

# Dromocrone delle onde $P$ dedotte dallo studio del terremoto profondo del basso Tirreno del 3 Gennaio 1960

B. FEDERICO

Ricevuto il 19 Aprile 1963

RIASSUNTO. — Impiegando un metodo statistico di Caloi-Peronaci, vengono determinate le coordinate spazio-temporali del terremoto profondo del basso Tirreno del 3 Gennaio 1960.

Mediante una serie di tentativi effettuati facendo intervenire i tempi di registrazione delle  $P$  in diversi aggruppamenti di stazioni (*intermedie, intermedie e lontane, intermedie e vicine*), viene messa in evidenza l'utilità dei dati di stazioni vicine ai fini di una migliore determinazione della profondità e del tempo origine.

Si deducono le equazioni più probabili delle dromocrone delle onde  $P$ , valevoli fino a distanze di  $30^\circ$ . Le equazioni ottenute mettono in evidenza scarti (anticipi) dell'ordine di  $2^s$  nelle stazioni di Messina e Reggio C., rispetto ai tempi previsti secondo le tabelle di Jeffreys e Bullen. La dromocrone ottenuta per il gruppo delle stazioni scandinave ( $18^\circ,6 \leq \Delta < 30^\circ$ ) mette in evidenza scarti (anticipi) che vanno da  $6^s$  ca. (Goteborg) a zero.

SUMMARY. — By means of a statistical method of Caloi-Peronaci, the author determines the space-time coordinates of the deep earthquake which took place in the lower Tirrenian sea on Jan. 3, 1960.

Through a series of attempts performed by making the recording times of the  $P$ 's intervene in divers station groupings (*intermediate, intermediate and far, intermediate and near*), emphasis is given to the utility of the data of near stations with regard to a better determination of depth and origin time.

The most probable equations of the travel-time curves of the  $P$  waves are worked out, valid up to distances of  $30^\circ$ . The equations thus obtained make evident anticipations of the order of  $2^s$  in the stations of Messina and Reggio C. with regard to the times foreseen according to the Jeffreys and Bullen tables. The travel-time curves obtained for the group of scandinavian stations ( $18^\circ,6 \leq \Delta < 30^\circ$ ) shows anticipations from 6 about (Göteborg) to zero.

1. — Questo studio, dedicato al terremoto profondo del basso Tirreno del 3 Gennaio 1960, si propone di determinare le dromocrone delle

onde  $P$  valevoli fino a distanze epicentrali di  $30^\circ$ , onde mettere in evidenza eventuali deviazioni di tali dromocrone da quelle di Jeffreys e Bullen, dovute alle particolari caratteristiche della zona che, dal punto di vista sismico, si presenta di notevole interesse. Il carattere stesso della ricerca richiede una determinazione delle coordinate spazio-temporali e, in particolare, della profondità, il più possibile precisa. È noto, d'altra parte, che non è agevole stabilire con sufficiente precisione la profondità di un ipocentro anche quando si ha la possibilità di utilizzare in un buon numero di stazioni gli inizi di onde caratteristiche dei terremoti profondi, quali le  $pP$ ,  $sS$ , ecc. L'uso di laboriosi metodi statistici può fornire risultati con un'approssimazione di 10 km. La determinazione è resa ancora più difficile nei casi in cui la intensità del terremoto è tale da non dar luogo, in genere, alla registrazione di onde  $pP$ ,  $sS$ , ecc. In tal caso non resta che l'utilizzazione dei tempi d'arrivo nelle varie stazioni, se in numero sufficiente. D'altra parte, tutti i metodi statistici che utilizzano tali tempi sono sostanzialmente fondati su criteri di adattamento a dromocrone prestabilite, per cui si è indotti a considerare soddisfacente quella determinazione che riesce ad adattare meglio i dati di osservazione alle dromocrone prescelte. È stato già osservato che tale criterio può condurre a valutazioni errate (<sup>1</sup>), specie per quanto riguarda la profondità e il tempo origine, qualora i dati d'osservazione disponibili siano relativi a stazioni che, pur avendo una buona distribuzione azimutale rispetto all'epicentro, sono situate a distanze comprese in un intervallo non idoneo. Solo dopo aver effettuato tutti i possibili tentativi onde ottenere dei risultati che meglio aderiscano alla totalità dei dati disponibili, si può pensare di attribuire, almeno in parte, gli eventuali scarti che non rientrano nei limiti degli errori d'osservazione, a situazioni non contemplate nella elaborazione delle dromocrone di riferimento.

2. - Il valore provvisorio assunto per la profondità dell'ipocentro è di 285 km, pari a  $4.10^{-2}R + 33$  km, essendo  $R = 6338$  km. A tale valore sono stato portato da alcune considerazioni di carattere generale e dall'analisi dei sismogrammi disponibili.

Il terremoto, pur non avendo avuto manifestazioni macrosismiche notevoli, è stato registrato con sufficiente chiarezza da numerose stazioni, anche molto lontane; esso, fra l'altro, interessa la zona del basso Tirreno, già nota per essere, nel Mediterraneo, sede preminente di terremoti profondi.

Dall'analisi dei sismogrammi si riscontra l'assenza quasi assoluta di onde superficiali. La presenza della fase, da me attribuita alla  $pP$ ,

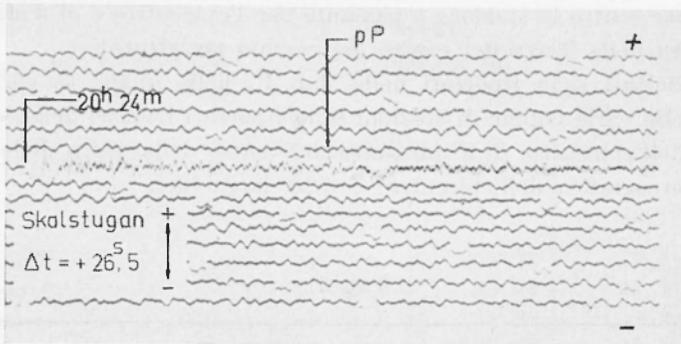


Fig. 1 - Skalstugan - Comp. Z -  $\Delta t = + 26^s,5$

nel sismogramma di Skalstugan (Fig. 1), da cui si riscontra una differenza  $pP - P$  di  $52^s$  ca., conforta la scelta, in via provvisoria, della profondità di 285 km.

3. - Fra i vari metodi analitici in uso per il calcolo delle coordinate ipocentrali ho scelto quello di Caloi e Peronaci<sup>(2)</sup>. Tale metodo richiede la conoscenza dei valori approssimati di tali grandezze, e, per una loro prima grossolana determinazione, mi sono avvalso del noto metodo della *proiezione stereografica*<sup>(3)</sup>.

I dati da me utilizzati sono quelli relativi alle stazioni elencate nella Tab. I, nella quale, per ogni stazione, sono riportati: le differenze

Tab. I

Stazioni	S - P	$\Delta^{\circ}$	$r$	$d$
Uppsala	3 <sup>m</sup> 31 <sup>s</sup> ,2	20° 56' 06"	0,1988	0,2808
Tamanrassett	3 14	18 28 19,2	0,2376	0,6920
Stoecarda	1 53	10 20 24	0,1035	0,3816
Goteborg	3 16,6	18 43 08	0,1792	0,2998
Algeri	1 51	10 08 34,8	0,1114	0,5078

$S-P$ , le corrispondenti distanze epicentrali dedotte con l'ausilio della dromocrona di Jeffreys e Bullen relativa alla profondità da me prescelta, i valori di  $r$  (raggio della proiezione stereografica del cerchio avente per centro la stazione e passante per l'epicentro) e di  $d$  (distanza dal centro della Terra del centro del cerchio proiettato).

I risultati sono riportati nella Tab. I', nella quale, in corrispondenza delle varie coppie di stazioni sono riportati i valori della longitudine  $\lambda_0$  dell'epicentro, di  $d'$  (distanza dal centro della Terra della proiezione stereografica dell'epicentro) e della latitudine.

Tab. I'

Coppie di stazioni	$\lambda_0$	$d'$	$\phi_0$
Uppsala-Tamanrasset	15°,2	47,6	39°,0906
Uppsala-Goteborg	15°,2	47,6	39°,0906
Stoccarda-Tamanrasset	15°,2	47,5	39°,1844
Algeri-Tamanrasset	15°,2	47,9	39°,1844
Goteborg-Algeri	15°,9	47,9	38°,8111
Uppsala-Algeri	15°,6	48,0	38°,7178
Göteborg-Tamanrasset	15°,2	47,5	39°,1844
Stoccarda-Algeri	15°,2	47,0	39°,6530

In base ai valori ottenuti per le coordinate, al valore prescelto della profondità e ai tempi di registrazione delle onde  $P$  in 34 stazioni, comprese nell'intervallo di distanza 1° — 93°, si deduce il tempo origine medio:

$$T_0 = 20^h 19^m 34^s,7 ,$$

che, tenuto conto dell'approssimazione consentita da una determinazione grafica, si può ritenere accettabile, come appare dagli scarti riportati nella Tabella II.

Sono da notare gli anticipi di 2<sup>s</sup>,5 e di 2<sup>s</sup>,4 rispettivamente per le stazioni di Messina e Reggio C.; i ritardi di 2<sup>s</sup>,8 e 2<sup>s</sup>,2 per le stazioni di Gerusalemme e di Ksara; da notare ancora il sensibile anticipo di 6<sup>s</sup>,2 con cui Göteborg registrerebbe le onde  $P$ .

Tab. II

Epiceretro provvisorio. Determinazione grafica:					
$\lambda_0 = 15^\circ 18'$		$h = 285 \text{ km}$			
$\Phi_0 = 39^\circ 06'$		$T_0 = 20^h 19^m 34^s,7$			
Stazioni	$A_0$	Tempi inizio (20 <sup>h</sup> + )	$t_c$	$t_0$	$t_c - t_0$
Messina	1,1068	20 <sup>m</sup> 12 <sup>s</sup>	39 <sup>s</sup> ,78	37 <sup>s</sup> ,3	+ 2 <sup>s</sup> ,48
Reggio C.	1,2122	20 12 ,8	40 ,46	38 ,1	+ 2 ,36
Roma	3,3644	20 34 ,9	58 ,99	1 <sup>m</sup> 00 ,2	— 1 ,01
Trieste	6,4523	21 10 ,3	1 <sup>m</sup> 35 ,02	35 ,6	— 0 ,58
Zagabria	6,5431	21 11 ,8	36 ,13	37 ,1	— 0 ,96
Atene	6,7196	21 12	38 ,32	37 ,3	+ 1 ,02
Chur	8,6514	21 37 ,6	2 02 ,28	2 02 ,9	— 0 ,62
Ravensburg	9,4628	21 47	12 ,34	12 ,3	+ 0 ,03
Algeri	9,9984	21 52 ,8	18 ,85	18 ,1	+ 0 ,75
Mebstetten	9,9978	21 53	18 ,97	18 ,3	+ 0 ,67
Tubingen	10,2687	21 56 ,5	22 ,33	21 ,8	+ 0 ,53
Stuttgart	10,4441	21 58	24 ,95	23 ,3	+ 1 ,65
Besançon	10,4530	21 58 ,5	24 ,62	23 ,8	+ 0 ,81
Pruhonicc	10,7197	22 03 ,4	27 ,92	28 ,7	— 0 ,78
Strasbourg	10,7572	22 04	28 ,39	29 ,3	— 0 ,91
Clermont F.	11,0777	22 09	32 ,40	34 ,3	— 1 ,90
Parigi	13,2267	22 32 ,6	58 ,74	57 ,9	+ 0 ,85
Helwan	16,1989	23 07 ,6	3 33 ,41	3 32 ,9	+ 0 ,51
Copenaghcn	16,5143	23 11	36 ,75	36 ,3	+ 0 ,45
Ksara	17,4071	23 23	46 ,10	48 ,3	— 2 ,20
Jerusalem	17,8389	23 28	50 ,54	53 ,3	— 2 ,76
Göteborg	18,5500	23 27 ,3	58 ,85	52 ,6	+ 6 ,24
Tamanrassett	18,4345	23 33	56 ,85	58 ,3	— 1 ,45
Uppsala	20,6424	23 51 ,9	4 18 ,50	4 17 ,2	+ 1 ,29
Skalstugan	24,3926	24 27	54 ,07	52 ,3	+ 1 ,77
Kiruna	28,7448	25 06	5 33 ,35	5 31 ,3	+ 2 ,05
Halifax	56,7530	28 51	9 16 ,17	9 16 ,3	— 0 ,13
Ottawa	64,0326	29 40	10 05 ,11	10 05 ,3	— 0 ,19
College	75,3493	30 48	11 13 ,66	11 13 ,7	— 0 ,04
Hungry Horse	81,8506	31 24	48 ,52	49 ,3	— 0 ,78
Butte	83,0872	31 30	54 ,84	55 ,3	— 0 ,46
Victoria	85,2212	31 41	12 05 ,48	12 06 ,3	— 0 ,81
Salt Lake C.	86,8902	31 49	13 ,57	14 ,3	— 0 ,72
Tucson	93,0323	32 19	42 ,24	44 ,3	— 2 ,05

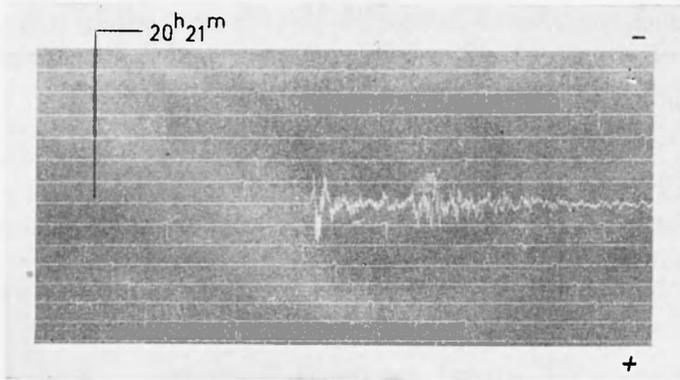


Fig. 2 - Messina - Comp. Z -  $\Delta t = - 1^m 47^s,9$

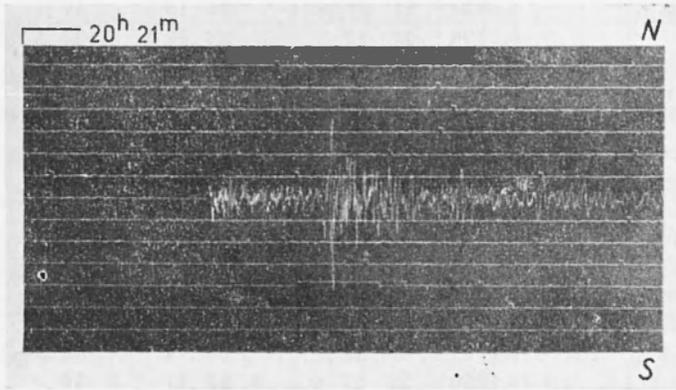


Fig. 3 - Messina - Comp. N-S -  $\Delta t = - 1^m 47^s,9$

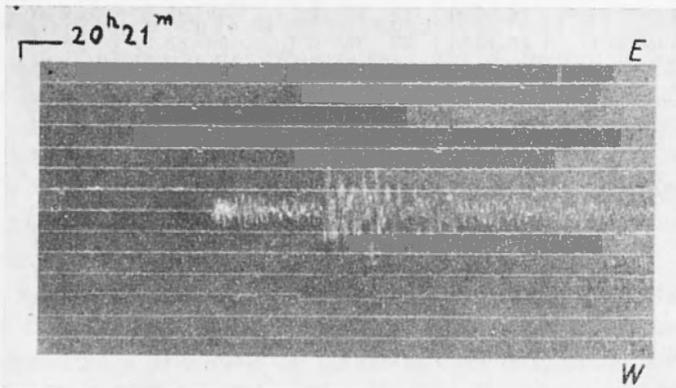


Fig. 4 - Messina - Comp. E-W -  $\Delta t = - 1^m 47^s,9$

In una prima determinazione ho escluso i dati delle stazioni con distanza epicentrale inferiore ai 1000 km, per rendere il calcolo indipendente dai dati delle stazioni vicine all'epicentro. I risultati ottenuti sono i seguenti:

$$\begin{aligned}\delta\lambda_0 &= -15' 16'',7 \pm 17' 13'',9 \\ \delta\Phi_0 &= +10' 26'',2 \pm 6' 44'',6 \\ \delta h &= (+0,78863 \pm 0,42352) 10^{-2}R \\ \delta T_0 &= +3^s,63 \pm 2^s,47\end{aligned}$$

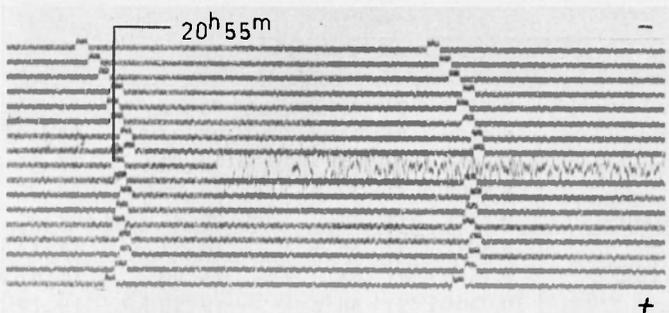


Fig. 5 - Atene - Comp. Z -  $\Delta t = -34^m 05^s,0$

per cui i valori più probabili delle coordinate spazio-temporali, relativamente ai dati utilizzati, sono:

$$\begin{aligned}\lambda_0 &= 15^\circ 02' 43'',32 \pm 17' 13'',96 \\ \Phi_0 &= 39^\circ 16' 26'',23 \pm 6' 44'',55 \text{ (lat. geocentrica)} \\ h &= 336,5 \text{ km} \pm 26,8 \text{ km} \\ T_0 &= 20^h 19^m 38^s,3 \pm 2^s,47.\end{aligned}$$

I valori ottenuti si adattano ai tempi di registrazione delle  $P$  in quasi tutte le stazioni la cui distanza epicentrale è compresa fra  $6^\circ$  e  $28^\circ$ , come si può rilevare dalla Tab. III, nella quale le stazioni utilizzate per il calcolo sono contrassegnate con un asterisco. Si riscontrano, invece, degli scarti eccezionali per le stazioni di Messina, di Reggio C., e di Atene, non giustificabili. Tali stazioni avrebbero registrato con notevole anticipo le  $P$ . Tale anticipo risulterebbe per Messina di  $12^s,5$ , per Reggio di  $12^s,3$  per Atene di  $8^s,3$ . Si osservano ancora degli apprezzabili ritardi nella registrazione delle  $P$  per le stazioni oltre i  $50^\circ$ .

Tab. III

Risultati ottenuti con l'intervento delle stazioni intermedie					
$\lambda_o = 15^\circ 02' 43",32 \pm 17' 13",96$		$h = 336,5 \text{ km} \pm 26,8 \text{ km}$			
$\phi_o = 39^\circ 16' 26",23 \pm 6' 44",55$		$T_o = 20^h 19^m 38^s,3 \pm 2^s,47$			
Stazioni	$\Delta^o$	Tempi inizio (20 <sup>h</sup> + )	$t_c$	$t_o$	$t_c - t_o$
Messina	1,3241	20 <sup>m</sup> 12 <sup>s</sup>	46 <sup>s</sup> ,18	33 <sup>s</sup> ,67	+ 12 <sup>s</sup> ,51
Reggio C.	1,4341	20 12 ,8	46 ,76	34 ,47	+ 12 ,29
Roma	3,1059	20 34 ,9	59 ,77	56 ,57	+ 3 ,20
Trieste	6,2490	21 10 ,3	1 <sup>m</sup> 33 ,92	1 31 ,97	+ 1 ,95
Zagabria	6,4128	21 11 ,8	35 ,84	33 ,47	+ 2 ,37
Atene	6,9326	21 12	42 ,02	33 ,67	+ 8 ,35
Chur	8,4068	21 37 ,6	59 ,60	59 ,27	+ 0 ,36
*Ravensburg	9,2242	21 47	02 09 ,47	02 08 ,67	+ 0 ,80
*Algeri	9,8287	21 52 ,8	16 ,77	14 ,47	+ 2 ,30
*Mebstetten	9,7568	21 53	15 ,90	14 ,67	+ 1 ,23
*Tubingen	10,0301	21 56 ,5	19 ,20	18 ,17	+ 1 ,04
*Stuttgart	10,2076	21 58	21 ,35	19 ,67	+ 1 ,68
Besangon	10,1947	21 58 ,5	21 ,20	20 ,17	+ 1 ,03
*Pruhonice	10,5382	22 03 ,4	25 ,35	25 ,07	+ 0 ,28
*Strasbourg	10,5115	22 04	25 ,02	25 ,67	- 0 ,65
*Clermont F.	10,8142	22 09	28 ,68	30 ,67	- 1 ,99
*Parigi	12,9667	22 32 ,6	54 ,58	54 ,27	+ 0 ,31
Helwan	16,4574	23 07 ,6	3 33 ,16	3 29 ,27	+ 3 ,89
Copenaghen	16,3211	23 11	31 ,75	32 ,67	- 0 ,92
Ksara	17,6363	23 23	45 ,28	44 ,67	+ 0 ,61
Jerusalem	18,0817	23 28	49 ,78	49 ,67	+ 0 ,12
*Göteborg	18,3582	23 27 ,3	52 ,56	48 ,97	+ 3 ,59
*Tamanrasset	18,4898	23 33	53 ,83	54 ,67	- 0 ,79
*Uppsala	20,4810	23 51 ,9	4 13 ,48	4 13 ,57	- 0 ,08
Skalstugan	24,2080	24 27	48 ,59	48 ,67	- 0 ,08
*Kiruna	28,5855	25 06	5 27 ,93	5 27 ,67	+ 0 ,26
Halifax	56,4928	28 51	9 09 ,74	9 12 ,67	- 2 ,93
Ottowa	63,7699	29 40	58 ,45	10 01 ,67	- 3 ,22
College	75,1499	30 48	11 07 ,41	11 09 ,67	- 2 ,26
Hungry Horse	81,5992	31 24	42 ,01	45 ,67	- 3 ,66
Butte	82,8329	31 30	48 ,28	51 ,67	- 3 ,39
Victoria	84,9777	31 41	59 ,01	12 02 ,67	- 3 ,66
Salt Lake C.	86,6321	31 49	12 06 ,97	10 ,67	- 3 ,70
Tucson	92,7700	32 19	35 ,68	40 ,67	- 4 ,99

Gli anticipi per le stazioni vicine e i ritardi riscontrati per le stazioni lontane presentano carattere di sistematicità, che potrebbe rispecchiare o un errore sistematico connesso con la scelta delle dromocrone di riferimento o una inadatta scelta delle stazioni.

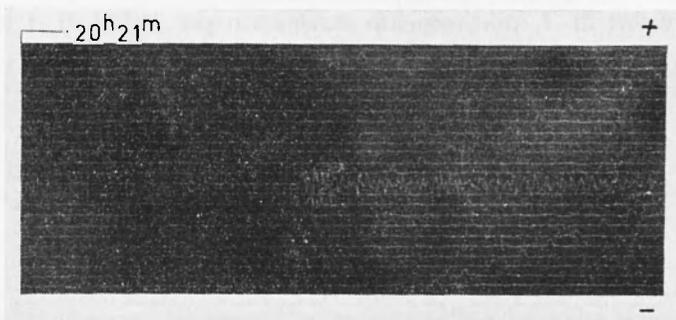


Fig. 6 - Mebstetten - Comp.  $Z - \Delta t = + 5^s$

Si rileva infatti che per una determinazione accurata delle coordinate spazio-temporali degli ipocentri bisogna servirsi delle dromocrone delle onde  $P$  (o  $S$ ). Qualunque sia il procedimento seguito è ovvio che ogni errore sistematico nelle dromocrone utilizzate si traduce in un er-

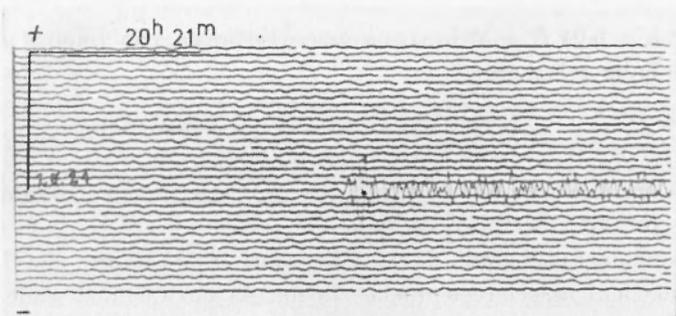


Fig. 7 - Stoccarda - Comp.  $Z - \Delta t = + 5^s$

rore sistematico nei risultati ottenuti. Se le stazioni di osservazione utilizzate hanno buona distribuzione azimutale rispetto al focus, si ha la possibilità di ottenere le coordinate  $\lambda$  e  $\varphi$  senza errore apprezzabile; ciò non avviene per le coordinate  $h$  e  $T_0$ . Dall'andamento delle dromocrone di Jeffreys e Bullen si può stabilire, preliminarmente, quali sono gli intervalli di distanza più favorevoli per una accurata determinazione

della profondità. A questo proposito è stato osservato (1) che, analizzando le curve che rappresentano i tempi di tragitto delle  $P$  in funzione della variabile  $h$ , in corrispondenza ai diversi valori del parametro  $\Delta$ , si nota come tali curve abbiano nell'intorno del punto  $h = 0,04 R + 33$  km ( $R = 6338$  km), un andamento rapidamente crescente con  $h$  per piccoli valori di  $\Delta$ , praticamente stazionario per valori di  $\Delta$  compresi

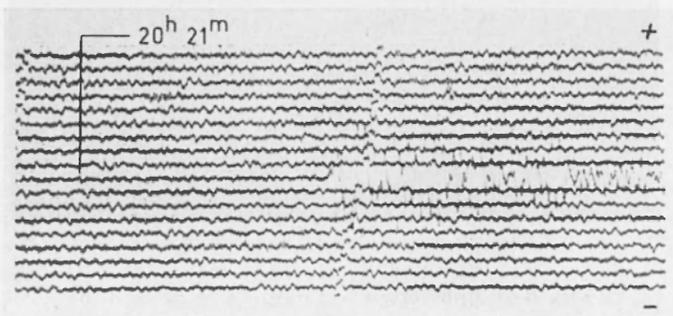


Fig. 8 - Clermont Ferrant - Comp. Z -  $\Delta t = + 14^s$

nello intervallo  $7^{\circ}$ - $13^{\circ}$ , decisamente decrescente per valori di  $\Delta$  più elevati. Più precisamente, considerando l'andamento della funzione  $\frac{\partial tp}{\partial h}$  che per  $h = 0,04 R + 33$  km può essere espressa con buona approssimazione dalla relazione

$$\frac{\partial tp}{\partial h} = 6,337 - 0,8601515 \Delta + 0,0204545 \Delta^2 ,$$

si nota come nell'intorno del valore  $\Delta = 10^{\circ}$  tale funzione assume valori che si scostano assai poco da zero.

Riferendoci al metodo di Caloi-Peronaci si può notare che il gruppo delle equazioni associate a quelle stazioni la cui distanza cade nell'intorno considerato non dà contributo apprezzabile nella determinazione di  $\delta h$ , in quanto le equazioni di tale gruppo, anche per valori sensibilmente diversi di  $\delta h$ , possono dar luogo a residui che praticamente possono essere mascherati dai residui dovuti agli errori di osservazione.

Ho ritenuto, pertanto, di ripetere la determinazione includendo altri dati di stazioni lontane utilizzando i tempi di registrazione riportati dai bollettini, non potendo disporre delle registrazioni originali. Assumendo sempre come dati di partenza quelli della determinazione grafica e includendo i dati di osservazione delle stazioni di Halifax, Ottawa, College,

Hungry Horse, Butte, Victoria, Salt Lake City, Tucson ho ottenuto i seguenti risultati:

$$\delta\lambda_0 = + 8' 08'',59 \pm 11' 44'',18$$

$$\delta\Phi_0 = + 4' 34'',76 \pm 5' 23'',98$$

$$\delta h = (+ 0,0438 \pm 0,1845) \cdot 10^{-2} R$$

$$\delta T_0 = + 0^s,21 \pm 1^s,68$$

da cui risultano, per le coordinate spazio-temporali, i seguenti valori:

$$\lambda_0 = 15^\circ 26' 08'',59 \pm 11' 44'',19$$

$$\Phi_0 = 39^\circ 10' 34'',76 \pm 5' 23'',98$$

$$h = 289,1 \text{ km} \pm 11,7 \text{ km}$$

$$T_0 = 20^h 19^m 34^s,91 \pm 1^s,68 .$$

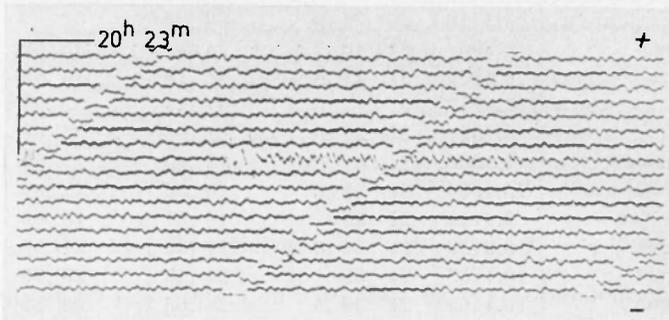


Fig. 9 - Goteborg - Comp. Z -  $\Delta t = -6^s,8$

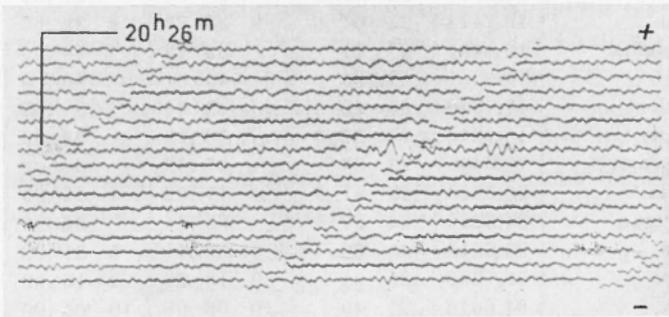


Fig. 10 - Goteborg - Comp. Z - Tratto di sismogramma relativo alla fase S -  $\Delta t = -6^s,8$

Dall'esame della Tab. IV risulta che la nuova determinazione si accorda meglio coi dati delle stazioni di osservazione: gli anticipi per le stazioni vicine si sono sensibilmente ridotti, quello relativo ad Atene

Tab. IV

Risultati ottenuti con l'intervento delle stazioni intermedie e lontane (*)					
$\lambda_o = 15^\circ 26' 08'',59 \pm 11' 44'',19$ $h = 281,1 \text{ km} \pm 11,7 \text{ km}$					
$\Phi_o = 39^\circ 10' 34'',76 \pm 5' 23'',98$ $T_o = 20^h 19^m 34^s,91 \pm 1^s,68$					
Stazioni	$\lambda^o$	Tempi inizio (20 <sup>h</sup> + )	$t_c$	$t_o$	$t_c - t_o$
Messina	1,1689	20 <sup>m</sup> 12 <sup>s</sup>	40 <sup>s</sup> ,45	37 <sup>s</sup> ,09	+ 3 <sup>s</sup> ,36
Reggio C.	1,2688	20 12 ,8	41 ,08	37 ,89	+ 3 ,19
Roma	3,2719	20 34 ,9	59 ,23	59 ,99	— 0 ,76
Trieste	6,3958	21 10 ,3	1 34 ,31	1 35 ,39	— 1 ,08
Zagabria	6,4599	21 11 ,8	35 ,18	36 ,89	— 1 ,71
Atene	6,6277	21 12	37 ,24	37 ,09	+ 0 ,15
Chur	8,6327	21 37 ,6	2 02 ,06	2 02 ,69	— 0 ,63
*Ravensburg	9,4366	21 47	12 ,40	12 ,09	+ 0 ,31
*Algeri	10,1059	21 52 ,8	20 ,30	17 ,89	+ 2 ,41
*Mebstetten	9,4742	21 53	18 ,67	18 ,09	+ 0 ,58
*Tubingen	10,2422	21 56 ,5	21 ,99	21 ,59	+ 0 ,40
*Stuttgart	10,4153	21 58	24 ,13	23 ,09	+ 1 ,04
Besançon	10,4568	21 58 ,5	24 ,65	23 ,59	+ 1 ,07
*Pruhonicie	10,6487	22 03 ,4	27 ,02	28 ,49	— 1 ,47
*Strasbourg	10,7395	22 04	28 ,15	29 ,09	— 0 ,94
*Clermont F.	11,1106	22 09	32 74	34 ,09	— 1 ,35
*Parigi	31,2360	22 32 ,6	58 80	57 ,69	+ 1 ,11
Helwan	16,1478	23 07 ,6	3 32 72	3 32 ,69	+ 0 ,03
Copenaghen	16,4491	23 11	35 19	36 ,09	+ 0 ,90
Ksara	17,3201	23 23	45 04	48 ,09	— 3 ,05
Jerusalem	17,7640	23 28	49 61	53 ,09	— 3 ,48
*Goteborg	18,4846	23 27 ,3	56 ,93	52 ,39	+ 4 ,54
*Tamanrasset	18,5530	23 33	57 ,62	58 ,09	— 0 ,47
*Uppsala	20,5603	23 51 ,9	4 17 ,52	4 16 ,99	+ 0 ,53
Skalstugan	24,3225	24 27	53 ,24	52 ,09	+ 1 ,15
*Kiruna	28,6613	25 06	5 32 ,41	5 31 ,09	+ 1 ,32
*Halifax	56,7996	28 51	9 16 ,26	9 16 ,09	+ 0 ,17
*Ottawa	64,0676	29 40	10 05 ,08	10 05 ,09	— 0 ,01
*College	75,2857	30 48	11 13 ,04	11 13 ,09	— 0 ,05
*Hungry Horse	81,8403	31 24	11 48 ,20	11 49 ,09	— 0 ,89
*Butte	83,0986	31 30	11 54 ,62	11 55 ,09	— 0 ,47
*Victoria	85,1987	31 41	12 05 ,10	12 06 ,09	— 0 ,99
*Salt Lake C.	86,8932	31 49	13 ,32	14 ,09	— 0 ,77
*Tucson	93,0487	32 19	42 ,04	44 ,09	— 2 ,05

è addirittura inapprezzabile. Per tutte le altre stazioni l'accordo si può ritenere soddisfacente anche se si continua a notare un anticipo di 4<sup>s</sup>,5 per Göteborg e ritardi di 4<sup>s</sup>,5 e 3<sup>s</sup>, rispettivamente, per le stazioni di Gerusalemme e Ksara.

La riduzione dell'entità degli anticipi per le stazioni vicine e la eliminazione quasi completa dei ritardi per le stazioni oltre i 28° avvalorano l'ipotesi di inadeguata scelta delle stazioni per la determinazione fatta adoperando solo le stazioni a distanza intermedia.

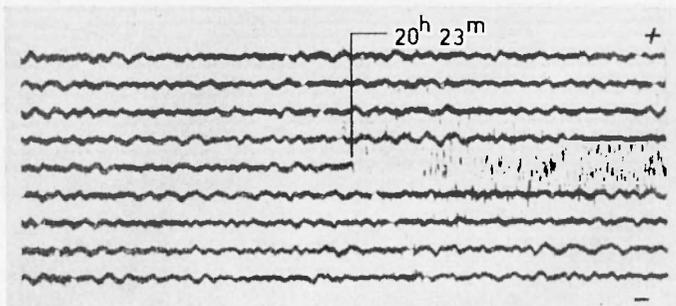


Fig. 11 - Tamanrasset - Comp. Z -  $\Delta t = + 33^s$

Constatato che l'intervento dei dati delle stazioni lontane elimina i ritardi per distanze epicentrali grandi e riduce sensibilmente gli anticipi per piccole distanze epicentrali è naturale supporre che l'intervento dei dati relativi alle stazioni vicine possa ridurre ulteriormente, o addirittura annullare, gli anticipi per tali stazioni. Ho voluto procedere ad una terza determinazione facendo intervenire i tempi di registrazione delle P nelle stazioni di Messina, Reggio C., Roma, Trieste, Zagabria, Atene, escludendo i dati relativi alle stazioni lontane, onde potere stabilire un criterio di confronto sull'efficacia delle due determinazioni, anche in considerazione del fatto che non sempre sono disponibili dati di stazioni vicine. I risultati ottenuti sono i seguenti:

$$\begin{aligned} \delta\lambda_0 &= + 9' 10'',00 \pm 5' 32'',29 \\ \delta\Phi_0 &= - 1' 58'',55 \pm 3' 14'',39 \\ \delta h &= (+ 0,08155 \pm 0,01218) \cdot 10^{-2}R \\ \delta T_0 &= - 0^s,549 \pm 0^s,518 , \end{aligned}$$

e quindi

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= 15^\circ 27' 10'',00 \pm 5' 32'',29 \\ \Phi_0 &= 39^\circ 04' 01'',45 \pm 3' 14'',89 \\ h &= 291,597 \text{ km} \pm 0,772 \text{ km} \\ T_0 &= 20^h 19^m 34^s,15 \pm 0^s,52 . \end{aligned}$$

In questa nuova determinazione, come si può rilevare dalla Tabella V, non solo l'accordo coi tempi di registrazione delle stazioni è soddisfacente, ma anche sono ulteriormente ridotti gli anticipi per le stazioni vicine.

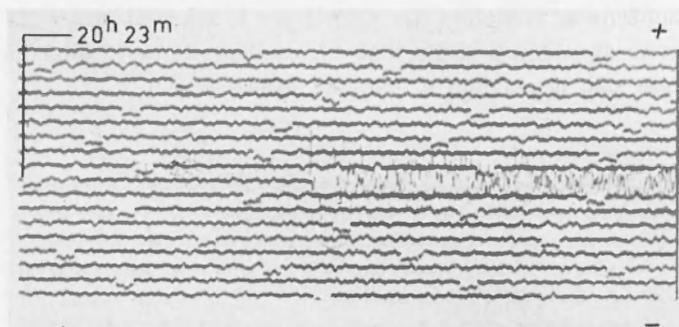


Fig. 12 - Uppsala - Comp. Z -  $\Delta t = + 1^s,6$

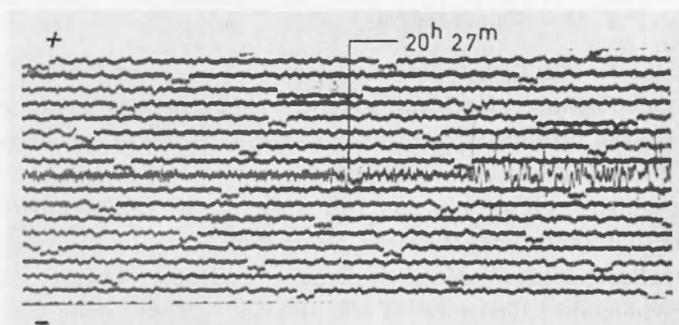


Fig. 13 - Uppsala - Comp. Z - Tratto di sismogramma relativo alla fase S -  $\Delta t = + 1^s,6$

L'intervento delle stazioni di Messina, Reggio C., Roma, Trieste, Zagabria, Atene, ha avuto, quindi, il medesimo effetto delle stazioni lontane con errori medi apprezzabilmente più piccoli delle altre determinazioni, e sembrerebbe più attendibile questa ultima determinazione. Ritengo però che anticipi di  $2^s,1$  per Messina e di  $1^s,9$  per Reggio C., data la vicinanza di queste stazioni all'epicentro, siano ancora rilevanti, mentre restano i ritardi di  $4^s,9$  per Gerusalemme, di  $4^s,3$  per Ksara e l'anticipo, veramente inspiegabile, di  $4^s,7$  per Goteborg.

Tab. V

Risultati ottenuti con l'intervento delle stazioni vicine e intermedie (\*):

$$\lambda_o = 15^\circ 27' 10'',00 \pm 5' 32'',29 \quad h = 291,597 \text{ km} \pm 0,772 \text{ km}$$

$$\Phi_o = 39^\circ 04' 01'',45 \pm 3' 14'',89 \quad T_o = 20^h 14^m 34^s,15 \pm 0^s,52$$

Stazioni	$\lambda^o$	Tempi inizio (20 <sup>h</sup> + )	$t_c$	$t_o$	$t_c - t_o$
*Messina	1,0589	20 <sup>m</sup> 12 <sup>s</sup>	40 <sup>s</sup> ,01	37 <sup>s</sup> ,85	+ 2 <sup>s</sup> ,16
*Reggio C.	1,1585	20 12 ,8	40 ,64	38 ,65	+ 1 ,99
*Roma	3,4643	20 34 ,9	1 <sup>m</sup> 00 ,35	1 <sup>m</sup> 00 ,75	- 0 ,40
*Trieste	6,5056	21 10 ,3	35 ,80	36 ,15	- 0 ,35
*Zagabria	6,5682	21 11 ,8	36 ,57	37 ,65	- 1 ,08
*Atene	6,5974	21 12	36 ,93	36 ,85	+ 0 ,08
Chur	8,7354	21 37 ,6	2 03 ,34	2 03 ,45	- 0 ,11
*Ravensburg	9,5415	21 47	13 ,30	12 ,85	+ 0 ,45
*Algeri	10,0991	21 52 ,8	19 ,99	18 ,65	+ 1 ,34
*Mebstetten	10,0784	21 53	19 ,95	18 ,85	+ 1 ,10
*Tubingen	10,3472	21 56 ,5	22 ,91	22 ,35	+ 0 ,56
*Stuttgart	10,5209	21 58	25 ,43	23 ,85	+ 1 ,58
Besançon	10,5512	21 58 ,5	25 ,80	24 ,35	+ 1 ,45
*Pruhonice	10,7585	22 03 ,4	28 ,37	29 ,25	- 0 ,88
*Strasbourg	10,8419	22 04	29 ,40	29 ,85	- 0 ,45
*Clermont F.	11,1900	22 09	33 ,70	34 ,85	- 1 ,15
*Parigi	13,3280	22 32 ,6	59 ,86	58 ,45	- 1 ,41
Helwan	16,0802	23 07 ,6	3 31 ,85	3 33 ,45	- 1 ,60
Copenaghen	16,5592	23 11	36 ,92	36 ,85	+ 0 ,07
Ksara	17,2842	23 23	44 ,51	48 ,85	- 4 ,34
Jerusalem	17,7160	23 28	48 ,95	53 ,85	- 4 ,90
*Goteborg	18,5946	23 27 ,3	57 ,87	53 ,15	+ 4 ,72
*Tamanrasset	18,4651	23 33	56 ,57	58 ,85	- 2 ,28
*Uppsala	20,6687	23 51 ,9	4 18 ,40	4 17 ,75	+ 0 ,65
Skalstugan	24,4323	24 27	54 ,05	52 ,85	+ 1 ,20
*Kiruna	28,7694	25 06	5 33 ,16	5 31 ,85	+ 1 ,31
Halifax	56,8704	28 51	9 16 ,52	9 16 ,85	- 0 ,33
Ottawa	64,1459	29 40	10 05 ,33	10 05 ,85	- 0 ,52
College	75,3957	30 48	11 13 ,40	11 13 ,85	- 0 ,45
Hungry Horse	81,9405	31 24	48 ,46	49 ,85	- 1 ,39
Butte	83,1802	31 30	54 ,77	55 ,85	- 1 ,08
Victoria	85,3026	31 41	12 05 ,34	12 06 ,85	- 1 ,51
Salt Lake C.	86,9882	31 49	13 ,50	14 ,85	- 1 ,35
Tucson	93,1374	32 19	42 ,17	44 ,85	- 2 ,68

Poiché l'anticipo nella stazione di Goteborg si verifica sistematicamente ed apprezzabilmente nella medesima entità in tutte le determinazioni da me fin'ora fatte, ho ritenuto opportuno ripeterle escludendo i dati di tale stazione. I risultati e le conseguenze delle nuove tre determinazioni sono riassunti rispettivamente nelle Tabelle III', IV', V'.

4. - In tutte le determinazioni, condotte con diversi aggruppamenti di stazioni, si è constatato che le stazioni di Messina e Reggio C. registrano con anticipo le *P*. L'entità di tale anticipo varia da determinazione a determinazione; risulta massimo (dell'ordine di una diecina di secondi), quando nella determinazione si fanno intervenire soltanto le stazioni intermedie; si riduce a 3<sup>s</sup> circa facendo intervenire stazioni intermedie e lontane; si riduce al minimo, 2<sup>s</sup> circa, facendo intervenire nella determinazione le stazioni vicine e intermedie.

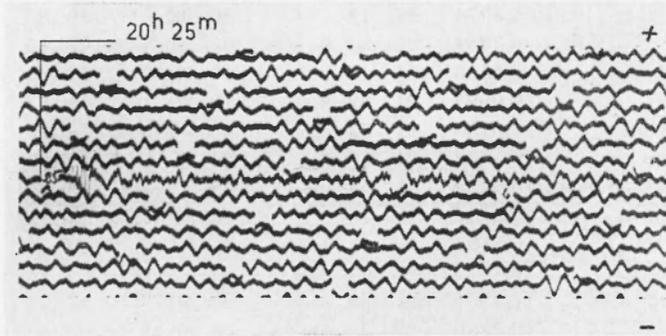


Fig. 14 - Kiruna - Comp. Z -  $\Delta t = + 0^s,3$

Si conclude, pertanto, che, pur essendo tale anticipo sistematico, l'entità di esso dipende dai particolari criteri seguiti nella scelta dei dati di calcolo.

Si tratta ora di stabilire, ai fini di una eventuale valutazione quantitativa dei risultati, se è lecito considerare come più attendibile la determinazione effettuata con l'intervento delle stazioni vicine, che, del resto è affetta da un errore medio più piccolo, o la determinazione effettuata escludendo il peso statistico dei dati delle stazioni vicine, che potrebbe sensibilmente influenzare i risultati. È intanto agevole osservare che gli errori medi di cui sono affette queste due ultime valutazioni delle coordinate ipocentrali, sono soddisfacentemente piccoli; però nella determinazione delle correzioni eseguita con l'intervento delle stazioni vicine gli errori medi su  $\delta h$  e  $\delta T_0$  sono rispettivamente  $\pm 0,096 \cdot 10^{-2} R$

Tab. III'

Risultati ottenuti con l'intervento delle stazioni intermedie (*) (esclusa la stazione di Goteborg):					
$\lambda_0 = 15^\circ 08' 57'',74 \pm 13' 44'',81$		$h = 312,025 \text{ km} \pm 22,784 \text{ km}$			
$\Phi_0 = 39^\circ 12' 08'',86 \pm 05' 30'',95$		$T_0 = 20^h 19^m 37^s,06 \pm 2^s,001.$			
Stazioni	$\Delta^\circ$	Tempi inizio (20 <sup>h</sup> + )	$t_c$	$t_o$	$t_c - t_o$
Messina	1,2327	20 <sup>m</sup> 12 <sup>s</sup>	43 <sup>s</sup> ,19	34 <sup>s</sup> ,95	+ 8 <sup>s</sup> ,24
Reggio C.	1,3413	20 12 ,8	43 ,83	35 ,75	+ 8 ,08
Roma	3,2116	20 34 ,9	59 ,13	57 ,85	+ 1 ,28
Trieste	6,3323	21 10 ,3	1 <sup>m</sup> 34 ,24	1 <sup>m</sup> 33 ,25	+ 0 ,99
Zagabria	6,4505	21 11 ,8	35 ,65	34 ,75	+ 0 ,90
Atene	6,8508	21 12	40 ,44	34 ,95	+ 5 ,49
Chur	8,5069	21 37 ,6	2 00 ,64	2 00 ,55	+ 0 ,09
*Ravensburg	9,3119	21 47	10 ,62	09 ,95	+ 0 ,67
*Algeri	9,8930	21 52 ,8	17 ,61	15 ,75	+ 1 ,86
*Mebstetten	9,8555	21 53	17 ,15	15 ,95	+ 1 ,20
*Tubingen	10,1277	21 56 ,5	20 ,48	19 ,45	+ 1 ,03
*Stuttgart	10,3045	21 58	22 ,64	20 ,95	+ 1 ,69
Besançon	10,3003	21 58 ,5	22 ,59	21 ,45	+ 1 ,14
*Pruhonic	10,6124	22 03 ,4	26 ,41	26 ,35	+ 0 ,06
*Strasbourg	10,6121	22 04	26 ,41	26 ,95	- 0 ,54
*Clermont F.	10,9222	22 09	30 ,21	31 ,95	- 1 ,74
*Parigi	13,0731	22 32 ,6	56 ,35	55 ,55	+ 0 ,80
Helwan	16,3518	23 07 ,6	3 33 ,91	3 30 ,55	+ 3 ,36
Copenaghen	16,4009	23 11	34 ,03	33 ,95	+ 0 ,08
Ksara	17,5427	23 23	45 ,88	45 ,95	- 0 ,07
Jerusalem	17,9825	23 28	50 ,37	50 ,95	- 0 ,58
Goteborg	18,4368	23 27 ,3	54 ,94	50 ,25	+ 4 ,69
*Tamanrassett	18,4663	23 33	55 ,24	55 ,95	- 0 ,71
*Uppsala	20,5474	23 51 ,9	4 15 ,81	4 14 ,85	+ 0 ,96
Skalstugan	24,2837	24 27	51 ,14	49 ,95	+ 1 ,19
*Kiruna	28,6509	25 06	5 30 ,47	5 28 ,95	+ 1 ,52
Halifax	56,5991	28 51	9 12 ,73	9 13 ,95	- 1 ,21
Ottawa	63,8773	29 40	10 01 ,57	10 02 ,95	- 1 ,38
College	75,2313	30 48	11 10 ,38	11 10 ,95	- 0 ,57
Hungry Horse	81,7022	31 24	45 ,09	46 ,95	- 1 ,86
Butte	82,9370	31 30	51 ,38	52 ,95	- 1 ,57
Victoria	85,3074	31 41	12 03 ,20	12 03 ,95	- 0 ,75
Salt Lake C.	86,7378	31 49	10 ,10	11 ,95	- 1 ,84
Tueson	92,8775	32 19	38 ,80	41 ,95	- 3 ,15

Tab. IV'

Risultati ottenuti con l'intervento delle stazioni intermedie e lontane (\*)  
(esclusa la stazione di Göteborg):

$$\lambda_o = 15^\circ 20' 59'',22 \pm 08' 49'',50 \quad h = 289,376 \text{ km} \pm 8,716 \text{ km}$$

$$\phi_o = 39^\circ 09' 30'',38 \pm 04' 01'',60 \quad T_o = 20^h 19^m 35^s,31 \pm 1^s,254$$

Stazioni	$\Delta^o$	Tempi inizio (20 <sup>h</sup> + )	$t_c$	$t_o$	$t_c - t_o$
Messina	1,1582	20 <sup>m</sup> 12 <sup>s</sup>	40 <sup>s</sup> ,14	36 <sup>s</sup> ,69	+ 3,45
Reggio C.	1,2615	20 12,8	40,80	37,49	+ 3,31
Roma	3,3430	20 34,9	58,78	59,59	- 0,81
Trieste	6,4014	21 10,3	1 <sup>m</sup> 34,40	1 <sup>m</sup> 34,99	- 0,59
Zagabria	6,4820	21 11,8	35,39	36,49	- 1,10
Atene	6,6905	21 12	37,93	36,69	+ 1,24
Chur	8,6174	21 37,6	2 01,86	2 02,29	- 0,43
*Ravensburg	9,4252	21 47	11,87	11,69	+ 0,18
*Algeri	10,0371	21 58,2	19,46	17,49	+ 1,97
*Mebstetten	9,9615	21 53	18,52	17,69	+ 0,83
*Tubingen	10,2310	21 56,5	21,86	21,19	+ 0,67
*Stuttgart	10,4054	21 58	24,03	22,69	+ 1,34
Besançon	10,4300	21 58,5	24,33	23,19	+ 1,14
*Pruhonice	10,6631	22 03,4	27,22	28,09	- 0,87
*Strasbourg	10,7237	22 04	27,97	28,69	- 0,72
*Clermont F.	11,0702	22 09	32,26	33,69	- 1,42
*Parigi	13,2067	22 32,6	58,49	57,29	+ 1,20
Helwan	16,1957	23 07,6	3 33,36	3 32,29	+ 1,07
Copenaghen	16,4600	23 11	36,16	35,69	+ 0,47
Ksara	17,3814	23 23	45,81	47,69	- 1,88
Jerusalem	17,8211	23 28	50,34	52,69	- 2,35
Goteborg	18,4956	23 27,3	57,19	51,99	+ 5,20
*Tamanrasset	18,5043	23 33	57,28	57,69	- 0,41
*Uppsala	20,5819	23 51,9	4 17,88	16,59	+ 1,29
Skalstugan	24,3364	24 27	53,54	51,69	+ 1,85
*Kiruna	28,6837	25 06	5 32,80	5 30,69	+ 2,11
*Halifax	56,7535	28 51	9 16,15	9 15,69	+ 0,46
*Ottawa	64,0265	29 40	10 05,04	10 04,69	+ 0,36
*College	75,2949	30 48	11 13,32	11 12,69	+ 0,63
*Hungry Horse	81,8209	31 24	11 48,34	11 48,69	- 0,35
*Butte	83,0599	31 30	54,67	54,69	- 0,02
*Victoria	85,1858	31 41	12 05,28	12 05,69	- 0,41
*Salt Lake C.	86,8671	31 49	13,43	13,69	0,26
*Tucson	93,0162	32 19	42,14	43,69	- 1,55

Tab. V'

Risultati ottenuti con l'intervento delle stazioni intermedie e vicine (*) (esclusa Göteborg):					
$\lambda_0 = 15^\circ 24' 46'',63 \pm 4' 12'',71$		$h = 284,534 \text{ km} \pm 6,092 \text{ km}$			
$\Phi_0 = 39^\circ 03' 40'',69 \pm 2' 26'',70$		$T_0 = 20^h 19^m 37^s,40 \pm 0^s,40$			
Stazioni	$\lambda^0$	Tempi inizio (20 <sup>h</sup> + )	$t_c$	$t_0$	$t_c - t_0$
*Messina	1,0560	20 <sup>m</sup> 12 <sup>s</sup>	39 <sup>s</sup> ,25	37 <sup>s</sup> ,53	+ 1,71
*Reggio	1,1573	20 12,8	39,90	38,33	+ 1,56
*Roma	3,4493	20 34,9	59,77	1 <sup>n</sup> 00,43	- 0,66
*Trieste	6,5057	21 10,3	1 <sup>n</sup> 35,67	35,83	- 0,16
*Zagabria	6,5791	21 11,8	36,54	37,33	- 0,79
*Atene	6,6271	12 12	37,12	37,53	- 0,41
Chur	8,7261	21 37,6	2 03,21	2 03,13	- 0,08
*Ravensburg	9,5340	21 47	13,24	12,53	+ 0,71
*Algeri	10,0676	21 52,8	19,86	18,33	+ 1,53
*Mehstetten	10,0703	21 53	19,89	18,53	+ 1,36
*Tubingen	10,3397	21 56,5	23,24	22,03	+ 1,21
*Stuttgart	10,5140	21 58	25,40	23,53	+ 1,87
Besançon	10,5369	21 58,5	25,69	24,03	+ 1,66
*Pruhonic	10,7626	22 03,4	28,49	28,93	- 0,44
*Strasbourg	10,8325	22 04	29,36	29,53	- 0,17
*Clermont F.	11,1698	22 09	33,54	34,53	- 0,99
*Parigi	13,3126	22 32,6	59,83	58,13	+ 1,70
Helwan	16,1038	23 07,6	3 32,50	3 33,13	- 0,63
Copenaghen	16,5617	23 11	37,37	36,53	+ 0,84
Ksara	17,3133	23 23	45,26	48,53	- 3,27
Jerusalem	17,7434	23 28	49,69	53,53	- 3,84
Goteborg	18,5972	23 27,3	58,37	52,83	+ 5,54
*Tamanrasset	18,4446	23 33	56,83	58,53	- 1,70
*Uppsala	20,6762	23 51,9	4 18,98	4 17,43	+ 1,55
Skalstugan	24,4363	24 27	54,63	52,53	+ 2,10
*Kiruna	28,7773	25 06	5 33,81	5 31,53	+ 2,28
Halifax	56,8476	28 51	9 17,04	9 16,53	+ 0,51
Ottawa	64,1253	29 40	10 05,91	10 05,53	+ 0,38
College	75,3975	30 48	11 14,14	11 13,53	+ 0,61
Hungry Horse	81,9293	31 24	49,15	49,53	- 0,38
Butte	83,1680	31 30	55,46	55,53	- 0,07
Victoria	85,2943	31 41	12 06,06	12 06,53	- 0,47
Salt Lake C.	86,9741	31 49	14,19	14,53	- 0,34
Tueson	93,1205	32 19	42,86	44,53	- 1,67

e  $\pm 0^s,398$ , mentre nella determinazione fatta con l'intervento delle stazioni lontane gli errori medi, per le medesime correzioni, sono rispettivamente  $\pm 0,137 \cdot 10^{-2}R$  e  $\pm 1^s,254$ . Gli errori nella determinazione delle correzioni da apportare alle coordinate geografiche  $\lambda_0$  e  $\Phi_0$  sono invece apprezzabilmente del medesimo ordine di grandezza. Nella Tabella VI ho riportato l'andamento di  $\frac{\Delta t}{\Delta h}$  in funzione della distanza

Tab. VI

$A^o$	$\frac{\Delta t_p}{\Delta h}$						
0,0	7 <sup>s</sup> 5	7,0	0 <sup>s</sup> ,7	63,0	6 <sup>s</sup> ,7	77,0	6 <sup>s</sup> ,8
0,5	7, 3	50,0	6, 1	64,0	6, 7	78,0	6, 8
1,0	6, 8	51,0	6, 2	65,0	6, 7	79,0	6, 9
1,5	6, 3	52,0	6, 2	66,0	6, 8	80,0	6, 9
2,0	5, 2	53,0	6, 3	67,0	6, 8	81,0	7, 0
2,5	4, 6	54,0	6, 4	68,0	6, 8	82,0	7, 0
3,0	3, 9	55,0	6, 4	69,0	6, 8	83,0	7, 0
3,5	3, 3	65,0	6, 4	70,0	6, 8	84,0	7, 0
4,0	2, 8	57,0	6, 5	71,0	6, 8	85,0	7, 0
4,5	2, 3	58,0	6, 5	72,0	6, 8	86,0	7, 0
5,0	1, 9	59,0	6, 5	73,0	6, 8	87,0	7, 0
5,5	1, 5	60,0	6, 5	74,0	6, 8	88,0	7 <sup>s</sup> ,0
6,0	1, 2	61,0	6, 5	75,0	6, 8	89,0	7, 0
6,5	0, 9	62,0	6, 6	76,0	6, 8	90,0	7, 0

per le stazioni vicine comprese nell'intervallo 0°-7° e quello relativo alle distanze comprese nell'intervallo 50°-90°. Si nota agevolmente che  $\frac{\Delta t}{\Delta h}$  ha andamento rapidamente decrescente con la distanza nell'intervallo 0°-7° e comporta una variazione media, per unità di grado di 0<sup>s</sup>,97. La variazione media per unità di grado della medesima grandezza per le stazioni lontane, comprese nell'intervallo 50°-90° è, invece, di soli 0<sup>s</sup>,025.

Si conclude che l'intervento delle stazioni vicine comporta per le stesse valori diversi del coefficiente di  $\delta h$  nelle equazioni di condizione, mentre le stazioni lontane, benché maggiormente intervallate come distanza, contribuiscono con un coefficiente di  $\delta h$  che si può considerare costante. L'intervento delle prime comporta, quindi, una maggiore sensibilità nella determinazione di  $\delta h$  e questo spiega il minore errore medio di cui questa misura è affetta.

La determinazione fatta con l'intervento delle stazioni vicine è, quindi, fra tutte, la più accettabile essendo la più sensibile e la più precisa.

Bisogna considerare che neanche questa determinazione, come già detto, riesce ad eliminare gli anticipi per le stazioni di Messina e Reggio C., e tali anticipi, incontrovertibilmente sistematici, potrebbero essere sintomi di anomalie locali di propagazione delle onde  $P$  nella zona, intendendo con la locuzione di *anomalie locali* l'allontanamento più o meno sensibile dall'andamento previsto in base alla schematizzazione assunta per il calcolo delle dromocrone di Jeffreys e Bullen (1), che qui sono state adottate come dromocrone di riferimento.

In base a tali dromocrone si deduce che l'andamento della velocità in funzione della profondità è il seguente:

Profondità	Velocità delle $P$ in km/sec
33 km	7,75
100	7,95
200	8,26
300	8,58
413	8,97
600	10,25
800	11,00
1000	11,42

Tale andamento, nell'intervallo di profondità 33-300 km, può essere rappresentato dalla seguente relazione quadratica:

$$V = a h^2 + b h + c ,$$

essendo  $a$ ,  $b$ ,  $c$  dei coefficienti deducibili con l'applicazione del metodo dei minimi quadrati. Si ottiene:

$$a = 57034 \cdot 10^{-12}$$

$$b = 291889 \cdot 10^{-8}$$

$$c = 7,658 .$$

Indicando con  $x$  lo spessore della crosta nella zona ipocentrale e supponendo, in prima approssimazione, il tragitto rettilineo fra l'ipocentro e le stazioni di Messina e di Reggio C., si deduce, da considerazioni di carattere elementare:

$$x = \frac{h}{D} \frac{\overline{V_2}}{\overline{V_1} - \overline{V_2}} (T\overline{V}, - D) \quad [1]$$

essendo  $\overline{V}$  la velocità media delle onde  $P$  nella crosta, che ho assunto uguale a 6,11 km/sec., mentre  $\overline{V_1}$  si calcola dalla relazione:

$$\overline{V_1} = \frac{1}{h_2 - h_1} \int_{h_1}^{h_2} (a h^2 + b h + c) d h$$

che, nei limiti di profondità 33-284,53 km, risulta di 8,118 km/sec.

In base ai valori ottenuti di  $h$  e di  $D$  (distanza ipocentro-stazione) ed ai valori osservati dei tempi di tragitto per le stazioni di Messina e di Reggio C., si sono ottenuti i seguenti valori della  $x$ :

$$\text{Messina} \quad x = - 7,981 \text{ km} ,$$

$$\text{Reggio C.} \quad x = - 0,269 \text{ km} .$$

Si osservi che se nella [1] si adoperano i valori dei tempi di tragitto calcolati con le tabelle di Jeffreys e Bullen si ottengono per  $x$  i seguenti risultati:

$$\text{Messina} \quad x = + 31,763 \text{ km} ,$$

$$\text{Reggio C.} \quad x = + 33,847 \text{ km} ,$$

valori assai vicini a quello assunto da Jeffreys quale spessore medio della crosta. Volendo, pertanto, attribuire gli anticipi osservati nella registrazione delle  $P$  a Messina e a Reggio C., ad una minore potenza della crosta nella zona epicentrale, dovremmo concludere che lo spessore di essa è pressoché nullo.

5. - Esaminando i risultati ottenuti nell'ultima determinazione, i ritardi di 3<sup>s</sup>,8 per Gerusalemme, di 3<sup>s</sup>,3 per Ksara, l'anticipo di 5<sup>s</sup>,5 per Goteborg, associato con gli anticipi, anche se di più lieve entità, osservati nelle stazioni di Uppsala, Skalstugan e Kiruna, metterebbero in evidenza un notevole effetto azimutale, determinato, oltre che dalla particolare posizione dell'ipocentro, dalle peculiarità strutturali delle regioni di osservazione.

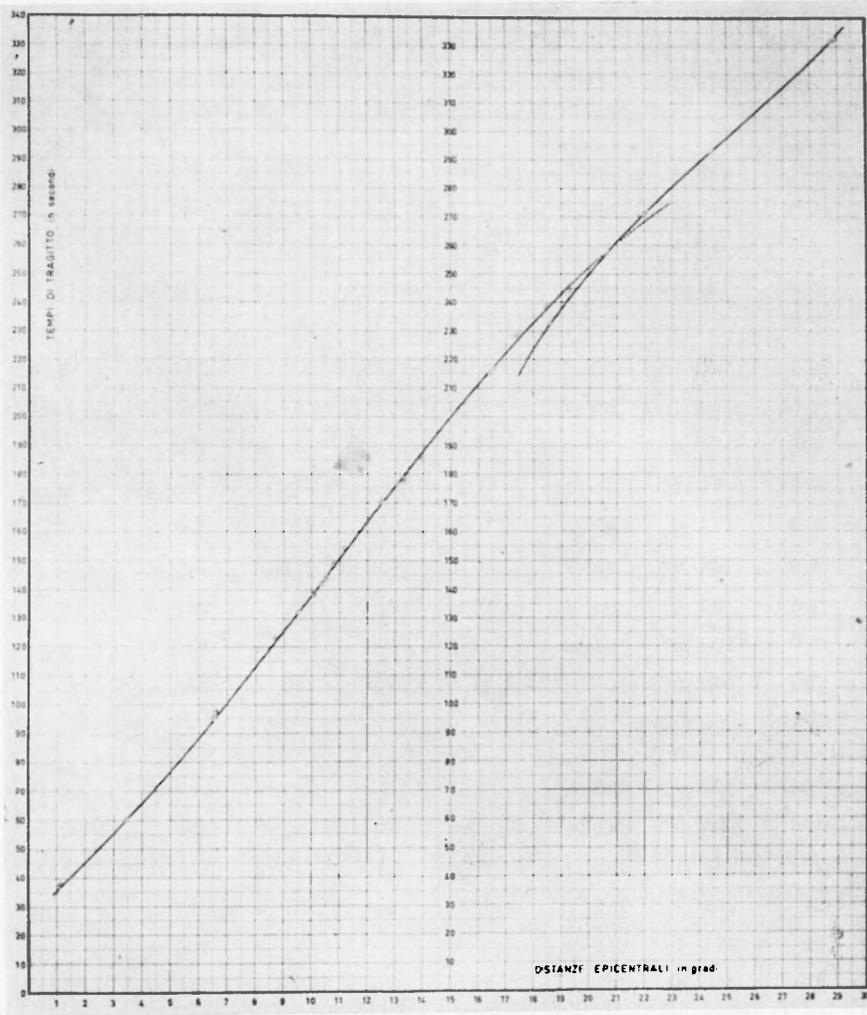


Fig. 15 - Dromocrone delle onde *P*

I sistematici anticipi delle onde  $P$  nella stazione di Goteborg e nelle stazioni di Uppsala, Skalstugan e Kiruna, non mi hanno permesso di

Tab. VII

$\Delta^o$	$t$	$t^*$	$t-t^*$	$\Delta^o$	$t$	$t^*$	$t-t^*$
1,0	36 <sup>s</sup> ,2	38 <sup>s</sup> ,9	— 2 <sup>s</sup> ,7	8,0	113 <sup>s</sup> ,1	114 <sup>s</sup> ,2	— 1 <sup>s</sup> ,1
1,5	40 ,8	42 ,1	— 1 ,3	8,5	125 ,6	120 ,4	— 1 ,1
2,0	45 ,5	45 ,6	— 0 ,1	9,0	125 ,6	126 ,6	— 1 ,1
2,5	50 ,4	50 ,2	+ 0 ,2	9,5	131 ,8	132 ,8	— 1 ,0
3,0	55 ,5	55 ,1	+ 0 ,4	10,0	138 ,2	139 ,0	— 0 ,8
3,5	60 ,7	60 ,3	+ 0 ,4	11,0	150 ,8	151 ,4	— 0 ,6
4,0	66 ,1	65 ,9	+ 0 ,2	12,0	163 ,4	163 ,8	— 0 ,4
4,5	71 ,6	71 ,6	0 ,0	13,0	175 ,8	176 ,1	— 0 ,3
5,0	77 ,2	77 ,4	— 0 ,2	14,0	188 ,1	188 ,2	— 0 ,1
5,5	83 ,0	83 ,5	— 0 ,5	15,0	200 ,0	200 ,2	— 0 ,2
6,0	88 ,8	89 ,5	— 0 ,6	16,0	211 ,6	211 ,4	— 0 ,2
6,5	94 ,8	95 ,6	— 0 ,8	17,0	222 ,7	222 ,0	+ 0 ,7
7,0	100 ,8	101 ,8	— 1 ,0	18,0	233 ,2	232 ,3	+ 0 ,9
7,5	106 ,9	108 ,0	— 1 ,1	19,0	243 ,2	242 ,4	+ 0 ,9
18	224 ,4	232 ,3	— 7 ,9	25	297 ,9	299 ,8	— 1 ,9
19	238 ,0	242 ,4	— 4 ,4	26	306 ,4	308 ,9	— 2 ,5
20	250 ,1	252 ,3	— 2 ,2	27	315 ,2	318 ,0	— 2 ,8
21	261 ,1	262 ,2	— 1 ,1	28	324 ,4	327 ,0	— 2 ,6
22	271 ,1	271 ,9	— 0 ,8	29	334 ,3	335 ,8	— 1 ,5
23	280 ,4	281 ,4	— 1 ,0	30	345 ,0	344 ,6	+ 0 ,4
24	289 ,3	289 ,7	— 0 ,4				

soddisfare con un'unica curva continua la distribuzione dei tempi di tragitto osservati in funzione della distanza per la profondità da me calcolata. Ho costruito, quindi, due tratti di dromocrona. Per il calcolo del primo tratto mi sono avvalso dei dati sperimentali di 23 stazioni e

precisamente di quelli di Messina, Reggio C., Roma, Trieste, Zagabria, Atene, Chur, Ravensburg, Mebstetten, Tübingen, Stoccarda, Besançon, Pruhonice, Strasbourg, Clermont F., Halle, Bensberg, Dourbes, Parigi, Uccle, Kew, Copenaghen, Durham. La stazione di Durham l'ho scelta anche perché, trovandosi dall'epicentro a distanza maggiore di Göteborg, mi permetteva di costruire una dromocrona valida fino a distanze di 20° senza ricorrere ai dati delle stazioni scandinave.

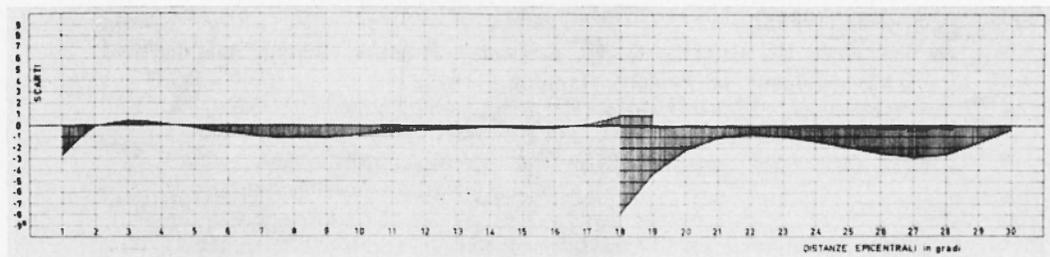


Fig. 16 - Scarti rispetto alla dromocrona di Jeffreys e Bullen

La dromocrona più probabile delle onde  $P$  risulta:

$$t_P = 27,751569 + 8,061779 \Delta + 0,437074 \Delta^2 - 0,013918 \Delta^3 \quad [2]$$

sufficientemente valida per i valori di  $\Delta$  compresi nell'intervallo 1°-19°.

Come si può rilevare dalla Fig. 15 i dati della stazione di Göteborg non soddisfano alla predetta dromocrona, mentre quelli di Tamarrassett, che non è intervenuta nel calcolo dei coefficienti della dromocrona, scartano da essa di pochissimo. La distribuzione dei dati delle stazioni scandinave suggerisce, invece, un diverso allineamento che ho approssimato ad una cubica, avvalendomi dei dati delle stazioni di Göteborg, Uppsala, Nurmijarvi, Skalstugan, Kiruna e Sodankyla. La dromocrona più probabile ha la seguente equazione:

$$t_P = -517,970594 + 80,516207 \Delta - 2,866820 \Delta^2 + 0,038061 \Delta^3 \quad [3]$$

che si adatta ottimamente ai dati prescelti.

Nella Tabella VII si riportano i tempi calcolati  $t$  in base alla [2] e i tempi calcolati in base alla dromocrona di Jeffreys  $t^*$  per intervalli di distanza 1°-19°; si riportano, inoltre, i tempi calcolati in base alla dromocrona [3] e quelli calcolati in base alle tabelle di Jeffreys. Gli scarti relativi sono messi in evidenza nella Fig. 16.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) GIRLANDA A., *Sul terremoto profondo delle isole Eolie del 23 Novembre 1954*. « Annali di Geofisica », VIII, 439-456, (1955).
  - (2) CALOI P., PERONACI F., *Il terremoto del Turkestan del 2 Novembre 1946*. « Annali di Geofisica », I, 2, 246-252, (1948).
  - (3) — *La determinazione degli epicentri di terremoti lontani coi dati di una o più stazioni*. « Boll. Comm. Geod. e Geof. del CNR », Serie II, anno IV, 1-2, (1934).
  - (4) JEFFREYS H., BULLEN K. E., *Seismological tables*. British Ass. for the advancement of Science, London, (1948).
-