

IL TERREMOTO DEL TURKESTAN DEL 2 NOVEMBRE 1946

P. CALOI - F. PERONACI

Il 2 novembre 1946 fu registrata a Roma una violenta scossa di terremoto con inizio alle ore 18^h 36^m 35^s ca. T.M. Gr. Una prima approssimativa valutazione ci permise di localizzare l'epicentro nel Turkestan, zona ad alta sismicità, tristemente nota per precedenti catastrofi sismiche. Notizie successive confermarono la zona di provenienza, precisando che la scossa era stata particolarmente distruttiva nei distretti dell'Usbekistan e del Kirghisistan.

Le singolari caratteristiche delle registrazioni ottenute a Roma, in cui a fasi iniziali di anormale ampiezza, facevano riscontro onde trasversali di lieve entità, unite alla presenza di chiari esempi di onda tipo C, ci hanno indotto a sottoporre il terremoto accennato ad uno studio particolare.

Le richieste di sismogrammi, inoltrate in tutto il mondo, hanno avuto solo parziale accoglimento: particolarmente lamentato, ai fini della ricerca, il mancato invio di sismogrammi da parte delle stazioni

TABELLA I

STAZIONI	Δ (gradi)	$\rho\beta\beta$ (sec)	h (km)	Ora inizio	Tempo d. trascor. per h=62Km	Ora origine	Tempo di propagaz. prima della registrazione origine e linea di registrazione	Δ per h=62Km
Belgrado	57° 051	—	—	35 ^m 41 ^s 7	7 ^m 06 ^s 6	28 ^m 35 ^s 1	7 ^m 05 ^s 8	36 ^s 62
Upsala	36 728	10 7	58	35 46,3	7 05,2	41,1	7 08,4	37,18
Copenaghen	59 505	16 7	83	36 09,7	7 27,1	42,6	7 31,8	40,08
Praga	39 652	14 8	76	36 05,2	7 28,7	37,2	7 27,3	39,53
Trieste	41 282	13 3	62	36 18,7	7 41,6	37,1	7 40,7	41,17
Roma	43 450	11 6	57	36 34,0	7 58,5	36,1	7 56,7	43,23
Prato	43 666	12 5	60	36 37,5	8 00,2	37,3	7 59,6	43,60
Catania	43 430	13 8	62	36 35,2	7 58,8	36,4	7 57,3	43,28
Zurigo	44 097	14 3	68	36 41,3	8 05,5	37,8	8 03,4	44,07
Basilca	44 676	10 4	50	36 45,3	8 08,1	37,2	8 07,3	44,57
Neuchâtel	45 261	12 5	57	36 49,5	8 12,6	36,9	8 11,6	45,13
Uccle	45 599	12 7	56	36 55,7	8 15,0	40,0	8 17,1	45,67
			media 62,2 Km			media 28 ^m 37 ^s 9		

della rete russa (fatta eccezione per quelli di Sverdlovsk).

Comunque, avuti a disposizione i diagrammi di una quarantina di stazioni sismiche, nella maggioranza europee, ci siamo preoccupati, per prima cosa, di procedere ad un'accurata determinazione delle coordinate ipocentrali.

Data la mancanza di dati di stazioni

prossime all'epicentro, lo scopo poteva essere raggiunto solo ricorrendo a metodi che si valessero dei tempi delle onde P_n o di quelli delle onde P_n e S_n . Abbiamo ritenuto di non far uso del noto metodo di Geiger, anche perché tale metodo prescinde dal valore della profondità, che, nel caso in esame, appariva un po' superiore alla normale. Abbiamo preferito, nel computo definitivo, risolvere il problema introducendo contemporaneamente le quattro grandezze incognite in giuoco — coordinate epicentrali, profondità e tempo origine — conformemente a quanto fecero altri ricercatori, seguendo metodi diversi.

Un primo valore approssimato delle coordinate epicentrali fu determinato applicando il metodo della proiezione stereografica con i tempi delle P_n e delle S_n relativi alle stazioni di Roma, Uppsala, Zurigo e Cartuja, ritenendo la profondità ipocentrale, calcolata in base alle differenze $pP - P$ ottenute nelle predette stazioni, pari a 60 km ca. L'epicentro provvisorio è risultato di coordinate geografiche

$$\varphi_0 = 43^{\circ} 10' \text{ Nord} \quad , \quad \lambda_0 = 72^{\circ} 48' \text{ Est}$$

Data l'incertezza, alla quale si è già accennato, dell'inizio delle onde S, quale si osserva per quasi tutte le stazioni, abbiamo proceduto ad un'ulteriore approssimazione con

i tempi delle P_n osservati nelle seguenti 12 stazioni: Belgrado, Uppsala, Copenhagen, Praga, Trieste, Roma, Prato, Catania, Zurigo, Basilea, Neuchâtel e Uccle. Determinata la profondità di 62 km in base alle differenze $pP - P$ e alle distanze approssimative già conosciute si è proceduto alla determinazione dell'ora origine provvisoria ($18^h 28^m 37,9$) e alla rideterminazione delle distanze epicentrali Δ (vedi tabella I). Per la determinazione delle distanze epicentrali si è fatto uso della ben nota formula

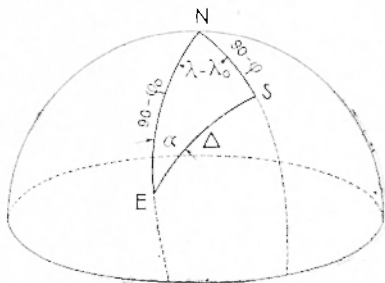


Fig. 1

$$\cos \Delta = \sin \varphi_0 \sin \varphi + \cos \varphi_0 \cos \varphi \cos (\lambda - \lambda_0) \quad [1]$$

Se indichiamo con α l'azimut dell'epicentro (E) rispetto a ciascuna stazione (S), dal triangolo sferico ENS (vedi figura) consegue:

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \frac{\cos \varphi \sin (\lambda - \lambda_0)}{\sin \Delta} , \\ \cos \alpha &= \frac{\sin \varphi \cos \varphi_0 - \sin \varphi_0 \cos \varphi \cos (\lambda - \lambda_0)}{\sin \Delta} \end{aligned} \quad [2]$$

Per cui, se $\delta\varphi_0$, $\delta\lambda_0$ rappresentano le correzioni da apportare alle coordinate provvisorie dell'epicentro, per adattarsi alle nuove distanze epicentrali calcolate, poiché dette correzioni possono ritenersi sufficientemente piccole, avremo con l'ausilio della [1] e delle [2]

$$\delta \Delta = - \cos \alpha \cdot \delta\varphi_0 - \cos \varphi_0 \sin \alpha \cdot \delta\lambda_0 \quad [3]$$

L'applicazione della [3] alle dodici stazioni assegnate conduce a 12 equazioni di condizione, risolte le quali con il metodo dei minimi quadrati si ottengono i seguenti valori più probabili delle incognite, con relativi errori medi:

$$\delta\varphi_0 = - 1^{\circ},2080 \pm 0,27 \quad , \quad \delta\lambda_0 = + 0^{\circ},9103 \pm 0,21$$

Le nuove coordinate epicentrali

$$\varphi_0 = 41^{\circ} 57',5 \pm 0^{\circ},27 \quad , \quad \lambda_0 = 71^{\circ} 53',4 \pm 0,21$$

ci consentono una nuova determinazione delle distanze epicentrali e quindi, sempre sulla base della profondità ipocentrale di 62 km e valendosi delle tavole dei tempi di tragitto calcolate da Jeffreys (1940), un nuovo valore per il tempo origine del terremoto. I calcoli sono stati limitati a 23 stazioni.

Osserviamo a questo punto che, se indichiamo con t_n , λ_0 , φ_0 e h_0 i valori approssimati delle incognite, con δt_n , $\delta\lambda_0$, $\delta\varphi_0$ e δh_0 le piccole correzioni da calcolare con il metodo dei minimi quadrati per ottenere i valori più probabili delle incognite, e se t_n rappresenta il tempo di propagazione delle onde P_n , limitando lo sviluppo in serie ai termini di primo ordine, in $\delta\lambda_0$, $\delta\varphi_0$, δh_0 , supposti sufficientemente piccoli, si ha

$$t_n = f(\lambda_0, \varphi_0, h_0) + \frac{\partial f}{\partial \lambda_0} \delta\lambda_0 + \frac{\partial f}{\partial \varphi_0} \delta\varphi_0 + \frac{\partial f}{\partial h_0} \delta h_0 \quad [4]$$

Nella [4] $f(\lambda_0, \varphi_0, h_0)$ è il tempo di propagazione di P_n che corrisponde alla distanza epicentrale della stazione considerata, quale risulta in base ai valori approssimati di λ_0 , φ_0 ; mentre $\partial f / \partial h_0$ si ottiene dalle dromocrone, ritenendo costante Δ nel valore Δ_0 e assegnando ad h (a partire da h_0) un incremento pari all'unità della dro-

nocrona prescelta (nel nostro caso 0.01 del raggio terrestre, supposta la Terra priva della crosta ritenuta di spessore medio pari a 33 km ca.), che darà il corrispondente incremento positivo o negativo del tempo di tragitto.

Si può scrivere, inoltre, come si usa fare nel metodo di Geiger,

$$\frac{\partial f}{\partial \lambda_0} = \frac{\partial f}{\partial \Lambda_n} \frac{\partial \Lambda_n}{\partial \lambda_0}, \quad \frac{\partial f}{\partial \varphi_0} = \frac{\partial f}{\partial \Lambda_n} \frac{\partial \Lambda_n}{\partial \varphi_0}, \quad [5]$$

in cui Λ è la distanza epicentrale corrispondente alla stazione considerata di coordinate λ_n, φ_n . La derivata parziale $\frac{\partial f}{\partial \Lambda_n}$ si calcola per mezzo delle dromocrone, supponendo costante h (in h_0) e dando a Λ_n l'incremento di 1° per avere quello corrispondente del tempo di tragitto. Per quanto concerne le derivate $\frac{\partial \Lambda_n}{\partial \lambda_0}, \frac{\partial \Lambda_n}{\partial \varphi_0}$, esse sono già state calcolate e valgono

$$\frac{\partial \Lambda_n}{\partial \lambda_0} = -\cos \varphi_0 \sin \alpha, \quad \frac{\partial \Lambda_n}{\partial \varphi_0} = -\cos \alpha. \quad [6]$$

Indicando allora con (P_n) i tempi di P_n registrati nelle stazioni di coordinate λ_n, φ_n , prescindendo da errori di osservazione e di registrazione, detti tempi risulteranno dalla somma dell'ora iniziale del terremoto e del tempo di tragitto corrispondente, per cui, considerando le [4], [5], [6], varrà l'equazione

$$\begin{aligned} \delta t_0 - \cos \varphi_0 \sin \alpha \frac{\partial f}{\partial \Lambda_n} \cdot \delta \lambda_0 - \cos \alpha \frac{\partial f}{\partial \Lambda_n} \cdot \delta \varphi_0 + \\ + \frac{\partial f}{\partial h_0} \cdot \delta h_0 = (P_n) - t_0 - f(\lambda_0, \varphi_0, h_0), \end{aligned} \quad [7]$$

che è l'equazione di condizione relativa alla stazione considerata, di distanza epicentrale Λ_n : il secondo membro è costituito da quantità note.

La [7] naturalmente va ripetuta per tutte le stazioni e il sistema che così si ottiene, risolto con il metodo dei minimi quadrati.

Una prima applicazione della [7] fu fatta a 23 stazioni: i dati relativi sono in parte contenuti nella tabella II. L'applicazione del metodo dei minimi quadrati alle 23 equazioni di condizione che ne

TABELLA II

STAZIONI	Δ (gradi)	sen α	α	cos α	Tempo di			$\frac{\Delta f}{(\text{sec})}$	$\frac{\Delta f}{\Delta h}$ (sec)	Tn- [$\log(\lambda_0^2 h_0)$]
					registraz.	tragitto	origine			
Belgrado	36° 51,6	-0,924564	292° 23' 9	+0,58104	35 ^m 41 ^s 7	7 ^m 03 ^s 7	28 ^m 38 ^s 0	8 ^s ,35	-6,30	35 ^m 42 ^s 2
Trieste	41 11,7	-0,90153	295 38,3	+0,43269	36 18,7	7 39,8	38,5 8 20	8,20	-6,40	36 18,3
Roma	43 14,6	-0,93485	290 47,8	+0,35507	36 34,6	7 56,6	36,0 8 05	8,05	-6,45	36 35,1
Catania	43 06,5	-0,97132	283 45,3	+0,23777	36 35,2	7 55,5	39,7 8 05	8,05	-6,45	36 34,0
Zurigo	44 06,5	-0,86952	299 35,8	+0,49389	36 41,3	8 03,6	37,7 8 00	8,00	-6,50	36 42,1
Prato	43 32,1	-0,91340	294 00,3	+0,40708	36 37,5	7 58,9	38,6 8 05	8,05	-6,45	36 37,4
Uccle	45 45,3	-0,81533	305 22,8	+0,57899	36 55,0	8 16,7	36,3 7 90	7,90	-6,55	36 55,2
Upsala	37 13,5	-0,67378	317 38,4	+0,73892	35 46,3	7 06,9	39,4 8 30	8,30	-6,30	35 45,4
Praga	39 41,8	-0,84711	302 06,1	+0,53142	36 05,2	7 27,4	37,8 8 30	8,30	-6,35	36 05,9
Pavia	44 23,7	-0,89538	296 26,5	+0,44529	36 44,0	8 05,9	38,1 8 00	8,00	-6,50	36 44,4
Firenze Arc.	43 28,1	-0,915005	293 47,7	+0,40347	36 37,2	7 58,4	38,8 8 05	8,05	-6,45	36 36,9
Piacenza	44 06,5	-0,89808	296 05,6	+0,43984	36 42,0	0 03,6	38,4 8 00	8,00	-6,50	36 42,1
Coira	43 38,0	-0,87796	298 36,2	+0,47874	36 36,6	7 59,7	36,9 8 05	8,05	-6,45	36 38,2
Helsinki	33 37,7	-0,65616	318 59,5	+0,75461	35 15,2	6 36,3	38,6 8 60	8,60	-6,15	35 14,8
De Bilt	44 54,6	-0,79919	306 56,8	+0,60107	37 50,0	8 10,0	40,0 7 90	7,90	-6,50	37 48,5
Atene	36 38,8	-0,96408	280 14,2	+0,17780	35 41,2	7 02,0	39,3 8 40	8,40	-6,30	35 40,5
Zagabria	39 39,0	-0,90456	295 14,2	+0,42636	36 05,5	7 27,0	38,5 8 25	8,25	-6,35	36 05,5
Kew	48 20,8	-0,79385	307 27,2	+0,60813	37 14,2	8 37,0	37,2 7 70	7,70	-6,60	37 13,5
S.College	92 50,0	-0,38174	337 33,4	+0,92425	41 46,0	13 06,7	39,3 4 55	4,55	-7,45	41 45,2
Strasburgo	44 16,0	-0,85271	301 29,5	+0,52237	36 44,0	8 04,6	39,2 8 00	8,00	-6,50	36 43,3
Jrkoutsk	24 05,2	+0,803813	53 29,7	+0,59489	33 51,0	5 10,3	40,7 9 70	9,70	-5,80	33 48,8
Kzara	29 18,8	-0,99739	274 08,5	-0,07222	34 37,0	5 58,5	38,4 8 90	8,90	-5,90	34 37,1
Helwan	34 37,5	-0,99225	277 08,2	-0,124124	35 21,5	6 44,9	36,6 8 60	8,60	-6,20	35 23,4
							media	28 ^m 38 ^s 5		

conseguono, fu fatta secondo uno schema riportato in un precedente lavoro di uno di noi (1).

I valori più probabili delle incognite furono

$$\delta\varphi_0 = - 0^{\circ},086 \pm 0,11 \quad ; \quad \delta\lambda_0 = - 0^{\circ},185 \pm 0,08$$

$$\delta t_0 = + 1^{\circ},03 \pm 3,78 \quad ; \quad \delta h_0 = + 0,06086 \pm 0,61$$

dell'unità prescelta.

Tenendo conto dei valori di partenza, si ha pertanto

$$\varphi_0 = 41^{\circ} 52',3 \quad , \quad \lambda_0 = 71^{\circ} 42',3 \quad , \quad t_0 = 28^m 39^s,5 \quad , \quad h_0 = 68,6 \text{ km.}$$

Un'ulteriore approssimazione con i dati qui riportati, ha condotto a correzioni analoghe (tabella III).

Abbiamo ritenuto opportuno eliminare dal calcolo i dati relativi alle sei stazioni con valori della differenza *O-C* maggiori dell'unità (Catania, Coira, De Bilt, Atene, Kew e Helwan). Riapplicato il me-

TABELLA III

STAZIONI	Δ (gradi)	sen α	α	COS α	Tempo di			$\frac{\Delta t}{\Delta \Delta n}$ (sec)	$\frac{\Delta t}{\Delta h}$ (sec)	Tn- [$\log \frac{h_0}{\rho_0 g_0}$]
					registraz	fragito	origine			
Belgrado	36° 45' 55",8	-0,924209	292° 27' 2",2	0,381887	35 ^m 41 ^s 7	7 ^m 2 ^s 7	28 ^m 39 ^s 0	8,35	-6,30	-0,5
Trieste	41 6 30,6	-0,901292	295 40 17,7	0,433212	36 18,7	7 38,8	39,9	8,2	-6,40	+0,4
Roma	43 8 41,2	-0,934783	290 48 24,8	0,355219	36 34 6	7 55,4	59,2	8,05	-6,45	-0,3
Catania	42 59 40,2	-0,971334	263 45 7,0	0,237719	36 35,2	7 54,2	41,0	8,05	-6,45	+1,5
Zurigo	44 1 27,2	-0,869295	299 37 23,5	0,494294	36 41,3	8 2,6	38,7	8,0	-6,50	-0,8
Prato	43 26 41,9	-0,913261	294 2 24,2	0,407375	36 37,5	7 57,9	39,6	8,05	-6,50	+0,1
Uccle	45 41 34,1	-0,815096	305 24 11,3	0,579326	36 55,0	8 15,9	39,1	7,9	-6,55	-0,4
Upsala	37 11 47,7	-0,672652	317 43 40,5	0,739959	35 46,3	7 6,3	40,0	8,3	-6,30	+0,5
Praga	39 37 30,0	-0,646635	302 9 8,8	0,532174	36 05,2	7 26,5	38,7	8,3	-6,35	-0,8
Pavia	44 18 34,75	-0,895252	296 27 33,1	0,445560	36 44,0	8 4,8	39,2	8,0	-6,50	-0,3
Firenze Ar	43 22 37,9	-0,914924	293 48 18,2	0,403626	36 37,2	7 57,3	39,9	8,05	-6,45	+0,4
Piacenza	44 1 27,8	-0,897908	296 6 56,1	0,440153	36 42,0	8 2,6	39,4	8,0	-6,50	-0,1
Coira	43 33 14,2	-0,877740	298 37 44,6	0,479137	36 36,6	7 58,8	37,8	8,05	-6,45	-1,7
Helsinki	33 36 13,9	-0,654587	319 6 42,0	0,755987	35 15,2	6 35,8	39,4	8,6	-6,15	-0,1
De Bilt	44 51 11,3	-0,798865	306 58 41,3	0,601510	37 50,0	3 9,2	40,8	7,9	-6,50	+1,3
Atene	36 31 35,6	-0,984005	280 15 41,3	0,178141	35 41,2	7 0,7	40,5	8,4	-6,30	+1,0
Zagabria	39 33 47,0	-0,304240	295 16 44,0	0,427025	36 05,5	7 26,0	39,5	8,25	-6,35	0,0
Kew	48 17 30,8	-0,793691	307 25 5,6	0,608321	37 14,2	8 36,3	37,9	7,7	-6,60	-1,6
S College	92 51 40,4	-0,363869	337 25 35,3	0,923388	41 46,0	13 6,5	39,5	4,55	-7,45	0,0
Strasburgo	44 11 47,5	-0,852439	301 31 19,4	0,522827	36 44,0	8 3,9	40,1	8,0	-6,50	+0,6
Ksara	29 10 11,8	-0,997403	265 52 1,1	0,072072	34 37,0	5 57,0	40,0	8,9	-6,00	+0,5
Jrkoufsk	24 15 00	+0,802775	53 23 45,3	0,596282	33 51,0	5 11,6	39,4	9,6	-5,75	-0,1
Helwan	34 28 26,1	-0,992195	262 50 12,6	-0,124695	35 21,5	6 43,3	38,2	8,5	-6,20	-1,3
media							28 ^m 39 ^s 4			
Tempo origine							28 ^m 39 ^s 51			

tutto dei minimi quadrati alle altre 17 equazioni di condizione, siamo pervenuti ai seguenti risultati finali

$$\begin{aligned} \delta \varphi_0 &= + 0^{\circ},0528 \pm 0,087 \quad ; \quad \delta \lambda_0 = - 0^{\circ},0075 \pm 0,049 \\ \delta t_0 &= + 0^{\circ},6685 \pm 2,266 \quad ; \quad \delta h_0 = + 4,78 \pm 22,7 \text{ km.} \end{aligned}$$

Si ebbe inoltre, a conferma dell'esattezza dei calcoli, $[VV] = [UA] = 2.937943$.

In definitiva, ecco le coordinate ipocentrali e il tempo origine del terremoto oggetto di questo studio:

$$\begin{aligned} \varphi_0 &= 41^{\circ} 52',35 \pm 5',2 \text{ N} \quad ; \quad \lambda_0 = 71^{\circ} 42',29 \pm 2',9 \text{ E} \quad ; \quad h_0 = 73 \pm 23 \text{ km} \\ t_0 &= 18^{\text{h}} 28^{\text{m}} 40^{\text{s}},2 \pm 2^{\text{s}},3 \end{aligned}$$

Questi valori ci serviranno per l'ulteriore sviluppo della ricerca, di cui daremo notizia in una prossima nota.

Roma — Istituto Nazionale di Geofisica — gennaio 1948.

RIASSUNTO

Contiene la prima parte di una ricerca sul forte terremoto del Turkestan del 2 novembre 1916. Con i tempi delle onde longitudinali P_n , registrate in 23 stazioni sismiche, si determinano, con un nuovo metodo, le coordinate ipocentrali ed il tempo origine.

BIBLIOGRAFIA

(¹) CALOI P.: *Caratteristiche sismiche fondamentali dell'Europa Centrale quali risultano dallo studio di 17 terremoti centro-europei*. Boll. della società sismologica italiana, vol. XL (1943).