

# LA NUOVA RETE ALTIMETRICA FONDAMENTALE DELLO STATO

(LIVELLAZIONE DI ALTA PRECISIONE)

Prof. Ing. GUIDO SALVIONI

a) PREMESA

La definizione di un punto sulla superficie fisica della Terra comporta che oltre la parte planimetrica sia nota anche la parte altimetrica.

Quando la parte altimetrica deve essere conosciuta con grande precisione, il complesso dei procedimenti di geodesia operativa, atti a determinare l'altezza della superficie fisica della Terra, su una superficie di riferimento, viene indicato con le parole « Livellazione di alta precisione o di precisione ».

La grande precisione dell'altimetria è indispensabile per lo studio ed i progetti relativi alle grandi vie di comunicazione sia terrestri che fluviali, per quelle di utilizzazione e distribuzione delle acque, per le ricerche minerarie, per il controllo delle altitudini trigonometriche, per lo studio dei lenti movimenti del suolo ed infine, ma non ultimo, per lo studio della superficie di livello scelta come definizione della figura della Terra.

L'importanza della livellazione, così connessa ai problemi pratici dello sviluppo di un paese ed a quelli di indagine puramente scientifica, fin dal suo nascere destò notevole interesse nei geodeti.

Infatti nella prima Conferenza Geodetica Internazionale, tenuta a Berlino nel 1864, fu stabilito che dovessero fare oggetto della conferenza stessa le livellazioni geometriche rigorose le quali, coordinate con accurate determinazioni mareografiche, servissero poi a stabilire un orizzonte fondamentale comune per tutta l'altimetria europea.

L'Italia, allora assorbita dai lavori di triangolazione, che occorreva effettuare, tanto per gli scopi di alta geodesia quanto per i bisogni cartografici, non poté, nei primi anni, corrispondere al voto dell'Associazione per quanto riguardava le livellazioni di precisione e fu soltanto nel 1876 che queste poterono essere iniziate sul suolo italiano.

Dalla Commissione Italiana, l'incarico fu affidato al Prof. Oberholtzer, che nel 1876 provvide allo studio degli strumenti ed all'istruzione del personale e nel 1877-78 alla misura delle linee Chiasso-Como-Domodossola (km 125) e Chiavenna-Como (km 98).

I lavori così iniziati, con scarsità di personale e di mezzi, non seguivano le necessità del paese ed in particolare le esigenze dell'Istituto Geografico Mili-

tare, che di essi aveva bisogno per il controllo delle livellazioni trigonometriche.

Nella riunione della Commissione Geodetica Italiana del 1878, il Direttore dell'Istituto Geografico Militare, Generale Mayo, premesso quanto sopra, propose ed ottenne che i lavori di livellazione fossero affidati all'Istituto stesso.

A partire quindi dal 1878, le livellazioni geometriche sul territorio italiano vennero iniziate dal Servizio Geodetico dell'Istituto Geografico Militare, secondo un programma in precedenza stabilito. Il programma comprendeva le livellazioni di linee stradali in modo da formare poligoni chiusi, allacciamenti alle livellazioni degli Stati limitrofi e collegamenti a tutte le stazioni mareografiche disposte lungo il litorale della penisola.

Le operazioni di campagna vennero proseguite incessantemente fino al 1900, anno in cui fu ultimata la rete fondamentale della parte continentale e peninsulare dello Stato. Tale rete si sviluppò per un percorso di 7200 km ed i caposaldi determinati furono circa 10500.

Le linee furono livellate sempre a doppio e la tolleranza del disaccordo tra le due misure (eseguite in senso inverso) venne mantenuta costantemente nei limiti stabiliti dall'Associazione Geodetica Internazionale al Congresso di Berlino del 1864 e cioè:

$$\pm 3^{\text{mm}} \sqrt{S} \text{ per linea in terreno pianeggiante}$$

$$\pm 5^{\text{mm}} \sqrt{S} \text{ per linea in terreno montuoso}$$

in cui  $s$  rappresenta, espressa in km, la lunghezza della linea livellata.

In generale la livellazione si svolse lungo le vie rotabili ordinarie e solo in pochissimi casi si dovette per necessità seguire le linee ferroviarie. Gli strumenti adoperati furono di tre tipi: Pistor, Starcke, e Berthèlemy.

Come mire si adoperarono stadi in legno graduate in centimetri, che venivano accuratamente campionate ogni anno prima e dopo le operazioni di campagna e periodicamente controllate durante i lavori stessi; per il loro appoggio nei punti intermedi si usarono piastre di ghisa.

La segnalazione venne fatta, per quanto riguarda i caposaldi orizzontali, uno circa ogni km, con bulloni di ottone o di zinco cementati in opere murarie preesistenti (soglie di edifici di una certa importanza, basamenti di monumenti, spalle di ponti ecc.); ma la maggior parte delle volte i bulloni vennero sostituiti con cerchi incisi sui manufatti stessi; la segnalizzazione dei caposaldi verticali uno circa 5 o 6 km, venne fatta con piastrelle di ghisa che venivano murate all'altezza di 2 o 3 metri dal suolo su edifici di una certa importanza.

Tutto questo ingente lavoro, per essere messo a disposizione del pubblico, nelle sue risultanze definitive, fu accuratamente riveduto e sottoposto ad un calcolo generale di compensazione. La pubblicazione a spese della Commissione Geodetica fu iniziata nel 1906 e ebbe termine nel 1912: essa comprende un fascicolo introduttivo e gli elementi monografici ed altimetrici di 71 linee formanti 19 poligoni.

Non è da credere che con il compimento della rete fondamentale abbia avuto termine l'attività dell'Istituto per quanto riguarda la livellazione. Dal 1900 al 1940 l'Istituto eseguì livellazioni di precisione di carattere particolare e contingente allo scopo soprattutto di offrire nuovi punti di collegamento con le reti degli Stati limitrofi, e meglio assicurare quelli già effettuati e anche concorrere allo studio di eventuali variazioni altimetriche prodotte da fenomeni sismici, a cui l'Italia fu particolarmente soggetta negli ultimi decenni; inoltre l'I.G.M. ha eseguito numerose livellazioni per conto di terzi ed in particolare per il Ministero dei Lavori Pubblici e per il Magistrato alle Acque.

I grandi lavori di livellazione eseguiti dopo il 1864 nei vari Stati aderenti alla A.G.I., l'esperienza acquisita in essi, lo studio dei risultati ed i grandi perfezionamenti strumentali, portarono l'Associazione Geodetica Internazionale, una prima volta nella conferenza di Amburgo del 1912 e successivamente in quella di Edimburgo del 1936, a stabilire per le livellazioni di precisione nuovi criteri di valutazione e nuove norme di lavoro.

La nostra rete pertanto, eseguita con i criteri del 1864 e con gli strumenti di quell'epoca, secondo i nuovi principi risultò inadeguata alle necessità moderne ed insufficiente scientificamente.

A queste mancanze di ordine scientifico una più grande e di carattere determinante se ne aggiunse: da numerose ricognizioni, eseguite in ogni parte d'Italia dal 1936 al 1940, emerse che solo appena il 10 % dei caposaldi stabilizzati nella rete fondamentale era ancora rintracciabile sul terreno, fatto che portò a giudicare praticamente perduta l'antica rete.

L'importanza assunta dalla livellazione di precisione sia dal punto di vista scientifico e pratico in un paese come l'Italia in continuo sviluppo e trasformazione, portò l'Istituto Geografico Militare a rappresentare nel 1941 il problema alla Commissione Geodetica riunita a Firenze.

In questa riunione fu riconosciuta l'assoluta necessità di una nuova misura della rete fondamentale dello Stato e l'incarico di tale grande lavoro fu affidato all'Istituto Geografico Militare di Firenze.

Gli eventi bellici permisero solo che i lavori di stabilizzazione e di misura si sviluppassero per alcune centinaia di chilometri e ciò durante il 1942 ed i primi mesi del 1943; sul finire di detto anno i lavori furono completamente sospesi.

## b) PROGETTO DELLA NUOVA RETE

### 1. Generalità.

Nel 1949, passata la guerra, e ritornato ormai l'Istituto Geografico ai suoi normali lavori, il problema della livellazione della rete fondamentale fu di nuovo da esso affrontato con un programma organico adeguato sia come mezzi, sia come attrezzatura strumentale.



Trattandosi di un lavoro di così grande mole e di importanza nazionale, in quello che segue si espone il progetto e si indicano sommariamente i criteri della sua esecuzione.

Fu stabilito di attenersi alle decisioni dell'Associazione Geodetica Internazionale prese ad Edimburgo nel 1936 e di tener conto del contributo di studi ed esperienze reso noto nelle successive riunioni di Washington del 1939 e di Oslo del 1948.

La nuova rete pertanto dovrà rispondere alle caratteristiche delle livellazioni di alta precisione, per le quali l'errore probabile totale per km calcolato con le formule proposte dall'Associazione Geodetica Internazionale risulta:

$$\tau \leq 2 \text{ mm}$$

Tutto il territorio dello Stato è stato ricoperto con una rete formante 36 poligoni (fig. 1); sono state progettate anche alcune linee aperte per collegamenti a mareografi, alle livellazioni degli Stati limitrofi ed a punti caratteristici.

In totale il progetto prevede la misura di circa 12500 km; nel suo svolgimento si è tenuto conto dei voti espressi dalla Commissione Geodetica Italiana nel seguire in quanto possibile l'ossatura della vecchia rete e adeguandola quando ci si è trovati di fronte a nuove arterie stradali.

Ogni caposaldo della vecchia rete che verrà ritrovato, sarà rimisurato ed il confronto fra i nuovi e vecchi valori darà luogo ad interessanti studi ed a notevoli risultati mettendo in evidenza eventuali movimenti del suolo.

### 2) Caposaldi e loro stabilizzazione.

L'amara esperienza fatta con la perdita della vecchia rete per la distribuzione dei caposaldi che la individuavano sul terreno, portò ad abbandonare i vecchi criteri di stabilizzazione e fissarne dei nuovi.

Fu pertanto previsto l'impiego di due tipi di caposaldi:

a) caposaldi orizzontali stabilizzati in sede propria e costituiti da conassegni a tronco di cono in porcellana compressa, fabbricati in due altezze, portanti sulla superficie superiore un ringrosso semisferico vetrato. Nella parte inferiore il tronco di cono è svertrato ed ha alcune scanalature (circolari e lungo le generatrici) al fine di facilitare la sua adesione al manufatto;

b) caposaldi verticali stabilizzati in manufatti esistenti e costituiti da una mensolina in ghisa portante una superficie sferica.

Secondo le loro caratteristiche geodetiche, i caposaldi orizzontali sono stati divisi in 4 categorie:

- I categoria: caposaldi nodali, nei vertici di più linee;
- II categoria: caposaldi fondamentali: uno ogni 25 km di linea;
- III categoria: caposaldi principali: 2 ogni 5 km di linea;
- IV categoria: caposaldi di linea: uno ogni km.

I caposaldi di I categoria limitano l'inizio e la fine di una linea di alta precisione; in questa categoria rientrano anche gli estremi delle linee di alta precisione che collegano i mareografi con la rete e le linee di collegamento con le reti degli stati finitimi.

Questi caposaldi sono doppi e ciascuno è costituito da un pilastro in calcestruzzo interrato portante due contrassegni di cui il più alto difeso da un apposito chiusino in ghisa. I due pilastri vengono opportunamente distanziati l'uno dall'altro di 20-30 metri circa.

Il chiusino in ghisa, fornito di chiusura a chiave, porta sulla superficie un ringrosso sferico di cui viene determinata l'altitudine con la precisione sufficiente per i normali lavori di ingegneria ( $\pm 1$  mm).

I caposaldi della II categoria sono quelli che limitano in una linea le sezioni e vengono posti ogni 25 km. Sono costituiti da due pilastri come quelli della prima categoria posti ad opportuna distanza, 20-30 metri, ed anche in questi il contrassegno più alto è protetto dal medesimo chiusino in ghisa.

I caposaldi della III categoria limitano le tratte minime e sono costituiti da un pilastro portante un contrassegno in porcellana difeso da un chiusino in ghisa. Essi sono sempre in numero di due, posti l'uno dopo l'altro, alla distanza di circa 1 km. Ogni coppia dista dalla coppia successiva circa 5 km.

I caposaldi della IV categoria, nelle tratte, frazionano il lavoro giornaliero. Sono costituiti semplicemente da un pilastro interrato portante il contrassegno in porcellana.

Recentemente il caposaldo di IV categoria, ovunque possibile, viene sostituito da un bullone torico da cementarsi in edifici, rocce, manufatti ecc.

I caposaldi verticali non hanno categoria in quanto vengono impiegati come controllo degli orizzontali o come raffittimento della linea. Di norma vengono posti ad un'altezza di 2-2,50 m dal suolo, in edifici situati in prossimità dei caposaldi della I, II e III categoria ed in quegli altri edifici di importanza caratteristica che si possono incontrare lungo la linea stessa.

Questi caposaldi, rispetto agli antichi, presentano il vantaggio di eliminare il passaggio delle misure attraverso una coppia meccanica (vite - chiocciola) per il fatto che il nastro metrico veniva fissato con una vite al forellino posto al centro dell'antico caposaldo.

Con il nuovo tipo, a mensola, l'altitudine è riferita alla sommità del ringrosso sferico e la sua misura viene fatta con una apposita stadietta a sospensione.

Per la scelta della località è prescritto che la condizione della stabilità emergesse sopra ogni altra considerazione, in quanto l'inamovibilità dei caposaldi è il requisito fondamentale di una livellazione.

In particolare è prescritto che i caposaldi di I, II e III categoria,

siano collocati al di fuori della sede della strada, lungo la quale si svolge la linea.

È prescritto anche che la stabilizzazione di tutti i caposaldi preceda di un anno o come minimo 6 mesi, ivi compresa la stagione invernale, le operazioni di misura, al fine di eliminare gli eventuali spostamenti dovuti all'assestamento del terreno.

### 3 *Strumenti.*

Si stabilì di impiegare livelli che avessero cannocchiali con un ingrandimento superiore a 25 volte e con anello oculare di almeno 1,5 mm di diametro. In essi la livella principale deve avere un raggio di curvatura compreso tra 40 e 100 metri e la lunghezza minima della bolla, alle più alte temperature d'impiego, non deve scendere al di sotto di 25 mm.

In particolare si stabilì di usare livelli Zeiss *A* ed eccezionalmente livelli Zeiss *III*, di cui l'I.G.M. possiede molti esemplari.

Tutti i livelli sono dotati di micrometri a lamina piana parallela e pertanto è previsto l'uso di sole stadie con divisioni di mezzo centimetro.

In particolare vengono usate stadie Zeiss con graduazione su nastro *Levar* e tallone piano. Ogni stadia è provvista di una adatta livella sferica ( $R = 0,20 \div 0,5$  m) capace di assicurarne una posizione dell'asse sufficientemente prossima alla verticale, al momento delle letture. Inoltre per renderne più agevole l'impiego, ogni stadia, in sostituzione dell'attrezzatura originale consistente in due maniglie, è stata dotata di due puntali in tubo di ferro collegati alla stadia stessa con due giunti a snodo. Per la misura dei caposaldi verticali è stata prevista, come si è detto, una apposita stadietta realizzata dall'Officina Meccanica dell'I.G.M.

Come appoggi della stadia vengono normalmente usate piastre in metallo di peso di 6 kg. Esse portano nella parte superiore un perno in acciaio a testa sferica e nella parte inferiore tre piedini poggianti sul terreno attraverso una superficie zigrinata; al centro della superficie zigrinata è una punta di ferro di 6 mm.

In casi particolari, come l'attraversamento degli abitati o consimili, vengono adoperati speciali chiodi, portanti una testa sferica. Lateralmente alla testa essi hanno due ali o anelli ove viene battuto il martello per l'infissione, sui quali si fa anche forza per il ritiro.

Per le eventuali correzioni da apportare alle letture è prescritto che ogni strumento metrico (stadie, stadiette, talloni, ecc.) venga comparato accuratamente prima e dopo le misure di campagna.

Il procedimento di comparazione e le verifiche di controllo sono regolati dalle apposite norme dell'I.G.M.