

IL TERREMOTO DELLE AZZORRE DEL 25 NOV. 1941

DOMENICO DI FILIPPO

Uno dei più forti terremoti che siano mai stati registrati è certamente quello delle Azzorre del 25 novembre 1941 (18^h 4^m circa T. M.G.). Le interessanti ed eccezionalmente ampie registrazioni ottenute a Roma L.N.G., specialmente per le onde superficiali mi hanno indotto ad intraprenderne lo studio dettagliato. A questo scopo, appena possibile, ho inviato a tutti i principali Osservatori richieste di sismogrammi ed una cinquantina di essi, cortesemente, hanno risposto, inviando registrazioni originali o copie fotografiche.

La scossa, valutata a Pasadena di massima «magnitudine» $8\frac{1}{4}$, è stata avvertita in una zona vastissima, comprendente le Azzorre, Madera, l'Africa Occidentale e quasi tutta la penisola Iberica. Fortemente sentita all'isola Santa Maria (Azzorre), Madera, Casablanca (Marocco), Lisbona (Portogallo) ove è stata valutata di VI grado della scala Mercalli. In avvertita di V grado all'isola Angra (Azzorre) a Safi, Ber-Rechid, Mazagan (Marocco), mentre a Fedala, Mogador (Marocco) e Cadice (Spagna) di IV grado e di III-II all'isola Fajal e S. Giorgio (Azzorre), Porto Lyautey, Marrakech (Marocco), Granada, Malaga, l'Andalusia e l'Estremadura (Spagna).

Dalla cartina della regione (fig. 1), dove sono riportati i suddetti dati macrosismici e l'epicentro calcolato, con le relative coordinate geografiche, dalla semplice osservazione è facilmente rilevabile come la scossa è arrivata sulle coste del Marocco, della Spagna, del Portogallo e alla prima isola, S. Maria, delle Azzorre con forte intensità macrosismica relativamente alla distanza dall'epicentro, mentre successivamente sui due continenti e nel gruppo delle isole l'intensità è diminuita con maggiore rapidità.

Questo rapido estinguersi dell'intensità macrosismica nel retroterra può essere spiegato con la diversità della natura geologica del fondo dell'Oceano e dello zoccolo continentale: il primo costituito quasi esclusivamente da «sima», il secondo dal «sial». Nel passaggio dall'uno all'altro sistema si deve verificare una sensibile dispersione dell'energia macrosismica.

Per una determinazione accurata dell'epicentro, non potendo disporre di registrazioni ottenute in Osservatori vicini, ho usato il metodo Caloi-Peronaci, che facendo uso dei tempi di arrivo delle onde P , permette contemporaneamente di determinare le coordinate epicentrali, il tempo origine e la profondità ipocentrale. Questo metodo, come gli altri del genere, presuppone la conoscenza di un primo valore approssimato delle grandezze da determinare, alle quali successivamente apporta delle correzioni.

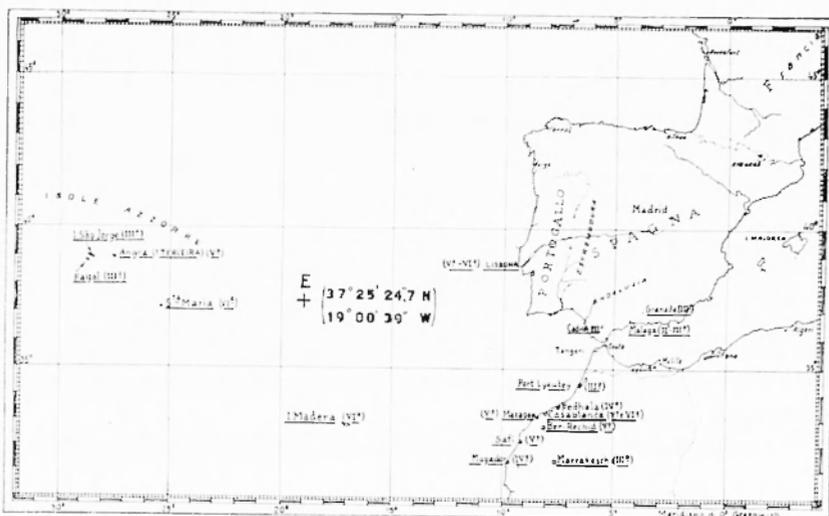


Fig. 1

Data la forte intensità della scossa, non ho creduto opportuno determinarmi i dati approssimati. Li scelsi tra i valori dati dal B.C.I.S.:

$$q_0 = 37^{\circ} 8' N \quad \lambda_0 = 18^{\circ} 7' W \quad t_0 = 18^h 03^m 57^s \text{ T.M.G.}$$

con una profondità di 15 o 20 km e quelli della Jesuit Seismological Association (J.S.A.):

$$q_0 = 37^{\circ} 13' N \quad \lambda_0 = 19^{\circ} 4' W \quad t_0 = 18^h 03^m 57^s \text{ T.M.G.}$$

Fra i due gruppi di elementi, ho preferito il primo come quello fornito da stazioni più vicine all'epicentro.

In coordinate geocentriche l'epicentro diviene

$$q'_0 = 37^{\circ} 36' 47'' N \quad \lambda'_0 = 18^{\circ} 42' W$$

Come tempo origine ho preso

$$t_0 = 18^h 03^m 57^s$$

valore dato sia dal B.C.I.S. come dall'J.S.A.

Per la profondità ipocentrale ho posto $h_u = 0$ avendo notato che, calcolate le Δ_u provvisorie, e tenendo conto del tempo origine, i tempi di arrivo T_u delle P danno gli scarti minori con i tempi di tragitto della dromocrona data dalle tavole di Jeffreys, relativa ad epicentri posti nella crosta della Terra.

Dette δt_0 , $\delta \lambda_0$, $\delta q'_0$ le correzioni da apportare, considerate relativamente piccole, ai dati assunti provvisoriamente per ottenere i valori più probabili degli elementi cercati: il tempo t_u di tragitto dell'impulso iniziale risulta funzione di $\delta \lambda_0$ e $\delta q'_0$ e limitando lo sviluppo ai termini del primo ordine si può scrivere

$$t_u = f(\lambda_0; q'_0) + \frac{\partial f}{\partial \lambda_0} \delta \lambda_0 + \frac{\partial f}{\partial q'_0} \delta q'_0, \quad [1]$$

dove $f(\lambda_0; q'_0)$ corrisponde al tempo di tragitto per la distanza epicentrale provvisoria relativa alla stazione considerata e dedotto dalla dromocrona prescelta.

I coefficienti di $\delta \lambda_0$ e $\delta q'_0$ si possono mettere sotto la forma:

$$\frac{\delta f}{\delta \lambda_0} = \frac{\delta f}{\delta \Delta_u} \frac{\delta \Delta_u}{\delta \lambda_0}; \quad \frac{\delta f}{\delta q'_0} = \frac{\delta f}{\delta \Delta_u} \frac{\delta \Delta_u}{\delta q'_0} \quad [2]$$

dove Δ_u indica la distanza epicentrale dell'Osservatorio.

Il valore di $\frac{\delta f}{\delta \Delta_u}$ si rileva dalla dromocrona nota, dando a Δ_u l'incremento di 1° grado e deducendone il corrispondente aumento di tempo. Dal triangolo sferico Epicentro, Polo Nord, Stazione si deduce l'azimut α della Stazione rispetto all'Epicentro con la seguente relazione ottenuta applicando il teorema dei seni:

$$\text{sen } \alpha = \frac{\cos q' \text{ sen } (\lambda - \lambda_0)}{\text{sen } \Delta_u} \quad [3]$$

e dallo stesso triangolo per la relazione fondamentale fra i lati ed un angolo si deduce la nota formula

$$\cos \Delta_u = \text{sen } q'_0 \text{ sen } q' + \cos q'_0 \cos q' \cos(\lambda - \lambda_0),$$

	Stazioni	λ_n	α	$\frac{\delta f}{\delta \lambda_n}$	$\cos^2 \alpha \frac{\delta f}{\delta \lambda_n}$	$\cos \alpha \frac{\delta f}{\delta \lambda_n}$	T_n	$J(\lambda_n; \alpha)_n$	$\frac{1}{L} \int_{\lambda_n}^{\lambda_n + \Delta \lambda_n} f(x) dx$
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	Averroës	10° 13' 48"	112° 38' 03"	13.7	+ 9.0913467	- 5.2723851	18 ^h 06 ^m 26. ^s 7	2 ^m 21. ^s 2	- 1.85
2	Clermont Ferrant	17° 58' 40"	56° 52' 01"	12.5	+ 8.2709762	+ 6.8923127	» 08 11.5	4 1.9	+ 1.6
3	Parigi	18° 53' 07"	47° 35' 24"	12.3	+ 7.1758225	+ 8.2955051	» 08 21.5	4 24.1	+ 0.4
4	Neuchâtel	20° 58' 49"	55° 52' 06"	10.1	+ 6.8021291	+ 5.8351135	» 08 45.5	4 47.2	+ 1.3
5	Basilica	21° 33' 00"	51° 46' 23"	10.1	+ 6.5191127	+ 5.8258167	» 08 51.5	4 53.0	+ 1.5
6	Zurigo	22° 08' 55"	55° 11' 08"	9.9	+ 6.4619158	+ 5.5738307	» 08 58.1	4 59.0	+ 2.1
7	Piacenza	22° 23' 33"	62° 08' 39"	9.9	+ 6.9161063	+ 4.6257592	» 09 03.1	5 01.4	+ 4.7
8	Stoccarda	22° 48' 11"	52° 59' 52"	9.9	+ 6.2471802	+ 5.9592654	» 09 05.5	5 05.4	+ 3.1
9	Roma	24° 14' 15"	70° 27' 01"	9.7	+ 7.2226889	+ 3.2457267	» 09 21.5	5 19.4	+ 5.1
10	Jena	25° 07' 09"	48° 11' 07"	9.1	+ 5.5830022	+ 6.1996665	» 09 26.7	5 27.9	+ 1.8
11	Reykjavik	26° 27' 28"	35° 47' 32"	9.2	- 4.4067706	+ 9.1855845	» 09 39.7	5 40.4	+ 2.3
12	Praga	26° 35' 51"	51° 52' 42"	9.2	+ 5.7188672	+ 5.6794682	» 09 40.5	5 44.7	- 1.2
13	Copenaghen	27° 30' 44"	39° 21' 00.5"	9.1	+ 4.5605733	+ 7.0368999	» 09 49.1	5 50.1	+ 2.0
14	Uppsala	31° 53' 52"	31° 27' 31"	8.8	+ 3.9342987	+ 7.2559098	» 10 25.0	6 20.2	- 1.2
15	Sofia	32° 12' 32"	67° 50' 37"	8.7	+ 6.3667357	+ 3.2810832	» 10 30.3	6 31.8	+ 1.5
16	Harvard	40° 08' 41"	293° 52' 10"	8.2	- 5.9217001	+ 3.3192780	» 11 34.5	7 33.2	- 2.3
17	Osava	42° 31' 18"	299° 00' 12"	8.2	- 5.6625566	+ 3.9768991	» 11 54.3	7 56.8	- 1.5
18	Kara	43° 55' 27"	78° 31' 52"	8.1	+ 6.2721578	+ 1.6105700	» 12 09.0	8 10.2	+ 1.8
19	Sant Juan	45° 32' 39"	258° 21' 18"	7.9	- 6.1149337	- 1.5865570	» 12 14.1	8 21.2	- 5.1
20	Colombia	49° 47' 11"	285° 31' 00"	7.7	- 5.8621389	+ 2.0598940	» 12 51.7	8 56.4	- 1.7
21	Chitago	51° 46' 51"	297° 32' 36"	7.6	- 5.3215623	+ 3.5143867	» 13 06.1	9 11.5	- 2.4
22	Lincoln	58° 27' 55"	299° 06' 27"	7.1	- 4.8254566	+ 3.4051479	» 13 55.8	10 00.1	- 1.3
23	Rio de Janeiro	61° 37' 30"	205° 03' 53"	6.5	- 2.1758386	- 5.8878937	» 14 31.8	10 41.6	- 6.8
24	Bozeman	65° 37' 48"	309° 44' 31"	6.4	- 3.8884762	+ 4.0917178	» 14 42.9	10 48.0	- 2.1
25	Butte	66° 23' 29"	318° 58' 20"	6.4	- 3.8373388	+ 4.1682522	» 14 48.0	10 52.9	- 1.9
26	Salt Lake City	68° 39' 36"	305° 29' 19"	6.2	- 3.5999922	+ 3.5999346	» 15 00.7	11 07.2	- 3.5
27	College Alaska	70° 13' 15"	339° 22' 44"	6.1	- 1.6975239	+ 5.7091718	» 15 15.7	11 16.7	+ 2.0
28	Tucson	71° 01' 53"	335° 06' 10"	6.0	- 4.669362	+ 1.0559232	» 15 15.0	11 21.7	- 3.7
29	Tucson	72° 35' 47"	297° 26' 49"	5.9	- 4.1371573	+ 2.7194699	» 15 25.4	11 31.1	- 2.7
30	Timenaha	74° 51' 08"	305° 13' 31"	5.8	- 3.7436866	+ 3.3454367	» 15 38.5	11 44.1	- 2.6
31	Haiwei	75° 13' 13"	304° 16' 51"	5.7	- 3.7214599	+ 3.2105917	» 15 40.7	11 46.3	- 2.6
32	Riverside	76° 05' 19"	302° 11' 51"	5.6	- 3.713913	+ 2.9837006	» 15 44.7	11 51.2	- 3.5
33	Monte Wilson	76° 21' 21"	302° 44' 21"	5.6	- 3.7219358	+ 3.0286668	» 15 48.1	11 53.0	- 1.9
34	Pasadena	76° 32' 04"	302° 43' 52"	5.6	- 3.7222780	+ 3.0279043	» 15 46.9	11 53.7	- 3.8
35	Ukiah	76° 41' 58"	309° 19' 43"	5.6	- 3.4227385	+ 3.5494958	» 15 50.0	11 54.9	- 1.9
36	Berkeley	76° 55' 50"	307° 52' 48"	5.6	- 3.4925112	+ 3.4563466	» 15 50.4	11 55.9	- 2.5

dalla quale è facile ricavare per $\frac{\delta\Delta_n}{\delta\lambda_0}$ e $\frac{\delta\Delta_n}{\delta q'_0}$ le espressioni

$$\frac{\delta\Delta_n}{\delta\lambda_0} = -\cos q'_0 \operatorname{sen} \alpha \quad ; \quad \frac{\delta\Delta_n}{\delta q'_0} = -\cos \alpha \quad [4]$$

Il tempo T_n di arrivo delle $P.$ a prescindere dagli errori di osservazione e di registrazione, risulta somma del tempo origine e del tempo di tragitto per ciascuna distanza epicentrale, cioè:

$$T_n = t_0 + \delta t_0 + f(\vartheta_0 + \delta\lambda_0 \ ; \ q'_0 + \delta q'_0)$$

dalla quale tenendo conto delle [1], [2] e [4] si ottiene per ogni stazione la seguente equazione di condizione:

$$\delta t_0 - \cos q'_0 \operatorname{sen} \alpha \frac{\delta f}{\delta \Delta_n} \delta \lambda_0 - \cos \alpha \frac{\delta f}{\delta \Delta_n} \delta q'_0 = T_n - t_0 - f(\vartheta_0 \ ; \ q'_0)$$

Dalle registrazioni a disposizione, in 36 ho trovato gli impulsi abbastanza netti da consentirne un rilevamento preciso. I nomi di dette stazioni sono elencati nella tabella annessa, con i relativi dati osservati e calcolati. Nella colonna (1^a) ho riportate le distanze epicentrali provvisorie. Successivamente, servendomi della formula [3] ho determinato l'azimut di ogni Osservatorio i cui valori ho elencati nella seconda colonna, mentre nella terza ho posti i valori della $\frac{\delta f}{\delta \Delta_n}$ relativi.

I risultati dei calcoli dei coefficienti di $\delta\lambda_0$ e di $\delta q'_0$ sono invece nelle colonne (4^a) e (5^a) della stessa tabella.

Nelle colonne (6^a), (7^a) e (8^a) rispettivamente sono infine riportati i valori dei tempi T_n rilevati dai sismogrammi, i tempi di tragitto dedotti dalla dromocrona nota e i termini noti delle equazioni di condizione, ottenuti sottraendo dai primi i secondi aumentati del tempo origine. Così stabiliti gli elementi relativi alle 36 equazioni di condizione, applicando il metodo dei minimi quadrati, usando per la risoluzione con molta utilità uno schema proposto da Caloi, sono pervenuto alle seguenti equazioni finali risolventi del sistema:

$$\begin{aligned} 36 \delta t_0 - 13,9527523 \delta \lambda_0 - 133,8993615 \delta q'_0 + 26,5 &= 0 \\ 1040,5584531 \delta \lambda_0 + 151,4111962 \delta q'_0 + 380,3169877 &= 0 \\ 313,8776816 \delta q'_0 + 117,9716045 &= 0 \end{aligned}$$

Dalle quali ho dedotto per le correzioni da apportare ai dati provvisori i seguenti valori:

$$\delta q'_0 = -0^{\circ},376 \pm 0^{\circ},087$$

$$\delta \lambda'_0 = -0^{\circ},311 \pm 0^{\circ},049$$

$$\delta t_0 = -2^{\text{s}},255 \pm 0^{\text{s}},41$$

Per la verifica dell'esattezza dei calcoli ho determinato lo schema [11.3] e la somma dei quadrati dei residui che sono risultati praticamente uguali:

$$[11.3] = 78,1180$$

$$[vv] = 78,1181$$

Dato che i risultati delle correzioni corrispondono a valori sufficientemente piccoli e che gli errori relativi ad essi confermano la bontà dei valori stessi, non ho ritenuto necessaria alcuna ulteriore approssimazione. Per tanto i valori definitivi per le coordinate geocentriche epicentrali e per il tempo origine risultano:

$$q'_0 = +37^{\circ} \quad 14',23 \quad \pm 5',2$$

$$\lambda'_0 = -19^{\circ} \quad 00',65 \quad \pm 3',0$$

$$t_0 = 18^{\text{h}} \quad 03^{\text{m}} \quad 54^{\text{s}},7 \quad \pm 0^{\text{s}},41$$

mentre in coordinate geografiche si ha

$$q_0 = 37^{\circ} \quad 25',41 \quad \text{N}$$

$$\lambda_0 = 19^{\circ} \quad 00',65 \quad \text{W}$$

Roma — Istituto Nazionale di Geofisica — Marzo 1919.

RIASSUNTO

Si espone una prima parte dello studio del fortissimo terremoto delle Azzorre del 25 novembre 1911, riportando, oltre alle notizie macrosismiche, i valori, delle coordinate epicentrali e il tempo origine, calcolati, in coordinate geocentriche, applicando il metodo Caloi-Peronaci agli elementi di 36 stazioni.

BIBLIOGRAFIA

CALOI P. - PERONACI F.: *Il terremoto del Turkestan del 2 novembre 1916* - Annali di Geofisica n. 2 (1918).

CALOI P.: *Caratteristiche sismiche fondamentali dell'Europa centrale quali risultano dallo studio di 17 terremoti centro-europei* - Boll. Soc. Sim. Italiana, vol. XL (1913).