

Relazioni fra sismicità e moti lenti nella crosta terrestre

(Relations between seismicity and slow movements in the Earth's crust)

P. CALOI

Ricevuto il 19 Agosto 1969

RIASSUNTO. — A Somplago, nei pressi di Tolmezzo, in un pozzo alto 130 metri, ricavato nel monte — e collegato con gli ambienti della centrale elettrica sotterranea, in uno dei quali funziona una stazione sismica elettromagnetica — è funzionante (in fase sperimentale) una coppia di pendoli orizzontali, capaci di raggiungere periodi propri dell'ordine di 20 minuti primi. La loro sensibilità alle variazioni della verticale apparente è quindi estrema. Attualmente, il periodo proprio dei pendoli è dell'ordine di 5 minuti primi.

Nella prima metà di Gennaio 1969, si ebbe nella zona dell'Ambiesta (affluente di destra del Tagliamento, in cui sfocia all'altezza di Tolmezzo) un lieve periodo sismico, caratterizzato da due piccole scosse, appena avvertite da parte della popolazione: una verificatasi il 7 e l'altra (la più forte) il 14 Gennaio. I clinografi funzionanti in roccia, sulla destra dell'Ambiesta (in corrispondenza della diga che sbarra il fiume), dopo essere stati pressoché immobili per circa un decennio, alla fine di Novembre 1968 e per tutta la durata di Dicembre, accennarono ad una sensibile, lenta ondulazione del terreno. Questa variazione della verticale può essere messa in relazione con la lieve scossa del 7 Gennaio 1969, avvertita appunto dal personale della diga dell'Ambiesta ed ivi registrata dalla locale stazione sismica, nonché dalle stazioni sismiche di Tolmezzo e di Somplago. Questa prima scossa va ritenuta del tutto superficiale.

Il 14 Gennaio si verificò, fra l'Ambiesta e Somplago, la seconda scossa, la cui profondità è stata valutata dell'ordine di 13 km. Tale scossa fu preceduta da una lievissima deviazione del pendolo « A » di Somplago, verificatasi il 12 Gennaio e seguita, parecchie ore dopo il terremoto, da una sensibile deviazione della verticale, registrata dai pendoli « A » e « B ». La deviazione (di poco superiore al secondo d'arco) si verificò all'incirca nella direzione di provenienza del terremoto, con senso S 46°E da Somplago. Ciò è in armonia col fatto che la stazione sismica di Somplago registrò il terremoto coi caratteri iniziali di una compressione (spinta verso l'alto).

Il massimo dello spostamento fu raggiunto in poche ore, mentre furono necessari una ventina di giorni, per portare i pendoli verso la posizione primitiva. Se — come tutto lascia credere — la deviazione accusata dai pendoli a lungo periodo è da mettersi in relazione con le conseguenze provocate dal terremoto, nella sua posizione ipocentrale, se ne deduce che l'ondulazione registrata si è propagata verso Somplago molto lentamente (con velocità inferiore a 1 km/ora). In altri termini, lo spostamento del materiale conseguente alla rottura in campo elastico, verificatasi nell'ipocentro, si è tramutato in un'ondulazione lentissima, evidentemente associata al graduale procedere delle stratificazioni deformate verso nuove posizioni di equilibrio.

Nella zona di Tolmezzo, già altre volte si sono potute sorprendere chiare relazioni fra lente variazioni della verticale e terremoti locali. Nel caso in esame, a Somplago, le ondulazioni conseguenti al terremoto del 14 Gennaio, sono state nettamente più ampie di quelle precedenti la scossa.

A mio avviso, è comunque per questa via — quella cioè delle osservazioni geodinamiche, geodetiche, geomagnetiche, geoelettriche — che si potrà sperare di raccogliere elementi atti a rendere la previsione dei fenomeni sismici non del tutto irreali. Insistere — come si fa ancora oggi in Italia — con i metodi statistici è illusorio. Max Planck ironizzava sulla pretesa di certi suoi colleghi di risolvere fondamentali problemi di fisica con il calcolo delle probabilità. « Solo le leggi strettamente dinamiche — diceva il celebre fisico — soddisfano appieno il nostro bisogno di conoscenza, mentre ogni legge statistica in fondo non soddisfa, semplicemente perchè non ha valore assoluto, ma ammette eccezioni nei singoli casi, e ci lascia quindi sempre di fronte al problema di sapere quali sono i casi in cui queste eccezioni si verificano ». « È quindi opportuno — è sempre Planck che parla — annoverare fra i postulati della fisica non soltanto l'esistenza di leggi, ma anche il loro stretto carattere *causale*, e non considerare conclusa l'indagine fino a quando ogni legge statistica non sia risolta in una o più leggi dinamiche ».

SUMMARY. — At Somplago near Tolmezzo, two horizontal pendulums, reaching periods up to 20 minutes, are operating (experimentally) in a 130 m high, excavated mountain pit; the pit is connected with the subterranean power plant house where, in a room, is installed an electromagnetic seismic station. The sensibility of the pendulums to the variations of the apparent vertical is extreme. At present, their period is on the order of 5 minutes.

In the first half of January 1969, in the region of the Ambiesta (a right-side confluent of the Tagliamento river, with which it unites near Tolmezzo) there occurred a small seismic period, characterized by two small shocks, almost unnoticed by the local population; the first on the 7th and the second, stronger one, on the 14th of January. After about 10 years of near immobility, at the end of November and along all of December, the clinographs functioning in the rocks, on the right of the Ambiesta at the level of the dam barring the river, showed a perceptible, slow undulation of the ground. This variation of the vertical can be put in relation with the minor shock of January 7th 1969, that was perceived by the personnel

of the Ambiesta-dam and recorded by the local seismic station as well as by the seismic stations of Tolmezzo and of Somplago. This first shock is to be considered definitely superficial.

The second shock occurred on January 14th, in the region between the Ambiesta-river and Somplago. Its depth has been estimated on the order of 13 km. This shock was preceded by a very small displacement of pendulum "A" at Somplago on January 12th, and then followed — several hours after the earthquake — by a perceivable deviation of the vertical, recorded by both pendulums "A" and "B". The displacement (slightly above one second of arc) occurred more or less in direction of the source of the earthquake, with trend S 46° from Somplago. This is in accordance with the fact that the Somplago seismic station recorded the earthquake as starting in the form of a compression (upward thrust). The maximum displacement was reached in only a few hours, while it took about 20 days to bring the pendulums back to their primitive position. If — as everything seems to indicate — the displacement showed by the long-period pendulums is to be related to the consequences provoked by the shock in his ipocentral location, it can be deduced that the propagation in direction Somplago of the recorded undulating movement has been very slow (with a velocity inferior to 1 km/h). In other words, the displacement of matter subsequent to the break in the elastic field occurred in the hypocenter, has taken on the form of an extremely slow undulation, evidently associated with the gradual proceeding of the deformed stratification to a new system of equilibrium. There have been other occasions, in the Tolmezzo area, permitting to detect a clear relation between slow variations of the vertical and local earthquakes. In the contemplated case at Somplago, the undulations following the earthquake of 14. January have been definitely greater than the ones preceding the quake.

In my opinion, it is with this course of action — geodynamic, geodetic, geomagnetic and geoelectric observations — that one can hope to gather the information apt to confer a more realistic character to the forecasting of seismic phenomena. To insist — as it is yet done in Italy — with the statistical methods, is plainly illusory work. Max Planck spoke ironically of the pretense of some of his colleagues to resolve fundamental problems of physics basing on the probability table. "Only the strictly dynamic laws — the famous physicist pointed out — satisfy wholly our need of knowledge, while no statistical law can actually satisfy, because it has no absolute value but admits of exceptions in the single cases and thus leaves us confronting the problem to know which are the cases where such exceptions may occur". "Therefore it appears convenient — it is still Planck speaking — to claim among the postulates of physics not only the existence of laws, but also their strictly *causal* character and to never consider closed the investigation, until each and every statistic law is resolved into one or more dynamic laws".

1. — Il 14 Gennaio 1969, le stazioni sismiche di Somplago (Figg. 1a, 1b, 1c), Tolmezzo, Ambiesta, La Maina, Pieve di Cadore e Vajont

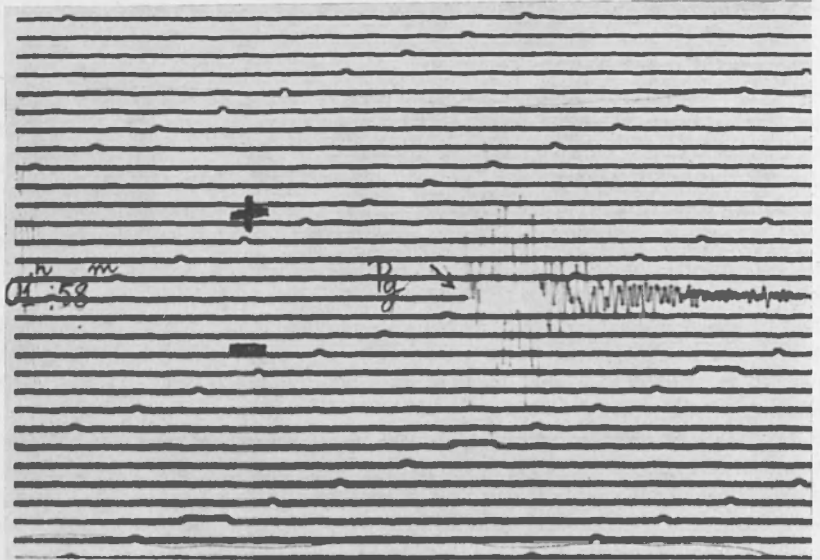


Fig. 1a - Componente verticale della scossa del 14 Gennaio 1969, registrata dalla stazione sismica di Somplago.

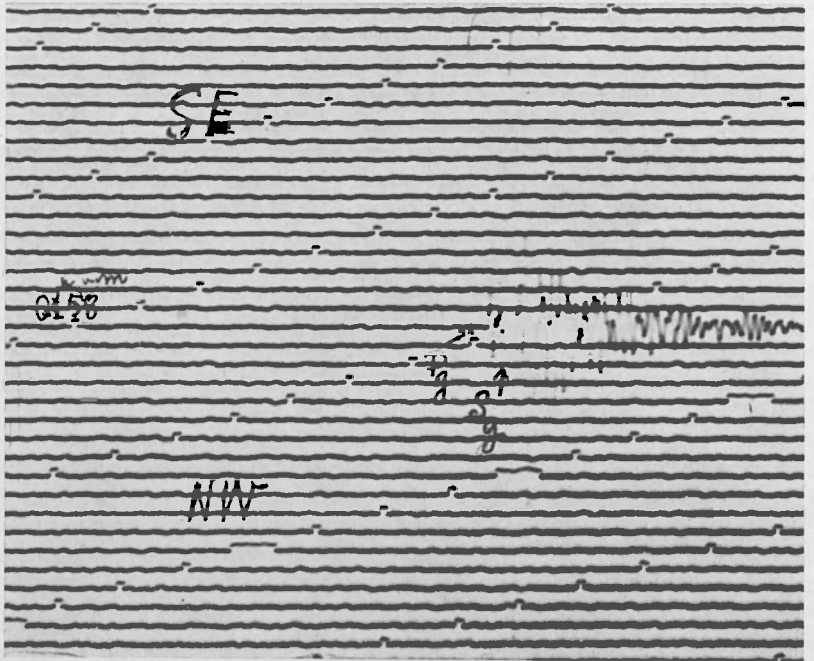


Fig. 1b - Componente NW-SE della scossa del 14 Gennaio 1969, registrata presso la stazione sismica di Somplago.

registrarono, intorno alle 2 del mattino, una sensibile scossa sismica, di carattere locale.

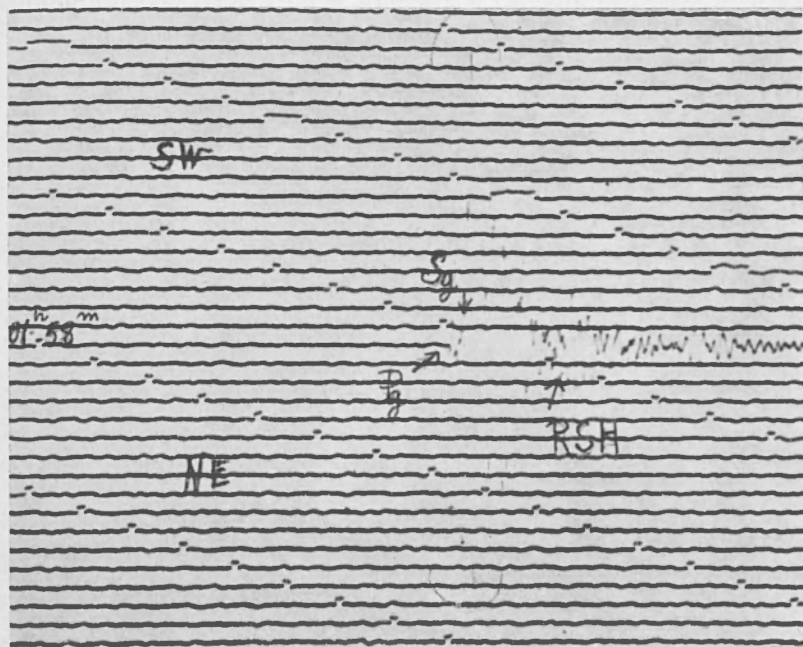


Fig. 1c - Componente SW-NE della scossa del 14 Gennaio 1969, registrata dalla stazione sismica di Somplago.

Poiché, in concomitanza con questo terremoto, si ebbero inusitate variazioni della verticale apparente, registrate dai clinografi a lungo periodo funzionanti a Somplago, si è ritenuto opportuno determinare le coordinate ipocentrali e il tempo origine della scossa su detta.

Il tempo d'inizio delle onde Pg nelle varie stazioni sismiche fu il seguente:

Distanza epicentrale

4 km Tolmezzo	$i Pg!$ 01 ^h 59 ^m 20 ^s ,4	compressione
7 » Somplago	19 ^s ,5	»
21 » La Maina	22 ^s ,2	»
47 » Pieve di Cadore	26 ^s ,2	»
52,5 » Vajont (tempo non corretto)	(46 ^s ,2)	»
100 » Trieste (dal bollettino)	33 ^s ,2	dilatazione

Il ritardo della Pg di Tolmezzo su la Pg di Somplago è dovuto al fatto che la stazione di Tolmezzo poggia sopra una coltre alluvionale di alcune centinaia di metri di spessore, mentre la stazione di Somplago è sistemata in una profonda galleria, ricavata nella roccia.

Gli intervalli $Sg-Pg$ furono per

Tolmezzo	1 ^s ,8
Somplago	2 ^s ,0
La Maina	2 ^s ,9
Pieve di Cadore	6 ^s ,4
Vajont	7 ^s ,0 .

Ricordando che

$$\Delta_h = k (Sg - Pg),$$

essendo $k = \frac{v_{Pg} \cdot v_{Sg}}{v_{Pg} - v_{Sg}}$,

per $k = 7,5$ (come è stato ottenuto in precedenza per la zona interessata dal terremoto, nel caso di piccole profondità), si perviene alle seguenti coordinate epicentrali

$$\begin{aligned} \varphi &= 46^{\circ}22',16 \text{ N} \\ \lambda &= 12^{\circ}58',83 \text{ E Gr.} \end{aligned}$$

Ne risulta, per il tempo origine (riferito a Somplago)

$$H = 01^h59^m17^s,8$$

e per la profondità

$$h = 13 \text{ km.}$$

L'energia media del terremoto è risultata dell'ordine di

$$5 \cdot 10^{15} \text{ erg.}$$

2. - Veniamo ora alle registrazioni clinografiche, ottenute prima e dopo il terremoto accennato.

Si premette che la stazione clinografica "LP" è sistemata presso la Centrale « Enel » di Somplago, entro un pozzo profondo più di 130 m. Le Figure 2-6 danno rispettivamente la planimetria della stazione, una sezione verticale, i particolari dell'ubicazione, la disposizione degli strumenti nella stazione e lo schema di una componente, rispettivamente.

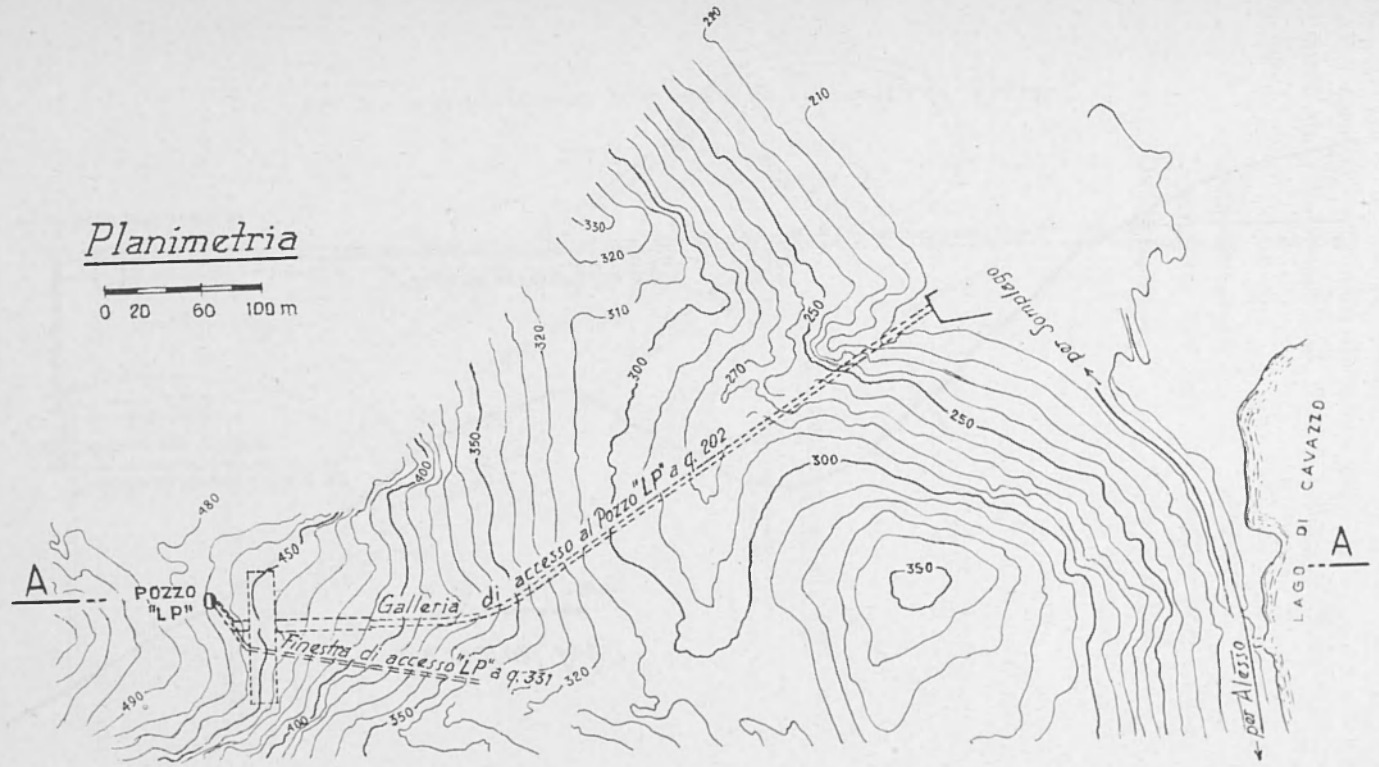


Fig. 2 - Planimetria della zona in cui è sistemata la stazione di pendoli a lunghissimo periodo (« LP »).

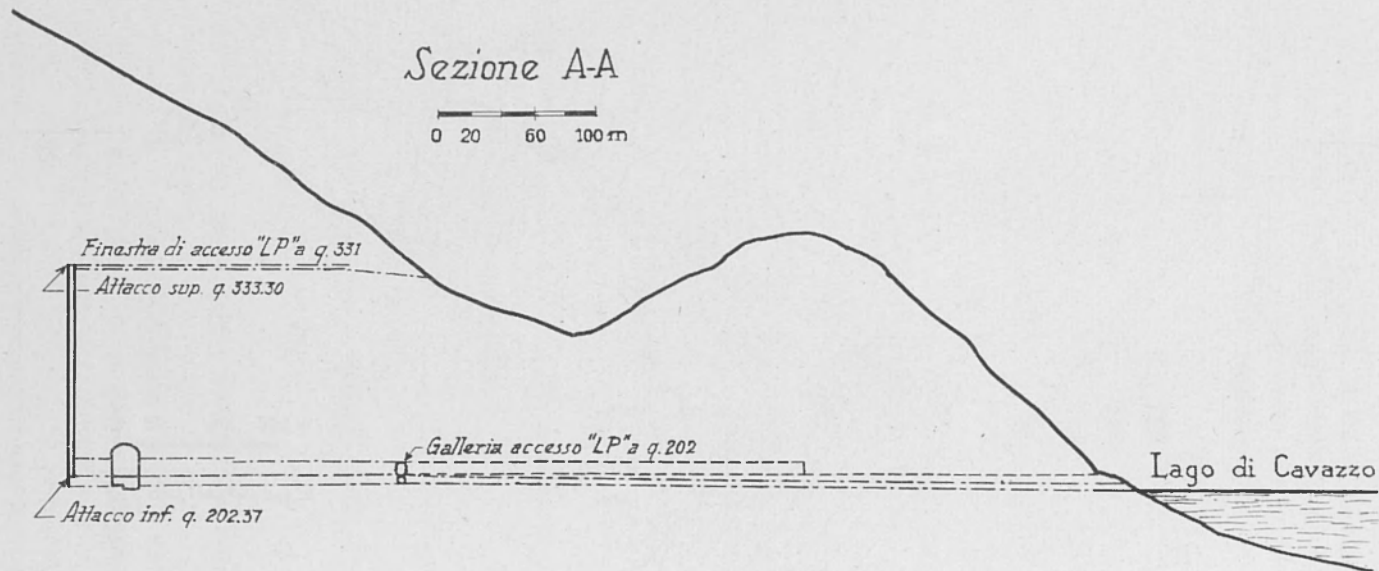


Fig. 3 - Sezione verticale A-A, come da planimetria (v. Fig. 2).

Altre caratteristiche della stazione sono:

Coordinate della stazione dei pendoli a lungo periodo ("LP") di Somplago (Tolmezzo):

Latitudine Nord	46°20'26"
Longitudine Est Gr.	13°03'36",8
Quota stazione	202 m (s.l.m.) .

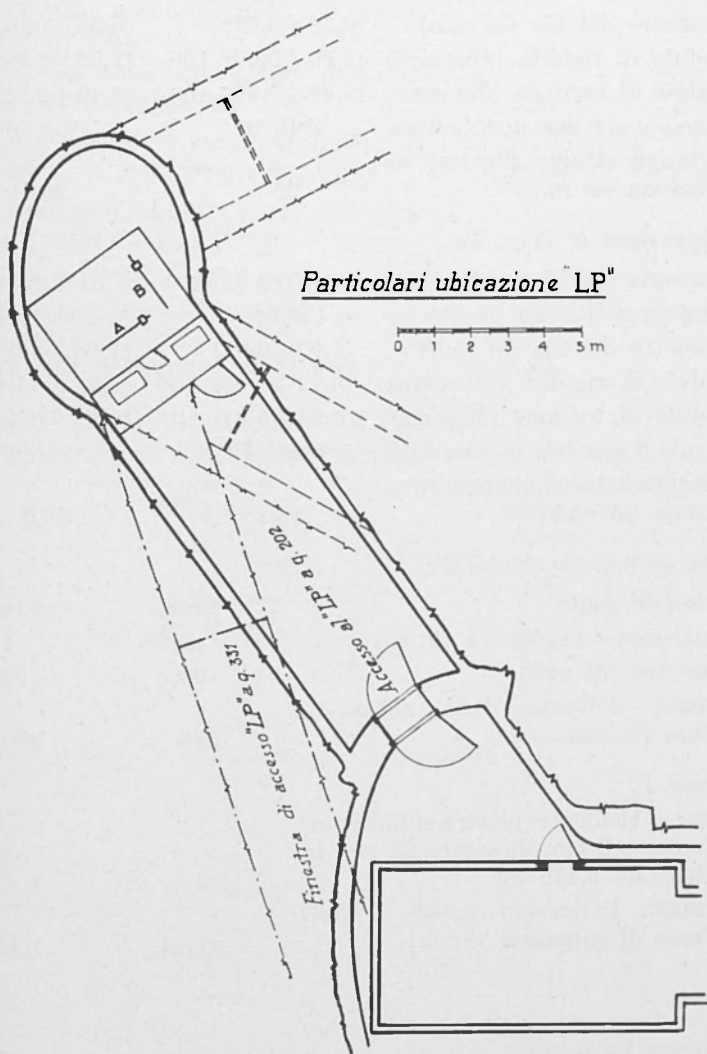


Fig. 4

Elementi costruttivi dei pendoli

	<i>Componente A</i>	<i>Componente B</i>
1) <i>Periodo di oscillazione</i> (*) (in minuti primi)	3,5 ca.	2,2 ca.
2) <i>Sospensione a</i> (Fig. 6):		
Materiale del filo usato	Acciaio inox	Acciaio inox
Lunghezza del filo (in mm)	990,4	980,4
Diametro del filo (in mm)	$(0,38 \pm 0,01)$	$(0,38 \pm 0,01)$
Modulo di rigidità (dine/cm ²)	$(2,86 \pm 0,02) \cdot 10^{11}$	$(2,86 \pm 0,02) \cdot 10^{11}$
Modulo di torsione (dine/cm ²)	$(4,49 \pm 0,02) \cdot 10^{11}$	$(4,49 \pm 0,02) \cdot 10^{11}$
Angolo α con asse di rotazione	1°40'40''	1°38'50''
Distanza attacco filo-asse rotazione (in mm)	29	28
3) <i>Sospensione b</i> (Fig. 6):		
Materiale del filo usato	Acciaio inox	Acciaio inox
Lunghezza del filo (in m)	129,94	129,94
Diametro del filo (in mm)	$(1,00 \pm 0,01)$	$(1,00 \pm 0,01)$
Modulo di rigidità (dine/cm ²)	$(6,72 \pm 0,04) \cdot 10^{11}$	$(6,72 \pm 0,04) \cdot 10^{11}$
Modulo di torsione (dine/cm ²)	$(10,55 \pm 0,04) \cdot 10^{11}$	$(10,55 \pm 0,04) \cdot 10^{11}$
Angolo β con asse di rotazione	0°25'57''	0°25'56''
Distanza attacco filo-asse rotazione (in cm)	98,1	98,2
4) <i>Asta portante la massa P</i> :		
Materiale usato	Ferro	Ferro
Lunghezza complessiva (in m)	1,67	1,56
Diametro (in mm)	26,4	26,4
Altezza dell'asta dalla slitta di base (in mm)	990	980
5) <i>Massa P</i> :		
Numero elementi (piastre cilindriche- spessore 2 cm, diametro 22 cm) in ghisa da 5,475 kg	4	4
Distanza baricentro masse <i>P</i> dall'asse di rotazione (in m)	1,44	1,43

(*) Nel Luglio 1969, il periodo dei pendoli è stato portato a 5 minuti primi ca.; ma può essere ulteriormente elevato.

6) <i>Amplificatore:</i>	<i>Componente A</i>	<i>Componente B</i>
Distanza punta spingente dall'asse di rotazione pendolo (in mm)	221	222
Distanza punta spingente dall'asse di rotazione dello specchio (in mm)	20	20
Distanza specchio - registratore (in mm)	123	136
7) <i>Smorzamento magnetico</i> (magneti di elevata potenza-lamina di rame elettrolitico)		
Distanza dello smorzatore dall'asse di rotazione (in m)	1,19	1,21
8) <i>Registrazione</i> (su carta sensibile)		
Velocità di scorrimento (cm/min)	variabile	variabile
9) <i>Marcatempo e segnale orario</i> collegato alla locale stazione sismica.		

Il periodo dei pendoli nel mese di Gennaio è quello sopra riportato.

In prima approssimazione, l'amplificazione dell'angolo di rotazione

di una singola componente, è pari a $\frac{221}{20} = 11,05$.

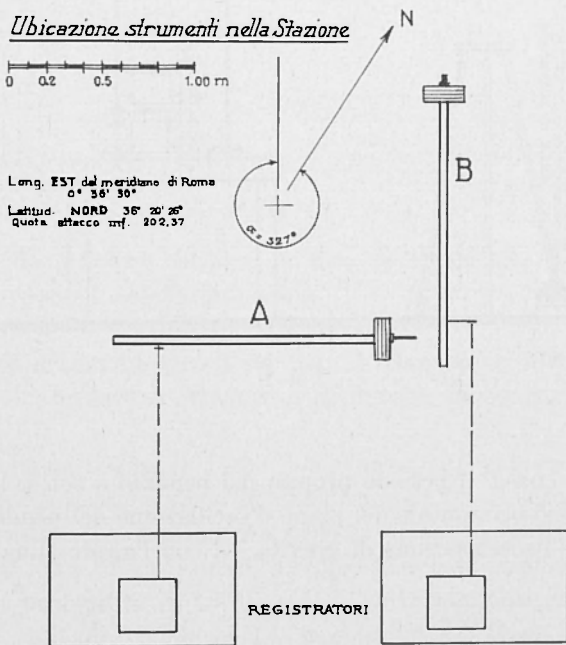


Fig. 5

Sempre in prima approssimazione

$$\delta = d \cdot 2\gamma = d \cdot 2 \cdot 11,05 \cdot \varphi,$$

dove δ esprime lo spostamento dell'immagine luminosa sul tamburo, d la distanza specchio-registratore, φ l'angolo di deviazione del piano di oscillazione del pendolo. Se indichiamo con l_r la lunghezza ridotta

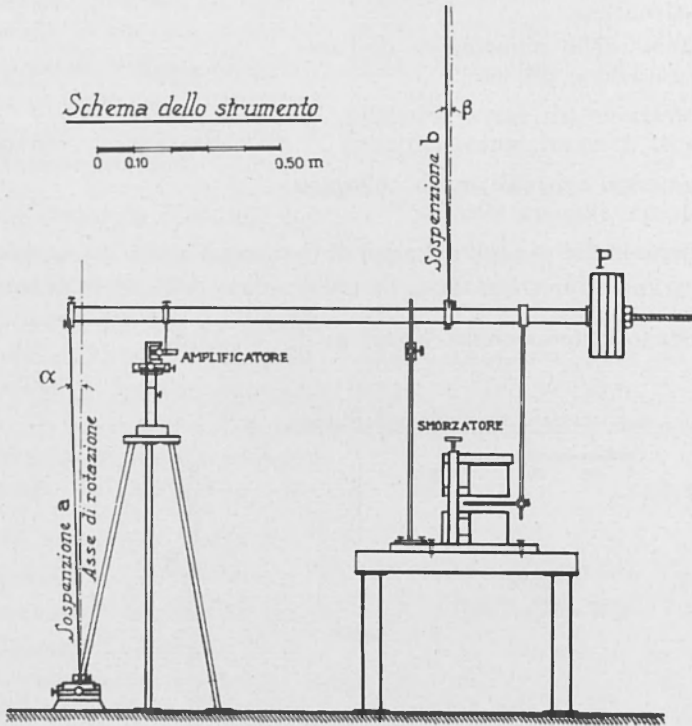


Fig. 6

del pendolo, con T il periodo proprio del pendolo e con ψ la rotazione intorno all'asse orizzontale del piano d'oscillazione del pendolo, avremo — essendo g l'accelerazione di gravità —, con l'approssimazione sopra accennata,

$$\varphi = \frac{g}{4\pi^2} \frac{1}{l_r} T^2 \psi.$$

Nel nostro caso, per il pendolo "A", valgono, in media, le seguenti eguaglianze

$$l_r = \text{cm } 140$$

$$\varphi = \frac{1}{11,05} \cdot \gamma$$

$$d = \text{cm } 123$$

$$T = 200^s.$$

Ne viene

$$\delta = 123 \cdot 2 \cdot 11 \cdot \frac{980}{4\pi^2} \cdot \frac{1}{140} \cdot (200)^2 \cdot \psi,$$

cioè

$$\delta = 19181772 \cdot \psi$$

In corrispondenza di una ondulazione di 1'' ($\psi = \frac{1}{206265}$), si avrà lo spostamento

$$\delta \simeq \text{cm } 93.$$

A parità di altre condizioni, per il pendolo "B", fatto

$$d = 136 \text{ cm},$$

$$T = 130 \text{ sec},$$

consegue

$$\delta = 8960851 \cdot \psi.$$

Lo spostamento per un secondo d'arco vale quindi

$$\delta \simeq \text{cm } 43.$$

Essendo la stazione tuttora in fase sperimentale, si ritiene illusoria una approssimazione più spinta.

3. - Ritorniamo al terremoto del 14 Gennaio e alle variazioni della verticale apparente, ottenute a Somplago, in concomitanza con il sisma.

Il 12 Gennaio, verso le 17^h30^m, la comp. "A" subisce una lieve, quanto brusca deviazione verso N, dell'ordine di 2/3 di secondo d'arco. La verticale torna poi lentamente nella posizione primitiva.

Il 14 Gennaio, alle 01^h19^m,3, avviene la scossa sismica, di cui al n. 1, ad una profondità di 13 km ca. 15 ore 20 minuti circa dopo il terremoto — cioè alle 17^h20^m ca. — la comp. "A" inizia una brusca, ampia deviazione verso S33°E.

L'immagine va rapidamente fuori del registratore (Fig. 7). Sulla base della registrazione ottenuta in "B" (Fig. 8), si può valutare su 150 cm circa lo spostamento raggiunto da "A", in corrispondenza

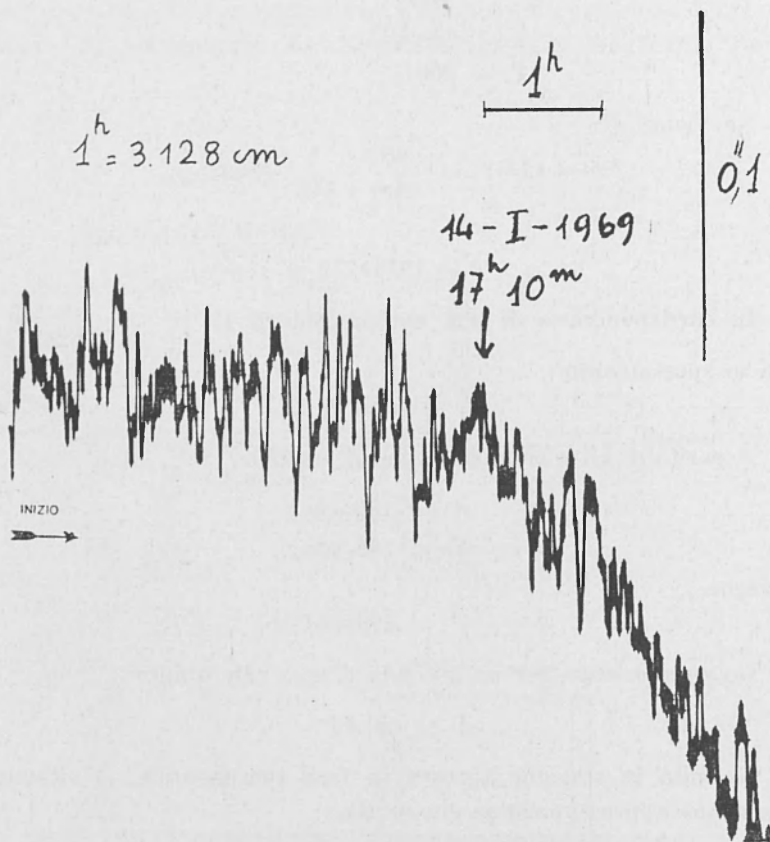


Fig. 7 - Comp. "A" - (Ridotto a $\frac{1}{2}$ dell'originale).

del massimo, verificatosi verso le 7^h40^m ca. del 15 Gennaio. A partire da questa ora, si ha l'inversione del movimento che, con gradiente sempre minore, tende a riportare la "A" verso la primitiva posizione d'equilibrio, da ritenersi praticamente raggiunta il 24 Gennaio, a dieci giorni circa dall'inizio dell'ondulazione.

La Fig. 9 dà una rappresentazione grafica del fenomeno, quale è stato registrato ai pendoli "A" e "B" di Somplago.

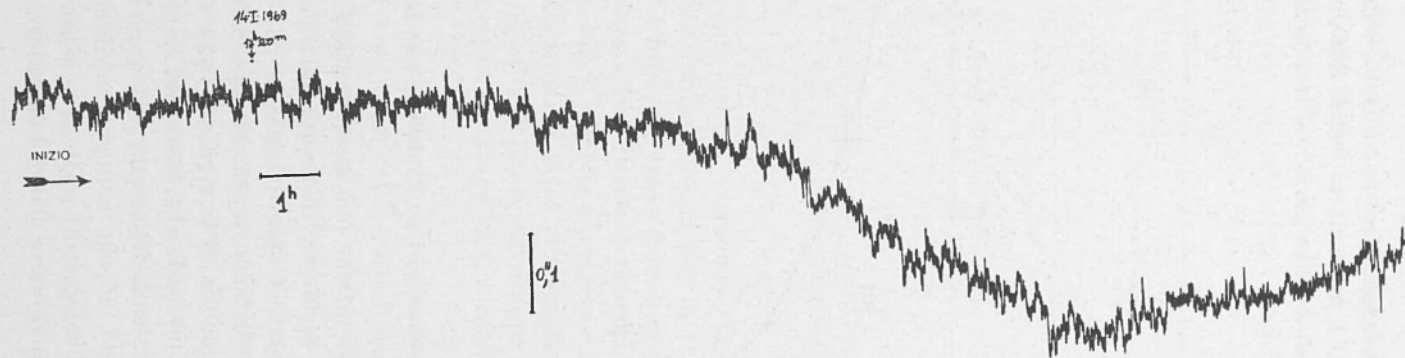


Fig. 8 - Comp. "B" - (Ridotto a $\frac{1}{2}$ dell'originale).

4. - Esiste una relazione fra movimento sismico e ondulazioni osservate a Somplago, a meno di 15 km di distanza ipocentrale? La registrazione dei pendoli a lungo periodo è troppo singolare, per essere accidentale.

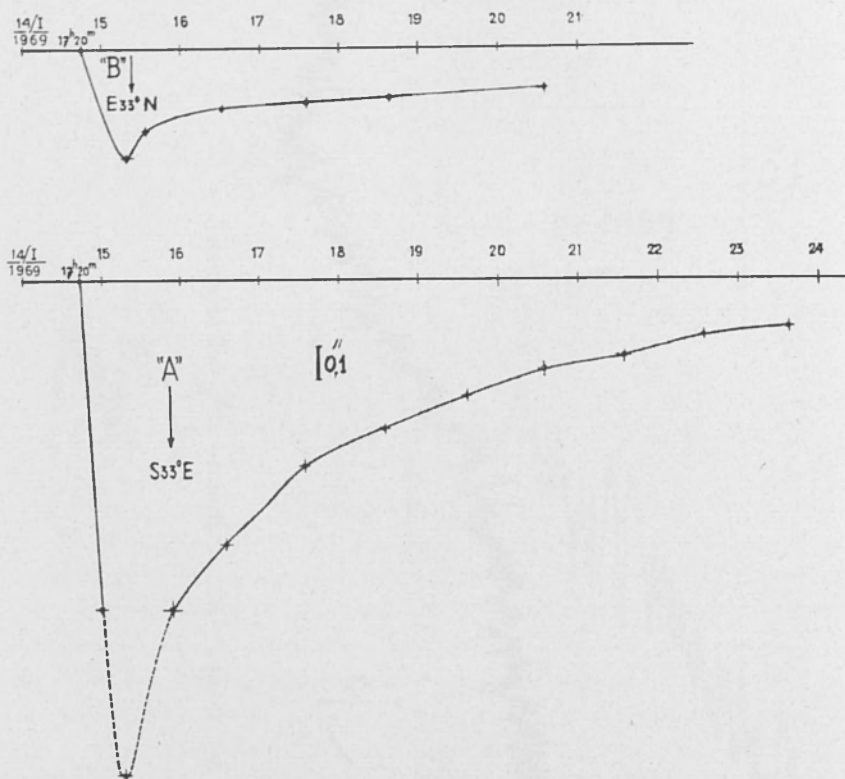


Fig. 9 - (La riduzione è pari a 1/23 delle letture fatte su "A").

La seguente interpretazione può essere tentata.

Si noti che in tutte le stazioni, da Somplago, a Tolmezzo, La Maina, Pieve di Cadore e Vajont, il moto iniziale fu una compressione. Ciò sta a significare che, nella zona ipocentrale (nei pressi dell'Ambiesta), a circa 13 km di profondità si è verificato uno spostamento verso l'esterno di uno strato profondo che, nella sua spinta verso l'alto, era riuscito a vincere la resistenza del mezzo, superando il limite di rottura (terremoto), e ottenendo ciò che non gli era riuscito il 12 Gennaio.

La successione dei movimenti può essere schematizzata come da Fig. 10. La brusca spinta verso l'alto dello strato a 13 km di pro-

fondità nella zona dell'Ambiesta, è stata seguita nella zona circostante da un lento movimento nello stesso senso dello strato stesso.

Di qui l'ondulazione che ha investito Somplago, provocando una repentina rotazione della verticale apparente verso S46°E, che coincide praticamente con l'azimut di provenienza del terremoto ($300^\circ \pm$).

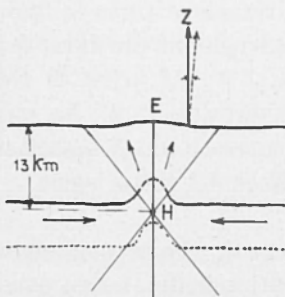


Fig. 10 - (Rappresentazione puramente schematica; comp. verticale esagerata).

Se lo scorrimento dello strato verso l'alto all'ipocentro, è stato pressochè istantaneo (probabilmente con la velocità delle onde longitudinali), allora il tempo impiegato dalla conseguente ondulazione per passare dall'ipocentro alla verticale di Somplago fu di 15^h20^m ca.

L'ondulazione cioè si sarebbe propagata con una velocità inferiore ad 1 km all'ora. La lentezza della propagazione è certamente legata alla viscosità del mezzo. Il successivo ritorno verso la posizione primitiva della verticale in Somplago ha richiesto addirittura più di dieci giorni.

Non è la prima volta che riesce manifesta, nella zona, una stretta relazione fra lenti movimenti della crosta terrestre (in campo plastico) e terremoti (in campo elastico) ^(1,2,3). Le precedenti variazioni della verticale apparente erano state registrate da piccoli clinografi, sistemati in postazioni superficiali, ai bordi di faglie attive: ne conseguirono quindi forti variazioni angolari, sia per effetto di superficie, sia per la vicinanza delle zone sottoposte a tensione.

Questa volta, le variazioni angolari, di piccola ampiezza, sono state captate ed amplificate da pendoli di enorme sensibilità, sistemati nell'interno di un monte.

Va ancora osservato che, nella zona dell'Ambiesta, la scossa sismica del 14 Gennaio fu preceduta da una, molto più lieve, il 7 Gennaio.

(Sentita e registrata all'Ambiesta alle 18^h23^m30^s — tempo non corretto — con distanza ipocentrale di 5 km ca., registrata a Tolmezzo alle 18^h24^m15^s, nonché a Somplago, a La Maina e all'Ambiesta).

A questo proposito, va sottolineato il fatto che i clinografi funzionanti presso la diga dell'Ambiesta, sulla sponda destra, in una nicchia ricavata nella roccia, *dopo una immobilità pressoché decennale*, accennano ad una lieve rotazione verso la fine di Novembre del 1968; rotazione che si accentua sensibilmente durante il Dicembre (v. Fig. 11), specie sulla componente NW. Ai primi di Gennaio quando la rotazione, essenzialmente di direzione NW, ha raggiunto il suo massimo, si è verificata la scossa sopra citata. L'associazione fra i due fenomeni, anche in questo caso, riesce del tutto logica.

5. — I casi sopra citati, che si aggiungono a quelli che hanno fatto oggetto di precedenti indagini, a mio parere meritano la massima attenzione. È questa, infatti, la *sola* via che potrà condurre a risultati positivi nello studio della previsione dei fenomeni sismici. L'affermazione è meditata, anche se può apparire polemica. A questo riguardo, c'è attualmente in Italia chi si illude di poter risolvere il problema con metodi statistici. L'illusione non è nuova: basta ricordare i lavori compiuti, a questo proposito, dallo svizzero E. Wanner intorno agli «Anni Trenta». Intendiamoci, la statistica ha permesso di ottenere successi clamorosi nelle ricerche di fisica atomica e nucleare, successi pienamente riconosciuti da Max Planck ⁽⁴⁾ (p. 81).

Lo stesso Planck però riconosce che tale metodo va ritenuto *provvisorio, in quanto prescinde* dalla spiegazione dei rapporti causali.

Planck non esita a definire «grossolano», «sommario» il metodo macroscopico (pag. 139), per il quale esistono solo un caso e una probabilità e riconosce (p. 140) che in tutti i processi del mondo atomico e molecolare, la fisica tende a condurre, per quanto è possibile «il modo di vedere macroscopico, che naturalmente sempre precede, al modo microscopico; a sostituire cioè le leggi statistiche con le leggi dinamiche rigidamente causali».

Se questo vale per la fisica teorica, a maggior ragione è valevole per la dinamica, dove non può essere fatto ricorso al «caso», sopra tutto perchè manca il «gran numero di fenomeni di determinata specie», al quale applicare le leggi statistiche, con qualche probabilità di successo.

La risoluzione del complesso problema, se vi sarà, non potrà non essere associata a rigorose leggi dinamiche. È a queste, sopra tutto, che si deve badare: alle variazioni in campo elastico, in campo gravi-

Inizio 28-XI-1968 • 10^h55^m

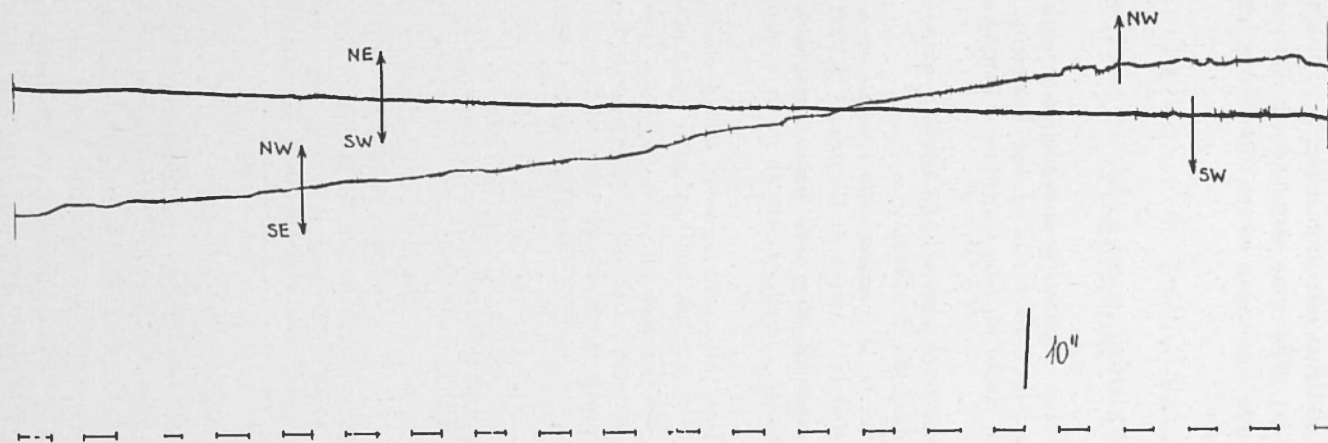


Fig. 11 - (Un tratto nero più un tratto bianco equivale alla durata di un giorno).

metrico, magnetico, elettrico, estensimetrico, . . . Bisogna quindi moltiplicare le osservazioni nelle zone sismiche ed estenderle a tutte le grandezze che possono comunque essere interessate, ed alterate, dai fenomeni geodinamici.

BIBLIOGRAFIA

- (¹) CALOI P., *About some Phenomena preceding and following the seismic Movements in the Zone characterized by high Seismicity*. « Contributions in Geophysics: in Honor of Beno Gutenberg », Pergamon Press-London (1958).
 - (²) CALOI P., *Moti lenti ed improvvisi nella crosta terrestre e loro reciproche relazioni*. « Scientia », 56, 1 (1962).
 - (³) CALOI P., ROMUALDI G., *Variazione della verticale apparente e sismicità nella zona di Tolmezzo*. « Annali di Geofisica », XVIII, 1 (1965).
 - (⁴) PLANCK M., *La conoscenza del mondo fisico*. Boringhieri, Torino (1964).
-