

PRIMO CONTRIBUTO PER UNA RETE GRAVIMETRICA FONDAMENTALE IN ITALIA

CARLO MORELLI

1. *Premessa.* — Rientra fra i compiti principali dell'Istituto Nazionale di Geofisica l'istituzione in Italia di reti fondamentali nei diversi campi della Geofisica (magnetismo terrestre, elettricità atmosferica, sismologia, gravimetria, ecc.). In questo programma si inquadra quindi l'istituzione di una serie di stazioni di riferimento per le misure di gravità relativa, dove il valore della gravità fosse noto con la più grande esattezza.

Possibilmente poi era desiderabile poter predisporre anche una serie di basi di taratura per i gravimetri destinati alla prospezione geofisica. È noto infatti ⁽¹⁾ che l'unica difficoltà veramente seria nell'adozione dei gravimetri consiste nella loro taratura (o nel controllo di essa) con criteri di sufficiente precisione; e ciò vale in particolare per i gravimetri a grande campo, destinati per i collegamenti a distanze maggiori.

Abbiamo già mostrato ⁽²⁾ come le differenze di gravità misurate con i pendoli non consentano in generale di raggiungere la precisione necessaria, e come il più delle volte l'errore medio pubblicato coi risultati delle misure pendolari abbia un significato puramente apparente; ed abbiamo anche indicato le cause di ciò.

L'uso dei pendoli va quindi scartato anche in questi casi nell'impiego estensivo (tenendo pure conto della laboriosità connessa con tali misure), e invece limitato alla istituzione di alcuni singoli caposaldi collegati con grande cura e un numero sufficientemente alto di volte, quando si disponga delle apparecchiature necessarie e si adottino i criteri moderni di misura.

Abbiamo invece mostrato ⁽²⁾ come, con opportuni criteri d'impiego e convenientemente tarati, i gravimetri geodetici possano oggi sostituire con vantaggio i pendoli nella maggior parte dei collegamenti gravimetrici.

L'Istituto Nazionale di Geofisica ha perciò provveduto anzitutto alla taratura, con la massima precisione finora consentita dalle misure pendolari di confronto, dei due gravimetri Worden n. 50 e n. 52 ⁽²⁾.

Il campo di taratura si estende da 980,071 a 981,500 $\text{cm}\cdot\text{sec}^{-2}$: in tale campo è praticamente compresa tutta l'Italia. Le costanti di scala risultano lineari, e determinate con l'approssimazione di 0,35‰.

Contemporaneamente alla taratura dei gravimetri, si è provveduto a collegare con la più grande cura con Potsdam la stazione nazionale di riferimento italiana, col seguente risultato ⁽²⁾:

$$g_{\text{Padova}} = 980,658.55 \pm 0.37$$

Tale valore si riferisce alla sala gravimetrica al pianoterra della torre dell'Osservatorio Astronomico ($h = 14,3$ m), che è m 4,65 più bassa della stazione Lorenzoni alla quale sono stati riferiti (tenendo conto della sola riduzione in aria libera) tutti i precedenti collegamenti pendolari, eseguiti però al pianoterra. Il valore per la stazione Lorenzoni, calcolato in tale maniera, risulta quindi 980,657.1 (*).

2. *Criteri d'impiego e scelta delle stazioni.* — Abbiamo già mostrato ⁽²⁾ come per i collegamenti a grande distanza con i gravimetri Worden è indispensabile il trasporto aereo, sia per consentire una grande rapidità di chiusura dei circuiti (e quindi ridurre al minimo l'incertezza della deriva) come per evitare le condizioni disagiate di trasporto (che possono far variare notevolmente la deriva stessa). I collegamenti eseguiti sono quindi tutti, e solo, quelli che sono consentiti dalle (poche) linee aeree civili oggi esistenti in Italia (v. fig. 1). Essi costituiscono una serie di poligoni chiusi, dagli errori di chiusura dei quali si potrà avere (v. tabella II) un controllo della precisione effettivamente conseguita ed un mezzo per la compensazione dei risultati (§ 3). Mancando una linea aerea, è stato eseguito con automezzo e con i criteri più sotto esposti, il collegamento Padova-Milano, per chiudere il triangolo Padova-Milano-Roma, nonché, data la vicinanza delle stazioni, quello Padova-Trieste. Con automezzo è stata eseguita pure la derivazione Padova-Trento e quella Verona-Trento (v. § 4).

Abbiamo anche già visto ⁽²⁾ che con opportuni criteri e ripetizioni il trasporto della gravità fra due posti a piccola distanza (praticamente fino a circa un'ora di macchina) può con sicurezza esser effettuato con l'approssimazione di ± 0.01 mgal. Questi errori sono quindi del tutto trascurabili di fronte a quelli dei collegamenti a grande distanza.

(*) Esso era $980,658.0 \pm 2.0$ dopo la compensazione del Borrass 1909, e $980,656.1 \pm 0.7$ dopo quella dello scrivente (1946).

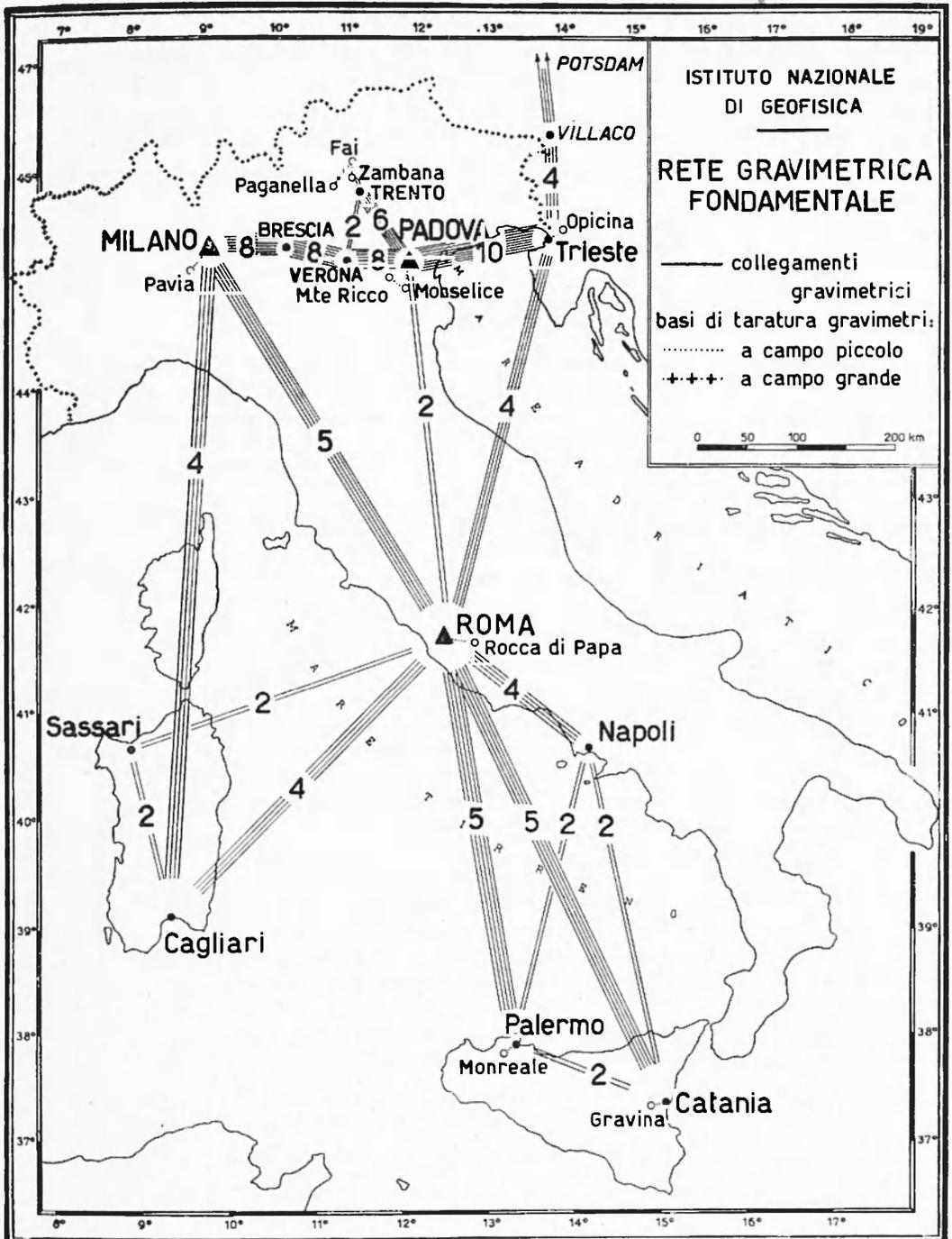


Fig. 1

TABELLA I

Descrizione delle stazioni gravimetriche principali e sussidiarie.

Stazione	Descrizione	Numero della monografia
Brescia	davanti al marciapiede antistante al portone n. 11 di piazza della Vittoria (palazzo dell'INA)	(1)
CAGLIARI	ex Istituto Geologico (ora distrutto), bastione adiacente all'Università; davanti all'abitazione del custode (via Camino nuovo, 11)	(2)
aeroporto	edificio sede del C.d.A., angolo a sinistra salendo, sotto il porticato alla sommità della scalinata	(3)
CATANIA	nello scantinato dell'Osservatorio meteorosismico, in piazza Vaccarini n. 11, a m. 0,50 davanti al pilastro nell'angolo SE (vano col busto del prof. Tacchini)	(4)
aeroporto	al centro dell'ufficio controllo traffico, nell'edificio passeggeri a sinistra uscendo dalla pista	(5)
Cravina	Municipio, nel mezzo della stanza angolo NW	(6)
Mascalucia	atrio della canonica, a m 1.50 dalla parete di fronte all'ingresso	(7)
MILANO	Istituto di Topografia e Geodesia del Politecnico, pilastro gravimetrico in cantina	(8)
aeroporto	Forlanini, porticato sotto la rampa di accesso all'atrio passeggeri, a m 1.5 sotto la finestrella nell'angolo NE	(9)
Pavia	Osservatorio Geofisico, stanza fotografica a p. t. attigua al locale di affumicatura	(10)
NAPOLI I	<i>Osservatorio Astronomico</i> , cantina (ex sala meridiani) sotto la sala delle conferenze, ai piedi delle viti per le mensole bipendolari, a 40 cm dal muro	(11)
II	<i>Università</i> , Stazione Sismica all'Istituto di Fisica Terrestre (piazza S. Marcellina 10), sul pilastro nel terzo locale	(12)
aeroporto	a Capodichino: pianoterra edificio LAI, ufficio informazioni (sotto la finestra)	(13)
PADOVA I	<i>Osservatorio Astronomico</i> , stanza gravimetrica nazionale (al pianoterra della torre), angolo SW	(14)
II	<i>Università</i> , al centro della cantina dell'Istituto di Geodesia	(15)
Monselice	marciapiede antistante vecchio Monte di Pietà	(16)

(segue tabella I)

Stazione	Descrizione	Numero della monografia
Monte Ricco	eremo, alla base della scaletta di accesso (lato Sud) nell'ex rifugio antiaereo	(17)
PALERMO I	<i>Palazzo Reale</i> : al centro della parete Sud nella Sala del Tesoro (praticamente stesso valore di g in tutti i punti del ballatoio)	(18)
II	<i>Martorana</i> : Istituto di Chimica Industriale alla Facoltà d'Ingegneria, nell'aula vicino alla porta interna (locale ricostruito, col pavimento rialzato di circa 50 cm)	(19)
III	<i>Villa Giulia</i> : all'Ingresso sul Foro Italico, accanto al pilastro col es. v. I.G.M.	(21)
aeroporto	nell'angolo interno di SE del Servizio Meteorologico	(20)
Monreale	davanti al portone n. 2 della piazza Guglielmo II, fra l'ingresso al Chiostro dei Benedettini e quello delle Scuole elementari	(22)
ROMA I	<i>ex stazione pendolare</i> alla Facoltà d'Ingegneria, S. Pietro in Vincoli; nella cantina già dell'Istituto di Topografia (ora officina dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni), nell'angolo NNW dell'edificio principale	(23)
II	<i>Stazione Sismica</i> all'Istituto Nazionale di Geofisica in Città Universitaria, pilastro gravimetrico (davanti alla porta a N)	(24)
III	<i>Ufficio Geologico d'Italia</i> : a sinistra dell'ingresso (entrando), alla Stazione Geofisica	(25)
aeroporti	<i>Ciampino W</i> : sotto la finestra nell'angolo N della cosiddetta «sala rosa» (sala arrivi passeggeri) (stazione Woollard=sala rosa + (0.15 ± 0.01) mgal)	(26)
	<i>Urbe</i> : edificio LAI, stanzetta fra ufficio caposcala e bar, ad 1 m dallo spigolo centrale, azimut NNE	(26 a)
S. Alessio	Stazione registratrice per l'elettricità atmosferica dell'I.N.G., centro stanzetta di NE attigua ai registratori	(27)
Frascati	sotto la finestra S nel portone (n. 6) del Municipio (Stazione esterna = stazione interna + (0,10 ± 0,01) mgal)	(28)
Rocca di Papa	<i>inferiore</i> : ai piedi della scala che porta alla cantina del bar Angeletto	(29)
	<i>Osservatorio Geofisico</i> : prima stanzetta (delle preparazioni) a sinistra sotto la scala accanto al sismografo Wieckert, a m 1.50 dallo spigolo E	(30)

(segue tabella I)

Stazione	Descrizione	Numero della monografia
SASSARI	stazione pendolare, aula C a pianterreno della Facoltà di Giurisprudenza, in piazza dell'Università	(31)
aeroporto	Alghero: casa colonica di fronte all'ingresso, cucina, a destra entrando	(32)
Trento	a m 0.60 dal marciapiede, di fronte alla stazione idrometrica	(33)
Zambana	a 4 m dall'ingresso, nella prima galleria (a croce) adibita a garage, alla stazione inferiore della funivia	(34)
Fai	a 80 cm dalla finestra, sotto il portico a W della stazione della funivia	(35)
Dosso Larici	al centro della cantina della pensione Dosso Larici (stazione terminale funivia Paganella)	(36)
TRIESTE	Stazione Sismica dell'Osservatorio Geofisico, sotto il pilastro del Vicentini verticale (stazione sismica = ex cantina gravimetrica — (0,52 ± 0.01) mgal)	(37)
aeroporto	Merna (Gorizia): al centro del primo locale a sinistra entrando dal cancello principale	(38)
Opicina	a m 1.20 davanti all'ingresso della casa cantoniera al km 12.08 dell'autostrada, fra Banne ed Opicina	(39)
Verona	Arco di Porta Nuova, al centro verso la città	(40)
Vicenza	a m 3.50 ad E spigolo NE marciapiede antistante sala pronto soccorso stazione ferroviaria	(41)

Per le necessità degli orari delle linee aeree, sono state quindi anzitutto istituite stazioni gravimetriche sussidiarie negli aeroporti terminali, sì da poter effettuare le misure poco dopo l'arrivo dell'aereo, e poter ripartire con l'aereo successivo. Questi posti sono stati poi collegati con grande cura con la stazione fondamentale vicina.

L'elenco delle stazioni principali (in ordine alfabetico) e di quelle sussidiarie ad esse collegate risulta dalla tabella I. Le monografie corrispondenti sono riportate nelle tre tavole alla fine del testo. Il numero *n* dei collegamenti aerei (contando per uno solo un collegamento completo, in andata e ritorno) risulta dalla tabella II, dove sono riportate pure le differenze di gravità osservate ed il loro errore medio.

Il collegamento Padova-Milano, effettuato in automezzo, è stato suddiviso per una maggior precisione (conseguente alla rapidità di chiusura dei singoli percorsi) nelle quattro tratte indicate dalla tabella III.

Le differenze di gravità osservate fra le stazioni sussidiarie risultano dalla tabella IV. Lo schema dei collegamenti fra le stazioni sus-

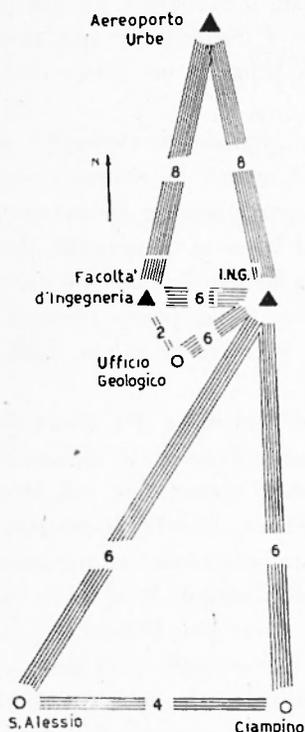


Fig. 2: Collegamenti fra le stazioni sussidiarie in Roma.

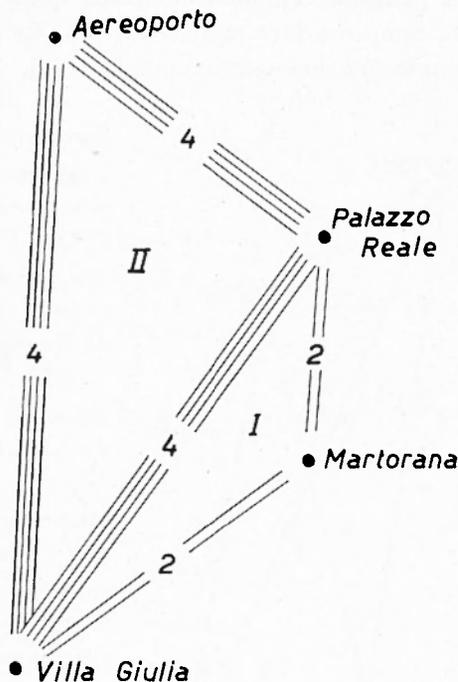


Fig. 3: Collegamenti fra le stazioni sussidiarie in Palermo.

sidiarie in Roma risulta dalla fig. 2, quello fra le stazioni sussidiarie in Palermo dalla fig. 3.

3. *Precisione. Compensazione dei risultati.* — Si vede dalla tabella II che gli errori medi dei collegamenti non sono in nessun caso superiori a ± 0.2 mgal: risultato questo superiore ad ogni aspettativa, e che dimostra sia la bontà dei criteri seguiti durante l'esecuzione delle misure, come il buon accordo fra le costanti di scala dei due gravimetri.

L'alto grado di precisione conseguita risulta anche dagli errori

TABELLA II — *Differenze di gravità (in mgal) osservate fra le stazioni principali. Valori compensati.*

A. ITALIA CENTRO-SETT. o SARDEGNA

Stazione	n	Δg (mgal)		g
		misurate	compensate	
I triangolo				
Padova I	10	+ 6.57+0.04	+ 6.57	980,658.55
Trieste	4	-303.59 .12	-303.54	,665.12
Roma I				,361.58
Padova I	2	+297.01 .12	+296.96	,658.54
Errore di chiusura:		-0.01	-0.01	
II triangolo				
Padova I	8 ^(°)	- 94.05+0.02	- 94.12	980,658.55
Milano	5	-202.84 .03	-202.84	,564.43
Roma I				,361.59
Padova I	2	+297.01 .12	+296.96	,658.55
Errore di chiusura:		+0.12	0.00	
Valore finale per Roma I: 980,361.59				
III triangolo				
Roma I	4	-253.12+0.06	-253.07	980,361.59
Cagliari	4	+455.92 .03	+455.96	,108.52
Milano				,564.48
Roma I	5	-202.84 .03	-202.89	,361.59
Errore di chiusura:		-0.04	0.00	
Valore finale per Milano: 980,564.46				
IV triangolo				
Roma I	4	-253.12+0.06	-253.07	980,361.59
Cagliari	2	+111.24 .16	+111.24	,108.52
Sassari				,219.76
Roma I	2	+141.82 .17	+141.82	,361.58
Errore di chiusura:		-0.06	-0.01	

(°) per via di terra.

B. ITALIA MERID. e SICILIA

Stazione	n	Δg (mgal)		g
		misurate	compensate	
		V triangolo		
Roma I	5	-311.66 \pm 0.03	-311.64	980,361.59
Palermo	2	- 3.34 .01	- 3.30	,049.95
Catania	4	+314.93 .03	+314.94	,046.65
Roma I				,361.59
Errore di chiusura:		-0.07	0.00	
		VI triangolo		
Roma I	4	-119.92 \pm 0.07	-119.94	980,361.59
Napoli I	2	-194.98 .08	-195.00	,241.65
Catania	4	+314.93 .03	+314.94	,046.65
Roma I				,361.59
Errore di chiusura:		+0.03	0.00	
		VII triangolo		
Roma I	4	-119.92 \pm 0.07	-119.94	980,361.59
Napoli I	2	-191.69 .04	-191.70	,241.65
Palermo	5	+311.66 .03	+311.64	,049.95
Roma I				,361.59
Errore di chiusura:		+0.05	0.00	
		VIII triangolo		
Napoli I	2	-191.69 \pm 0.04	-191.70	980,241.65
Palermo	2	- 3.34 .01	- 3.30	,049.95
Catania	2	+194.98 .08	+195.00	,046.65
Napoli I				,241.65
Errore di chiusura:		--0.05	0.00	
		Quadrilatero		
Roma I	5	-311.66 \pm 0.03	-311.64	980,361.59
Palermo	2	- 3.34 .01	- 3.30	,049.95
Catania	2	+194.98 .08	+195.00	,046.65
Napoli I	4	+119.92 .07	+119.94	,241.65
Roma I				,361.59
Errore di chiusura:		-0.10	0.00	

Disponendo le equazioni di condizione nello specchio seguente:

Corr.	Equaz.	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	v
K_1	A	-1	+1	+1				-0.07
K_2	B			+1	-1	-1		+0.03
K_3	C	+1			-1		-1	+0.05
K_4	D		+1			+1	-1	-0.05
K_5	E	-1	+1		+1	+1		-0.10
	p	5	2	4	4	2	2	

si ricavano immediatamente le equazioni correlate, che sono:

$$x_1 = -\frac{1}{5} (-K_1 + K_3 - K_5) ,$$

$$x_2 = -\frac{1}{2} (K_1 + K_4 + K_5) ,$$

$$x_3 = -\frac{1}{4} (K_1 + K_2) ,$$

TABELLA III — Collegamenti con automezzo.

Stazione	n	Δg (mg/l)		gPotsdam
		osservato	compensato	
Padova I	8	+23.06 ± 0.02	+23.05	980,658.55
Vicenza	8	-16.82 .01	-16.83	,681.60
Verona	8	-43.51 .01	-43.52	,664.77
Brescia	8	-56.78 .02	-56.79	,621.25
Milano				.564.46
Derivazioni				
Padova I Trento	6	-49.73 ± 0.03		980,658.5 ; ,608.82
Verona Trento	2	-55.90 ± 0.01		980,664.77 ,608.87

$$x_4 = -\frac{1}{4}(-K_2 - K_3 + K_5) \quad ,$$

$$x_5 = -\frac{1}{2}(-K_2 + K_4 + K_5) \quad ,$$

$$x_6 = -\frac{1}{2}(-K_3 - K_4) \quad .$$

Introducendo nelle equazioni di condizione questi valori di x , si ricava il seguente *sistema normale* di 5 equazioni nelle 5 incognite K_i ($i = 1, 2, \dots, 5$):

$$\begin{aligned} 0,95.K_1 + 0,25.K_2 - 0,2.K_3 + 0,5.K_4 + 0,7.K_5 + 0,07 &= 0 \\ 1,0.K_2 + 0,25.K_3 - 0,5.K_4 - 0,75.K_5 - 0,03 &= 0 \\ 0,95.K_3 + 0,5.K_4 - 0,45.K_5 - 0,05 &= 0 \\ 1,5.K_4 + 1,0.K_5 + 0,05 &= 0 \\ 1,45.K_5 + 0,10 &= 0 \end{aligned}$$

dove i coefficienti della diagonale principale sono la somma dei reciproci dei pesi per i lati di ognuno dei triangoli e per il poligono considerati.

Risolvendolo col metodo di Gauss si ricava il seguente *sistema risolvente*:

$$\begin{aligned} 0,95.K_1 + 0,25.K_2 - 0,2.K_3 + 0,5.K_4 + 0,7.K_5 + 0,07 &= 0 \\ 0,934.K_2 + 0,303.K_3 - 0,632.K_4 - 0,934.K_5 - 0,048 &= 0 \\ 0,810.K_3 + 0,810.K_4 + 0.K_5 + 0 &= 0 \\ 0.K_4 + 0.K_5 + 0 &= 0 \\ 0.K_5 - 0,020 &= 0 \end{aligned}$$

dal quale si ottengono i seguenti valori per i correlativi K_i :

$$\begin{aligned} K_1 &= -0,080 \quad ; \quad K_4 = 0,000 \quad ; \\ K_2 &= +0,044 \quad ; \quad K_5 = 0,000 \quad . \\ K_3 &= +0,024 \quad ; \end{aligned}$$

Sostituendo questi valori nel sistema normale, e indicando con V gli errori di chiusura delle sue cinque equazioni, risulta a comprova:

$$[VV] = 0,0000 \quad .$$

TABELLA IV

Differenze di gravità osservate con le stazioni sussidiarie.

Stazione principale	Stazioni sussidiarie	n	Δg (mgal)	\bar{g} Potsdam
Cagliari Univ.	aeroporto	4	+ 4.80 \pm 0.01	980,108.52 \pm 0.39 ,111.32 .39
Catania Oss.	aeroporto	4	+12.27 \pm 0.01	980,046.65 \pm 0.38 ,058.92 .38
Milano Polit.	aeroporto	12	- 0.67 \pm 0.01	980,564.46 \pm 0.37 ,563.79 .37
Napoli Oss.	aeroporto	4	+14.00 \pm 0.04	980,241.65 \pm 0.39
	Università	6	+17.88 .03	,255.65 .39 ,273.53 .39
Padova Oss.	Università Monselice	12	- 1.73 \pm 0.01	980.658.55 \pm 0.37
		0	+20.65 .01	,656.82 .37 ,677.47 .37
Palermo Pal. Reale	aeroporto Villa Giulia Palazzo Reale	4	- 2.24 \pm 0.01	980,049.95 \pm 0.38
		4	+ 9.69 .01	,047.71 .38
		4	- 7.46 .01	,057.40 .38 ,049.94 .38
	Errore di chiusura:		- 0.01	
Palermo Pal. Reale	Martorana Villa Giulia Palazzo Reale	2	+ 6.11 \pm 0.04	980,049.95 \pm 0.38
		2	+ 1.39 .01	,056.06 .39
		4	- 7.46 .01	,057.45 .39 ,019.99 .39
	Errore di chiusura:		+ 0.04	
Roma Fac. Ing.	I. N. G. aerop. Urbe Fac. Ing.	6	+ 1.98 \pm .04	980,361.59 \pm 0.38
		8	+10.39 .03	,363.57 .39
		8	-12.36 .02	,373.96 .39 ,361.60 .39
	Errore di chiusura:		+ 0.01	

(segue tabella IV)

Stazione principale	Stazioni sussidiarie	n	Δg (mgal)	gPotsdam
	I. N. G.	6	-5.56 ± 0.02	$980,363.57 \pm 0.39$
	S. Alessio	4	$-11.29 \quad .01$,358.01 .39
	Ciampino	6	$+16.87 \quad .06$,346.72 .39
	I. N. G.	6		,363.59 .39
	Errore di chiusura:		$+ 0.02$	
	I. N. G.	6	-1.58 ± 0.02	$980,363.57 \pm 0.39$
	Uff. Geologico	2	$-0.39 \quad .04$,361.99 .39
	Fac. Ing.	6	$+1.98 \quad .04$,361.60 .39
	I. N. G.	6		,363.58 .39
	Errore di chiusura:		$+ 0.01$	
Sassari Univ.	aeroporto	2	$+58.34 \pm 0.15$	$980,219.76 \pm 0.42$,278.10 .45
Trento	Zambana	4	$+43.70 \pm 0.01$	$980,608.84 \pm 0.37$,652.54 .37
Trieste Oss. Geof.	aeroporto	9	11.19 ± 0.01	$980,665.12 \pm 0.36$,653.93 .36

Sostituendo invece i valori K_i sopra ottenuti nelle equazioni correlate, si ricavano i seguenti valori per le correzioni x_i :

$$\begin{aligned} x_1 &= -0,02 \text{ mgal} & ; & & x_4 &= +0,02 \text{ mgal} & ; \\ x_2 &= +0,04 \text{ »} & ; & & x_5 &= +0,02 \text{ »} & ; \\ x_3 &= +0,01 \text{ »} & ; & & x_6 &= +0,01 \text{ »} & . \end{aligned}$$

Sostituendo questi valori nelle equazioni di condizione, la somma dei quadrati dei residui risulta:

$$[V'V'] = 0,0000 .$$

Quadrando e sommando i valori ora ottenuti per le correzioni x_i , si ricava inoltre:

$$[p_{xx}] = +0,0080 ,$$

mentre la stessa sommatoria calcolata per controllo mediante la

$$[p_{xx}] = - \sum_{i=1}^5 K_i v_i$$

fornisce il valore

$$[p_{xx}] = + 0.0081 ,$$

in ottimo accordo col precedente.

Indicando con q il numero delle equazioni di condizione (cioè, il numero dei poligoni chiusi), l'errore medio m_0 dell'unità di peso, cioè di un collegamento, diventa:

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[p_{xx}]}{q}} = \pm 0.04 \text{ mgal} .$$

Questo risultato è oltremodo soddisfacente, se si considera le grandi dimensioni del quadrilatero completo; e conferma a posteriori la bontà dei criteri di impostazione e di esecuzione della presente ricerca.

Tenendo conto delle correzioni x_i sopra ricavate, le differenze di gravità *compensate* vengono ad assumere i valori indicati nella penultima colonna della tabella II, e gli errori di chiusura dei triangoli e del quadrilatero diventano tutti nulli: la compensazione eseguita è quindi sufficiente e soddisfacente.

Partendo allora dal valore di g a Roma, i valori della gravità nelle stazioni di riferimento diventano quelli dell'ultima colonna della tabella II. Essi sono riportati nella tabella V con il loro errore medio riferito a Potsdam.

TABELLA V — Valori finali, nell'attuale sistema di Potsdam.

Stazione	g
Cagliari	980,108.52 \pm 0.39
Catania	,016.65 .38
MILANO	,564.46 .37
Napoli	,241.65 .39
PADOVA	,658.55 .37
Palermo	,049.95 .38
ROMA	,361.59 .38
Sassari	,219.76 .42
Trieste	,665.12 .36

4. *Basi di taratura per gravimetri.* — Per l'opportunità di poter tarare i gravimetri a piccola scala nelle regioni stesse d'impiego, nonché di controllarne periodicamente in sito la costante di scala, è stata istituita una prima serie di basi di taratura convenientemente distri-

TABELLA VI — *Basi di taratura per gravimetri.*

Stazione principale	Estremi della base	n	Δg (mgal)
<i>A. A piccola scala</i>			
Catania	Osservatorio Gravina	2	— 83.23 \pm 0.05
	Osservatorio Mascalucia	5	— 99.66 .02
Milano	Politecnico Pavia	6	— 46.38 .02
Padova	Monselice M.te Ricco	6	— 72.78 .03
Palermo	Aeroporto Monreale	6	— 49.86 .02
Roma	I. N. G. Frascati	4	— 71.88 .06
	Rocca di Papa inf.	4	— 70.65 .01
	Rocca di Papa Oss.	4	— 28.24 .02
	Totale I. N. G. - Rocca di Papa: Media 6 colleg. diretti (vite gr.):		—170.77 \pm 0.06 —170.69 .14
Valore finale:			—170.74 \pm 0.05
Trieste	Oss. Geofisico Opicina	20	— 69.61 .01
<i>B. A grande scala.</i>			
Trento	Zambana	12	—128.69 \pm 0.01
	Fai Paganella	8	—181.82 .02

buite (v. fig. 1). Gli elementi ad esse relativi sono riportati nella tabella VI con il numero n dei collegamenti indipendenti e le differenze di gravità misurate.

Per i gravimetri a grande scala, il confronto avrebbe potuto essere effettuato su uno dei lati più sicuri dei poligoni della fig. 1: per es., Padova-Roma, o Roma-Palermo. Ma per una migliore precisione della base stessa, e per una maggiore comodità dei controlli, si è pensato anche di istituire una base su un forte salto in quota, da percorrersi in pochi minuti. E come tale si è scelta, per la facilità di accesso e per la massima differenza di quota nella zona, la funivia della Paganella. Con un salto verticale di 1600 m si è ottenuta così una differenza di gravità di 311 mgal, corrispondente all'incirca allo spostamento in latitudine da Milano a Napoli, e da Roma a Catania. E la precisione di questa base non è inferiore a quella risultante dalla differenza delle migliori stazioni fondamentali: tenendo conto dell'incertezza del 0,35‰ delle costanti di scala, essa si può assumere senz'altro precisa entro il 0,4‰.

5. *Confronto con i valori pendolari e gravimetrici precedenti.* — Può avere qualche interesse il confronto fra le differenze di gravità risultanti dalla presente ricerca e quelle osservate da altri autori. Espo- niamo i risultati di tali confronti conservando l'ordine precedentemente seguito.

A) *Stazioni fondamentali e intermedie.* — Per le stazioni fondamentali, il confronto per Padova, Milano e Roma è già stato effettuato in (²); Trieste, Palermo e Catania sono stazioni nuove. Rimangono quindi le seguenti differenze:

<i>Roma I - Napoli I:</i>	Δg Morelli	1951	=	- 119,92	mgal ;
	Δg precedenti:	Ciscato	1908 (pendol.)	=	- 123 » ;
		Cassinis	1919 (»)	=	- 123 » ;
		Aquilina	1935 (»)	=	- 120 » ;
		Boaga	1951 (gravim.)	=	- 120,7 » .

Tenendo conto dell'imprecisione dei metodi delle misure pendolari antiche, l'accordo è molto soddisfacente per le prime due; è addirittura ottimo per la terza; e denota una differenza dovuta probabilmente alla costante di scala per la quarta (v. anche B).

<i>Padova - Cagliari:</i>	Δg Morelli	1951	=	- 550,05	mgal ;
	Δg precedenti:	Boaga	1937 (pendol.)	=	- 533 » .

L'edificio dove il prof. Boaga ha fatto stazione a Cagliari è andato

distrutto durante la guerra, per cui un confronto esatto non è possibile. La stazione 1951 è stata fatta su quello che doveva presumibilmente essere il pianoterra dell'edificio, fra le macerie.

Padova - Sassari: Δg Morelli 1951 = -438.79 mgal ;
 Δg precedenti: Boaga 1937 (pendol.) = -431 » .

Fra le stazioni intermedie, Brescia, Verona e Trento coincidono con le stazioni effettuate con gravimetro ⁽³⁾, le cui differenze di gravità da Milano risultano dallo specchio che segue:

Stazioni	Δg da Milano (mgal)		Δ
	Cunietti	Morelli	
Brescia	+ 56.70 \pm 0.02	+ 56.78 \pm 0.02	-0.08
Verona	+100.18	+100.29 \pm 0.02	-0.11
Trento	+ 44.23 \pm 0.11	+ 44.39 \pm 0.04	-0.16

Tenendo conto che i collegamenti del Cunietti sono stati effettuato con un solo gravimetro (Western, W.48), non tarato, l'accordo è abbastanza soddisfacente.

B) *Basi di taratura.* — Delle basi di taratura, due hanno gli estremi in stazioni pendolari, e precisamente:

Milano - Pavia: Δg Morelli 1951 = -46.38 mgal ;
 Δg precedenti ⁽³⁾: Solaini e a. 1947 (pendol.) = -49.7 mgal ;
 Cunietti 1949 (grav. W.11) = -46.20 » .

La discrepanza pendolare è un po' troppo forte per misure moderne, ed è probabilmente dovuta a impercettibili movimenti dei coltelli nelle loro sedi, che hanno alterato le misure pendolari del 1947 anche nelle altre stazioni. Per il gravimetro W.11 vale l'osservazione di sopra.

Roma-Rocca di Papa: Δg Morelli 1951 = -168.76 mgal ;
 Δg precedenti ⁽⁴⁾: Aquilina 1936 (pendolare) = -169 mgal ;
 Tribalto 1950 (grav. Western) = -169.74 » ;
 Harding 1950 (» Worden) = -169.52 » ;
 Di Cesare 1950 (» Atlas) = -169.62 » .

Ciò dimostra ancora una volta l'accuratezza e la precisione delle misure pendolari del prof. Aquilina; e sembrerebbe indicare un errore

di taratura abbastanza cospicuo negli altri gravimetri (che però sono in buon accordo fra di loro).

6. *Stazione per i collegamenti internazionali.* — Come abbiamo visto nella nota precedente ⁽²⁾, e per i motivi ivi specificati, i collegamenti gravimetrici internazionali prendono attualmente grande sviluppo. Essi possono venire effettuati sia con i pendoli, che con gravimetri convenientemente tarati; per i motivi già visti in ⁽²⁾, la preferenza viene ormai data ai gravimetri; ma ai pendoli, adoperati con i criteri di alta precisione moderni a ciò necessari e con un conveniente numero di ripetizioni dei collegamenti in condizioni il più possibile diverse, rimane sempre il compito dei collegamenti principali. Esamineremo ora separatamente i due casi.

Nel caso dei *pendoli*, conviene anzitutto mettere in evidenza che la precisione « interna » di una rete con gravimetri compensata come per esempio quella sopra illustrata, è certamente superiore alle possibilità dei collegamenti pendolari: perciò è indifferente collegare con l'estero uno qualunque dei punti fondamentali della predetta rete. Senonché le misure pendolari esigono disponibilità di laboratorio e condizioni ambientali che non tutte le stazioni possono possedere,

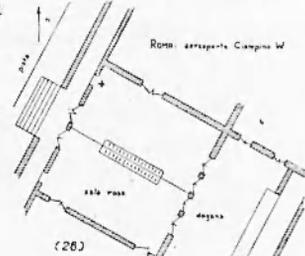
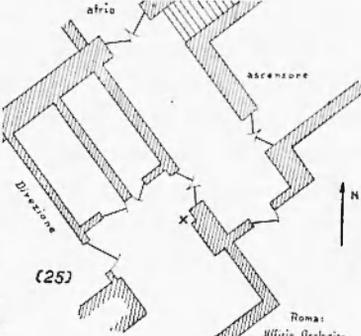
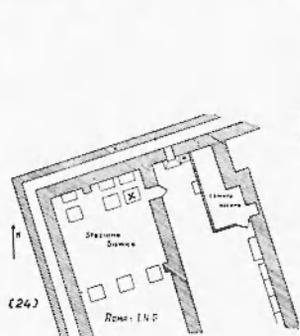
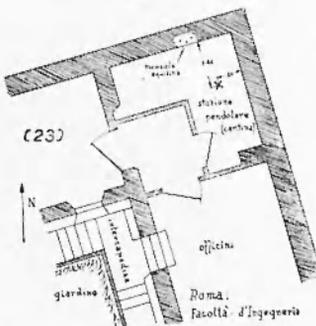
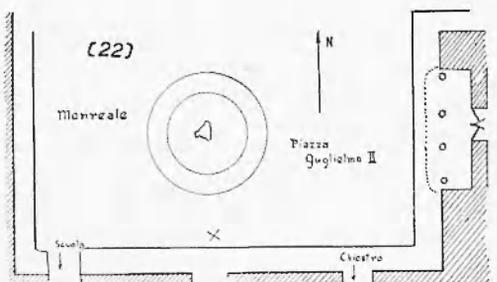
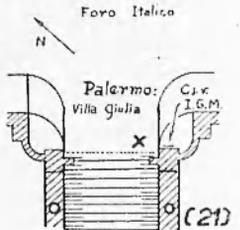
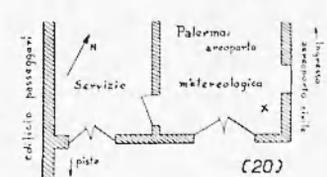
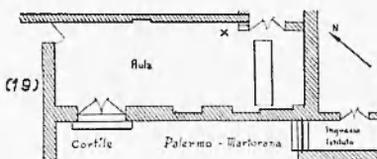
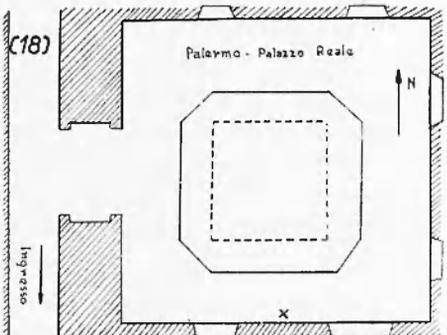
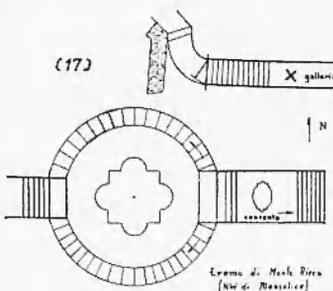
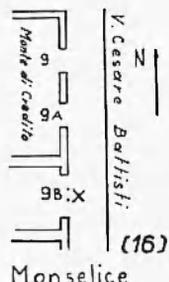
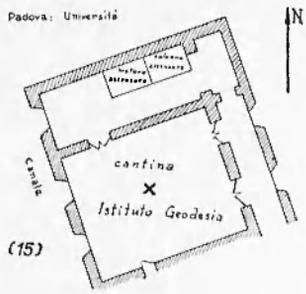
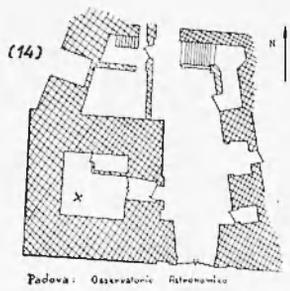
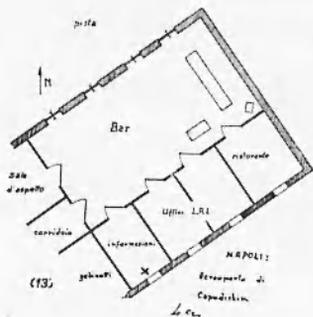
In Italia, adatte a tale scopo sarebbero: *Padova*, stazione gravimetrica nazionale e per lunga tradizione luogo adatto anche per la taratura dei pendoli stessi, modifiche strumentali, ecc.; e *Milano*, per l'attrezzatura disponibile all'Istituto di Geodesia del Politecnico.

Nel caso dei *gravimetri*, occorre anzitutto poter disporre di buoni aeroporti vicini; ed a questo scopo appunto sono state eseguite su quasi tutti gli aeroporti civili italiani le stazioni sussidiarie di cui sopra si è parlato. Data l'alta precisione consentita dai gravimetri, converrà poi inserire nei collegamenti internazionali le stazioni più sicure della rete fondamentale; e tali sono, nel sistema di Potsdam (v. fig. 1), Padova, Trieste, Roma e Milano.

Nella situazione attuale dei collegamenti aerei, la preferenza sembra andare a *Roma* specie per i collegamenti intercontinentali; anche *Milano* è però centro di importantissime linee aeree internazionali; e *Trieste* può servire egregiamente per il Centro-Europa. *Palermo* o *Catania* invece può essere comoda per i collegamenti con l'Africa.

Non sta naturalmente a noi di decidere in argomento; ma riteniamo non inutile questa breve rassegna, soprattutto per i Colleghi stranieri che ormai abbastanza di frequente effettuano collegamenti gravimetrici con l'Italia.

Monografie delle stazioni gravimetriche n. 13-26.



Conclusioni. — Da tutto quanto precede risulta chiaramente con quali vantaggi il gravimetro possa, in determinate condizioni esplicitamente specificate, sostituire il pendolo nei collegamenti gravimetrici. Il pendolo stesso non potrà però mai essere sostituito per la prima taratura dei gravimetri: e controlli successivi saranno sempre oltremodo desiderabili. In particolare per la rete italiana qui istituita una serie di misure pendolari molto accurate fra le stazioni fondamentali alle latitudini estreme sarà eseguita non appena sarà pronta l'attrezzatura strumentale necessaria.

La rete fondamentale qui iniziata presenta una sola lacuna veramente grave, nell'Italia del SE, rimasta scoperta non essendo stato possibile ottenere un aereo militare per queste misure (*): è però auspicabile che essa venga eliminata non appena venisse ripreso il servizio aereo Roma-Bari, o con altri mezzi.

Tutte le rimanenti regioni d'Italia possono essere facilmente collegate, con grandissima precisione ($\pm 0,03$ mgal), con una delle stazioni fondamentali qui istituite, ed essere quindi inserite nella rete nazionale.

Questa poi è già stata collegata nel suo complesso con Potsdam (²), ed è auspicabile possa esserlo ancora nel futuro con altre stazioni nazionali di riferimento europee.

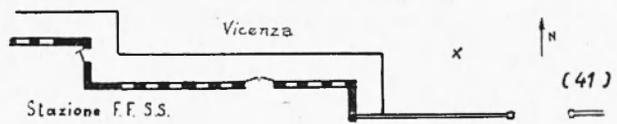
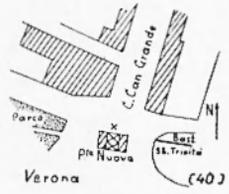
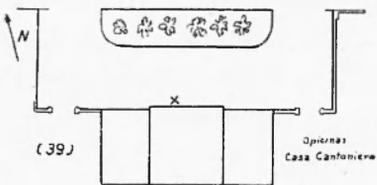
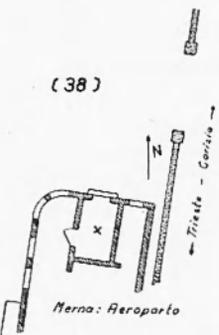
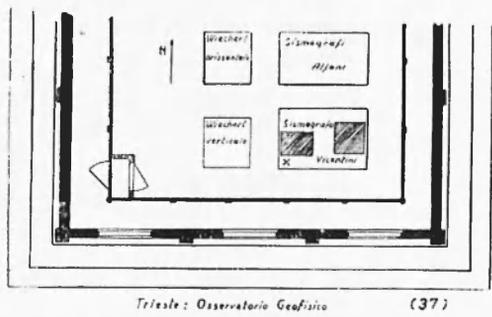
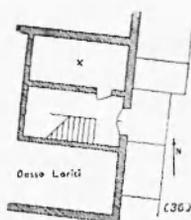
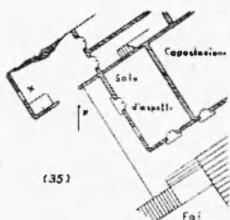
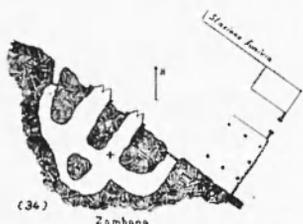
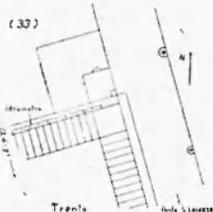
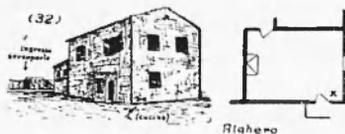
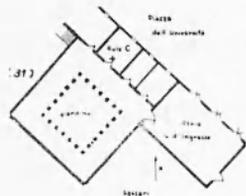
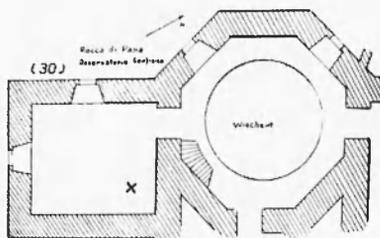
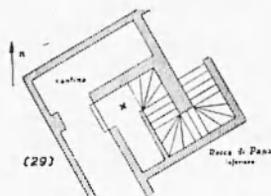
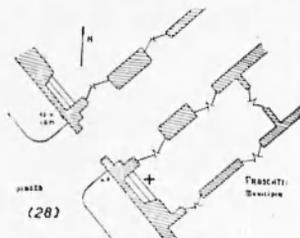
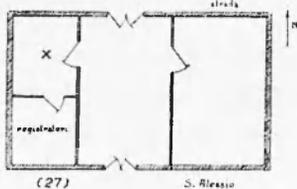
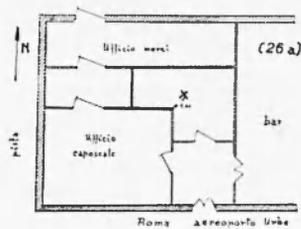
Istituto Naz. di Geofisica — Osserv. di Trieste — Dicembre 1951.

A P P E N D I C E

Successivamente alla consegna alle stampe di questo lavoro, ma prima del licenziamento delle bozze, una ulteriore base di taratura venne richiesta dalla Commissione Geodetica Italiana nel tratto Bologna-Ferrara, dove si può ottenere su breve distanza un salto di gravità cospicuo sfruttando il forte gradiente gravimetrico derivante dall'anomalia dell'avampaese appenninico.

(*) Con l'aereo militare era prevista anche la chiusura completa di tutto il poligono esterno della rete, con l'esecuzione dei lati Cagliari-Palermo, Catania-Bari e Bari-Trieste.

Monografie delle stazioni gravimetriche n. 26a-41.

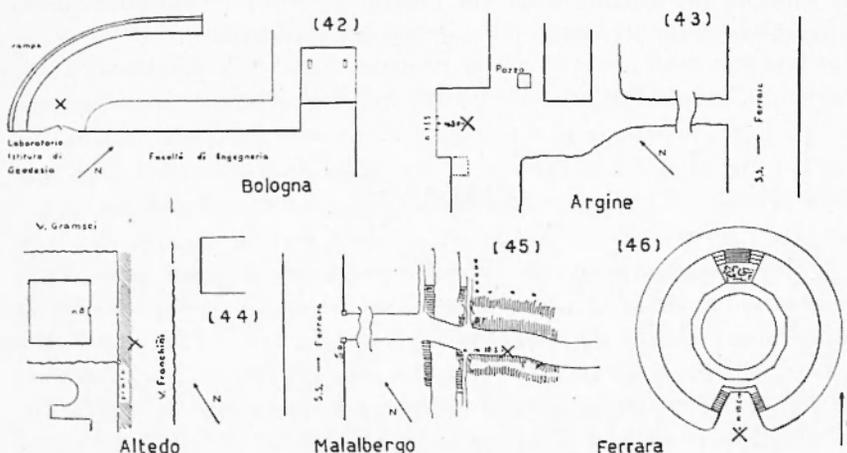


I caposaldi di tale base, stabiliti dal prof. Dore sulla S.S. n. 16, sono i seguenti:

Stazione	Descrizione	Numero della monografia
Bologna III	Facoltà d'Ingegneria, in asse alla porta d'ingresso dell'Istituto di Geodesia, sull'allineamento del bordo del marciapiede	(42)
Argine	a m 3.0 dalla porta n. 135 sulla via Nazionale, località Palazzaccio (al km 109 + V)	(43)
Altedo	Sul bordo W della via Franchini, sull'allineamento con la facciata S della casa n. 8	(44)
Malalbergo	Entrando verso Est per il cancello al km 124+VII, seguendo la stradiciola, appena passato il primo ponte, a m 10.5 dall'estremo E della spalletta S, sul bordo merid. della strada	(45)
Ferrara II	Acquedotto: in asse all'ingresso (sul fronte merid.) a m 10.6 dal cancello, sull'allineamento col bordo del marciapiede	(46)

Le medie delle differenze di gravità osservate con i due gravimetri sono risultate:

Stazione	n	Δg (mgal)	g_{Potsdam}
Bologna III	12	+ 50.32 \pm 0.01	980,442.33
Argine	8	+ 33.24 .01	,492.65
Altedo	12	+ 30.27 .01	,525.89
Malalbergo	10	+ 30.27 .01	,556.16
Ferrara III		+ 47.23 .01	,603,39



I valori di g nel sistema di Potsdam risultano dal collegamento del nuovo punto a Ferrara con la base di Padova, coi seguenti valori:

Stazione	n	Δg (mgal)	g_{Potsdam}
Ferrara II	4	+ 42.45 + 0.02	980,603.39
Rovigo II	4	+ 31.63 .02	,645.84
Monselice			,677.47

Come controllo, si ha:

Stazione	Δg (mgal)
Padova I	— 216.22
Bologna III	— 0.11
Bologna II	+ 122.56
Milano I	+ 94.05
Padova I	
Errore di chiusura:	+ 0.28

La stazione di Bologna II è quella già occupata dal Cunietti ⁽⁵⁾ e dallo scrivente ⁽⁶⁾, nella stanza accanto a quella dei sismografi al pianterreno dell'Istituto di Geodesia. Pure da precedenti collegamenti dello scrivente ⁽⁶⁾ risulta il valore della differenza Bologna II - Milano I sopra riportata.

La stazione Rovigo II qui istituita (Scuola di Via Miani: davanti al cancello del cortile, sulla via Corridoni) è stata collegata con la precedente dello scrivente ⁽⁶⁾, col seguente risultato:

$$\text{Rovigo II} = \text{Rovigo I} + 0.31 \text{ mgal.}$$

RIASSUNTO

Mediante due gravimetri Worden previamente tarati con grande precisione (0,35 %) e convenientemente impiegati (trasporto aereo, collegamenti chiusi nel minor tempo possibile, ecc.), l'Istituto Nazionale di Geofisica ha istituito in Italia una prima rete fondamentale di stazioni di riferimento, distribuite opportunamente in latitudine. I collegamenti eseguiti costituiscono tutti poligoni chiusi, e gli errori

di chiusura non superano mai 0.12 mgal. Come esempio della possibilità di compensazione, è stato applicato il metodo dei minimi quadrati al quadrilatero completo Roma-Napoli-Catania-Palermo: l'errore medio di un collegamento è risultato $\pm 0,04$ mgal. In conseguenza dell'alta precisione della rete, una qualunque delle stazioni fondamentali può essere utilizzata nei collegamenti internazionali. Per i futuri collegamenti aerei nazionali e internazionali, sono state inoltre istituite in quasi tutti gli aeroporti civili stazioni sussidiarie, collegate con grande cura con quelle principali. Sono state infine eseguite, con la precisione del 0,4‰, sei basi di taratura e controllo per i gravimetri a piccola scala (3 nell'Italia settentrionale, 1 nell'Italia centrale e 2 in Sicilia), una per i gravimetri a grande scala (Paganella), ed una per i gravimetri di entrambi i tipi (Bologna-Ferrara).

SUMMARY

By means of two Worden gravity-meters, previously accurately calibrated (0.35‰), and conveniently used (transportation by airplane, connections closed in the shortest possible time, etc.), the National Institute of Geophysics has established in Italy a first basic net of reference stations, which are conveniently distributed in latitude. All connections form closed polygons, whose closure errors are never higher than 0.12 mgal. In order to obtain an example of the compensation possibilities, the minimum squares method has been applied to the whole quadrilateral Rome-Naples-Catania-Palermo: the average error of a single connection results ± 0.04 mgal. Owing to the great accuracy of the net, all fundamental stations can be used for international connections. For future connections by airplane, both national and international, auxiliary stations have been also established at almost all civilian airfields, connected to the principal ones. With the greatest care have also been established six calibration and testing bases for small dial gravity-meters (3 in Northern Italy, 1 in Central Italy and 2 in Sicily), and two for large dial gravity-meters on the Paganella and near Bologna.

BIBLIOGRAFIA

- (1) MORELLI C.: Studio del gravimetro Worden n. 50 e sua applicazione per un rilievo geofisico di dettaglio alle foci del Timavo. «Annali di Geofisica», IV, 2, Roma 1951.

(2) MORELLI C.: *Taratura di due gravimetri Worden e collegamenti europei*. « Annali di Geofisica », IV, 4, Roma 1951.

(3) CUNIETTI M.: *51 misure di gravità relativa eseguite in Italia settentrionale nel 1949*. « Rivista Geomineraria », X, 2, 37-58, Milano 1949.

(4) BOAGA G. e TRIBALTO G.: *Il gravimetro Western G. C. n. 49 del servizio geologico d'Italia*. « Boll. Servizio Geol. d'Italia », vol. LXXII, 1950 (I), nota X.

(5) CUNIETTI M.: *Collegamento gravimetrico delle stazioni di Padova, Bologna e Milano per mezzo di un gravimetro Western G 4 A*. Rivista di Geofisica appl., XI, n. 1, Milano 1950.

(6) MORELLI C.: *Rilievo gravimetrico e riduzione isostatica nell'Italia nord-orientale*. Tecnica Italiana, Nuova Serie, VI, n. 3 e 4, Trieste 1951.