*

[4] Sono reti geodetiche formate da un insieme opportuno di triangoli, nel quale si misurano tutti gli angoli interni dei triangoli e di solito la lunghezza di un lato o di una base.

[5] Cosa si sarebbe dovuto fare: 1) controllo dei documenti ancora esistenti 2)vedere le monografie dei punti scelti 3)effettuare dei sopraluoghi nelle varie stazioni 4) vedere le misure di campagna registrate e come erano stati condotti i vari calcoli.

Rivoli [6] (stradone di Francia o via del Re) che si svolge in linea diritta, quasi nel senso di un parallelo, tra una piazza di Torino (allora a quota indicata di m 245,65) ed una piazza di Rivoli (quota m 354,515), con modesti dislivelli intermedi ed una lunghezza opportuna allo scopo, "*così bene sistemata che è stato sufficiente l'uso di due triangoli principali per la misura del grado. La Condamine (geodeta* francese) *procura loro una tesa o meglio un regolo di 6 pi 0po 11li*[7] *(*corrisponde a circa 1,94 m) *sul quale sei piccoli punti in linea diritta sono piazzati a 6 pi esatti dall'altra estremità : questo regolo era stato verificato dai* geodeti *La Caille e La Condamine il 7 marzo (1760), con termometro a 13 ° Reaumur (* circa 16°C). *Era questo regolo del tipo di quello dato a Liesganig, completo di 2 termometri controllati (cioè* di precisione) *e di un compasso micrometrico (tipo* nonio?*) che dava il centesimo di linea. Ciascuna pertica usata era di 3T e protetta da lame di cuoio. Gli appoggi erano su assi verticali portati da treppiedi e muniti di un pezzo mobile che si poteva elevare o abbassare secondo le circostanze. Se il contatto era impossibile, si utilizzava un filo a piombo, per il collegamento.*

Alle due estremità della base si erano piazzati in terra due cubi di marmo di 2 pi di lato (equivalente a 0,65 m). *Sulla faccia superiore era fissata una lastra di cuoio con disegnato un cerchio il cui centro era il punto estremo della base: un cannocchiale serviva di notte, per controllo, a collimare una cupola lontana"*. Tra i due estremi, certamente era stato necessario porre punti intermedi di collimazione, anche opportunamente materializzati, per avere un sicuro allineamento. *La durata dei lavori per la misura della base fu di 19 giorni* (con una media quindi di meno di 1 km al giorno di distanza misurata) *; la lunghezza ottenuta era di 6051,01 T (* corrispondente a 11793,60 *m*) . [8]

[6] Oggi Corso Francia, già definitivamente sistemato nel 1711 per volere del Duca Vittorio Amedeo II: è la direttrice che congiunge il Castello di Rivoli idealmente alla Basilica di Superga (inizio edificazione nel 1707, inaugurata nel 1731).E' uno dei corsi rettilinei tra i più lunghi d' Europa.

[7] t = tese pi = piedi po = pollice li = linee

[8] Per tesa corrispondente a 1,949037 m

Una seconda misura ripetuta si accorda con la prima per 0 T, 21 circa (in corsivo sono state sopra riportate, con qualche aggiunta esplicativa, le considerazioni dal libro di Delambre). La misura della base fu ancora corretta (allungata) in seguito.

Si fa notare che un errore sulla misura della base inficia i calcoli successivi dei lati sulla rete di triangolazione (mantenendone però la configurazione).

E' necessario ricordare che la **gravità** è la risultante della forza centrifuga (dovuta alla rotazione della Terra attorno al suo asse) e della forza di attrazione newtoniana (detta anche "gravitazione"). La componente dovuta alla forza centrifuga è piccola (massima all'equatore, dove vale circa lo 0,35% dell'altra componente e nulla ai poli). In definitiva la gravità varia nei vari punti della Terra e varia anche con la quota dei punti[9].

Ci sono oggi strumenti (i gravimetri) che ne permettono la misura anche con notevole precisione (si arriva al centesimo o millesimo di "gal")[10].

I primi gravimetri nascono però all'inizio del 1900, diventando sempre più pratici e precisi : si distinguono in astatici e non astatici, ma non è il caso di entrare qui nel dettaglio della loro composizione e del loro funzionamento, ricordando che però richiedono nell'uso attenzioni alle temperature ed alle azioni meccaniche agenti nella zona in cui si opera.

I valori della gravità al livello del mare sono compresi tra 978 (all'equatore) e 983,3 [gal] (ai poli).

Esistono "stazioni gravimetriche" dove il valore della gravità viene misurato in modo assoluto (misure difficili e che richiedono opportune attrezzature). Il valore della gravità risente delle irregolarità delle masse sotterranee, per valori variabili della densità terrestre, per i rilievi e gli avvallamenti del terreno circostante alla stazione, per un raggio di circa 40 km .

Quanti si interessavano a questi problemi nel 1700 (e poi ancora successivamente) erano quindi giustificati dal porsi la questione di come la gravità agisca sui vari

[9] Si ricorda che alcuni Autori Francesi ed Inglesi utilizzano terminologie diverse : quelli di scuola francese intendono per "gravità" la risultante delle sole forze newtoniane, mentre chiamano "pesanteur" la risultante delle forze newtoniane e centrifughe. Alcuni autori inglesi/ americani indicano invece con "gravitation" la risultante delle sole forze newtoniane e con "gravity" quella delle forze newtoniane e centrifughe.

[10] Unità di misura della gravità, come accelerazione in cm x sec $^{-2}$ (sistema CGS).

punti della Terra e come influisca sulle misure che in qualche modo sono legate al concetto di verticale (a motivo della messa in stazione della strumentazione di misura) e cioè in particolare allora sulle misure angolari.

Si comprende quindi l'intuizione ed il bisogno che si sentiva di fare confronti tra operazioni geodetiche-topografiche in terreni pianeggianti ed in terreni montuosi per trovare eventuali risposte al quesito, collegandole con un'operazione allora in voga e cioè con la "misura del grado". Fatta la misura ad una stessa latitudine ma in punti diversi della superficie si pensava di vedere, per risultati difformi dei valori del "grado"[11], l'influenza della variazione di gravità (in teoria la misura del grado, esprimendo la lunghezza dell'arco di meridiano sulla superficie, doveva fornire risultati identici per punti situati ad uguale latitudine). Per latitudini diverse, poteva servire nel definire anche la forma della Terra (per Terra invece perfettamente sferica , il grado avrebbe dovuto essere sempre, per punti di uguale latitudine, di uguale lunghezza). Il problema si scontra poi con le pratiche attuazioni delle misure fatte, che richiedevano una serie di correzioni legate a vari fattori, ma essenzialmente per le strumentazioni usate e per la loro precisione: si trattava infatti di definire scostamenti, per le deviazioni, certamente molto piccoli.

Per tornare al concetto di gravità, si ricorda che questo è stato un concetto fisico fondamentale ed importante poi per la definizione della **superficie di riferimento** della Terra [12](è stata scelta infatti com'è noto la superficie del **geoide** che è una superficie equipotenziale della gravità : infatti la gravità costituisce sulla Terra un campo di forze, che sono materializzate dalle verticali, di tipo conservativo. Se ne può calcolare il potenziale e determinare analiticamente l'espressione di una famiglia di superfici equipotenziali della gravità).

[11] Per grado di latitudine si intende l'angolo che si forma tra la direzione della normale alla superficie ed il piano equatoriale, per valore unitario(ad esempio un grado sessagesimale) all'origine del sistema. Occorre poi distinguere tra latitudine astronomica ed ellissoidica, a seconda della superficie di riferimento utilizzata..

[12] La **superficie fisica** della Terra è quella che noi calpestiamo e che vogliamo descrivere nei suoi elementi naturali ed antropici. Il **geoide, vera superficie di riferimento**, è in ogni suo punto normale alla direzione delle verticali: questa superficie è ideale, non si vede ma si può pensare che sia molto prossima alla superficie media dei mari, superficie pensata estesa alle terre emerse ed in ogni modo non sempre visibile. Il geoide è però una superficie non geometrica, ne conosciamo l'equazione (sviluppata in serie) ma il suo utilizzo non è semplice. Se gli sviluppi in serie della sua equazione vengono opportunamente tagliati (quindi si perde qualcosa) si giunge a trovare superfici più pratiche come gli **sferoidi** , gli **ellissoidi di rotazione** ed infine per certi scopi la **sfera.** Queste sono superfici geometriche, in particolare gli ellissoidi, conosciuti e su cui si riesce a lavorare più facilmente. Ma anche queste superfici non si vedono, non sappiamo dove passano: gli ellissoidi si scelgono perciò come superfici che osculano il geoide in una sua zona prescelta (ecco perché esistono diversi ellissoidi a seconda delle zone interessate).

Vediamo un possibile schema teorico per il **calcolo di un arco di meridiano**:

1. trovare 2 punti situati su uno stesso meridiano (estremi dell' arco di meridiano) ;
2. fissare e misurare una base opportuna (*1° operazione*) e scegliere i necessari punti nell'intorno dell'area per effettuare una rete di triangolazione che leghi i due punti estremi dell'arco di meridiano, a partire dalla base;
3. determinare *(2° operazione*) per questi punti latitudini e longitudini (ad esempio, tramite la misura degli angoli interni dei triangoli ed applicazione del problema del trasporto di coordinate);
4. determinarne anche le coordinate geodetiche (polari o rettangolari) e calcolare la differenza di latitudine e la distanza tra i due punti (arco di meridiano);
5. calcolare quindi (*3°operazione*) la distanza, per un arco di *1 grado* di latitudine.

Conosciamo i nomi dei punti scelti dal Beccaria (**Andrate**, ai piedi del Monviso e **Mondovì**, a ridosso delle Alpi Marittime) come estremi dell'arco di meridiano in esame ed i nomi dei punti scelti per la triangolazione : oltre **Torino** (a quota 245 m) e **Rivoli** (354 m) estremi della base , furono scelti **Superga** (620 m), **Balangero** (440 m) , **Mazzè** (323 m) e poi **Saluzzo** (395m) e **Sanfrè** (272 m) (quindi in parte punti verso le Alpi Graie ed in parte verso le Alpi Marittime). La triangolazione è quindi composta da 4+4 possibili triangoli (e non da due, come detto da Delambre). Tra parentesi, sono state sopra indicate le probabili quote in metri delle zone delle stazioni (FIG. 1, estratta da cartografia I.G.M.I.).

Ma noi non conosciamo la localizzazione esatta di questi punti-vertici scelti da Beccaria. Si ricorda che questi punti dovrebbero essere stati visibili tra loro e dovrebbero essere stati a loro volta sede di stazione strumentale (la FIG.2 riporta l'insieme delle immagini Google delle varie zone interessate, con indicazione di un pallino rosso nella posizione di probabile stazione topografica).

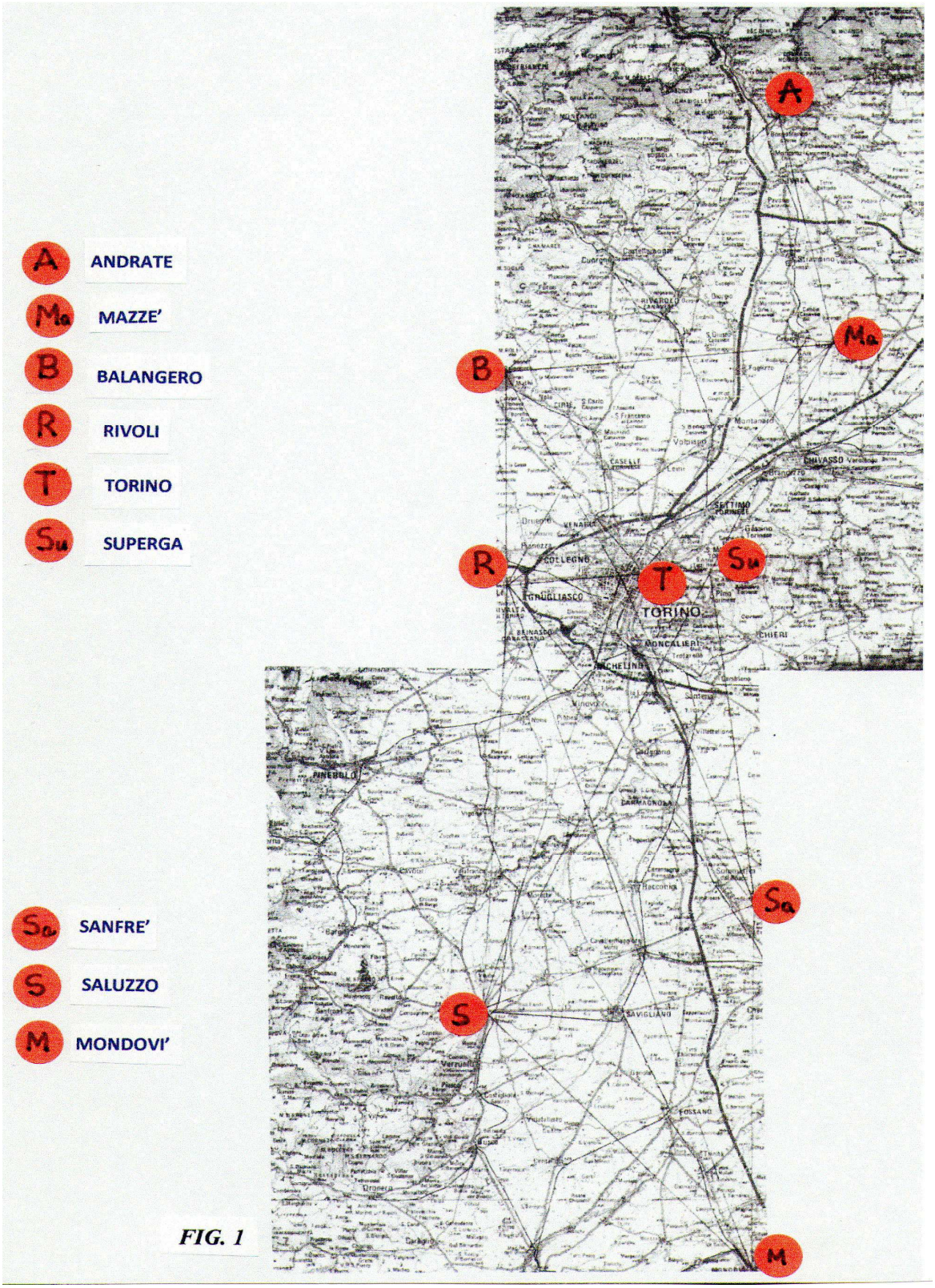

A ANDRATE
Ma MAZZE'
B BALANGERO
R RIVOLI
T TORINO
Su SUPERGA
Sa SANFRE'
S SALUZZO
M MONDOVI'
TORINO
SAVIGLIANO
FOSSANO

FIG. 1

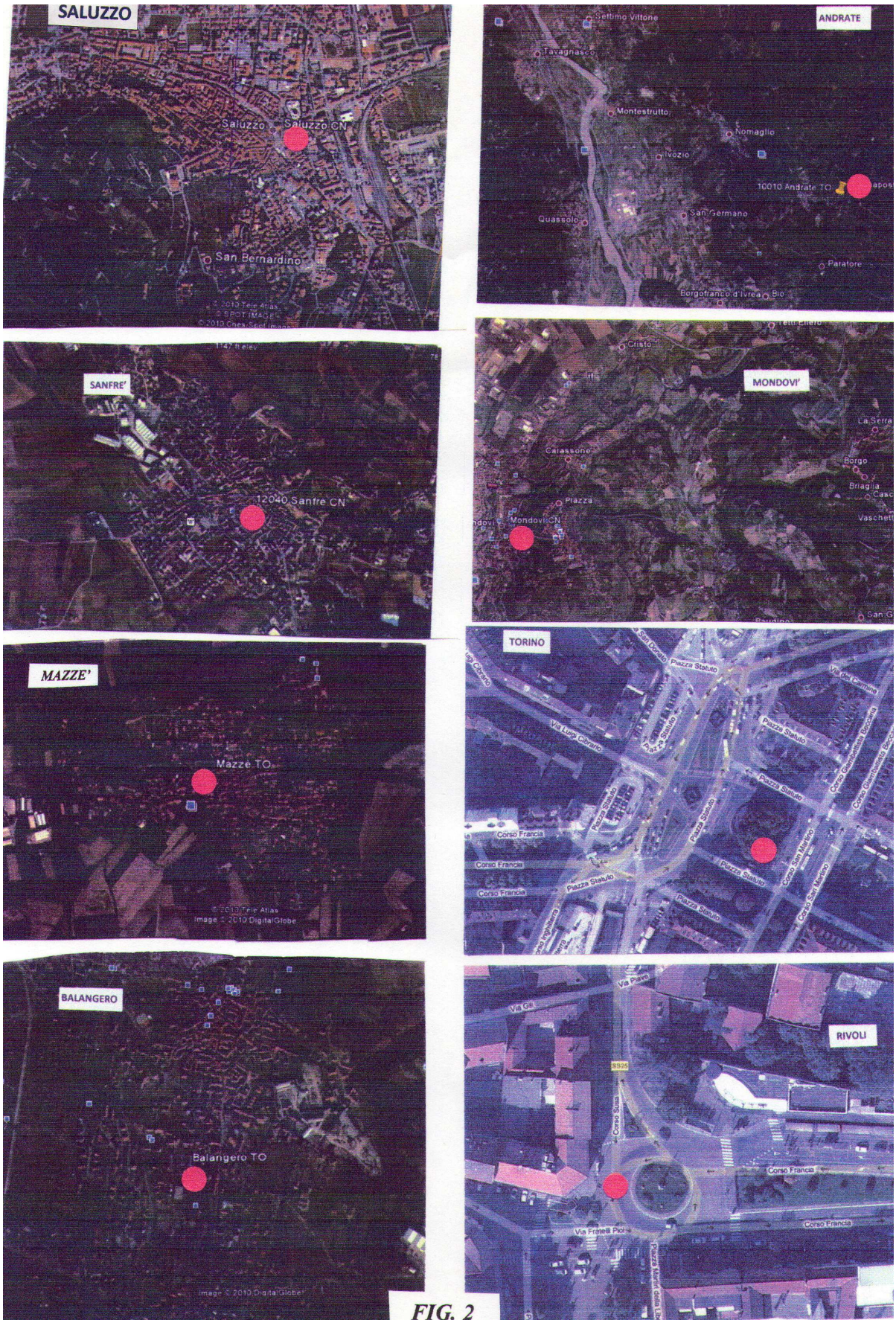

SALUZZO
Saluzzo
Saluzzo CN
San Bernardino
ANDRATE
Settimo Vittone
Tavagnasco
Montestrutto
Nomaglio
Ivozio
10010 Andrate TO
Quassolo
San Germano
Paratore
Borgofranco d'Ivrea
Bio
SANFRE'
12040 Sanfre CN
MONDOVI'
Cristo
Carassone
Piazza
Mondovi CN
La Serra
Borgo
Briaglia
MAZZE'
Mazzè TO
TORINO
Piazza Statuto
Via Luigi Cibrario
Corso Francia
Corso San Martino
BALANGERO
Balangero TO
RIVOLI
Via Piave
Via Gli
Corso Francia
Via Fratelli Piol

FIG. 2

Si saranno certamente usati dei segnali per le collimazioni (alcuni punti distano anche oltre 50 km) ed in ogni triangolo, appartenente alla rete di triangolazione, dovrebbero essere stati quindi misurati tutti gli angoli interni (possibilità di fare stazioni ex-centro, ecc.) .

Ma anzitutto occorre chiedersi se Andrate e Mondovì sono effettivamente su uno stesso meridiano e le possibili ragioni della loro scelta: Mondovì, dove era nato Beccaria (ed a lui quindi ben nota) poteva essere una scelta quasi scontata; la scelta di Andrate è invece meno ovvia e deve avere richiesto una certa ricerca sul territorio non facile.

Si ricorda che per qualsiasi punto della superficie terrestre si può fare passare un meridiano (linea teorica), che esistono meridiani noti o di riferimento (ad es. Greenwich, Roma- Monte Mario, ecc.) e meridiani invece tracciati ad intervalli costanti, ad esempio per le quadrettature cartografiche[13].

Abbiamo ricavato, in via approssimata, le coordinate geografiche di punti centrali delle due località ed i valori sono i seguenti:

Andrate $\Phi = 45°31'42''$ $\lambda = 7°\ 52'\ 53''$

Mondovì $\Phi = 44°23'\ 22''$ $\lambda = 7°\ 49'\ 14''$

Perché i punti stiano nello stesso meridiano, il valore di longitudine deve essere lo stesso (con i valori calcolati c'è invece una differenza $\Delta\lambda = 3'\ 39''$).

I punti da noi indicati cioè non stanno proprio nello stesso meridiano (si ricorda che 1' di latitudine corrisponde a circa 1850 m sulla superficie e la differenza in longitudine riscontrata corrisponde a circa 6 km). Ma i nostri punti sono quelli scelti da Beccaria? Il punto "Andrate", in questa nostra ipotesi, andrebbe spostato verso sinistra ed il punto "Mondovì" verso destra (si ritiene sia stato la torre civica del Belvedere , alta circa 29 m , sulla sommità della collina).

[13] Nella "Carta geografica dello Stato del Piemonte" di T. Salmon, edita a Venezia nel 1751, nel volume dell'Albrizzi, si vede che Mondovì ed Andrate si trovano prossimi al meridiano sito a 8° longitudine Est da Greenwich.

L'ampiezza dell'arco totale tra Andrate e Mondovì è stata calcolata in $\Delta\varphi$ = 1° 07'44".71 e dà luogo ad una distanza di 64887,01 tese, ridotta al livello del mare. Questo arco viene diviso da Beccaria in due parti:

- Andrate-Torino 0° 27' 04",29 corrispondente a 26153,63 tese
- Torino- Mondovì 0° 40' 40",42 corrispondente a 38733,38 tese.

(ma Torino è scostata rispetto all'arco di meridiano usato).

In conclusione, il **grado** trovato da Beccaria risulterebbe di 57.468,59 tese che , espresso nel sistema metrico, è pari a 112,008 km : secondo i Francesi (ad esempio Lalande), alla latitudine di circa 45° a cui si era lavorato (precisamente 44°25') , doveva invece risultare ben inferiore (57.024 tese e cioè 111,141 km). In effetti, questo è il valore del "grado", che si può anche ottenere oggi teoricamente utilizzando la nota espressione che fornisce il valore di un arco elementare di meridiano $\mathbf{ds = \rho \, . \, d\varphi}$ essendo ρ= raggio minimo di curvatura, $d\varphi$ =variazione di latitudine tra gli estremi di un arco di piccole dimensioni. Si ottiene infatti ds = 6367578,71 x 0,01745392 = 111,139 km (avendo posto nel calcolo di $\boldsymbol{\rho}$ come semiasse a =6378380 m per l'ellissoide internazionale-1924, ad esempio e l'angolo di 1° espresso in radianti). Usando il semiasse dell'ellissoide di Bessel-1841 si ottiene un valore di **ds** diverso.

Dalle misure fatte, dai calcoli e dai raffronti, Beccaria aveva cosi "trovato" con calcoli che non potevano essere rigorosi, una "particolare deviazione"[14] della verticale di 27" nella zona verso le Alpi Graie e di 5" dalla parte delle Alpi Marittime, nella considerazione che deviazioni dell'ordine di 25" producano variazioni di circa 400 tese sulle distanze interessate. Il problema quindi viene risolto in modo indiretto e cioè dalla misura di angoli (interni dei triangoli, affetti da deviazione perché vicini alle masse montagnose) ricavava quale ne era l'effetto sulle distanze calcolate dalla triangolazione (allungamento). I valori sopra indicati, che sono la risposta al quesito fondamentale posto, sono quindi derivati da risultati sperimentali variabili.

[14] Si intende in effetti in Geodesia per "deviazione della verticale" l'angolo che il vettore "verticale" in un punto della superficie fisica forma con il vettore "normale" alla superficie di riferimento (ad esempio ellissoide) in quel punto.

I lavori iniziati nel 1760 nel loro complesso terminarono nel 1764 e la loro pubblicazione venne però fatta nel 1774

Giudizi negativi furono espressi su questo lavoro oltre che da parte, come già detto, di Delambre, anche da parte di Cassini di Thury (1714-1784, direttore dell'Osservatorio Astronomico di Parigi) e da F. S. De Zach (1754-1832, direttore dell'Osservatorio Astronomico di Seeberg in Germania e che venuto in Italia nel 1800 rifece le operazioni di misura della base).

Si deve però dire che a mio parere in ogni modo il giudizio espresso dal Delambre su Beccaria ed i suoi lavori di rilievo (fatti circa ben 50 anni prima !), è nel complesso immeritato: ma Delambre, quale giudice severo, com'è giusto essere, giudicava da geodeta i lavori fatti e ne vedeva tutti gli aspetti critici. Beccaria non era un geodeta e non avrà avuto grande esperienza, ma aveva avuto intanto la possibilità (e la capacità) di entrare nel merito della non facile ricerca, aveva anche creato (modesti) osservatori astronomici sia a Torino[15] che a Mondovì e s'era senz'altro molto impegnato in questi studi, a seguito dell'incarico ricevuto[16].

Risponde certamente e formalmente alla richiesta ricevuta dal re di Sardegna che riguardava la determinazione delle variazioni della gravità, per effetto delle montagne (questione riguardante più la Fisica); il lavoro geodetico era forse stato considerato questione preliminare, accessorio, al problema gravimetrico (e ciò potrebbe anche spiegare la scelta fatta da re Carlo Emanuele II). Sui valori trovati, in effetti non mi risulta e non ho rintracciato più chiare spiegazioni ed indicazioni, ma nei diversi controlli successivi fatti, ci sono varie conferma su tali valori. **Beccaria** del resto scrive di avere fatto le riduzioni al centro seguendo i principi di Bouguer, le riduzioni all'orizzonte secondo i principi di Godin; parla dell'eccesso sferico e di quello sferoidico, della riduzione all'angolo delle corde eseguito per

[15] Nel 1759, in una soffitta di via Po al centro di Torino, poi trasferito nel 1791 sui tetti del palazzo dell'Accademia delle Scienze e poi nel 1822 sul tetto di Palazzo Madama. Dal 1912 viene poi spostato sulla collina di Pino Torinese dove nasce l'Osservatorio Astronomico. Curarono nel tempo il patrimonio delle strumentazioni iniziate da Beccaria, Antonio Maria Vassallo-Eandi, Valperga di Caluso, Giovanni Plana, Giovanni Schiaparelli, Alessandro Dorna, Francesco Porro, Giovanni Boccardi, Giovanni Silva e Luigi Volta.

[16] Cesare Francesco Cassini chiese nel 1776 al Sovrano di potere eseguire una nuova misurazione. Una Commissione composta da F.D. Michelotti,professore di Matematica all'Università e da F.A. Revelli professore di Geometria, esprimeranno giudizio negativo sul progetto di revisione di Cassini. Nel 1855 i Proff. Raina e Porro misurarono la deviazione della verticale tra la specola di Milano e quella di Torino: trovarono una deviazione complessiva di 33 secondi, giustificata secondo il loro parere non soltanto dall'attrazione delle montagne ma dalla distribuzione molto variabile delle densità delle masse, nella pianura padana. Tra gli altri, nel 1921 furono rifatte dal topografo Carlini le misure che confermarono, con strumentazioni di maggiore precisione, una deviazione superiore a quella trovata da Beccaria.

mezzo di triangoli sferici; tratta di vari errori strumentali, delle differenti dilatazioni dei materiali usati, degli errori di collimazione e di parallelismo, ecc.: tutti argomenti spinosi, al centro allora dell'attenzione e degli studi dei geodeti in particolare operativi, ma anche dimostrazione dell'impegno che aveva posto in questa impresa, certamente con scambi di informazioni in particolare con gli studiosi francesi. Credo sia quindi giusto avere grande rispetto ed anche una certa gratitudine per i lavori geodetici di Beccaria.

Che tipi di strumenti erano allora disponibili per le **misure angolari**? Già dall'inizio del 1700 compaiono goniometri di notevole precisione e si può affermare che rappresentavano i primi "teodoliti moderni": sono però di grandi dimensioni, già con cannocchiali a vetri ottici, collegati ai cerchi, con microscopi a vite micrometrica, ecc. ma ancora di notevole peso (si ricorda infatti che si tratta di strumenti non di laboratorio ma di campagna, che dovevano essere cioè trasportabili anche su punti elevati ed a distanze notevoli). I progressi avvenuti nei secoli XIX e XX nella meccanica di precisione e nell'ottica ed ultimamente nell'elettronica, succedono gradualmente e si giunge così sino agli attuali teodoliti, compatti, di dimensioni e pesi sempre minori e con elevate prestazioni: il confronto con gli strumenti che poteva avere avuto a disposizione il padre Beccaria (con l'aiuto e la collaborazione del meccanico Francalancia) è evidentemente forte ed evidenzia le difficoltà operative che aveva dovuto certamente superare nelle misure angolari . Aveva infatti ottenuto, per la misura della base, strumentazioni dai geodeti francesi e per la misura degli angoli aveva utilizzato il settore di Boscovich sul quale aveva fatto apportare modifiche ingegnose da parte di Francalancia.

Anche per **le misure di distanze** si hanno oggi strumentazioni (i distanziometri ad onde elettromagnetiche) che non hanno confronti, anche per le misure di precisione (quali si richiedevano nella misura delle basi) con i precedenti apparati così detti "basimetri" (anche qui notevoli evoluzioni, dagli apparati di Bessel , di Jbăněz, di Jäderin, di Porro,..): con notevoli vantaggi anche a parità delle precisioni (dell'ordine del mm sul km), per i tempi brevissimi di misura, anche per distanze notevoli.

Ed infine per completare questo quadro sinottico, si ricordano gli attuali sistemi di **misure satellitari** (tipo G.P.S.) che permettono la localizzazione di punti della superficie fisica della Terra, in tempi reali e con precisioni relative di un milionesimo delle distanze misurate.

E' discorso certamente complesso in ogni caso, quello della misura del grado per gli scopi detti: infatti, come brevemente indicato, molte sono state le operazioni fatte purtroppo con condizioni, strumentazioni e metodologie diverse. Le ipotesi di Newton ed Huighens (schiacciamento della Terra ai poli e/o all'equatore) furono a lungo dibattute e solamente dopo ampie discussioni e ricerche si giunse all'idea che la forma della Terra non poteva essere quella regolare di un ellissoide di rotazione.

Definita però una superficie di riferimento (geoide e sue semplificazioni) si può poi pensare che i meridiani siano assimilabili a delle ellissi, che l'equatore sia un cerchio e che la figura matematica della Terra sia assimilabile ad uno sferoide o ancora meglio ad un ellissoide (difficoltà a definire praticamente i meridiani da misure di astri; difficoltà nelle misure delle basi, per campioni d'aste diverse e per l'insieme delle operazioni necessarie; misure di angoli con strumentazioni di precisioni anch'esse diverse; risoluzione di triangoli sferici; passaggio dai valori iniziali di "tesa", di diversa provenienza, ai valori nel sistema metrico, ecc.).

Le misure di basi fatte in Italia, ad esempio e per le ragioni dette, sono in numero molto limitato: si ricordano tra le iniziali la base eseguita nella brughiera di Gallarate (base di Somma Lombarda,1788, fatta dall'Osservatorio Astronomico di Brera) e di Roma (1751).

Per la formazione infine della rete geodetica italiana del 1° ordine, per la determinazione dei vertici trigonometrici necessari alla Cartografia ufficiale I.G.M.I. (fine ottocento, prime decadi del novecento), furono misurate solamente otto basi (Somma, Udine, Piombino, Foggia, Ozieri, Crati, Lecce e Catania) [17]

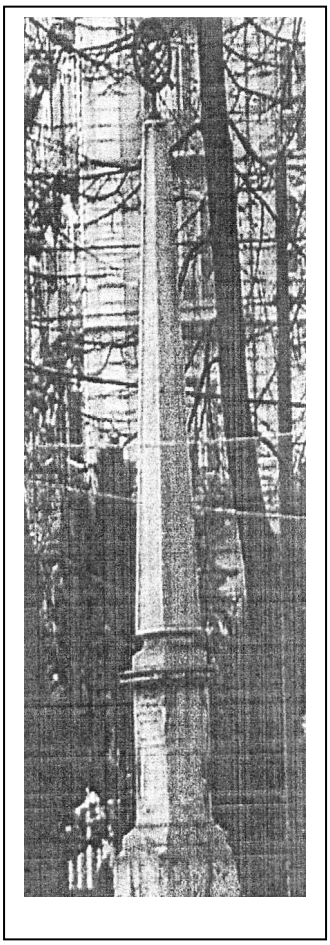
[17] Si fa un cenno a come si misurava una base: dipende con cosa si misurava. Nel periodo dei lavori fatti da Beccaria, si utilizzavano delle "pertiche" (in seguito si sono usati apparati con fili di invar). Nel caso di aste di lunghezza di alcuni metri, occorre riportare punti intermedi materializzati con picchetti o chiodi, per avere un sicuro e perfetto allineamento con i punti estremi della base. Anche se la base viene opportunamente scelta, il percorso difficilmente è orizzontale: conviene allora operare con appoggi che permettano di disporre le aste in orizzontale, con successione accurata, senza urti e tenendo conto di eventuale dilatazione dei materiali. In fine occorre fare la riduzione della distanza ottenuta alla superficie di riferimento, dalla conoscenza delle quote degli estremi.

Nel secolo XIX° le misure di archi di meridiano furono naturalmente numerose oltre che in Europa anche in diverse regioni della Terra (Bengala, Africa Australe, Finlandia, Curlandia, Hannover, Boemia, Prussia orientale, Danimarca, ecc.).

Per concludere, non credo abbia oggi significato anzitutto cercare i veri punti estremi della base Torino -Rivoli. Sono stati più volte rimossi (nel 1997 ad es. è stato fatto il restauro del monumento a Rivoli) e del resto non hanno più alcun significato geodetico pratico. Hanno invece importanza storica e merita perciò di mettere una lapide o qualcosa di significativo, a Torino (approfittando delle opere di rifacimento di Piazza Statuto), per ricordare che "in un punto della Piazza si trovava l'estremo della **base geodetica**, utilizzata per la determinazione del **grado taurinense**, a memoria di un'operazione non semplice e di grande impegno, fatta da Padre Beccaria (come ho cercato di fare vedere in questa personale quasi didattica *ricostruzione*), che ha portato così il nome di Torino ed il suo in ogni caso all'onore scientifico internazionale per una delle caratteristiche operazioni geodetiche europee, eseguite nel secolo XVIII".

I due punti estremi furono monumentalizzati con due obelischi di modeste dimensioni, dopo varie vicissitudini.

Attualmente il monumento a Torino (" guglia Beccaria" in Piazza Statuto) è in granito, alto m 7,94 sormontato da una sfera armillare di bronzo di 0,34 m di diametro . Fu inaugurato nel dicembre 1808 durante la dominazione francese. Ci sono delle iscrizioni in latino, quasi illeggibili. L'obelisco di Rivoli, con uguale altezza, fu inaugurato l'8 ottobre 1808. Il 14 ottobre 1934 fu inaugurato sul piazzale della Stazione di Rivoli una lapide in memoria dell'operazione geodetica, però poi anche questa spostata (in FIG. 3 le fotografie dei due obelischi).



TORINO

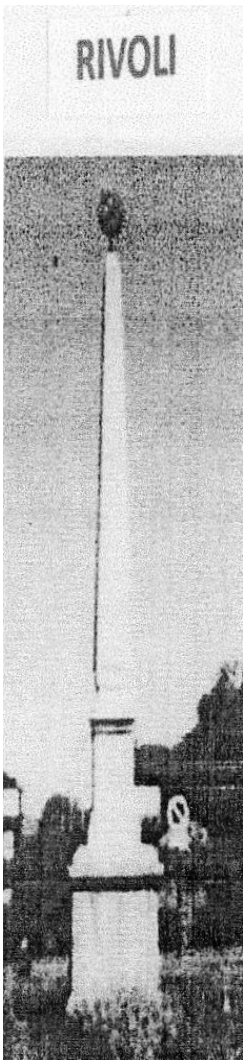


FIG. 3