

**Ancora sui tempi di tragitto delle P_n provenienti
dalla Sicilia**
Tabelle numeriche per varie profondità ipocentrali

*(More about P_n travel-times waves from Sicily.
Numerical Tables for different hypocentral depths)*

L. MARCELLI - G. PANNOCCHIA (*)

Ricevuto il 26 Marzo 1974

RIASSUNTO. — Questo lavoro fa seguito agli studi già effettuati sui terremoti della Sicilia occidentale.

L'indagine analitica delle grandezze ipocentrali di un altro forte terremoto della serie ha confermato una profondità ipocentrale prossima alla Moho. Mediante opportuni raggruppamenti dei terremoti studiati è stato possibile calcolare le curve dei tempi di tragitto delle onde longitudinali alle seguenti profondità: km 30, 35, 40, 45, 50, 60 (fino a $\Delta = 20^\circ$).

Sono stati trovati interessanti dati riguardanti le prime onde (esistenza di due serie di onde, P_{n1} e P_{n2} , a velocità leggermente diversa).

Per ogni h presa in esame sono state calcolate 5 curve: la P_n (generale) nella quale vengono presi tutti i primi impulsi, anche quelli che poi risultano avere scarti dell'ordine dei 3 secondi: le P_{n1} e le P_{n2} che rappresentano una suddivisione delle P_n se si restringe il campo degli scarti: le $P_n \rightarrow 13^\circ$, e le P_n ($10^\circ \rightarrow 20^\circ$), calcolate negli intervalli $\Delta = 2^\circ \rightarrow 13^\circ$ e $\Delta = 10^\circ \rightarrow 20^\circ$ rispettivamente. (La $P_n \rightarrow 13^\circ$ assume un andamento più rettilineo, conformemente ad altre valutazioni di curve calcolate per tragitti limitati.)

Vengono infine riportate tutte le tabelle numeriche delle 29 dromocrone, calcolate ogni 20 km. Ad esse si è aggiunta la curva per $h = 17,5$ km calcolata (mediando tra la $h = 5$ km del Gran Sasso e la $h = 30$ km della Sicilia) per colmare il vuoto delle profondità da 0 a 30 km.

(*) Istituto Nazionale di Geofisica. Roma.

SUMMARY. — This paper follows the foregoing studies by the A.A. already carried out on the earthquakes occurred in Western Sicily.

The hypocentral data investigation concerning a further large earthquake of the swarm, has confirmed an hypocentral depth close to the "Moho". Grouping conveniently the investigated earthquakes it was possible to calculate the longitudinal waves travel-times curves at the following depths: 30, 35, 40, 45, 50, 60 km ($\Delta \leq 20^\circ$). Some interesting results concerning the first impulses of P_n waves have been found (existence of two series of waves, P_{n1} and P_{n2} having a slightly different velocity). Five curves for each examined h have been calculated; the P_n (the general) using all the onsets including the ones whose residuals resulted later to be about three seconds: the P_{n1} and the P_{n2} representing a P_n subdivision obtained by reducing the residuals range: the $P_n \rightarrow 13^\circ$ and the P_n ($10^\circ \rightarrow 20^\circ$) for $2^\circ \leq \Delta \leq 13^\circ$ and $10^\circ \leq \Delta \leq 20^\circ$ respectively calculated. (The $P_n \rightarrow 13^\circ$ approaches to a straight line, in accordance with other estimations for curves investigated along shorter paths). The paper contains also all numerical tables related to 29 travel-times curves calculated every 20 km; as well as the curve corresponding to $h = 17.5$ km. The last curve has been obtained averaging the values of depth from 5 km to 30 km in order to fill the gap $0 \rightarrow 30$ km.

1. - INTRODUZIONE E SCOPO DELLA RICERCA

Con questo lavoro intendiamo dar seguito agli studi effettuati finora ^(3,7,8) sugli eventi sismici che colpiscono la Sicilia occidentale a partire dal Gennaio 1968.

Avevamo accennato in una nota precedente ⁽⁸⁾ che era nostra intenzione procedere alla determinazione di dromocrone valide per terremoti provenienti dall'Italia Meridionale, poiché com'è noto, la struttura geologica di una regione incide notevolmente sulla propagazione delle onde sismiche che possono assumere caratteristiche e velocità diverse a seconda dei tragitti percorsi. Ciò è messo in chiara particolare evidenza anche dagli studi che si effettuano mediante prospezioni sismiche.

Nel simposio tenuto a Mosca nel Luglio 1971 sulla struttura della crosta terrestre vennero presentati numerosi studi nel quadro generale dell'UMP (Upper Mantle Project). Questi studi coprono, nel loro insieme, l'intero globo terrestre, e da essi emerge chiaramente la complessità della struttura della crosta la quale, essendo diversa da luogo a luogo, non può essere schematizzata con un modello semplificato,

anzi addirittura la struttura della crosta non può essere considerata separatamente dalla struttura del mantello (9).

Citiamo, tanto per fare qualche esempio, il caso di uno studio recente di M. Båth (1) su una serie di esplosioni che, effettuate in Svezia e in alcune parti adiacenti della Finlandia, hanno dato luogo a registrazioni ottenute su profili incrociati che presentano sensibili differenze tanto da indurre l'autore a mediane opportunamente i risultati. Anche una campagna di prospezione condotta nel 1971 in Italia lungo il profilo Gargano-Salerno-Palermo-Pantelleria (2) ha evidenziato la complessità della struttura geologica profonda dell'Italia Meridionale lungo il profilo seguito, dove rilevamenti effettuati a brevi distanze tra loro denotano caratteristiche diverse. Si potrebbero citare numerosi altri esempi analoghi, ed è quindi logico ritenere che anche per i terremoti le onde si propaghino differentemente, a seconda della posizione degli ipocentri; sicché le dromocrone calcolate per sismi dell'Italia Settentrionale saranno diverse da quelle calcolate per sismi dell'Italia Centrale, ed entrambe ancora diverse da quelle di sismi avvenuti nell'Italia Meridionale o in altre regioni ancora.

L'abbondante materiale fornito dai terremoti della Sicilia ci ha spinto ad approfondire gli studi in modo da aggiungere agli elementi già acquisiti per le restanti regioni italiane, quelli relativi a quella parte dell'Italia che fino a poco tempo fa era meno conosciuta.

La campagna di prospezione sopra citata ha già fornito risultati interessanti lungo il profilo seguito, ma il nostro studio, sfruttando un materiale « naturale » come è quello dei terremoti, abbraccia ovviamente un campo più vasto e quindi i risultati cui perverremo saranno meno specifici e più mediati.

1.1 - *Richiami. Il terremoto del 25/1/1968.*

Ricordiamo che i terremoti che abbiamo studiato hanno avuto tutti una profondità ipocentrale superiore a quella che era nelle prime aspettative, tanto da indurci a ripetere più volte i calcoli a convalida dei risultati ottenuti. Non abbiamo ritenuto opportuno servire di stazioni molto lontane dall'epicentro per timore di introdurre elementi incerti e quindi abbiamo utilizzato soltanto stazioni di distanza massima 3400 km.

Per il presente studio ci siamo voluti servire anche del forte terremoto del 25 gennaio 1968 che a dieci giorni di distanza riaccese con forte intensità il periodo sismico la cui fase parossistica sembrava su-

perata; ne abbiamo calcolati (con il solito metodo) i dati ipocentrali che riportiamo nella tabella 1 insieme con gli elementi fondamentali degli altri 10 terremoti. Notiamo che anche per il terremoto n. 11 (quello del 25/1/68) la profondità ipocentrale (calcolata con tutte le stazioni disponibili fino alla massima distanza di 3400 km dall'epicentro in analogia a quanto fatto per i terremoti studiati nelle note precedenti) è risultata di 34,820 km (prossima quindi alla discontinuità di Mohorovicic) e le coordinate epicentrali lo collocano entro l'area indicata negli studi precedenti (fig. 1).

1.2 - *Elaborazione dei dati. Tempi di tragitto delle P_n a varie profondità ipocentrali*

Nel precedente lavoro ⁽⁸⁾ avevamo già accennato alla opportunità di limitare tale tipo di studi ad una area piuttosto circoscritta e avevamo detto come il modello della struttura terrestre indicato da Herrin ^(5,6) nella sua compilazione delle tabelle dei tempi di tragitto delle onde sismiche, non fosse da ritenere valido per tragitti che interessano la crosta in maniera sensibile.

Qui ci manterremo scrupolosamente entro il limite di una distanza di 20° dalla zona epicentrale e tutti i risultati che otterremo si riferiranno ovviamente a quella porzione dell'Italia e delle zone circostanti racchiuse entro tale limite.

Allo scopo di calcolare dromocrone P_n valide per terremoti italiani con provenienza sud abbiamo pensato di sfruttare la conoscenza delle varie h trovate, per calcolare una serie di curve sperimentali dei tempi di tragitto, valide alle seguenti profondità: 30, 35, 40, 45, 50 e 60 km. A tal fine abbiamo raggruppati gli undici terremoti studiati nel modo indicato dalla tabella 1, talché i valori di 30, 35, 40 ecc. km risultano valori medi delle varie profondità ipocentrali calcolate, ma con una approssimazione sufficientemente valida. Un tale artificio ha consentito per alcune profondità (35, 40 e 45 km) la utilizzazione di un maggior numero di dati sperimentali. L'indagine si è presentata molto laboriosa.

Partendo dai dati della tabella 1, per ciascuno degli 11 terremoti ivi indicati, sono state calcolate le Δ geocentriche di ogni stazione sismica di cui avevamo i sismogrammi e sono stati calcolati i relativi tempi di tragitto delle prime onde. (In questi calcoli, ricordiamo, non abbiamo oltrepassato il limite di 20°.)

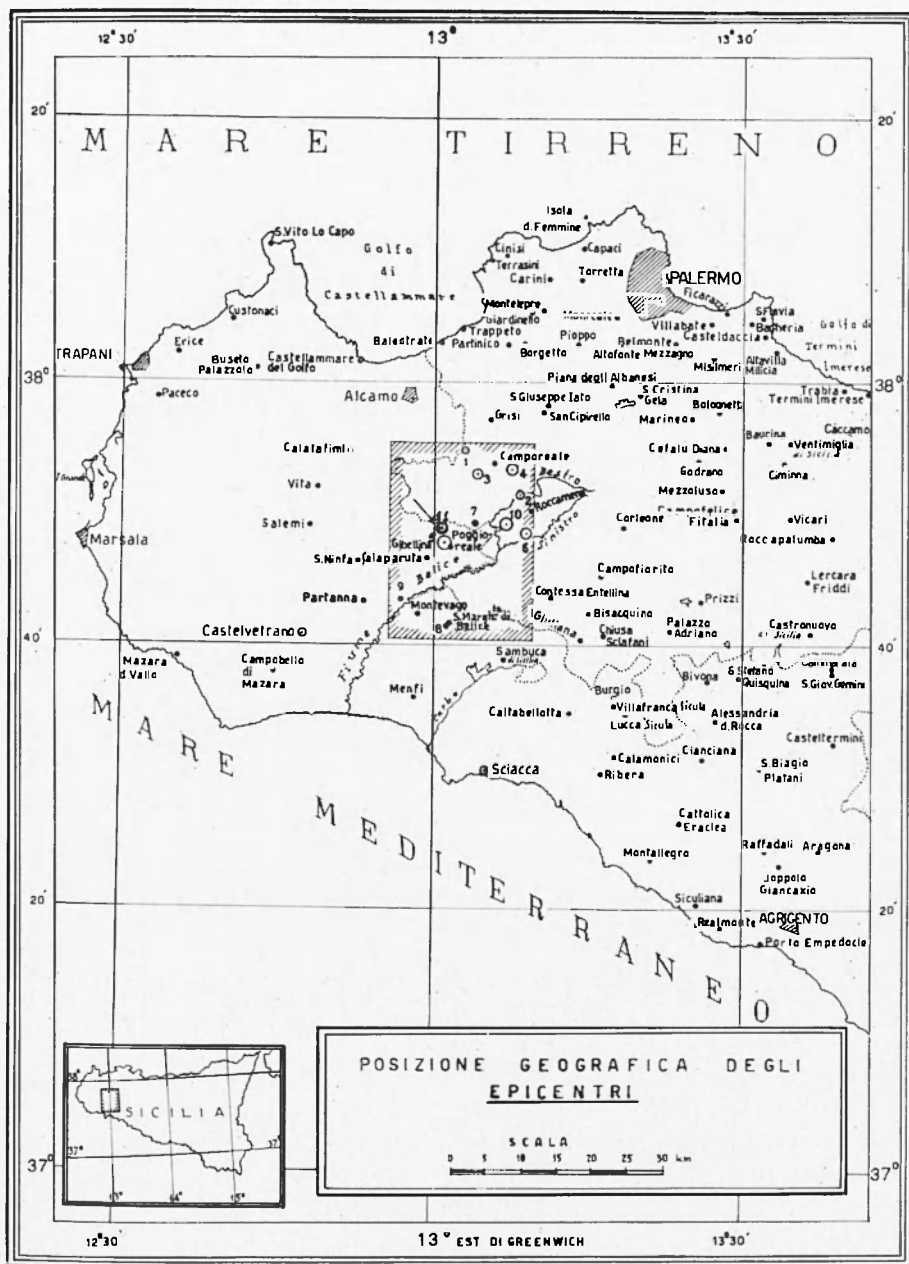


Fig. 1

TABELLA 1

Terrem. n.	h km	h ₀ (calcol.) km	φ ₀ (geograf.) (gradi)	φ ₀ (geoc.) (gradi)	λ ₀ (gradi)	H			M	Data	
						h	m	s			
(2)	30	28,417	37,85672 N	37,66890 N	13,13760 E	13	15	46,730	4,77	14-1-1968	
(9)	35	{	34,468	37,72418	37,53658	12,94960	13	10	31,820	4,33	16-1-1968
(11)			34,820	37,83091	37,64384	13,01140	09	56	48,326	5,70	25-1-1968
(1)	40	{	39,934	37,91203	37,72412	13,05060	12	28	26,590	4,70	14-1-1968
(7)			38,574	37,82116	37,63340	13,06570	18	22	55,028	4,66	15-1-1968
(3)	45	{	44,217	37,88094	37,69308	13,06870	15	48	33,061	4,94	14-1-1968
(5)			43,774	37,79461	37,60690	13,01500	02	01	07,714	6,00	15-1-1968
(6)			45,617	37,80686	37,61912	13,14810	03	18	41,065	5,04	15-1-1968
(10)			46,986	37,82074	37,63298	13,11560	16	42	47,144	5,77	16-1-1968
(4)	50	48,773	37,88769	37,69982	13,12440	01	33	03,767	5,76	15-1-1968	
(8)	60	57,345	37,68772	37,50018	13,01850	22	19	57,892	4,34	15-1-1968	

Per ciascuna profondità ipocentrale sono state indi calcolate, mediante il metodo dei minimi quadrati, le curve tempo di tragitto- P_n adattandole, con successive approssimazioni, alle curve del secondo ordine del tipo

$$t P_n = a + b \Delta + c \Delta^2. \quad [1]$$

Abbiamo ottenuto la seguente serie di equazioni generali:

}	per $h = 30$ km	$t P_n = 2,10767 + 14,80030 \Delta - 0,06039 \Delta^2$	
		(con 25 dati)	
	» $h = 35$ km	$t P_n = 2,56934 + 14,81923 \Delta - 0,06102 \Delta^2$	
		(con 70 dati)	
	» $h = 40$ km	$t P_n = 1,63247 + 14,98550 \Delta - 0,07140 \Delta^2$	
		(con 41 dati)	
	» $h = 45$ km	$t P_n = 1,27121 + 14,87351 \Delta - 0,06222 \Delta^2$	[2]
		(con 189 dati)	
	» $h = 50$ km	$t P_n = 3,76160 + 14,34210 \Delta - 0,03506 \Delta^2$	
		(con 48 dati)	
	» $h = 60$ km	$t P_n = 3,15511 + 14,26498 \Delta - 0,02901 \Delta^2$	
		(con 21 dati)	

da cui si deducono i seguenti valori per le velocità all'origine

}	per $h = 30$ km	$v = 7,538$ km/sec
	» $h = 35$ km	$v = 7,529$ km/sec
	» $h = 40$ km	$v = 7,450$ km/sec
	» $h = 45$ km	$v = 7,502$ km/sec
	» $h = 50$ km	$v = 7,766$ km/sec
	» $h = 60$ km	$v = 7,805$ km/sec.

Per ogni h abbiamo infine calcolato lo scarto $\varepsilon = (t_{oss.} - t_{calc.})$ di ciascuna stazione rispetto alla corrispondente dromocrona; questi scarti sono stati suddivisi in quattro gruppi secondo il seguente criterio:

$$\varepsilon < |1|; |1| \leq \varepsilon < |2|; |2| \leq \varepsilon < |3|; |3| \leq \varepsilon < |4|;$$

di ogni gruppo è stata calcolata la percentuale con cui essi si presentano per le varie curve.

La tab. 2 sintetizza i risultati.

TABELLA 2

h km	numero di dati usati	Δ° max utilizzate	Percentuali degli scarti ε			
			$\varepsilon < 1 $	$ 1 \leq \varepsilon < 2 $	$ 2 \leq \varepsilon < 3 $	$ 3 \leq \varepsilon < 4 $
30	25	20°,67	48,0%	36,0%	16,0%	0,0%
35	70	20,65	51,4	34,3	12,9	1,4
40	41	20,59	43,9	39,0	14,6	2,4
45	189	19,93	47,4	31,6	16,3	4,2
50	48	18,88	45,8	37,5	16,7	0,0
60	21	16,19	47,6	38,1	14,3	0,0

2. - DISCUSSIONE DEI RISULTATI; CRITICHE E APPROFONDIMENTO DELLA RICERCA

a) *Velocità.*

I valori delle velocità P_n , piuttosto bassi rispetto alle comuni accezioni ci hanno lasciato in un primo tempo perplessi: poi però, un'ampia indagine svolta sui valori trovati in varie zone del mondo, studiate dettagliatamente, sia mediante esplosioni, sia mediante terremoti naturali, ci ha indotto a ritenere accettabili i valori ottenuti anche se non è da escludere la possibilità di piccole variazioni intorno ad essi.

Tuttavia l'argomento delle velocità di propagazione, essendo di grande importanza, sarà oggetto di una nota a parte.

b) *Critiche sulle equazioni generali.*

Per quanto riguarda le equazioni [2] trovate, dobbiamo obiettivamente riconoscere che esse sono suscettibili di osservazioni e critiche, inevitabili quando si lavora su dati sperimentali, anche se il lavoro viene svolto con estrema accuratezza.

Le critiche più immediate potrebbero essere le seguenti:

1) - il numero di dati disponibili per ciascuna profondità ipocentrale è alquanto inhomogeneo e questo, naturalmente, può avere il suo peso sui valori mediati;

2) - avendo stabilito di contenere nei limiti di 20° le distanze epicentrali, ci siamo trovati, in alcuni casi, a non poter coprire l'intero intervallo (v. tabella 2 e in particolare $h = 60$);

3) - oltre a ciò si potrebbe obiettare che l'aver accettato in taluni casi (per $h = 35, 40$ e 45 km) qualche scarto intorno al valore di 3 sec. potrebbe far sorgere qualche dubbio sulla bontà dei risultati ottenuti. Questa critica grava in particolar modo sulla dromocrona $h = 45$ km, dove gli scarti $\varepsilon \approx |3|$ hanno raggiunto il 4,2% (su 189 rilevamenti se ne sono riscontrati 8 che si allontanano circa 3 secondi dalla media) mentre per $h = 35$ km e $h = 40$ km si riscontra 1 solo scarto di questa grandezza.

Alle prime due obiezioni non si può rispondere nulla: trattandosi di una ricerca che parte da dati sperimentali ci si trova costretti ad accettare gli elementi disponibili opportunamente selezionati.

Per quanto riguarda invece l'ultima critica ci si può chiedere se essa non sia fondata.

Il rilevamento dei primi impulsi, pur tenendo presenti le inevitabili incertezze dovute a cause varie (sensibilità degli strumenti, formazione geologica su cui poggia il sismografo, incidenza dei percorsi delle onde sismiche ecc.) può giustificare una discordanza così rilevante? Senza dubbio è ragionevole mediare su un gran numero di dati e sarebbe altrettanto ragionevole accettare qualche anomalia.

Tuttavia ci siamo chiesti se un ulteriore affinamento della ricerca non avrebbe potuto dare una risposta diversa.

c) *Approfondimento della ricerca.*

2.1 - P_{n_1} e P_{n_2} .

In base a questa considerazione abbiamo deciso di restringere il limite di tolleranza per gli scarti ε e di ripetere l'indagine con tale criterio. Questo ci ha condotto a risultati piuttosto interessanti.

Non potendo ignorare le numerose stazioni i cui primi arrivi giungono con un considerevole anticipo sui tempi indicati dalle equazioni calcolate e volendo contemporaneamente ridurre il valore as-

soluta degli ε , abbiamo ipotizzato l'esistenza di due serie di onde P_n propagantesi a velocità leggermente diversa e ne abbiamo calcolato le rispettive dromocrone una volta prendendo in considerazione le stazioni i cui primi arrivi sono in anticipo sulle equazioni generali del gruppo [2] e una volta considerando quelle che sono in ritardo (sempre rispetto alle equazioni generali). Durante questa operazione abbiamo potuto utilizzare qualche altro dato, e ne abbiamo dovuti scartare alcuni altri.

A queste due serie di onde si potrebbe dare il seguente significato fisico: essendo ragionevole pensare che la discontinuità di Mohorovicic sia piuttosto uno strato che non una superficie, sarebbe lecito supporre che alcune delle P_n registrate abbiano percorso una parte del tragitto all'interno di detto strato, a seconda degli angoli di incidenza, con qualche eventuale riflessione? Questo giustificherebbe il lieve divario dei primi arrivi.

A queste due serie di onde abbiamo dato il nome P_{n_1} e P_{n_2} . Le coppie di dromocrone si mantengono tra loro pressoché parallele: le rispettive velocità differiscono di pochissimo ($V_{P_{n_1}} - V_{P_{n_2}} \simeq 0,1$ km/sec): gli scarti delle singole stazioni si impiccoliscono notevolmente addensandosi intorno al valore 0, dove raggiungono percentuali elevatissime (in un caso addirittura il 100%); scompaiono tutti gli scarti dell'ordine dei 3 secondi ed anche tutti quelli dell'ordine dei 2 secondi: unica eccezione, tra le centinaia di valori calcolati, la stazione di Monaco la quale, per $h = 45$ km, presenta un anticipo di 2,465 sec sulla curva delle P_{n_1} (nel terremoto n. 10).

Notiamo per inciso che la valutazione di una qualsiasi Δ può variare anche di ± 20 km a seconda che si consideri l'una o l'altra curva.

2.2 - $P_n \rightarrow 13^\circ$; P_n ($10^\circ \rightarrow 20^\circ$)

Dopo il tentativo esposto e i risultati conseguiti, abbiamo voluto tentare un ulteriore e diverso affinamento della ricerca, frazionando l'intervallo dei 20° in due intervalli parziali con l'intento di ridurre al minimo l'incidenza delle eterogenee strutture geologiche sui tempi di propagazione.

A tale scopo abbiamo considerato un *primo intervallo* delle Δ con limite superiore = 13° ; per il *secondo intervallo* siamo partiti da $\Delta = 10^\circ$ utilizzando tutte le stazioni fino alla massima distanza disponibile (cercando di non superare i 20°).

Per ciascuna profondità i due tratti di curva sono stati calcolati separatamente. L'intervallo $10^\circ \rightarrow 13^\circ$, comune ad entrambi, dovrebbe costituire la saldatura tra le due dromocrone.

Come era da aspettarsi, nelle curve del primo tratto ($P_n \rightarrow 13^\circ$) il coefficiente di Δ^2 diventa più piccolo, sicché l'equazione si avvicina di più all'andamento rettilineo che normalmente si attribuisce alle curve per piccole distanze epicentrali. Le velocità all'origine non subiscono variazioni sensibili. Si mantengono sempre sotto gli 8 km/sec ad eccezione di due soli casi ($h = 45$ km ed $h = 60$ km) in cui raggiungono rispettivamente i valori di 8,005 e 8,058 km/sec.

È ovvio tuttavia che le velocità all'origine nel caso delle curve valide dopo i 10° non hanno lo stesso significato che negli altri casi.

Per $h = 60$ km il secondo ramo P_n ($10^\circ \rightarrow 20^\circ$) non si è potuto calcolare perché le stazioni sono poche e mal distribuite. (I vari tentativi fatti danno valori ai quali non si può prestare molta fiducia).

Le curve così calcolate presentano, per ogni h , lunghi tratti di saldatura l'una con l'altra; i tempi d'arrivo si mantengono praticamente coincidenti o differiscono per meno di mezzo secondo lungo intervalli di decine di km ed anche di qualche centinaio, talché si può ritenere che la suddivisione della curva $2^\circ \rightarrow 20^\circ$ in due rami si possa considerare superflua (v. tab. n. 4).

La tabella n. 3 sintetizza i risultati analitici della ricerca. Per ogni h sono riportate le 5 equazioni trovate:

l'equazione P_n generale	(calcolata da $1^\circ,8$ alla Δ max. di 20°)
l'equazione P_{n_1}	(calcolata da $1^\circ,8$ alla Δ max. di 20°)
l'equazione P_{n_2}	(calcolata da $1^\circ,8$ alla Δ max. di 20°)
l'equazione P_n - I ramo	(calcolata da $1^\circ,8$ a 13°)
l'equazione P_n - II ramo	(calcolata da 10° alla Δ max. di 20°)

A fianco di ogni equazione sono riportati, oltre il numero delle stazioni usate e la max. distanza utilizzata, anche le percentuali degli scarti raggruppati in 4 classi di valori assoluti; le velocità apparenti (calcolate all'origine), e la magnitudo dei terremoti presi in esame.

2.3 - *Tabelle numeriche delle dromocrone calcolate. La curva di tragitto P_n per $h = 17,5$ km*

Riportiamo nella tabella 4 i valori numerici dei tempi di tragitto relativi a tutte le curve P_n , calcolati ogni 20 km a partire da 200 km:

questo allo scopo di renderne accessibile l'uso pratico, anche in vista dei controlli che intendiamo fare nel seguito della ricerca.

Nelle ultime due colonne abbiamo riportato, per colmare il vuoto $h = 0 \text{ -- } 30 \text{ km}$ (*), anche la dromocrona $h = 5 \text{ km}$ [valida per l'Italia Centrale, ricavata da uno studio su un terremoto con epicentro nel Gran Sasso d'Italia (4)] e la dromocrona $h = 17,5 \text{ km}$. Quest'ultima è stata ottenuta, alquanto arbitrariamente, per interpolazione fra la suddetta $h = 5 \text{ km}$ e la P_{n_1} per $h = 30 \text{ km}$ della Sicilia: l'equazione che ne è risultata è stata la seguente:

$$t_{P_n} = 7,437 + 14,09973 \Delta - 0,027115 \Delta^2 \quad (\text{per } h = 17,5 \text{ km}) \quad [3]$$

I suoi valori numerici compaiono, come detto, nella penultima colonna della tabella 4.

3. - CONCLUSIONI

Lo studio analitico dei dati ipocentrali di un altro forte terremoto avvenuto in Sicilia nel Gennaio 1968, conferma i risultati precedentemente ottenuti per gli altri terremoti studiati: la sua h , calcolata in 34,820 km lo colloca nei pressi della superficie di Mohorovicic.

Ricordiamo che in questa serie di studi ci siamo proposti di svolgere le nostre indagini entro un'area piuttosto limitata: ciò allo scopo di sostituire al modello relativo alla parte centrale degli Stati Uniti arbitrariamente assunto come media mondiale (6), un modello più adeguato a quella parte della crosta terrestre che interessa le aree italiane e quelle circostanti.

Ci siamo serviti pertanto degli undici terremoti studiati per calcolare le curve dei tempi di tragitto P_n a varie profondità ipocentrali e studiarne l'andamento fino a $\Delta = 20^\circ$.

Abbiamo così trovato che le relative velocità di propagazione sono quasi sempre inferiori agli 8 km/sec.

La ricerca che è stata condotta con rigore sempre crescente ha dato interessanti risultati con l'ipotesi della esistenza delle P_{n_1} e P_{n_2} .

Queste due serie di onde, che rappresentano le curve sostitutive, più raffinate, della equazione più generale della P_n , si trovano a tutte

(*) Ricordiamo che i terremoti della Sicilia hanno una $h \geq 28 \text{ km}$.

TABELLA 4

Tabelle numeriche dei tempi di tragitto P_n a varie profondità ipocentrali

Δ		$h = 30 \text{ km}$					$h = 35 \text{ km}$					$h = 40 \text{ km}$					$h = 45 \text{ km}$					$h = 50 \text{ km}$					$h = 60 \text{ km}$				$h = 17.5 \text{ km}$	$h = 5 \text{ km}$	Δ
in km	in gradi	P_n (generali)	P_{n1}	P_{n2}	$P_{n \rightarrow 13^\circ}$	P_n ($10^\circ \rightarrow 20^\circ$)	P_n (generali)	P_{n1}	P_{n2}	$P_{n \rightarrow 13^\circ}$	P_n ($10^\circ \rightarrow 20^\circ$)	P_n (generali)	P_{n1}	P_{n2}	$P_{n \rightarrow 13^\circ}$	P_n ($10^\circ \rightarrow 20^\circ$)	P_n (generali)	P_{n1}	P_{n2}	$P_{n \rightarrow 13^\circ}$	P_n ($10^\circ \rightarrow 20^\circ$)	P_n (generali)	P_{n1}	P_{n2}	$P_{n \rightarrow 13^\circ}$	P_n ($10^\circ \rightarrow 20^\circ$)	P_n (generali)	P_{n1}	P_{n2}	$P_{n \rightarrow 13^\circ}$	P_n	(Gran Sasso) P_n	km
200	1,80	28 ^s ,553	28 ^s ,167	30 ^s ,036	28 ^s ,864	29 ^s ,046	28 ^s ,612	30 ^s ,271	29 ^s ,334	28 ^s ,375	27 ^s ,623	29 ^s ,522	28 ^s ,884	27 ^s ,842	27 ^s ,539	29 ^s ,796	28 ^s ,311	29 ^s ,464	28 ^s ,494	30 ^s ,987	28 ^s ,810	28 ^s ,738	28 ^s ,436	29 ^s ,646	29 ^s ,042	32 ^s ,729	37 ^s ,3	200					
20	1,98	31,176	30,766	32,662	31,401	31,672	31,224	32,910	31,886	31,024	30,197	32,144	31,424	30,477	30,125	32,384	30,806	32,022	31,030	33,600	31,336	31,286	30,949	32,210	31,524	35,248	39,7	20					
40	2,16	33,795	33,362	35,283	33,937	34,294	33,834	35,544	34,435	33,668	32,770	34,763	33,963	33,108	32,707	34,969	33,302	34,577	33,564	36,212	33,860	33,832	33,461	34,773	34,006	37,766	42,2	40					
60	2,34	36,410	35,954	37,901	36,472	36,912	36,439	38,174	36,983	36,308	35,340	37,377	36,501	35,735	35,286	37,551	35,796	37,130	36,097	38,821	36,383	36,376	35,971	37,333	36,488	40,282	44,6	60					
80	2,52	39,021	38,542	40,516	39,005	39,526	39,041	40,799	39,528	38,943	37,909	39,988	39,038	38,357	37,862	40,129	38,291	39,681	38,628	41,428	38,904	38,919	38,481	39,890	38,970	42,796	47,1	80					
300	2,70	41,628	41,127	43,126	41,538	42,136	41,639	43,421	42,071	41,573	40,474	42,595	41,574	40,976	40,435	42,704	40,785	42,230	41,157	44,033	41,425	41,459	40,989	42,446	41,452	45,309	49,5	300					
20	2,88	44,232	43,709	45,732	44,070	44,743	44,234	46,038	44,612	44,198	43,038	45,198	44,108	43,591	43,004	45,275	43,279	44,776	43,685	46,636	43,944	43,998	43,496	44,999	43,934	47,819	51,9	20					
40	3,06	46,831	46,287	48,334	46,601	47,345	46,825	48,650	47,151	46,820	45,599	47,797	46,641	46,202	45,570	47,844	45,772	47,320	46,211	49,237	46,462	46,534	46,003	47,550	46,416	50,328	54,4	40					
60	3,24	49,427	48,861	50,932	49,132	49,943	49,412	51,259	49,688	49,436	48,158	50,392	49,173	48,808	48,133	50,409	48,265	49,862	48,735	51,835	48,979	49,069	48,508	50,099	48,897	52,835	56,8	60					
80	3,42	52,018	51,432	53,527	51,661	52,537	51,996	53,863	52,222	52,048	50,715	52,983	51,704	51,411	50,692	52,970	50,757	52,402	51,258	54,431	51,495	51,602	51,012	52,645	51,379	55,341	59,3	80					
400	3,60	54,606	53,999	56,117	54,189	55,128	54,576	56,463	54,755	54,655	53,270	55,570	54,234	54,009	53,249	55,528	53,250	54,939	53,779	57,026	54,009	54,133	53,515	55,190	53,861	57,845	61,7	400					
20	3,78	57,190	56,563	58,704	56,716	57,714	57,152	59,059	57,285	57,257	55,822	58,154	56,763	56,604	55,802	58,083	55,742	57,474	56,299	59,618	56,522	56,662	56,017	57,732	56,343	60,347	64,1	20					
40	3,96	59,770	59,123	61,286	59,243	60,297	59,725	61,650	59,813	59,855	58,372	60,733	59,290	59,195	58,352	60,635	58,233	60,007	58,816	62,208	59,034	59,190	58,517	60,272	58,825	62,847	66,6	40					
60	4,14	62,346	61,680	63,865	61,768	62,875	62,294	64,237	62,339	62,449	60,920	63,309	61,816	61,781	60,898	63,183	60,724	62,537	61,333	64,795	61,545	61,715	61,017	62,809	61,307	65,345	69,0	60					
80	4,32	64,918	64,234	66,440	64,293	65,450	64,860	66,820	64,863	65,037	63,465	65,880	64,341	64,364	63,441	65,728	63,215	65,065	63,847	67,381	64,055	64,238	63,516	65,344	63,789	67,842	71,5	80					
500	4,50	67,486	66,783	69,010	66,816	68,020	67,422	69,399	67,385	67,621	66,008	68,448	66,865	66,942	65,981	68,270	65,705	67,591	66,360	69,965	66,563	66,760	66,013	67,878	66,271	70,337	73,9	500					
20	4,68	70,050	69,330	71,577	69,339	70,587	69,980	71,973	69,905	70,201	68,549	71,012	69,388	69,516	68,518	70,808	68,195	70,115	68,871	72,546	69,070	69,280	68,510	70,408	68,752	72,830	76,3	20					
40	4,86	72,611	71,872	74,140	71,860	73,150	72,535	74,543	72,422	72,776	71,088	73,572	71,910	72,087	71,052	73,343	70,685	72,636	71,380	75,125	71,576	71,798	71,005	72,937	71,234	75,321	78,8	40					
60	5,04	75,167	74,412	76,699	74,381	75,708	75,086	77,109	74,938	75,346	73,625	76,128	74,430	74,653	73,582	75,874	73,174	75,155	73,888	77,702	74,081	74,314	73,500	75,463	73,716	77,811	81,2	60					
80	5,22	77,720	76,947	79,254	76,901	78,263	77,633	79,670	77,451	77,911	76,159	78,680	76,949	77,216	76,109	78,402	75,663	77,672	76,395	80,277	76,585	76,828	75,993	77,987	76,198	80,299	83,6	80					
600	5,40	80,268	79,480	81,805	79,420	80,814	80,177	82,227	79,962	80,472	78,691	81,228	79,467	79,774	78,633	80,927	78,152	80,187	78,899	82,850	79,087	79,340	78,485	80,509	78,680	82,785	86,1	600					
20	5,58	82,813	82,008	84,352	81,937	83,361	82,717	84,780	82,471	83,028	81,220	83,773	81,984	82,328	81,153	83,449	80,640	82,699	81,402	85,420	81,588	81,850	80,976	83,029	81,161	85,269	88,5	20					
40	5,76	85,354	84,534	86,896	84,454	85,904	85,254	87,329	84,978	85,580	83,748	86,313	84,500	84,878	83,670	85,967	83,128	85,209	83,903	87,989	84,088	84,359	83,466	85,546	83,643	87,752	91,0	40					
60	5,94	87,891	87,055	89,435	86,970	88,443	87,786	89,873	87,483	88,127	86,273	88,850	87,014	87,425	86,184	88,482	85,616	87,717	86,403	90,555	86,587	86,866	85,955	88,062	86,125	90,233	93,4	60					
80	6,12	90,424	89,573	91,970	89,485	90,978	90,316	92,413	89,985	90,669	88,796	91,382	89,528	89,967	88,695	90,993	88,103	90,222	88,901	93,119	89,085	89,370	88,442	90,574	88,607	92,712	95,9	80					
700	6,30	92,953	92,088	94,502	91,999	93,509	92,841	94,949	92,486	93,207	91,316	93,911	92,040	92,505	91,203	93,501	90,590	92,725	91,397	95,681	91,581	91,873	90,929	93,085	91,088	95,189	98,3	700					
20	6,48	95,478	94,599	97,029	94,513	96,036	95,363	97,481	94,984	95,740	93,835	96,436	94,551	95,039	93,707	96,006	93,076	95,226	93,892	98,241	94,076	94,374	93,415	95,594	93,570	97,665	100,7	20					
40	6,66	97,999	97,107	99,553	97,025	98,559	97,881	100,008	97,480	98,269	96,351	98,957	97,061	97,569	96,208	98,508	95,562	97,725	96,385	100,799	96,570	96,873	95,899	98,100	96,052	100,139	103,2	40					
60	6,84	100,516	99,611	102,072	99,536	101,078	100,396	102,531	99,975	100,793	98,864	101,474	99,569	100,095	98,705	101,006	98,048	100,221	98,876	103,355	99,063	99,370	98,383	100,604	98,534	102,611	105,6	60					

le profondità ipocentrali studiate. Adottare per la determinazione delle Δ in base ai tempi di tragitto l'una o l'altra delle due P_n significa introdurre una variazione di Δ di circa 20 km, e se si tiene presente che l'approssimazione di 20 km può essere tollerata, specie per distanze $\Delta > 1000$ km, si è indotti a ritenere che le dromocrone nell'uso corrente (Jeffreys-Bullen) rappresentino un valore medio tra le P_{n_1} e le P_{n_2} .

L'interpretazione che se ne è data nel testo ha soltanto l'attendibilità di una ipotesi: mentre la trattazione matematica mette in luce l'esistenza delle P_{n_1} e delle P_{n_2} .

L'ulteriore ricerca sulla esistenza di qualche differenza tra le P_n calcolate per brevi tragitti (fino a 13°) e quelle calcolate tra 10° e 20° non porta invece sensibili risultati, ad eccezione del fatto che nella prima parte della dromocrona ($P_n \rightarrow 13^\circ$) l'andamento della curva diventa più rettilineo (il coefficiente di Δ^2 diminuisce), adeguandosi così di più al comportamento usuale per distanze contenute entro limiti regionali.

N.B. - Stiamo ora studiando il comportamento dei risultati qui conseguiti rispetto ai tempi d'arrivo delle prime onde, per un certo numero di terremoti con epicentro nell'area Mediterranea. Questo studio sarà oggetto di una nota di prossima pubblicazione.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BÄTHI M., 1971. - *Average Crustal Structure of Sweden*. « Pure and applied Geophysics », **88**, V.
- (2) COLOMBI B., GIESE P., LUONGO G., MORELLI C., RIUSCETTI M., SCARASCIA S., SCHUTTE G., STROWALD J., and de VISINTINI G., 1973. - *Preliminary Report on the seismic Refraction. Profile Gargano-Salerno-Palermo-Pantelleria* (1971). « Bollettino di Geofisica teorica ed applicata », **XV**, 59, Settembre.
- (3) DE PANFILIS M., MARCELLI L., 1968. - *Il periodo sismico della Sicilia occidentale iniziato il 14/1/1968*. « Annali di Geofisica », **XXI**, 4.
- (4) DI FILIPPO D., MARCELLI L., 1952. - *Dromocrone per terremoti vicini e velocità delle onde nell'Italia Centrale*. « Annali di Geofisica », **V**, 2.

- (5) HERRIN E., 1968. - *Introduction to « 1968 Seismological tables for P phases »*. « Bull. of the Seismol. Soc. of America », 58, 4, pag. 1193-1241, August.
- (6) HERRIN E., TUCKER W., TAGGART J., GORDON D. W., and LOBDELL J. L., 1968. - *Estimation of Surface focus P travel times*. « Bull. of the Seismol. Soc. of America », 58, 4, pag. 1273-1291, August.
- (7) MARCELLI L.-PANNOCCHIA G., 1971. - *Uno studio analitico sui dati ipocentrali di 10 terremoti avvenuti in Sicilia occidentale nel Gennaio 1968*. « Annali di Geofisica », XXIV, 2.
- (8) MARCELLI L.-PANNOCCHIA G., 1972. - *I tempi di tragitto delle P_n per i terremoti della Sicilia occidentale*. « Annali di Geofisica », XXV, 4.
- (9) TECTONOPHYSICS, 1973. - *The structure of the Earth's crust based on seismic data*. Special Issue, Vol. 20 (1-4 December).
-