

DISCUSSIONE E CONSIDERAZIONI SULLA COMPENSAZIONE D'INSIEME DELLA RETE INTERNAZIONALE DELLE STAZIONI DI RIFERIMENTO PER LE MISURE DI GRAVITA' RELATIVA (*)

C. MORELLI

§ 1. — PREMessa.

E' ben noto come, date le difficoltà e l'insufficiente precisione delle misure *assolute* di gravità, queste vengano eseguite solo in singoli casi, mentre tutte le altre centinaia di migliaia di misure di gravità che (con pendoli o gravimetri) sono state finora eseguite sulla Terra, sono misure *relative*. Esse presuppongono perciò che sia conosciuto il valore della gravità nei punti di partenza (*stazioni di riferimento*), che in gran numero sono state distribuite ovunque necessario: in generale, almeno una *principale* per ogni nazione dove venivano eseguite misure di gravità, e altre *secondarie* nelle zone dove successivamente lo richiedeva la necessità per altri gruppi di misure.

Il valore della gravità nelle stazioni di riferimento viene a sua volta dedotto mediante *collegamenti* con altre stazioni di riferimento dove esso sia noto o con un *caposaldo internazionale* (prima *Vienna* e poi *Potsdam*; v. § successivo) nel quale è stata eseguita una misura assoluta generalmente accettata come molto precisa.

Finché si rimane nell'ambito di misure di gravità dedotte da una sola stazione di riferimento, non è necessario che il valore di questa sia conosciuto con la massima precisione; questa diventa invece una necessità inderogabile non appena si passa a lavori d'insieme, nei quali siano considerate misure derivanti da diverse stazioni di riferimento (per esempio, nella determinazione delle ondulazioni del geoide).

Da ciò l'opportunità di eseguire numerosi collegamenti di alta precisione fra le singole stazioni di riferimento; e la necessità di pro-

(*) Comunicazione presentata al *Convegno di Firenze* (27-31 ottobre 1917) per il 75° *Anniversario della Fondazione dell'ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE*.

cedere ad una *compensazione* dei risultati quando questi collegamenti siano stati eseguiti.

Nel periodo intercorrente fra le due guerre mondiali, e specialmente negli ultimi anni, *numerosi nuovi collegamenti* erano stati eseguiti ed erano state istituite *molte nuove stazioni di riferimento*. Era perciò necessario, data anche la sufficienza del materiale di osservazione, fare il punto nella situazione, e ordinare tutti i dati disponibili, anche per farsi un'idea chiara delle possibilità del presente e delle necessità per l'avvenire.

Questo appunto abbiamo fatto in altro lavoro ⁽¹⁾, di cui qui esporremo e discuteremo l'impostazione e i risultati più notevoli, nonché alcune conseguenze importanti che se ne possono trarre.

Ma soprattutto ci preme indicare qui le modalità per giungere ad una soluzione definitiva del problema, che dato il suo carattere internazionale solo attraverso la Collaborazione internazionale e la discussione nell'ambito dell'*Unione Geodetica e Geofisica Internazionale* potrà essere definitivamente risolto. Osiamo modestamente sperare che la presente trattazione del problema possa contribuire anche ciò avvenga, possibilmente, in occasione della prossima Assemblea Generale di Oslo (19-28 agosto 1948).

§ 2. — CENNO STORICO.

La necessità di presentare tutte le misure di gravità come un unico complesso si è già manifestata altre due volte negli ultimi 50 anni, dando così origine ai due ben noti *sistemi* che hanno preso il nome dal caposaldo fondamentale: *sistema di Vienna* e *sistema di Potsdam*. Nelle pagine che seguono illustreremo l'opportunità e la possibilità di introdurre oggi un terzo sistema che, per il modo come verrà ricavato, chiameremo *sistema internazionale*.

1. **Sistema di Vienna.** Quando lo HELMERT volle presentare nel 1900 alla *Conferenza Internazionale di Parigi* ⁽²⁾ tutte le misure di gravità (1500 circa) che erano fino allora state eseguite, in numero notevole (1400) specialmente dopo l'introduzione dell'apparato pendolare di *R. von Sterneck* (1887), si trovò nella necessità di riferire tutte le misure ad un unico caposaldo, per il quale egli scelse:

Vienna I.C.M., dato che le 1400 stazioni sopra menzionate erano state eseguite quasi tutte dall'I.G.M. di Vienna e dalla Marina austro-ungarica partendo appunto dal valore di Vienna:

col valore di $g=980,876$ (*), ricavato attraverso collegamenti alle due misure assolute di *Vienna Ossett.* (v. Oppolzer, 1881) e *Monaco* (v. Orff, 1887).

I valori più probabili per le singole stazioni di riferimento in questo sistema vennero ricavati semplicemente facendo la media dei risultati, quando per esse esisteva più d'un collegamento.

2. **Sistema di Potsdam.** Lo stesso HELMERT osservava però già nel 1901 (*) che da controlli con misure successive il valore fondamentale precedente per Vienna I.G.M. sembrava risultare troppo alto di circa 0,015-0,020; e poiché nessuna delle misure assolute precedenti, affette in parte da notevoli errori sistematici, gli pareva adatta per ricavare un valore di g da ritenersi come fondamentale, fece proseguire per ben 8 anni la misura di gravità assoluta iniziata a Potsdam nel 1898 da *Kühnen e Furtwängler*, onde ridurre al minimo l'incertezza derivante da errori sistematici.

Il risultato che per questa misura venne pubblicato come definitivo è stato il seguente:

Potsdam I.C. 52° 22,9N 13° 4,1E h=87 m $g=981,274 \pm 0,003$

e venne ritenuto fino a pochi anni fa come quello di una delle più precise misure assolute di gravità.

Questo fatto, e il fatto che subito dopo quasi tutte le stazioni di riferimento allora esistenti vennero collegate, anche più volte, con Potsdam, per cui il BORRASS poteva eseguire nel 1907 e presentare nel 1909 alla *Conferenza Generale di Londra dell'Assoc. Geodetica Internazionale* (1) un nuovo sistema compensato riferito a Potsdam, hanno fatto sì che in questa Conferenza il **sistema di Potsdam** proposto venisse senz'altro accettato, e che venisse fatta la *convenzione* — che allora sembrava più che giustificata — di accettare per Potsdam il valore 981.274.

Il risultato della compensazione per la differenza Vienna-Potsdam sembrava confermare le previsioni dello Helmhert, dato che si ottenne:

Sistema di Potsdam = Sistema di Vienna — 0,016 cm sec⁻².

Le altre più importanti misure assolute fino allora eseguite presentavano però scarti ben diversi, che nel sistema di Potsdam risultavano ancora schematicamente i seguenti:

(*) Qui e nel seguito tutti i valori di g sono espressi in cm sec⁻² (gal).

Roma (<i>Pisati-Pucci</i> , 1882/87)	—0,020
Madrid (<i>Barraquer</i> , 1882)	0,000
Parigi (<i>Defforges</i> , 1883)	—0,003
Padova (<i>Lorenzoni</i> , 1885/86)	—0,003

La forte eccedenza negativa di questi scarti avrebbe dovuto suscitare almeno qualche dubbio sulla precisione tanto notevole ammessa per il risultato di Potsdam, e quindi invitare a maggiori cautele prima di accogliere il *sistema di Potsdam*; ma essa non venne notata, ed il valore *convenzionale* 981,271 per il caposaldo di riferimento venne accettato senza discussione, nella convinzione che realmente esso fosse esatto entro pochi mgal come indicato.

La rete di riferimento compensata dal Borrass comprendeva 20 stazioni di riferimento principali, e soltanto circa 800 stazioni pendolari in più di quelle contenute nel « sistema di Vienna » presentato dallo Helmert nel 1900. Essa veniva ampliata nel Rapporto presentato all'Assemblea Generale di Amburgo del 1912 con l'aggiunta di circa 300 nuove stazioni. Cioè, in tutto, circa 2600 stazioni.

Da allora sono state eseguite però fino al giorno d'oggi parecchie decine di migliaia di nuove misure con pendoli, parecchie centinaia di migliaia di misure con gravimetri, ed esse hanno richiesto l'istituzione di varie decine di nuove stazioni di riferimento, oppure aumentata enormemente l'importanza di molte delle preesistenti. Nuovi e più precisi collegamenti vennero inoltre eseguiti in buon numero (oltre un centinaio) fra le stazioni di riferimento, e finalmente negli ultimi anni vennero anche eseguite e portate a termine nuove misure assolute, questa volta veramente di alta precisione (*Washington*, 1929-35; *Teddington*, 1938; per la misura assoluta di *Leningrado*, ripresa nel 1933, non è stato ancora reso noto il risultato ottenuto).

Ciò nonostante, i valori del Borrass continuavano a venire accettati, in qualche caso anche quando il disaccordo con le successive misure era evidente. In altri casi invece essi sono stati modificati direttamente dalle Nazioni interessate, facendo così perdere ogni validità alla compensazione del Borrass (come esempi, citiamo la correzione di $-0,010$ adottata nel 1930 per la stazione di riferimento nazionale svizzera, *Basilea*, dal NIETHAMMER; e la correzione di $+0,005$ per *Washington* adottata nel 1933 dall'U.S.C.G.S.).

Era quindi evidente *la necessità di una nuova compensazione* della rete di riferimento internazionale, propugnata anche in tutte le Assemblee Generali dell'Unione Geodetica e Geofisica Internazionale

fin da quella di Roma (1922), per iniziativa soprattutto del compianto prof. SOLER.

3. **Nuovo sistema « internazionale »**. Indotti anche da altre esigenze, quali derivavano dal riordinamento della rete gravimetrica pendolare in Italia (²), abbiamo perciò negli ultimi anni della seconda guerra mondiale *fissato una nuova rete di riferimento internazionale e ne abbiamo eseguita la compensazione* (¹) con i criteri ed i risultati che qui riassumeremo.

Una volta in possesso di questa nuova rete compensata, è sorta immediatamente l'idea di ricavare in altro modo il valore del caposaldo internazionale: cioè, *non più per convenzione sul risultato di una sola misura assoluta, ma su quelli delle più importanti finora eseguite*; abbiamo perciò proposto di chiamarlo « **sistema internazionale** » (⁶) (⁷) (⁸).

Se la correzione derivante per il sistema di Potsdam fosse stata al più di un paio di mgal, l'introduzione del *nuovo sistema internazionale* proposto non avrebbe avuto significato; ma poiché essa è dello stesso ordine di grandezza di quella necessaria per passare dal « sistema di Vienna » al « sistema di Potsdam », dato che dopo le ultime discussioni e revisioni risulta essere (⁹):

Sistema internazionale = Sistema di Potsdam — 0,015 cm sec⁻².

ci sembra più che giustificato proporre l'accettazione.

Ritorniamo più avanti su questo argomento, allo scopo di richiamare anche su di esso l'attenzione delle competenti organizzazioni internazionali.

Prima di chiudere questa rassegna storica, dobbiamo ancora ricordare che *dopo* eseguita la nuova compensazione sopra menzionata, ci è pervenuta nel 1946 una pubblicazione di W. Heiskanen (¹⁰) nella quale viene fatto cenno ad un'altra compensazione della rete internazionale delle stazioni di riferimento compiuta da R. A. Hirvonen. Nel lavoro citato di W. Heiskanen figurano anche i valori per 25 stazioni compensate da R.A. Hirvonen, che ben si accordano in generale con i corrispondenti risultati della nostra compensazione (v. § 3). Un confronto completo fra i metodi e i risultati delle due compensazioni sarebbe oltremodo interessante, ma purtroppo questa compensazione finlandese non è stata ancora pubblicata.

§ 3. — COMPENSAZIONE D'INSIEME O COMPENSAZIONI PARZIALI?

Prima di eseguire la compensazione, era necessario decidere su quali criteri informarla. Il principale fra questi era quello relativo all'impostazione: è più conveniente procedere ad una compensazione d'insieme, o piuttosto alla istituzione di due o tre capisaldi principali, con ottimi collegamenti e compensati a parte, dai quali far dipendere le singole reti da compensare separatamente?

Allo stato attuale dei collegamenti esistenti, e quindi del materiale di osservazione disponibile, la prima soluzione (per la rete principale) ci è sembrata preferibile per i seguenti motivi:

1. — Limitando la compensazione principale solo ai collegamenti fra i due o tre capisaldi sopra menzionati, si verrebbero a trascurare tutti i collegamenti *indiretti* fra di essi (cioè per il tramite di altre stazioni intermedie), i quali sono in generale altrettanto, e spesso più numerosi e non meno attendibili dei collegamenti diretti.

2. — Per riuscire veramente pratica ed efficace, una tale rete principale dovrebbe includere per lo meno Washington e una stazione russa (per es. Leningrado o Mosca); altrimenti sarebbe sempre più consigliabile derivare i collegamenti per le altre reti da compensare direttamente dal caposaldo internazionale (per es. Potsdam). Ma le predette stazioni non sono ancora sufficientemente collegate al giorno d'oggi.

3. — Tutte le altre stazioni di riferimento principali escluse da questa prima compensazione fondamentale dovrebbero:

a) o essere compensate tutte assieme, e allora tanto vale fare un'unica compensazione d'insieme, per quanto esposto in 1;

b) o essere compensate per gruppi, e allora si verrebbero a perdere i collegamenti esterni di ogni singolo gruppo coi gruppi vicini. Inoltre (con un paragone dedotto per analogia dalle reti geodetiche) mentre le tensioni interne dei singoli gruppi potrebbero così essere ridotte al minimo, quelle esterne (per collegamenti fra gruppo e gruppo) potrebbero risultare notevoli, e anche tali da compromettere seriamente i risultati.

Per questi motivi la compensazione da noi eseguita è stata una *compensazione d'insieme*. Precisiamo ancora che ciò si riferisce alla *rete principale*, perché naturalmente le reti di riferimento *secondarie* (nazionali), che nella maggior parte dei casi possono anche ri-

dursi alle singole stazioni di riferimento nazionali, devono in ogni caso esser compensate a parte.

Da quanto apprendiamo dalla Nota sopracitata di W. Heiskanen ⁽²⁰⁾, la compensazione dello HIRVONEN è stata anche una compensazione d'insieme per la maggior parte delle stazioni principali, escluse però quelle della rete baltica, che sono state compensate a parte. Ciò è giustificato dal fatto particolare, chiaramente visibile dal *Quadro I* allegato, che la rete baltica è completamente indipendente.

E. SOLER proponeva invece ⁽²¹⁾ di istituire un *triangolo fondamentale: Helsinki-Parigi-Padova*, da realizzarsi mediante numerosi collegamenti dei vertici fra di loro e con Potsdam; ogni altra stazione nazionale avrebbe dovuto poi collegarsi con almeno due di queste stazioni fondamentali.

Questo progetto si sarebbe prestato bene per una rete europea, ma non sarebbe stato sufficiente per una rete intercontinentale. Nella pratica però i collegamenti successivamente eseguiti non ne hanno tenuto conto.

§ 4. — SCELTA DELLA RETE, RISULTATI E PRECISIONE DELLA COMPENSAZIONE D'INSIEME

Una volta giunti alla conclusione (§ precedente) che una compensazione d'insieme è preferibile a compensazioni parziali, il punto più importante è quello della scelta dei criteri informativi con cui fissare la rete da compensare.

Abbiamo ritenuto conveniente procedere nel seguente modo:

1. — *Collegamenti.*

Tenuto conto che le misure antiche sono in generale molto imprecise, abbiamo anzitutto convenuto di considerare « antiche » tutte quelle anteriori al 1909, epoca nella quale sono stati generalmente introdotti la riduzione a supporto rigido e migliori determinazioni di tempo per gli stati dell'orologio. Questa data non ha valore assoluto; essa rappresenta, per così dire, il limite inferiore per tale introduzione in molti Paesi (Italia per es.), ma in altri tali miglioramenti erano già stati introdotti da tempo.

a) Perciò, in una prima compensazione, che abbiamo chiamata « *generalizzata* », abbiamo considerato anche alcuni collegamenti, fra i più attendibili, precedenti al 1909 (ma in ogni caso successivi

al 1890); e l'attendibilità di questi collegamenti è stata giudicata *anche* in base al confronto coi risultati di una prima *compensazione speditiva* effettuata sulla base dei soli collegamenti moderni, scartando tutti quelli che presentavano differenze superiori a 0.003.

b) In una seconda *compensazione* invece, chiamata *rigorosa*, abbiamo escluso senz'altro tutti i collegamenti anteriori al 1909.

2. — *Stazioni di riferimento.*

a) Nella *compensazione rigorosa* sono state incluse solo quelle stazioni di riferimento che possedevano *almeno due* collegamenti moderni *attendibili*. Qui il criterio di attendibilità è stato fondato sull'esame intrinseco della invariabilità dei pendoli, precisione delle correzioni applicate, ecc. Si tratta quindi di un criterio in parte soggettivo, poiché basato sul procedimento tenuto nelle singole determinazioni e sulla fiducia derivante dalla lettura delle rispettive relazioni; ma a priori non poteva essere fatto diversamente.

b) Nella *compensazione generalizzata* sono state incluse anche, per la loro importanza, tre stazioni *con un solo collegamento moderno, ma con altri e attendibili precedenti*: *Pulkovo*, perché punto di attacco importantissimo per tutta la rete russa (v. § 7); *Basilza Bern.*, perché stazione nazionale di riferimento per la Svizzera dal 1903 al 1928; e *Vienna I.G.M.* perché caposaldo internazionale fino al 1909 e collegata fino a quell'epoca con un gran numero di altre stazioni.

Le stazioni della rete principale compensata risultano così (ordinate per latitudine) dalla *tabella* della pag. seguente, nella quale sono riportati pure i risultati delle compensazioni e il valore conclusivo proposto.

Le coordinate e le altezze sono in generale quelle adottate nelle misure moderne. L'asterisco * contrassegna le stazioni già facenti parte della rete del Borrass; delle 20 stazioni su cui si basava la compensazione del Borrass se ne sono potute includere nella nuova compensazione soltanto 8. Le stazioni sottolineate sono quelle escluse dalla compensazione rigorosa (v. sopra. *b*).

3. — *Serie dei collegamenti.*

I collegamenti accettati fra le stazioni della tabella seguente sono stati ordinati cronologicamente e numerati da 1 a 19, se considerati nella compensazione generalizzata ma non in quella rigorosa.

sa, e da 51 a 92 se in entrambe (questi sono quindi quelli che sopra abbiamo chiamato *attendibili moderni*).

Nell'impossibilità di riportarli qui per esteso, rimandiamo il lettore alla pubbl. (1) per particolari sui valori da essi risultanti, sugli osservatori, sulla fonte, nonché per le osservazioni ad essi relative. Qui ne riportiamo soltanto lo schema nel *Quadro 1*.

STAZIONE	LATITUDINE	LONGITUDINE (Greenwich)	h (m)	RISULTATI DELLA COMPENSAZIONE			UBICAZIONE E NOTE
				generalizzata	rigorosa	altresimolo	
Helsinki	60° 10,6 N	24° 57,5 E	20,5	981,9154	981,9164	981,916	<i>Ist. a. Fisica dell' Univ. (dal 1924)</i>
Pulkowo	59 46,3	30 19,7	71	,8998	—	,900	<i>Osserv. Astronomico</i>
Stoccolma	59,7	18 02,9	8,6	,8461	,8466	,847	<i>Rikets allm. Kartverk (dal 1924)</i>
Copenaghen	55 44,6	12 30,2	45	,5583	,5584	,558	<i>Ist. Geodetico, Pol. 1</i>
Poznan	52 24,7	16 55,7	57	,2640	,2642	,264	<i>Ufficio delle Misure</i>
Potsdam	22,9	13 04,1	87	,2740	—	,274	<i>Ist. Geodetico</i>
Varsavia	14,4	21 00,2	111	,2402	2404	240	<i>Ufficio Mezz. delle Misure</i>
De Bilt	06,2	5 10,7	2	,2676	2680	,268	<i>Ist. Meteorologico</i>
Greenwich	51 28,6	0 00,3	47	,1892	,1893	,189	<i>Ex Pedigione magnetico (dal 1927)</i>
Uccle	50 47,9	4 21,5	102	,1313	,1315	,131	<i>Osserv. Reale</i>
Cracovia	95,9	19 57,6	205	,0533	,0535	,053	<i>id. Astronomico</i>
Brno	49 12,4	16 35,5	247	960,9607	980,9608	980,961	<i>Politecnico, Ist. Geodetico</i>
Porigi	48 50,2	2 20,2	61	,9455	,9461	,946	<i>Osserv. Astronomico</i>
Strasburgo	55,0	7 46,1	137	,8991	,8998	,899	<i>id. dell' Università</i>
Vienna Oss.	13,9	16 20,4	236	,8526	,8529	,853	<i>Oss. Astr. (Wahring, Türkenschanz, etc. etc. Nord)</i>
Vienna IGM	12,7	21,5	183	,8595	—	,860	<i>Ex Ist. Geogr. Milit. (D. Astro. in centro)</i>
Monaco	08,7	11 36,6	525	,7328	,7329	,733	<i>Oss. Astr. (Bogenheim) (astro. in centro)</i>
Basilea Bern	47 33,6	7 34,8	277	,7778	—	,778	<i>Benjaminium (equatoriale dal 1923 al 1928)</i>
id. Binn.	32,5	33,1	310	,7649	,7652	,765	<i>Birmingen, Ist. Astr. dell' Univ. (astro. in centro)</i>
Budapest	28,9	19 03,2	106	,8527	,8530	,853	<i>Ist. Geod. Univ. Sc. Tec.</i>
Lione	45 41,0	4 46,8	296	,6185	,6189	,619	<i>Ex Saint-Genis-Laval</i>
Padova	24,1	11 52,2	19	,6550	,6561	,656	<i>Oss. Astronomico</i>
Citawa	23,6	75 43,0 W	83	,6217	,6210	,622	<i>Dominion Observatory</i>
Torino	04,1	7 42,0 E	231	,5441	,5445	,544	<i>Ist. Geod. dell' Università</i>
Bolcna	44 29,8	11 21,3	50	,4506	,4511	,451	<i>id. id. id.</i>
Genova	25,15	8 55,3	97	,5565	,5568	,557	<i>Ist. Idrografico</i>
Firenze IGM	43 46,8	11 15,2	48	,5017	,5019	,502	<i>Ist. Geogr. Militare</i>
id. Arc.	45,2	16,5	184	,4896	,4892	,490	<i>Oss. Astr. di Arcetri</i>
Pisa	43,2	10 23,4	3	,5358	,5362	,536	<i>Ist. Geod. dell' Università</i>
Roma	41 53,6	12 29,7	49	,3660	,3663	,366	<i>Scuola Ingegneria</i>
Madrid	40 24,5	3 41,2 W	655	979,9826	979,9850	979,983	<i>Oss. Astronomico</i>
Washington	38 53,6	77 02,0	0	980,1186	980,1180	980,118	<i>Commerce Build. (dal 1922)</i>
Libona	42,5	9 11,2	75	,0881	,0885	,088	<i>Ist. Geografico</i>

1. — *Pesi*.

Il problema più grave e delicato nell'impostazione della compensazione è quello dei *pesi* da attribuire ai singoli collegamenti, in quanto il materiale di osservazione disponibile è dovuto a vari osservatori, con strumenti e metodi diversi, e si estende nel tempo per ben 50 anni: l'insieme si presenta quindi tutt'altro che omogeneo, ed è perciò indispensabile trovare il modo di poterlo giustamente valutare.

Essendo risultata inattuabile praticamente la deduzione dei pesi

sulla base degli errori medi pubblicati, e poiché d'altra parte questa condizione è soltanto una condizione necessaria, ma non sufficiente (v. § 5, *Risposta* alla 4^a *Obb.*), per la determinazione dei pesi da attribuire alle singole misure abbiamo quindi parzialmente *adottato* (solo come *informativo*) lo stesso criterio seguito per decidere quali delle misure effettuate dal 1891 al 1908 andavano tenute per buone o scartate: si sono cioè *anche* confrontati i valori osservati nelle singole stazioni coi valori per queste dedotti con la compensazione speditiva sulla base delle sole misure moderne, tenendo conto ove possibile dei particolari di osservazione pubblicati.

Considerando infine che l'errore medio anche delle misure più antiche *incluse nella presente compensazione* non è superiore a ± 0.0032 , e che per quanto si dirà più avanti sugli errori sistematici nelle misure moderne è pure impossibile ottenere una precisione superiore ± 0.001 con pendoli liberi, il peso attribuito ad ogni differenza di gravità osservata *in base al suo errore medio* è stato 1 nel primo caso, 10 nel secondo, ed inversamente proporzionale al quadrato dell'errore medio nei casi intermedi.

5. — *Equazioni generate e risoluzioni del sistema normale.*

Senza entrare nei particolari, ricordiamo che dalla ben nota formula per le misure di gravità relativa

$$g_i = g_1 \frac{T_1^2}{T_i^2}$$

dopo alcuni semplici passaggi e sostituzioni si ottiene la seguente *equazione generata* fondamentale

$$u + (i) = d_i + v_i$$

dove u è una costante per la serie, (i) la correzione da applicare al valore approssimato scelto per la stazione i , d_i la differenza fra il valore osservato e quello approssimato, e v_i la correzione al valore osservato nel punto i .

Da queste equazioni generate scritte per tutti i collegamenti si sono ricavate le corrispondenti *equazioni ridotte*, che moltiplicate per il proprio peso hanno dato luogo ad altrettante *equazioni normali ridotte*. Da queste, sommando assieme tutte le equazioni relative ad ogni stazione, si è ottenuto un *sistema normale* di 33 equazioni nelle

33 incognite (i) nel caso della compensazione generalizzata, di 30 equazioni in 30 incognite nel caso della compensazione rigorosa.

Tenendo conto di tutti gli accorgimenti e dei continui controlli per ogni equazione del sistema risolvete, il sistema normale è stato risolto nel primo caso col metodo di Gauss e col metodo dei coefficienti indeterminati, ottenendo soluzioni coincidenti entro 0,00006 nei due casi, ed errori medi per le incognite sempre inferiori a 0,0013: *ciò comprova la buona attendibilità dei valori ottenuti dalla presente compensazione*, e lascia sperare che difficilmente i risultati di una nuova compensazione potrebbero differire da quelli della nostra per più di 2 mgal, almeno per le stazioni della rete principale.

Analoghe conclusioni valgono a maggior ragione per i risultati della risoluzione del sistema normale nel caso della compensazione rigorosa, che però è stata effettuata solo col metodo di Gauss.

§ 5. — DISCUSSIONE CRITICA DELL'IMPOSTAZIONE

Ci proponiamo qui di sottoporre a critica senza pregiudizi soprattutto i criteri che hanno portato all'impostazione della presente compensazione.

1^a Obbiezione: *Sarebbe stato meglio includere nella rete principale soltanto stazioni di riferimento con almeno tre collegamenti moderni attendibili.*

Risposta: La stabilità della rete sarebbe con ciò aumentata più in apparenza che in realtà. Difatti (v. Quadro I), ne sarebbe stata esclusa una stazione periferica (*Lisbona*) senza alcun riflesso sul resto della rete, tre stazioni centrali (*Greenwich, Vienna Oss. e Monaco*) dove l'ottima concordanza di tutti i collegamenti (anche antichi) sta a convalidare l'attendibilità del risultato e ne giustifica l'inclusione nella rete, e due stazioni (*Torino e Brno*) che non possono alterare che minimamente gli altri valori della rete. In tutto quindi sei stazioni, di cui però cinque forniscono ottimi collegamenti indiretti fra le altre stazioni della rete principale e la cui soppressione avrebbe quindi diminuito, e non rafforzato la sua stabilità.

2^a Obbiezione: *I risultati della compensazione dipendono dalla scelta delle stazioni e dei collegamenti.*

Risposta: Ciò può essere vero qualora, omettendo molte stazioni (intermedie) con buoni collegamenti, si finisca con l'eliminare molti collegamenti indiretti. Se però i collegamenti che rimangono sono ve-

raunente attendibili, la variazione dei valori non può essere che minima.

Una prova in tal senso è fornita dal fatto che nella nostra « compensazione rigorosa » sono state omesse 3 stazioni e 19 collegamenti (tutti gli antichi, più qualche moderno) rispetto a quella « generalizzata », senza che i risultati abbiano subito alcuna modifica sostanziale.

3^a Obbiezione: *L'accettazione (nella compensazione generalizzata) dei soli collegamenti del periodo 1891-1908 che scartano per non più di 3 mgal dai valori calcolati con una compensazione speditiva dà a questa un'importanza e un'influenza sui risultati finali più forte di quelle che di norma si hanno da un calcolo di prima approssimazione (e che non hanno in generale alcuna influenza sul risultato definitivo).*

Risposta: Trattandosi di misure antiche, era necessario trovare un modo per escludere dai calcoli quelle che *più probabilmente* erano da ritenersi affette da maggiori errori. Per non influire però eccessivamente sul risultato finale, ai collegamenti di questo periodo inclusi nella compensazione si è attribuito un peso minimo (al massimo il peso 2).

4^a Obbiezione: *I pesi per i vari collegamenti avrebbero dovuto essere ricavati in maniera esclusivamente obbiettiva, per esempio solo in funzione degli errori medi pubblicati dai singoli Autori.*

Risposta: Anche a prescindere dal fatto che ben pochi Autori hanno pubblicato gli elementi indispensabili per poter dedurre a priori la precisione dei singoli collegamenti in maniera rigorosa, la seguente considerazione di carattere generale consiglia di seguire una via diversa. Difatti, l'esame critico approfondito delle cause di errori sistematici nelle misure di gravità relativa coi pendoli ha rivelato che ci si trova spesso di fronte a cause non suscettibili di misura (per es. forte influenza magnetica, microsismi, ecc.). Si tratta di cause che influiscono nello stesso modo su tutte le osservazioni di una stazione, ma non ugualmente per tutte le stazioni.

Solo ai geodeti più scrupolosi e precisi è riuscito di constatare come anche all'esame più accurato possono sfuggire queste cause sistematiche di errore, che rimangono inesplicate. Simili errori sistematici essendo dell'ordine di grandezza di quelli accidentali o perfino ad essi superiori, ne risulta che « *il criterio di precisione ottenuto dalla concordanza intrinseca delle misure si deve considerare in generale come illusorio* » (Kwiatkowski, Lejay).

Cioè, osservazioni regolari condotte con metodo e con gran cura, su ottimi pilastri, possono anche fornire valori molto concordanti e quindi « scarti medi » molto piccoli: ma questo non significa senz'altro che non siano presenti errori sistematici anche notevoli, che solo altre misure, svolte da altri operatori con altri strumenti e con la stessa accuratezza, possono mettere in evidenza.

Ne segue che dalle pubblicazioni con i particolari delle osservazioni si possono ricavare in generale piuttosto indicazioni per lo studio del metodo che sulla precisione effettiva dei risultati: questa risulta invece sicuramente *dalla ripetizione delle misure con strumenti, metodo ed osservatori diversi*. Conclusione questa importantissima, che comprova la necessità anzitutto di un esame accurato dei dati disponibili e *successivamente di un confronto fra tutti i collegamenti riferentisi alla stessa coppia di stazioni*, dal quale solo il giudizio personale del ricercatore potrà, quando possibile, ricavare i veri gradi di attendibilità. Quindi, giudizio *soggettivo*, ma solo nel senso che molte volte la concordanza delle singole misure, e quindi la piccolezza dell'errore medio, non è sufficiente a garantire l'attendibilità del risultato, e che allora (naturalmente, ciò non è sempre possibile) è l'abilità del ricercatore che deve trovare il modo di ricavarla.

5^a Obbiezione: *I pesi per i collegamenti moderni dovrebbero essere tutti dello stesso importo,*

Risposta: Già da quanto precede risulta che i pesi *devono* essere differenti. Possiamo aggiungere ancora che anche *l'epoca* influisce in generale sull'attendibilità delle osservazioni, in quanto la tecnica strumentale e osservativa, la precisione della correzione del tempo e delle altre correzioni ai valori osservati, ecc., migliora continuamente coll'incessante progresso della scienza.

In generale, non abbiamo perciò attribuito peso superiore a 2 alle misure anteriori al 1900, a 4 a quelle anteriori al 1909, a 6 a quelle anteriori al 1921 (mentre, come si è detto, alle misure anteriori al 1890 si è attribuito peso nullo, cioè si sono escluse).

6^a Obbiezione: *I risultati della compensazione dipendono dai pesi.*

Risposta: Questo, naturalmente avviene in ogni caso. Ma la dipendenza non è tale da ritenere che una differente scelta *ragionata* dei pesi porterebbe a risultati sensibilmente diversi. Difatti, da quanto precede risulta che il metodo che abbiamo seguito è forse fra i meno soggettivi; e la concordanza soddisfacente con i risultati della compensazione, *solta in maniera del tutto indipendente e diversa*

dallo Hirvonen (il quale ha invece attribuito peso 1 a tutti i collegamenti anteriori al 1901, e peso 5 a tutti quelli moderni), è un'ottima prova indiretta dell'esigua influenza dei pesi.

7^a Obbiezione: *La rete baltica avrebbe potuto essere compensata a parte* (come ha fatto R. A. HIRVONEN), *non possedendo alcun collegamento con altre stazioni di riferimento diverse da Potsdam* (v. Quadro 1).

Risposta: Ne sarebbe solo derivata una maggiore schematicità, ma non una effettiva riduzione dei calcoli: perchè le equazioni (generate e normali) sono solo funzioni delle incognite corrispondenti alle stazioni con cui esistono effettivi collegamenti.

8^a Obbiezione: *Nella rete principale non dovrebbe essere inclusa più di una stazione di riferimento per Stato.*

Risposta: Ciò implicherebbe anzitutto nella maggior parte dei casi (quando cioè i collegamenti internazionali per la stazione scelta non fossero sufficienti) la necessità di procedere prima a compensazioni parziali *interne* per ogni singolo Stato (rese più semplici dal fatto che nei collegamenti interni è da prevedere almeno in generale una maggiore omogeneità: es. Polonia: spesso però questa è soltanto illusoria: es. Italia); in modo da permettere di ricondurre i collegamenti fra stazioni qualunque di due Stati diversi a collegamenti fra le stazioni fondamentali di quei due Stati.

Osserviamo però subito che queste compensazioni parziali preliminari sono possibili dove si tratti di reti *solamente interne*, ma non quando molti dei collegamenti dipendono dall'estero (cioè da stazioni non ancora compensate, per le quali non si conoscerebbe ancora il valore più probabile), come nella totalità dei casi che avremmo dovuto affrontare (v. Quadro 1: nella rete francese, *Lione* è collegata soprattutto con *Basilea*, e *Strasburgo* con *Uccle*; in quella tedesca, *Monaco* dipende anche da *Basilea* e da *Vienna*; nella polacca, *Cracovia* da *Vienna*; in quella italiana, *Genova* è collegata soprattutto con *Vienna* e *De Bilt*, *Firenze* anche con *Lione*).

Inoltre la compensazione generale con una sola stazione fondamentale per Stato avrebbe semplificato il problema, com'è intuitivo, soltanto nella estensione dei calcoli, e anche qui non di molto per la necessità delle compensazioni parziali. Mentre una seria complicazione, e non formale, sorgerebbe allora dalla necessità di dover decidere sui pesi per i collegamenti fra stazioni non fondamentali, i cui valori non presenterebbero necessariamente tutti la stessa atten-

dibilità. Si correrebbe così il rischio di rendere in maggior misura le stazioni fondamentali affette dagli errori commessi nei collegamenti con e fra le secondarie.

Per cui non abbiamo ritenuto di introdurre quest'ulteriore limitazione, anche per le seguenti altre considerazioni:

a) Quando in uno Stato ci fossero state più stazioni con all'incirca gli stessi requisiti (cioè, lo stesso numero di buoni collegamenti con l'estero), sarebbe stato necessario scegliere fra esse. Anche facendo astrazione dalla considerazione che tale scelta avrebbe reso necessario il parere in proposito delle competenti Commissioni Geodetiche Nazionali o Organi corrispondenti, impossibile ad ottenersi durante la guerra, restava soprattutto l'inconveniente di dover scartare in tal modo dalla rete internazionale stazioni molto importanti e con buoni collegamenti (es. per l'Italia *Roma* e *Genova*, per la Francia *Strasburgo*, per la Polonia *Cracovia*); e ciò avrebbe portato certamente ad una diminuzione della stabilità della rete internazionale compensata.

b) Un ulteriore indebolimento della rete in questo senso, seppure di minore importanza si sarebbe avuto sopprimendo anche le altre stazioni nazionali con i requisiti sopra fissati ma con meno collegamenti con l'estero (cioè, con collegamenti soprattutto nazionali). Difatti, attraverso queste stazioni risultano ulteriori collegamenti (indiretti) fra gli altri capisaldi internazionali (per es. *Monaco* collega *Basilea* con *Potsdam*, *Cracovia* collega *Varsavia* con *Vienna*, ecc.), oppure vengono consolidate le differenze fra le principali stazioni nazionali (es. *Poznan* fra *Varsavia* e *Cracovia*; *Torino*, *Bologna*, *Firenze* e *Pisa* fra *Padova*, *Genova* e *Roma*; ecc.).

Osserviamo infine che con la scelta di un solo caposaldo per Stato da includersi nella compensazione internazionale, le stazioni da escludersi sarebbero state (molto probabilmente):

Francia	-	<i>Strasburgo</i> e <i>Lione</i> ;
Germania	-	<i>Monaco</i> ;
Svizzera	-	<i>Basilea Bern.</i> ;
Polonia	-	<i>Cracovia</i> e <i>Poznan</i> ;
Austria	-	<i>Vienna I.G.M.</i> ;
Italia	-	<i>Torino</i> , <i>Genova</i> , <i>Bologna</i> , <i>Firenze I.G.M.</i> , <i>Firenze Arc.</i> , <i>Pisa</i> e <i>Roma</i> .

Con la perdita di quasi la metà delle stazioni la rete qui compensata si sarebbe naturalmente semplificata, il lavoro sarebbe stato

più semplice, ma (come un semplice sguardo al Quadro I lo dimostra) avrebbe anche perduto molto nella sua stabilità.

Ad ogni modo, qualora dalla discussione, che ci auguriamo possa avere origine da questo lavoro, risultasse chiaramente l'opportunità di ridurre il numero dei capi-saldi internazionali ad uno, o al massimo due per Stato, saremmo ben lieti di rifare la compensazione così ridotta, soprattutto se dalla discussione risultassero nuovi elementi.

Specifichiamo ancora che il maggior numero di stazioni italiane rispetto a quelle degli altri Stati incluse nella rete è *dovuto solamente al fatto che*, una volta fissato il criterio di ammissione nella rete da compensare (almeno due collegamenti moderni), *in Italia tante ne esistevano con i requisiti richiesti*. Di esse anzi alcune (*Bologna, Pisa e Firenze Arcetri*) non sono (ancora) state vere e proprie stazioni di riferimento, ma possedendo i requisiti richiesti sono state incluse per aumentare la stabilità della rete (secondo quanto dianzi si è detto). E ricordiamo anche che è stata proprio la necessità di una compensazione della rete italiana e delle stazioni di riferimento finitime che ha dato origine alla presente compensazione.

§ 6. — DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Abbiamo visto nei due §§ precedenti che i risultati della compensazione si possono accettare con fiducia sia per quanto riguarda l'impostazione che per l'esecuzione dei calcoli, dato che gli errori medi sono al massimo dell'ordine di 1 mgal, e quindi più che soddisfacenti. Resta ancora da vedere se questa attendibilità è proprio *reale*, e non illusoria per es. per la coincidenza casuale dei risultati di collegamenti insufficienti o poco attendibili. Perciò abbiamo esaminato separatamente ogni singola stazione ed i collegamenti ad essa relativi.

I risultati di questa discussione si possono riassumere come segue:

a) *La maggior parte delle stazioni di riferimento incluse nella rete principale compensata possiedono collegamenti sufficienti per confermare che il risultato della compensazione si può accettare con giustificata fiducia sicuro con l'approssimazione di 1 mgal.*

b) *Data l'importanza delle stazioni, un ulteriore collegamento di controllo di grande precisione è auspicabile per Greenwich e Parigi; non sembra necessario, ma non sarebbe inutile anche per Brno e Strasburgo.*

c) *Data la forte discordanza di alcuni dei collegamenti per To-*

rino, di cui non si è tenuto conto nella compensazione, auspichiamo un nuovo collegamento anche per questa stazione.

d) Per *Washington* una parte del nostro voto espresso in (4) è stata esaudita poiché le principali stazioni di riferimento sono state collegate con grandissima precisione mediante gravimetro nel 1946 da S. HAMMER (5). Si possono così accettare come definitive le seguenti differenze fra le varie stazioni di riferimento di Washington da quella al *Nat. Bureau of Standards*, sede della misura assoluta (U.S.C.G.S. n. 84A):

<i>Richards Bldg.</i>	(U.S.C.G.S. n. 21)	:	15.1 mgal
<i>Smithsonian Inst.</i>	(" " 22)	:	19 " "
<i>Commerce Bldg.</i>	(" " 337)	:	19.5 " "

Ne consegue che i collegamenti effettuati con le varie stazioni in Washington, riportati al *Commerce Bldg.* che è l'attuale stazione di riferimento nazionale degli U.S.A., darebbero i seguenti risultati:

				Pesi
con Potsdam	1900	McDiarmid-Miller	.115	2
» Ottawa	1914/21	Putnam	.121	2
» De Bilt	1928	Vening Meinesz	.124	2
» Potsdam	1929	Miller	.122	8
» »	1932/33	Brown	.1176	8
» Teddington (*)	1939	Bullard-Browne	.1175	4

Con i pesi indicati nell'ultima colonna, e giustificati dal fatto che i due primi collegamenti sono piuttosto antichi, mentre la misura di Vening Meinesz non era un collegamento diretto con Potsdam, si ottiene il seguente risultato:

Washington Commerce Bldg. g = 980,1192

Ciò comporterebbe per le altre stazioni di riferimento in Washington i seguenti valori:

Nat. Bureau of Standards	980,100
Richards Bldg.	.115
Smithsonian Inst.	.119

(*) Il valore di Teddington si può accettare con sufficiente attendibilità in 981.195, dopo un nuovo collegamento Teddington-Greenwich della Anglo-Iranian Oil Co., nel 1947 mediante gravimetro (cortesia di E. C. Bullard).

Data però la notevole discordanza fra i risultati dei vari collegamenti per Washington, questi risultati devono assumersi come provvisori, ed è invece da auspicare quel collegamento di altissima precisione fra Washington e le altre sedi delle principali misure assolute, per cui è espressa la necessità nel § 10; tanto più che il collegamento del BROWN (1933) ha rivelato per il tratto in Washington (N.B.S.-Comm. Bldg.) un errore di circa 2 mgal dal confronto con le misure con gravimetro (¹).

§ 7. — ESTENSIONE DELLA RETE COMPENSATA

Lo scopo fondamentale della rete principale compensata è quello di fornire dei capisaldi convenientemente distribuiti, dai quali sia possibile ricavare con grande sicurezza il valore della gravità in altre stazioni (di riferimento), senza dover collegarsi ogni volta direttamente con Potsdam. *Si ha quindi ora la possibilità di dedurre il valore di ogni altra stazione di riferimento, o anche di nuove reti secondarie, mediante (almeno due) collegamenti attendibili con stazioni (preferibilmente diverse) della rete principale.*

Nell'impossibilità di riportare tutti i dati di osservazione, le coordinate delle stazioni ed i calcoli eseguiti in (²), ci limiteremo ad esporre qui in sintesi i risultati per i seguenti casi considerati:

1. — Reti secondarie di riferimento compensate a parte

Data la grandissima importanza della rete nazionale di riferimento russa, poiché da essa dipendono i valori di oltre 10.000 stazioni pendolari nell'U.R.S.S. (finora solo in minima parte note):

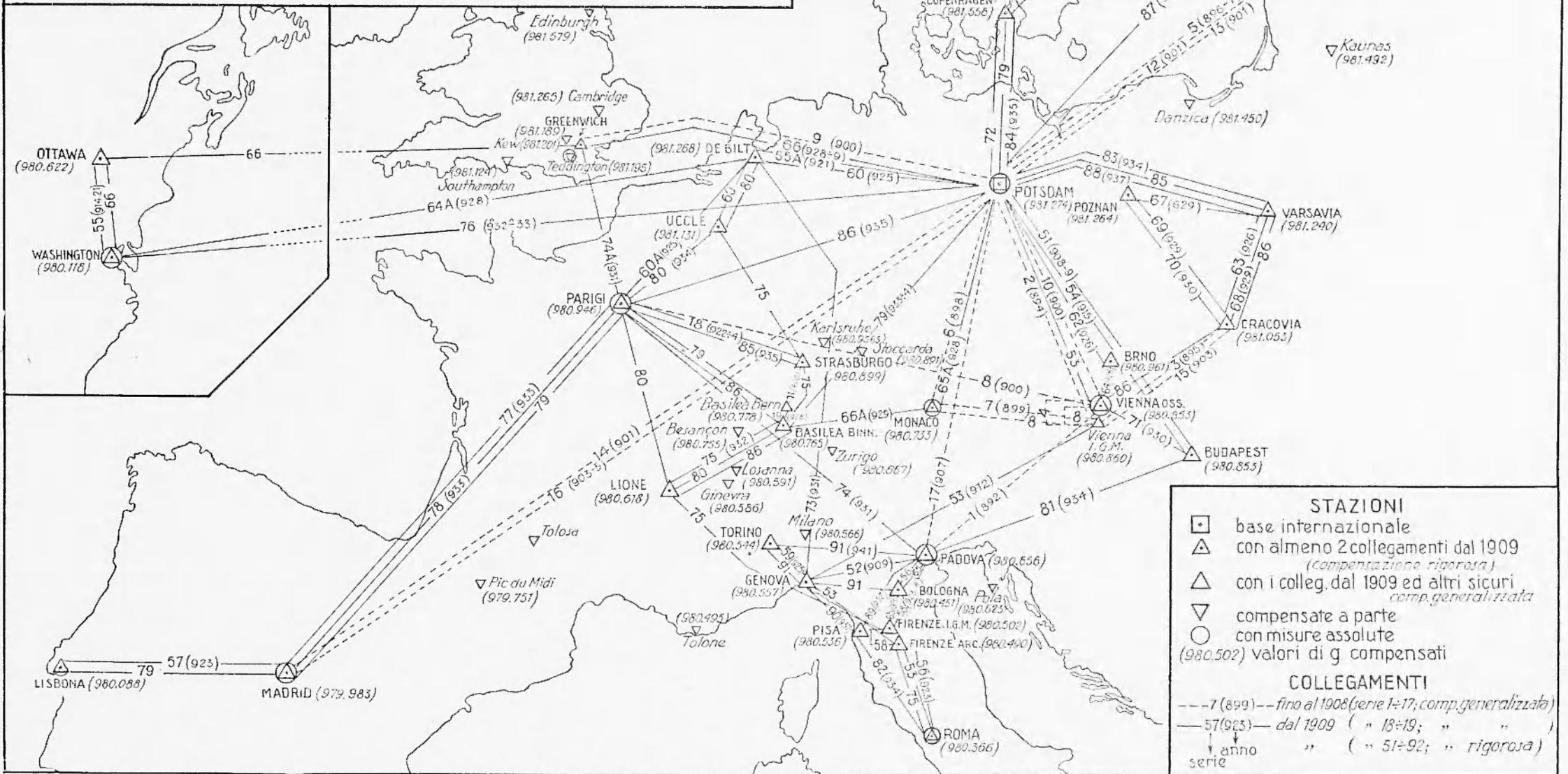
dato che per esse sono state eseguite dal PARIYSKY due compensazioni parziali: la prima nel 1935 per tutte le stazioni esclusa Tiflis, omettendo per Pulkowo i due importantissimi collegamenti del 1930, e accettando per Leningrado i risultati ottenuti a parte dal GISHITZKY; la seconda nel 1945 solo per Tiflis:

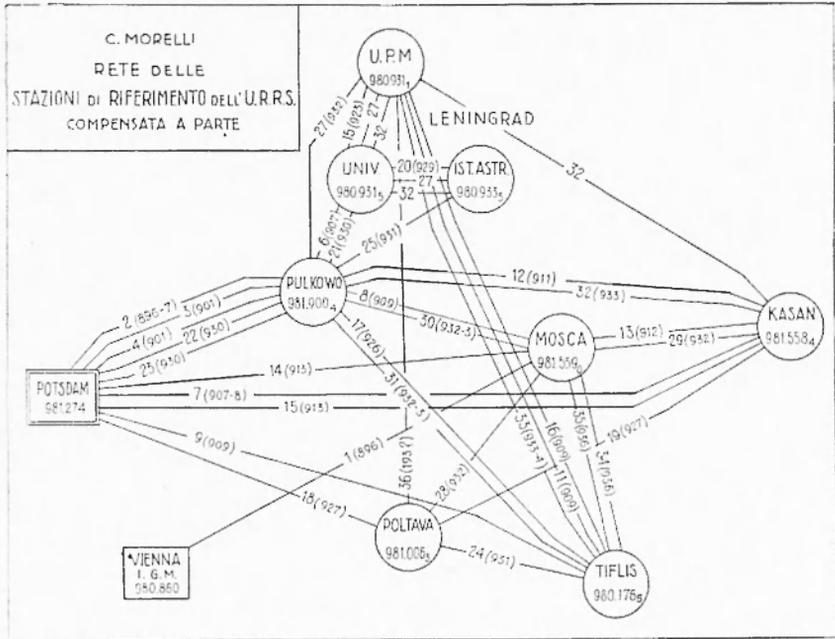
abbiamo ritenuto non inutile eseguire una compensazione d'insieme della rete di riferimento russa, con i criteri già adottati per la rete internazionale principale e sopra esposti, ed effettuando l'attacco a questa attraverso Potsdam e Vienna (anziché solo con Potsdam, come ha fatto il Pariysky per la prima compensazione sopra citata). Per brevità ci limitiamo a riportare lo schema dei collegamenti ed i risultati nella *fig. seguente.*

RETE GRAVIMETRICA INTERNAZIONALE DELLE STAZIONI DI RIFERIMENTO

compensata dal dott. C. Morelli

Osservatorio Geofisico di Trieste dell'Ist. Naz. di Geofisica





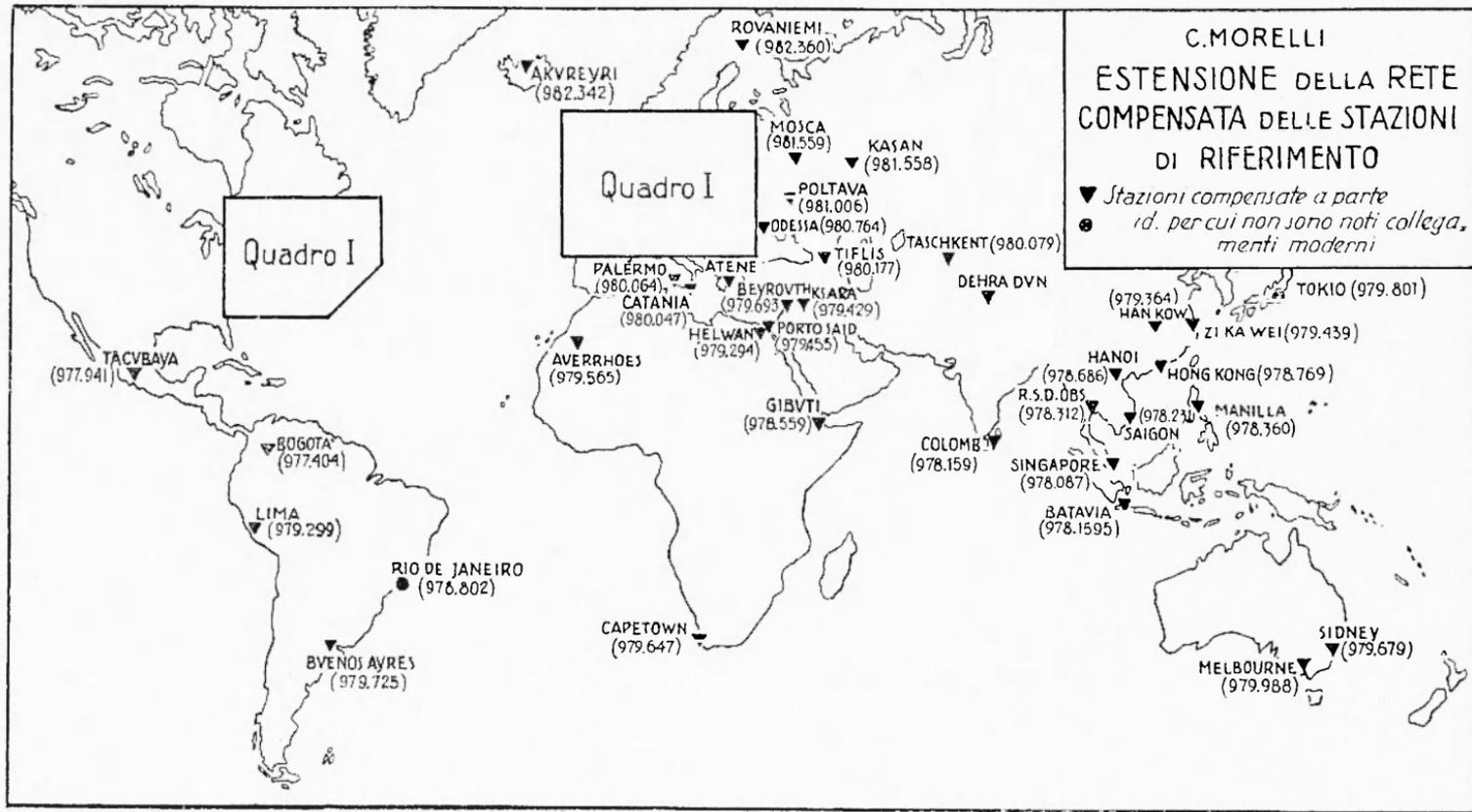
Come si vede, la rete si presenta molto ben collegata e omogenea. L'errore medio dei risultati della nostra compensazione è al massimo dell'ordine di 1 mgal; ed essi differiscono al massimo di 0.5 mgal dai valori ottenuti dal PARYSKY. Ciò comprova la grande attendibilità dei risultati.

Poiché però il valore per Leningrado ha un'importanza grandissima essendo sede di una nuova misura assoluta (v. §10), si ritiene preferibile concludere come segue:

a) I valori ottenuti per Pulkowo, Mosca, Kasan, Poltava e Tiflis si presentano molto sicuri, per cui è poco probabile che eventuali collegamenti futuri possano apportare variazioni superiori ad 1 mgal; per questi riguardi la rete russa si può ritenere come una delle reti nazionali meglio collegate e di maggior fiducia.

b) Per Leningrado sarebbe molto opportuno un nuovo collegamento fra le tre stazioni e soprattutto fra la stazione assoluta (all'Ufficio Pesi e Misure) e qualche altra stazione della rete internazionale compensata pure sede di misure assolute moderne (Washington, Teddington o anche Potsdam).

Con questa compensazione a parte della rete russa abbiamo inteso anche mostrare praticamente come sia possibile ampliare la rete in-



ternazionale principale compensata con l'aggiunta di altre reti o stazioni che risultino in possesso dei requisiti necessari.

2. — Stazioni di riferimento singole.

I valori più probabili che competono alle stazioni di riferimento singole in base ai collegamenti finora eseguiti, sono stati calcolati partendo dai valori compensati per la rete fondamentale. Come sopra, ci limitiamo a riportare i risultati nel *Quadro 2*, aggiungendo le seguenti *osservazioni*:

a) Anche qui, come per il caso della rete principale, *i risultati pubblicati si possono accettare per la maggior parte delle stazioni con sufficiente fiducia* (nel senso che si possono ritenere esatti entro un paio di mgal), dato che derivano da parecchi collegamenti attendibili.

b) *Mancano però di collegamenti moderni le stazioni di Stuttgart, Rio de Janeiro e Tokio* (stazione questa molto importante, perché da essa dipendono i valori di ben 121 stazioni ridotte isostaticamente, in una regione fra le più interessanti della Terra (*).

c) *Per le seguenti stazioni sarebbe consigliabile un ulteriore collegamento moderno di controllo*:

Akureyri (Islanda), *Southampton*, *Catania*, *Atene*, *Helwan*, *Capetown*, *Tacubaya*, *Bogotà*, *Lima*, *Buenos Aires* (è in progetto un collegamento con Cambridge, ad opera di BAGLIETTO e BUIARD), *La Plata*.

d) *Almeno un nuovo collegamento moderno è molto raccomandabile per*:

Oslo, dalla quale dipendono i valori delle 45 (importantissime) stazioni norvegesi tutte ridotte isostaticamente da W. HEISKANEN;

Tolone, punto di partenza delle due crociere francesi in sommergibile nel Mediterraneo (1933 e 1936);

Bretcuil, caposaldo per la taratura dei gravimetri Holwek-Lejay e probabile sede di una nuova importante misura assoluta (§ 10).

e) *Un collegamento di alta precisione è indispensabile per Dehra Dun*, importantissima stazione di riferimento dato che da essa dipendono ben 456 stazioni, tutte ridotte isostaticamente dal *Survey of India*, ricoprenti un'area molto vasta ed estremamente interessante dal punto di vista geodetico-geofisico e portanti un peso preminente nei lavori d'insieme (per es., nel calcolo del valore per la gravità

(*) Durante la correzione delle bozze apprendiamo per cortesia di E. C. Bullard, Cambridge, che un nuovo collegamento Kew-Greenwich è stato effettuato dalla Anglo-Iranian Oil Co. mediante gravimetro, confermando il valore 981.201 per Kew.

equatoriale, da cui dipende la formula internazionale per la gravità normale). Questa stazione possiede bensì 6 collegamenti, di cui 4 moderni, ma i risultati sono talmente discordanti (da 979,056 a 979,079) da rendere indispensabile un nuovo collegamento eseguito con le maggiori cautele, e possibilmente anche un esame critico approfondito dei risultati fin qui ottenuti, per scoprire (ed eliminare) la causa di tanto disaccordo.

I collegamenti per Dehra Dun sono (*Geodetic Report* 1939):

con Kew	:	979,063	1904	Lenox-Conyngham
» Jalpaiguri	:	,066	1905	» »
(collegata con Potsdam dallo Hecker)				
» Genova	:	979,079	1913	Alessio
» Cambridge	:	,072	1927	Glennie
» Genova	:	,069	1929	Spoletto
» Cambridge	»	,056	1939	Browne-Glennie

Un collegamento con Kew di Cowie-Glennie nel 1924/29 non può essere preso in considerazione avendo le osservazioni a Kew nel 1925 rilevato un cambiamento nella lunghezza dei pendoli.

Lo scarto fra le singole misure, e specialmente fra le precedenti e l'ultima, è così notevole (pur essendo esse quasi tutte moderne) da non consentire attualmente alcuna deduzione sul valore più probabile per Dehra Dun. È veramente da rammaricarsi che per una stazione di riferimento così importante il dubbio sul valore più probabile rimanga nonostante tanti collegamenti, che a priori dovrebbero considerarsi tutti molto attendibili.

3. — Stazioni di riferimento e collegamenti conosciuti dopo pubblicata la compensazione.

Il dott. E. C. BULLARD (Cambridge) ci ha cortesemente comunicato il 12 febbraio 1947 i seguenti dati:

Capetown: necessita una correzione al valore da lui osservato (che così diventa 979,650) ed esiste una misura eseguita nello stesso punto da VENING MEINESZ (979,659). Dato il notevole disaccordo fra queste due misure, conviene accettare come provvisorio il valore medio (979,655) in attesa di un nuovo collegamento di precisione con Cambridge previsto per il 1948.

Africa orientale: potrebbe essere assunta come stazione di riferimento

$$\text{Dar-es-Salaam } 6^{\circ} 49' S \quad 39^{\circ} 19' E \quad h=7m \quad g=978,116$$

data l'ottima concordanza fra i 3 collegamenti ad essa relativi (KOHLSCHUTTER 978,117; BULLARD 978,116; HORSFIELD 978,116).

4. — *Proposte di nuove stazioni di riferimento.*

Vogliamo infine segnalare alcune lacune fra le più importanti nella distribuzione delle stazioni di riferimento, con la speranza che esse vengano presto colmate, e che da esse possano successivamente dipendere buone ed estese reti gravimetriche, al fine di una migliore conoscenza del comportamento della gravità sulla superficie terrestre.

Esse riguardano soprattutto:

la *Penisola balcanica*, dove *Belgrado* e *Sofia* sono prive di collegamenti e *Bucarest* ne possiede solamente due antichi (però in buon accordo fra di loro);

il *Sud America*, dove sarebbe altamente auspicabile l'istituzione di una buona stazione di riferimento almeno ancora nel Cile;

l'*Africa centrale*, dove la stazione potrebbe sorgere per es. nel Congo Belga; ed infine:

l'*Australia*, dove *Sidney* e *Melbourne*, che già possiedono numerosi collegamenti antichi, potrebbero diventare buone stazioni di riferimento con un solo ulteriore collegamento moderno.

Naturalmente solo una discussione in sede internazionale e le proposte delle singole Nazioni interessate potranno meglio precisare le necessità più importanti nei riguardi di nuove stazioni di riferimento e di nuove reti gravimetriche da sviluppare.

§ 8. -- CONFRONTO (PARZIALE) CON LE ALTRE COMPENSAZIONI

Chiudiamo questa esposizione dei risultati della compensazione con un confronto fra i valori per le 25 stazioni pubblicati da W. HEISKANEN ⁽¹⁰⁾ della compensazione di R. A. HIRVONEN e i corrispondenti della nostra compensazione. I nomi in grassetto sono quelli della nostra rete principale; in corsivo quelli della nostra compensazione generalizzata. Abbiamo ommesso il confronto per Dehra Dun, che non ha significato per quanto si è detto al n. 2. e), del § precedente. Sono riportati anche i valori del Borrass, e le differenze Morelli-Borrass e Morelli-Hirvonen.

Purtroppo non è possibile estendere questo confronto per i risultati di tutta la compensazione, perchè — come abbiamo detto — non conosciamo gli altri di R. A. HIRVONEN. E anche per quelli riportati non sappiamo in molti casi se le coordinate coincidono (per

questo motivo non si è riportato nella tabella *Copenhagen*, per cui HIRVONEN riporta: *Oss.* = 981.561; e MORELLI: *Ist. Geod.* = 981.558), e soprattutto se l'altezza è identica; perciò questo confronto ha un valore puramente indicativo.

Mentre ci auguriamo di poterlo completare, con più rigore, al più presto, osserviamo però intanto che:

Stazioni	Borrass	Hirvonen	Morelli	M—B (mgal)	M—H (mgal)
a) Vienna Oss.	980,853	980,852	980,853	0	+1
Monaco Oss.	,733	,732	,733	0	+1
Padova Oss.	,658	,656	,656	-2	0
Torino Pal. Mad.	,549	,537	,544	-5	+7
Firenze I. C. M	,510	,502	,502	-8	0
Parigi Oss.	,943	,945	,946	+3	+1
Washington C.B.	,113	,119	,118	+5	-1
Greenwich Oss.	981,188	981,189	981,189	+1	0
Cracovia	,054	,054	,053	-1	-1
Strasburgo Oss.	980,904	980,893	980,899	-5	+6
b) Vienna I.G.M.	980,860	980,860	980,860	0	0
Basilea Bern	,788	,776	,778	-10	+2
Pulkowo Oss.	981,897	981,899	981,900	+3	+1
c) Palermo	980,969	980,064	980,064	-5	0
Pola	,626	,621	,623	-5	+2
Kew	981,201	981,201	981,201	0	0
Karlsruhe	980,967	980,955	980,957	-10	+2
Zurigo	,673	,664	,667	-6	+3
Mosca Oss.	981,564	981,560	981,559	-5	-1
Tiflis	980,176	980,176	980,177	+1	+1
Kasan	981,572	981,559	981,558	-14	-1
Taschkent	980,086	980,079	980,079	-7	0
Tokio	979,801	979,799	979,801	0	+2

a) Per le stazioni della rete principale la coincidenza è ottima (entro 1 mgal) per tutte le stazioni, tranne per *Torino*, dove la differenza di ben 7 mgal è certamente dovuta al fatto che R. A. HIRVONEN non poteva conoscere il collegamento della Soc. Petrolifera Ital. (1941), e ad una differente valutazione dei collegamenti precedenti; e per *Strasburgo*, dove la differenza di 6 mgal è probabilmente dovuta al

fatto che lo Hirvonen ha considerato nel collegamento del 1922/24 le due serie del *cap. Govin*, che differiscono di ben 14 mgal da quelle osservate dall'*Esclangon* e che (perciò) noi abbiamo escluso.

Questi due esempi dimostrano però già chiaramente *la necessità di una discussione del problema su base internazionale*, preferibilmente sotto gli auspici di una Commissione appositamente nominata dall'Assoc. Geodetica Internazionale e possibilmente *prima* della prossima Assemblea Generale di Oslo dell'Unione Geodetica e Geofisica Internazionale.

b) Buona sembra pure la coincidenza con le stazioni della nostra *rete generalizzata*, dove però tre soli confronti sono insufficienti per arrivare a qualche conclusione sicura, e dove lo scarto di 2 mgal per *Basilea Bern.* è probabilmente conseguente ad una diversa attribuzione dei pesi per i collegamenti antichi.

c) Per le stazioni singole (ultimo gruppo della tabella precedente) le differenze non sono superiori a 3 mgal, ma per quelle con scarto maggiore di 3 mgal sarebbe in ogni caso opportuno un confronto caso per caso dei collegamenti dai quali derivano.

In conclusione, *il confronto con i valori del Borrass ha messo ancora una volta in evidenza la necessità della nuova compensazione*, secondo quanto si è detto al § 2: *il confronto (parziale) con i valori di R. A. Hirvonen conduce a conclusioni molto favorevoli sull'attendibilità della nostra compensazione*.

Nessuna argomentazione è ancora possibile addurre sulla maggiore o minore precisione della nostra compensazione rispetto a quella di R. A. HIRVONEN: solo un confronto completo fra i due lavori potrà permettere qualche deduzione in proposito. Sembrerebbe a favore dello Hirvonen il fatto che egli ha incluso nella rete principale solo le stazioni di riferimento con almeno *tre* collegamenti con le altre stazioni della rete: fra questi però figurano anche quelli antichi, ai quali il peso 1 attribuito è pur sempre notevole — per la loro poca attendibilità — rispetto a quelli moderni con peso 5.

Nella nostra compensazione *rigorosa* invece il criterio di ammissione nella rete principale è stato, come si è detto, quello di possedere almeno *due* collegamenti *moderni attendibili*: quasi tutte le stazioni incluse possiedono però *più di due* collegamenti moderni attendibili, e quelle che ne possiedono due soli (*Greenwich, Vienna Oss. e Monaco*) dispongono però di altri antichi ma di buona attendibilità. Fanno eccezione *Lisbona, Torino e Bino*, dove però i due collegamenti moderni sono in buon accordo e (ciò è in generale indice di buona

attendibilità) e che del resto (come risulta subito dal Quadro I) si trovano in una situazione tale da non influenzare eventualmente la stabilità del resto della rete.

§ 9. — COLLABORAZIONE DA RICHIEDERSI ALLE SINGOLE NAZIONI PER UNA RISOLUZIONE DEFINITIVA DEL PROBLEMA (*in preparazione all'Assemblea Generale dell'Unione Geodetica e Geofisica Internazionale — Oslo 1948*).

Come si è visto nei due paragrafi precedenti, l'attendibilità dei risultati forniti dalla presente compensazione sembra sufficiente per poter passare ad una discussione su base internazionale e ad una risoluzione definitiva del problema, senza lasciar prevedere variazioni sensibili, almeno per la rete principale. Però, come abbiamo detto, la compensazione è stata eseguita negli ultimi anni di guerra, quindi in condizioni di quasi completo isolamento. Riteniamo perciò che ora, con la ripresa delle relazioni con quasi tutti i Paesi del mondo, sarebbe opportuno (e abbiamo in animo di farlo tramite la cortesia e l'appoggio dell'*Assoc. Internazionale di Geodesia*) procedere alle seguenti operazioni *prima* della Prossima Assemblea Generale di Oslo:

1. — *Eseguire un accurato confronto fra la nostra compensazione e quella di R. A. HIRVONEN; ed a tal fine ci rivolgeremo alla cortesia del PROF. HEISKANEN perchè ci invii cortesemente il testo anche in bozze o in copia dattiloscritta.*

2. — *Inviare per il tramite dell'Assoc. Internazionale di Geodesia, con il prezioso appoggio del PROF. TARDI, una copia della compensazione completa (1) e della discussione qui svolta a tutti i Membri dell'Assoc. di Geodesia che possano averne interesse, invitandoli cortesemente alla discussione e collaborazione, con la preghiera:*

a) di esaminare i dati dei collegamenti considerati, in particolare di quelli che si riferiscono al proprio Paese, e di comunicare gentilmente eventuali variazioni successive ai valori riportati, nonché ogni altra differenza che potessero riscontrare;

b) di segnalare eventuali collegamenti non considerati, in particolare quelli successivi al 1939;

c) di segnalare eventuali spostamenti subiti successivamente dalle stazioni di riferimento considerate, variazioni nell'altezza, ecc., con particolare riguardo a quelle del proprio Paese;

d) di segnalare l'istituzione già eventualmente avvenuta di altre stazioni di riferimento nelle reti nazionali, con indicazione delle coor-

dinate, della quota e dei relativi collegamenti, nonchè del valore assunto per la gravità in quel punto;

e) di proporre ogni *ampliamento o modifica* alla rete internazionale compensata che ritenessero opportuni;

f) di proporre quei *nuovi collegamenti* fra le stazioni di riferimento che considerassero necessari e di confermare o meno le proposte già da noi presentate, per migliorare la stabilità della rete compensata e l'attendibilità dei valori per le stazioni di riferimento considerate;

g) di proporre *nuove stazioni* di riferimento nazionali, per quei Paesi che ne fossero sprovvisti o per i quali risultasse consigliabile l'istituzione di nuove stazioni;

h) di suggerire infine gentilmente *eventuali altri criteri per la compensazione, per la scelta dei pesi, ecc.*, che ritenessero più opportuni, nonchè ogni altro elemento che possa riuscire utile a migliorare o completare la presente compensazione.

Osiamo sperare che gli illustri Colleghi ai quali tali richieste verranno rivolte comprenderanno benevolmente che esse sono motivate solo dal desiderio di arrivare ad una conclusione concreta di questo problema alla prossima Assemblea Generale, e vorranno quindi *gentilmente* rispondere al Questionario di cui sopra in tempo utile.

Se tali risposte arrivassero per es. entro il maggio 1948, all'Assemblea di Oslo si potrebbe presentare una relazione con una rete compensata in cui figurassero tutti i suggerimenti e le proposte pervenuti, in modo da fornire alla Commissione competente dell'Assoc. Internazionale di Geodesia il materiale già pronto per la discussione e per una decisione positiva.

In caso contrario, il lavoro potrebbe sempre considerarsi non solo come esposizione del problema e dei risultati (più o meno provvisori), ma renderebbe anche evidente la necessità di nuovi collegamenti e sarebbe ad essi incentivo, così da rendere se possibile più sicura e più omogenea una nuova compensazione a non lunga scadenza.

§ 10. — COROLLARIO PRINCIPALE DELLA COMPENSAZIONE: NUOVO VALORE « INTERNAZIONALE » PER IL CAPOSALDO DI RIFERIMENTO.

Una volta eseguita la compensazione della rete delle stazioni di riferimento, è sorta naturale l'idea di confrontare fra loro i risultati delle principali misure *assolute* di gravità. Poichè queste sono ormai ben 9, oltre a Potsdam, e di esse due sono recentissime e di grande

precisione (*Washington e Teddington*), ne consegue l'opportunità di cambiare il criterio di scelta del caposaldo internazionale, basandolo sul risultato di tutte le misure assolute, con pesi preminenti per le moderne (secondo quanto accennato alla fine del § 2), anzichè su quello di una sola e per di più col risultato solo apparentemente molto preciso (*Potsdam*).

Difatti, mentre i risultati di *Washington e Teddington* sono in ottimo accordo fra di loro, quello di *Potsdam* ne differisce sensibilmente, e questo scarto sembra dovuto, secondo una rielaborazione dei dati di *Potsdam* effettuata recentemente da H. L. DRYDEN ⁽¹³⁾, soprattutto all'applicazione da parte di KÜINEN e FURTWÄNGLER nella riduzione delle misure di un procedimento non giustificato sperimentalmente per correggere certi errori sistematici.

Anche in *Russia* è stata ripresa nel 1934 a *Leningrado* una misura assoluta con pendoli lunghi, ma i risultati non ci sono noti. Ed a *Bretenil* all'Ufficio Internazionale Pesì e Misure CH. VOLER sta studiando l'esecuzione di una nuova misura assoluta con criterio completamente diverso, e precisamente col metodo della caduta libera dei gravi ⁽¹⁴⁾.

Il sistema internazionale da noi proposto potrà essere così ulteriormente rafforzato nell'attendibilità della correzione definitiva rispetto all'attuale sistema di *Potsdam*, specie se un nuovo collegamento di grande precisione verrà eseguito fra *Washington, Teddington, Parigi, Potsdam e Leningrado*, in modo da poter offrire alla competente Commissione dell'Unione Geodetica e Geofisica Internazionale gli elementi per deciderne l'accettazione e per giustificare maggiormente la convenzione per il nuovo valore per il caposaldo (o meglio, per i capisaldi internazionali, perchè con un'unica convenzione converrà fissare il valore definitivo delle principali sedi di misure assolute).

Un tale sistema internazionale offrirebbe garanzie molto maggiori di quello in uso, e le conseguenze riguarderebbero bensì il cambiamento di tutti i valori fin qui osservati e ridotti, ma *le anomalie resterebbero inalterate*.

Confidiamo perciò che la prossima Assemblea Generale dell'Unione Geodetica e Geofisica Internazionale possa discutere anche questo problema, ed approvarne i criteri per una soluzione definitiva.

Istituto Nazionale di Geofisica — Osservatorio di Trieste — 1947.

RIASSUNTO

Si sottopongono ad esame critico i metodi d'impostazione della nuova rete internazionale di riferimento e della compensazione ad essa relativa, di cui vengono pure esposti e discussi i risultati principali. Vengono accennate le necessità di nuovi collegamenti e di nuove stazioni di riferimento. Alcune proposte vengono avanzate per la risoluzione definitiva del problema mediante la collaborazione di tutte le Nazioni interessate. Viene infine segnalata l'opportunità di sostituire l'attuale sistema di Postdam con un nuovo sistema internazionale.

BIBLIOGRAFIA

(¹) C. MORELLI: *Compensazione della rete internazionale delle stazioni di riferimento per le misure di gravità relativa* (Boll. Soc. Adriatica di Scienze nat., Vol. XXI, Trieste 1945; Pubbl. n. 1, Serie B, delle Fac. d'Ingegn. e Scienze dell'Università di Trieste, 1946).

(²) F. R. HELMERT: *Berichte...* (Verhandlungen der vom 25. Sept. bis 6. Okt. in Paris abgehaltenen XIII. allgem. Konferenz der Internationalen Erdmessung, II. Teil, pp. 139-385).

(³) F. R. HELMERT: *Der Normale Teil der Schwerkraft in Meeresniveau* (Sitzb. d. k. Preuss. Ak. d. Wiss., Berlin, 11 März 1901, pg. 326).

(⁴) E. BORRASS: *Bericht über die relativen Messungen der Schwerkraft mit Pendelapparaten in der Zeit von 1808 bis 1909 und über ihre Darstellung im Potsdamer Schwerkraftsystem* (C. R. XVI Conf. Gen. Ass. Géod. Intern., Londra 1909).

(⁵) C. MORELLI: *La rete geofisica e geodetica in Italia nel suo stato attuale e nei suoi rapporti con la struttura geologica superficiale e profonda*. Sezione 2^a: *Rete gravimetrica* (Tecnica Italiana, Trieste, I. n. 3, dicembre 1946).

(⁶) C. MORELLI: *Per un sistema di riferimento « internazionale » delle misure di gravità*, Nota Preliminare (Geofisica pura ed appl., VIII, 3/4, Milano 1946).

(⁷) C. MORELLI: *Nuovo contributo a favore di un sistema di riferimento « internazionale » per le misure di gravità relativa* (Ricerca Scientifica e Ricostruzione, XVI, 5-6, Roma 1946).

(⁸) C. MORELLI: *Su una correzione per i valori della gravità* (Rend. Acc. Naz. Lincei, Roma, s. VIII, v. II, f. 6, giugno 1947).

(⁹) C. MORELLI: *Nuovi elementi a sostegno di una correzione per i valori della gravità* (Ann. di Geofisica, Roma, I. I, 1948).

(¹⁰) W. HEISKANEN: *On the Figure and Structure of the Earth* (Pubbl. Isostatic, Inst. n. 8, Helsinki 1911).

(¹¹) E. SOLER: *Progetto pel rilegamento delle stazioni gravimetriche di riferimento nazionali* (Rapp. presentato al Congresso internazionale di Stoccolma 1930 dalla Delegazione italiana).

(¹²) S. HAMMER: *Gravimeter Ties between Gravity Base Stations in Washington, D. C.* (Trans. 1947 Am. Geoph. Union, vol. 28, n. 2).

(¹³) H. L. DRYDEN: *A reexamination of the Potsdam Absolute Determination of Gravity* (Jour. Research. Nat. Bur. of Standards, vol. 29, n. 5, 1942, pg. 303-314).

(¹⁴) CH. VOLET: *Sur la mesure absolue de la gravité* (C. R. Ac. Sc. Paris, 222, pp. 373-375, 11 fevr. 1946).