

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCXII.

1915

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XXIV.

1° SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL DOTT. PIO BEFANI

1915

Fisica terrestre. — *Velocità di propagazione del terremoto Marsicano del 13 gennaio 1915*. Nota di G. AGAMENNONE, presentata dal Socio E. MILLOSEVICH.

1. Scopo d'una mia Nota precedente ⁽¹⁾ fu quello di far subito conoscere le ore esatte in cui questo disastrosissimo terremoto cominciò a perturbare i sismografi di M. Cassino, Rocca di Papa e Roma, i più vicini alla regione colpita, e di trarne qualche conclusione circa la posizione dell'epicentro. Oltre a ciò, riportai le ore di vari altri osservatorii italiani, e di alcuni anche esteri, e volli anche tentare un primo calcolo sulla velocità di propagazione delle onde sismiche, le più veloci. Infine, accennai allo straordinario numero di repliche (quasi 750) registrate all'Osservatorio di Rocca di Papa sino a tutto il 6 febbraio ⁽²⁾.

Ora che m'è pervenuta la risposta di vari altri osservatorii, ritengo utile un nuovo tentativo di calcolo della velocità di propagazione, il cui valore riuscirà più sicuro, anzitutto perchè basato sopra un maggior numero di dati, e poi anche perchè deve essere arrecata una correzione alle ore di Roma e di Granata, quali furono pubblicate nella mia precedente Nota. Infatti, dopo un più attento esame al sismogramma di Roma, si riconobbe un lieve errore nella misura della *parallasse*, causato dall'inesattezza della squadra adoperata; errore che risultò di 2 secondi in più, sicchè l'ora precisa è 7^h 52^m 53^s invece di 7^h 52^m 55^s. Questa differenza, già di per sè così piccola, si fa ancor meno sentire nella media dei dati orari di M. Cassino, Rocca di Papa e Roma, assunta quale punto di partenza pel calcolo della velocità, e che si riduce a 7^h 52^m 52^s circa, invece di 7^h 52^m 53^s, già da noi utilizzata. Un errore meno insignificante è stato riconosciuto nel dato orario, già comunicato da Granata, il quale, da 7^h 55^m 44^s, va cambiato in 7^h 56^m 3^s.

2. Nella tabella che segue sono riportate le varie località con a fianco la loro distanza da Avezzano (lat. 42° 2' c. N, long. 13° 25' c. E), assunto quale epicentro provvisorio, ed il loro tempo rispettivo. Nell'antipenultima colonna sono riportate le *velocità medie superficiali* calcolate in base all'ora media (7^h 52^m 52^s) sopra accennata e che si riferisce alla distanza media di 70 km. dal presunto epicentro; mentre nella penultima colonna si trovano quelle ottenute mediante il confronto dei dati orari delle singole lo-

⁽¹⁾ G. Agamennone, *Il recente terremoto nella Marsica e gli strumenti sismici* (Rend. della R. Acc. dei Lincei; seduta del 7 febr. 1915).

⁽²⁾ Dal 6 febbraio al 6 marzo ne sono state registrate altre 150 circa, della stessa origine!

calità con l'ora media (7^h 53^m 11^s) delle due ore, assai concordanti, d'Ischia e di Valle di Pompei, la quale corrisponde ad una distanza media di 155 km. da Avezzano.

Distanza da Avezzano	LOCALITÀ	Ora osservata (t. m. E. C.)	Velocità al secondo basandosi sull'ora media		
			7 ^h 52 ^m 52 ^s	7 ^h 53 ^m 11 ^s	7 ^h 53 ^m 11 ^s - 8 ^s = 7 ^h 53 ^m 3 ^s
Km. 64 c.	Montecassino . .	^h ^m ^s 7 52 50			
" 68 c.	Rocca di Papa . .	7 52 54 ± 3 ^s			
" 78 c.	Roma	7 52 53 ± 2 ^s			
" 70	MEDIA	7 52 52 c.			
" 150 c.	Ischia	7 53 12	m. 4000		
" 160 c.	Valle di Pompei	7 53 10	" 5000		
" 155	MEDIA	7 53 11	" 4500	m. 4500	m. 7730 c.
" 220 c.	Siena (Osservanza)	7 53 0	" (18,750)	(negativa)	(negativa)
" 220 c.	" (Università)	7 53 40 ± 10 ^s	" (3130 c.)	m. (2240 c.)	m. (1760 c.)
" 320 c.	Pola	7 53 27	" 7140 c.	" (10,310 c.)	" 6880 c.
" 360 c.	Taranto	7 53 31	" 7440 c.	" (10,250)	" 7320 c.
" 380 c.	Venezia	7 55 37	" (1880 c.)	" (1540 c.)	" (1460 c.)
" 390 c.	Padova	7 53 39	" 6810 c.	" 8390 c.	" 6530 c.
" 400 c.	Trieste	7 53 39	" 7020 c.	" 8750	" 6810 c.
" 410 c.	Treviso	7 53 31	" 8720 c.	" (12,750)	" (9110 c.)
" 420 c.	Chiavari	7 53 47	" 6360 c.	" 7360 c.	" 6020 c.
" 440 c.	Mileto	7 53 40	" 7710 c.	" (9830 c.)	" 7700 c.
" 500 c.	Catania	7 54 18	" (5000)	" (5150 c.)	" (4600)
" 530 c.	Carloforte	7 54 37	" (4330 c.)	" (4360 c.)	" (3990 c.)
" 540 c.	Mineo	7 53 30	" (12,370 c.)	" (20,260 c.)	" (14,260 c.)
" 560 c.	Moncalieri	7 54 6	" 6620 c.	" 7360 c.	" 6430 c.
" 580 c.	Graz	7 53 59	" 7610 c.	" 8850 c.	" 7590 c.
" 600 c.	Domodossola . . .	7 54 30	" (5410 c.)	" (5630 c.)	" (5110 c.)
" 720 c.	Vienna	7 54 16	" 7740 c.	" 8690 c.	" 7740 c.
" 900 c.	Heidelberg	7 54 35	" 8060 c.	" 8870 c.	" 8100 c.
" 940 c.	Darmstadt	7 54 45	" 7700 c.	" 8350 c.	" 7700 c.
" 940 c.	Barcellona	7 54 45	" 7700 c.	" 8350 c.	" 7700 c.
" 1300 c.	Amburgo	7 55 33	" 7640 c.	" 8060 c.	" 7630 c.
" 1540 c.	Granata	7 56 3	" 7700 c.	" 8050 c.	" 7690 c.
" 6640 c.	Cambridge (Mass. U. S. A.)	8 2 45	" 11,080 c.	" 11,300 c.	" 11,140 c.
" 6780 c.	Ottawa (Canadà).	8 2 57	" 11,090 c.	" 11,310 c.	" 11,150 c.

Nell'antipenultima colonna, subito si rivelano assai sospetti i valori ottenuti da *Siena* (Osserv.), *Siena* (Univ.), *Venezia* e *Mineo*, e destano qualche

dubbio quelli relativi a *Catania, Carloforte e Domodossola*, i cui dati orari possono essere inesatti per qualcuna delle regioni già esposte nella mia Nota precedente; ed è per questo che ho racchiuso tra parentesi i predetti 7 valori. Nella penultima colonna ho posto la parentesi non solo ai valori corrispondenti alle stesse 7 località, ma anche a quelle di Pola, Taranto, Treviso e Mileto, per il fatto che raggiungono cifre troppo alte e poco verosimili. Se si confrontano tra loro i valori corrispondenti delle due anzidette colonne, si troverà che, eccezion fatta per quelli di Siena (Univ.), Venezia e Carloforte, le velocità della penultima colonna sono tutte più alte, e la differenza si va in generale attenuando col crescere della distanza.

3. Questo fatto farebbe sospettare troppo elevata l'ora media ($7^h 53^m 11^s$) d'Ischia e di Valle di Pompei, assunta quale punto di riferimento per il calcolo della penultima colonna. A prima giunta, parrebbe impossibile ogni dubbio in proposito, non solo per il grande accordo tra le due ore che hanno fornito la media, ma altresì per il modo indipendente col quale si ha il tempo-campione nelle due predette località; ma poi riflettendovi su, e considerando che un errore, sia pure di pochi secondi, nell'ora in questione può essere la causa dei valori così anormali della penultima colonna, il sospetto non può più sembrare tanto infondato. Così, diminuendo, ad es., di solo 8 secondi l'ora accennata, e cioè riducendola a $7^h 53^m 3^s$, diminuisce subito la variazione della velocità con la distanza, e si ottengono valori (quelli dell'ultima colonna) in assai miglior accordo con quelli della antipenultima. Ora la differenza di un 8 secondi è tutt'altro che impossibile negli attuali osservatori, anche di 1° ordine, a causa delle tante cause d'errore che possono ancora inquinare i dati orari. Prova ne sia: anzitutto i sensibili errori probabili di Siena (Univ.), Rocca di Papa e Roma, le sole località che han creduto di indicarli; poi le correzioni che si sono dovute arrecare alle primitive ore di Roma e Granata, già pubblicate; indi i dati orari di alcuni osservatori non affatto sicuri; e infine quelli certamente errati, e di molto, per altre stazioni, ciò che salta subito agli occhi costruendo l'*odografo*, cioè riportando sopra un foglio a quadretti le distanze come *ascisse*, e le ore come *ordinate* di tutte le località.

4. Ricostruendo l'*odografo*, ma omettendo i 7 dati orari dubbii o certamente errati, il suo andamento generale mostra che la velocità si è mantenuta press'a poco costante fino alla massima distanza considerata (Granata). Per tradurre meglio in cifre questo fatto, ho condensato i rimanenti 20 dati orari in 6 valori medi, ciascuno risultante dall'aggruppamento di 2 o più ore, nel modo che sembrava più naturale dall'ispezione dell'*odografo*. Si ottengono così 6 punti fittizi, costituiti come segue:

Al I punto (M. Cassino, Rocca di Papa e Roma, con distanze da 64 a 78 km.) competono l'ora media $7^h 52^m 52^s$ e la distanza media di 70 km.

Al II punto (Ischia e Valle di Pompei, con distanze da 150 a 160 km.) competono l'ora media $7^h 53^m 11^s$ e la distanza media di 155 km.

Al III punto (Pola, Taranto, Padova, Trieste, Treviso, Chiavari e Mileto con distanze da 320 a 440 km.) competono l'ora media $7^h 53^m 36^s$ e la distanza media di circa 391 km.

Al IV punto (Moncalieri, Graz e Vienna, con distanze da 560 a 720 km.) competono l'ora media $7^h 54^m 7^s$ e la distanza media di 620 km.

Al V punto (Heidelberg, Darmstadt e Barcellona, con distanze da 900 a 940 km.) competono l'ora media $7^h 54^m 42^s$ e la distanza media di c. 927 km.

Al VI punto (Amburgo e Granata, rispettivamente a 1300 e 1540 km.) competono l'ora media $7^h 55^m 48^s$ e la distanza media di 1420 km.

Combinando i dati di ogni punto fittizio con quelli del I o II, assunti come termine di confronto, si ottengono le seguenti velocità medie superficiali al secondo :

Distanze medie da Avezzano	Velocità in base al		
	I punto con l'ora m. $7^h 52^m 52^s$	II punto con l'ora m. $7^h 53^m 11^s$	II punto modificato con l'ora $7^h 53^m 3^s$
km. 155	m. (4470) c.	m. (4470) c.	m. 7730 c.
" 391 c.	" 7300 c.	" 9440	" 7150 c.
" 620	" 7330 c.	" 8300 c.	" 7270 c.
" 927 c.	" 7790 c.	" 8480 c.	" 7800 c.
" 1420	" 7670 c.	" 8060 c.	" 7670 c.
	m. 6912	media generale m. 7750	media generale m. 7524
	m. 7522 c.	{media con l'esclu- sione del 1° valore} m. 8570	

5. Da questo prospetto si vede come, volendo mantenere inalterata l'ora media, basata su Ischia e Valle di Pompei, si abbia nelle prime due colonne una velocità straordinariamente bassa (m. 4470) in corrispondenza della distanza media di 155 km. (¹), ed inoltre un salto enorme nei valori della velocità passando da detta distanza all'altra successiva, e relativamente tenue, di 391 km. Colpisce infine, nella colonna di mezzo, la decrescenza della velocità con la distanza, dopo che il 2° valore è più che raddoppiato in confronto del 1°. Queste gravissime anomalie spariscono nell'ultima colonna, sol per aver diminuito di appena 8 secondi l'ora media spettante al II punto. Questo fatto è assai eloquente e concorre a confermare il dubbio sull'esattezza delle ore d'Ischia e di Valle di Pompei.

(¹) Nella mia Nota precedente avevo creduto di giustificare le velocità così modeste, che risultavano per Ischia e Valle di Pompei, con la stessa incerta posizione dell'epicentro e le relativamente tenui distanze del medesimo dalle predette località. Ma poi, dopo più matura riflessione, ho finito per persuadermi che, per spiegare differenze così notevoli, bisognava invocare un'incertezza troppo grande per il punto da cui irraggiò il moto sismico.

La media di tutti i valori, escluso il primo, della 1^a colonna è di m. 7522, cioè quasi identica a quella (m. 7524) della 3^a colonna e poco diversa dalla media (m. 7465) dei 15 valori che restano nell'antipenultima colonna della tabella a pag. 430, dopo l'esclusione di quelli tra parentesi e dei due relativi alle località americane (1).

In base a questa nuova velocità di circa 7530 m., supposta valevole anche dall'epicentro fino alla distanza di 70 km., quest'ultima sarebbe ancora stata percorsa in circa 9 secondi, e perciò l'ora all'epicentro risulta adesso come segue:

$$7^h 52^m 52^s - 9^s = 7^h 52^m 43^s$$

6. In quanto ad una sensibile variazione della velocità con la distanza, parrebbe che anche questa volta non fossimo autorizzati ad ammetterla, anche se ci volessimo attenere ai valori della 1^a colonna e senza alterare l'ora media di Ischia e Valle di Pompei. Come spiegare, infatti, l'enorme salto della velocità tra i 155 e 391 km., poi la stazionarietà tra 391 e 620 km., e infine la diminuzione tra 927 e 1420 km.? Ove poi si prendesse in considerazione l'ultima colonna, si troverebbe la velocità dapprima lievemente decrescente e poi crescente, per ritornare, in ultimo, quasi al valore primitivo.

Se questa variazione realmente esiste, almeno per le località più distanti, la medesima dev'essere così tenue da restare ancora mascherata da errori, sebbene piccoli, nelle ore osservate, oppure influenzata dalla diversa costituzione geologica delle regioni attraversate (2). È quello che io ho sempre trovato nei miei calcoli sulla velocità di propagazione dei numerosi terremoti da me studiati, a partire da quelli di Zante del 1893, purchè non si avesse da fare con distanze superiori ai 2000 km. Ed una buona conferma a questo mio modo di vedere è venuta anche dal valente direttore del R. Osservatorio geodinamico di Casamicciola il quale ha studiato la propagazione dei terremoti Calabri dell'8 settembre 1905, del 23 ottobre 1907 e 28 dicembre 1908 (3). Infatti, avendo egli condotto il calcolo della velocità con

(1) La tenue differenza tra quest'ultima cifra e quella (m. 7690) che si ottenne nell'altra mia Nota in base ai 10 valori più attendibili, è in parte spiegata con le correzioni adesso arretrate alle ore di Roma e Granata.

(2) Trattandosi, nel caso nostro, di velocità medie superficiali, sarebbe strano il non volere ammettere la possibilità di tale variazione, se non altro pel fatto che, mentre la propagazione si può effettuare anche per le corde, nei nostri calcoli figurano, invece, le distanze arcuali, di guisa che, man mano che crescono le distanze, si fa vieppiù sentire la differenza tra le lunghezze delle corde e quelle dei rispettivi archi di circolo massimo terrestre: e per tal fatto la nostra velocità deve indubbiamente aumentare. Rimando, a tal proposito, a due mie Note pubblicate in collaborazione del compianto mio collega professor F. Bonetti e presentate alla R. Acc. dei Lincei nelle sedute del 6 e 20 gennaio del 1895.

(3) G. Grablovitz, *Sulla velocità della propagazione sismica* (Boll. della Soc. sism. ital., vol. XIII, pag. 259).

due metodi diversi, e cioè supponendo dapprima costante la velocità, almeno entro 2500 km., e poi uniformemente variabile, trovò che era quasi indifferente riguardare la progressione rettilinea nel 1° caso o curvilinea nel 2°, poichè gli errori residui non presentavano se non differenze inapprezzabili tra retta e curva.

7. Che poi la velocità cresca effettivamente, ed anzi in modo sensibilissimo, con una assai maggiore distanza, è dimostrato in modo evidente dal valore di quasi 11100 metri che vien fuori concordemente per Cambridge (lat. 42° 23' N, long. 71° 8' W) e per Ottawa (lat. 45° 24' N, long. 75° 43' W), distanti rispettivamente 6640 e 6780 km. da Avezzano. E siccome non vi può essere alcun dubbio sull'esattezza delle ore di queste due località, e così pure sull'ora media, presa da me quale punto di riferimento a soli 70 km. dall'epicentro, così dobbiamo ritenere sicura la predetta velocità. Nè a spiegare la grande differenza tra la stessa e quella (circa 7530 metri) da noi trovata quale media per tutte le stazioni situate sino a 1540 km. dall'epicentro, può invocarsi la maggiore lunghezza di circa 300 km. dell'arco di circolo massimo che passa per Avezzano e ciascuna località americana, per rispetto alla corda che lo sottende; poichè, introducendo nel calcolo la lunghezza di quest'ultima, la velocità di 11100 metri si abbasserebbe per non più di un 500 metri. Bisogna dunque ritenere che, effettuandosi la propagazione lungo la corda, la velocità cresca in modo ragguardevole sol per la natura degli strati profondi attraversati, i quali, nel caso nostro, raggiungono la massima profondità di quasi 850 km., lungo la corda Avezzano-Cambridge e di ben 880 km. per la corda Avezzano-Ottawa! (¹).

Quando saranno conosciuti i dati orari di tanti altri osservatori sparsi su tutta la terra, sarà possibile una più esauriente ricerca sul meccanismo di propagazione di questo terremoto il quale, quasi a compenso degli immensi danni arrecati, avrà potuto contribuire anch'esso alla soluzione di non pochi problemi, ancora oscuri e che interessano in sommo grado la sismologia (²).

(¹) Per dare un'idea concreta della lunghezza di queste corde, dirò che la prima è una ventina di km. più corta, e la seconda un centinaio di km. più lunga del lato dell'esagono regolare inscritto nel circolo massimo terrestre, lato che si sa uguagliare il raggio stesso (km. 6370 circa) del nostro globo.

(²) Nel licenziare le bozze di stampa ci sono pervenuti i bollettini sismici degli osservatori di *Cracovia* e *S. Fernando* (presso Cadice) alle distanze rispettive di circa 1020 e 1780 km. da Avezzano. Poichè l'inizio del sismogramma è avvenuto nei medesimi rispettivamente a 7^h 54^m 40^s e 7^h 56^m 15^s, così combinando questi dati orari con l'ora media 7^h 52^m 52^s relativa alla distanza media di 70 km. dall'epicentro, ne risulta una velocità di circa 8800 metri per Cracovia e 8420 per S. Fernando. Valori ben più alti verrebbero fuori, ove si volesse assumere, quale punto di confronto, l'ora media 7^h 53^m 11^s, desunta dai dati d'Ischia e di Valle di P.