

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCXCI.

1894

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME III.

2° SEMESTRE



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1894

vello ad una stessa posizione, ed ho trovato che se l'astina è di vetro, l'ar-reventare la punta per liberarla da tracce di grasso riesce piuttosto dannoso che utile; il lavarla con ammoniaca, soluzione di carbonato sodico, acido nitrico bollente, e così pure l'aggiungere all'acqua un po' di glicerina per aumentare la scorrevolezza riesce pressochè inutile. Trovai invece utile lo sciogliere nell'acqua un po' di sapone (usai quello cosiddetto di glicerina) che probabilmente rende possibile che sussista al disopra della punta una pellicola liquida anche sottile; la soluzione deve essere recente e deve esser la stessa prima e dopo l'immersione del solido, per evitare che la punta possa cominciare a deformare la superficie liquida a distanze diverse. È utile altresì di provare la punta prima di fissarla al bicchiere (il vetro vecchio pare meno adatto di quello recente) immergendola ripetutamente nell'acqua, e scegliendone una che non manifesta alcuna tendenza a dar origine alla suddetta depressione. Questo inconveniente si evita pure completamente usando, invece di acqua, petrolio.

« Qualora il volume del solido che si vuol determinare sia maggiore della capacità della buretta, si potrà con una pipetta calibrata aspirare dal bicchiere in una o più volte un volume sufficiente e misurato di liquido; oppure si potrà far uso di una pipetta non calibrata e misurare il volume di liquido tolto coi soliti recipienti graduati. Si dovrà poi al solito ottenere l'esatto affioramento del livello dell'acqua alla punta mediante la buretta.

« È comodo altresì l'uso d'una buretta chiusa in fondo da un rubinetto a tre vie invece che da uno semplice; si può così aspirare successivamente un volume misurato di liquido e lasciarlo effluire per la terza via, ripetendo l'operazione, finchè si è tolto dal bicchiere un volume sufficiente di liquido.

« Molte misure eseguite con questo metodo diedero valori concordanti, entro i limiti d'esattezza della buretta ».

Fisica terrestre. — *Alcune considerazioni sui differenti metodi fino ad oggi adoperati nel calcolare la velocità di propagazione del terremoto andaluso del 25 dicembre 1884.* Nota del dott. G. AGAMENNONE, presentata dal Socio P. TACCHINI.

« Tra le molte relazioni pubblicate intorno a questo terremoto, le più notevoli sono senza dubbio quella della Commissione italiana ⁽¹⁾ e l'altra della Commissione francese ⁽²⁾. In entrambe si ritiene che, ad eccezione dell'ora

⁽¹⁾ *I terremoti andalusi cominciati il 25 dicembre 1884.* Memoria di T. Taramelli e G. Mercalli, pubblicata negli Atti della R. Acc. dei Lincei, anno CCLXXXIII, 1885-86.

⁽²⁾ *Mission d'Andalusie. Études relatives au tremblement de terre du 25 décembre, 1884* etc. Mémoires présentés par divers savants à l'Acad. des Sc. de l'Inst. Nat. de France,

ottenuta all'Osservatorio astronomico di S. Fernando presso Cadice, tutti i dati di tempo osservati nella Spagna, lasciano molto a desiderare in quanto ad esattezza. Così le diverse ore, fornite da città anche assai importanti, sono talmente incerte ed in contraddizione tra loro, che la Commissione italiana credette bene di rinunciare a qualsiasi calcolo sulla velocità di propagazione delle onde sismiche. Stando alla Commissione francese, le indicazioni orarie fornite in Spagna sia dagli orologi dei privati, sia da quelli degli stabilimenti pubblici, sia infine da quelli delle ferrovie, variano da 9^h 9^m a 9^h 34^m p.! Tanta diversità nei dati del tempo non può spiegarsi colla sola differenza di longitudine, ma deve per la maggior parte attribuirsi agli orologi mal regolati; di guisa che anche la Commissione francese venne alla conclusione che non solo era impossibile di servirsi delle varie ore per la determinazione della velocità di propagazione del movimento, ma eziandio di fissare, a mezzo delle stesse, la posizione e la forma dell'epicentro.

« Ma nella Relazione francese si trova riportata a pag. 22 la seguente osservazione interessante, fatta in Andalusia, che a prima vista parrebbe condurre ad una soddisfacente soluzione nella ricerca della velocità: « au moment de la première et principale secousse, deux employés de l'administration des télégraphes, l'un à Malaga, l'autre à Velez Malaga, étaient en train de correspondre. Ce dernier, surpris par la secousse, cesse brusquement la correspondance. Son collègue s'étonne de cet arrêt subit, lorsque, 6 secondes environ après l'interruption de la dépêche, il sent à son tour la secousse. Or la distance de Velez Malaga à Malaga est d'environ 30 kilomètres, et si l'on tient compte de la distance de ces deux localités au point médian de la zone centrale, d'où l'on peut supposer que partait à peu près le mouvement, il en résulte que l'ébranlement se serait propagé avec une vitesse d'au moins 1500 mètres par seconde. La vitesse ainsi déterminée est un minimum, car le chiffre de 6 secondes constaté entre l'arrivée du mouvement ondulatoire à Velez Malaga et à Malaga est un maximum. En réalité, la durée de la transmission du mouvement sismique a été de 4 à 6 secondes, et, par suite, la vitesse observée a été comprise entre 1500 e 2200 mètres; mais si l'on tient compte de ce que la position de la partie médiane de la zone centrale n'est pas exactement connue, il faut en conclure que la vitesse de propagation en question a pu dépasser ces nombres ». Ed infatti, attenendoci alla posizione dell'epicentro stabilita nella Relazione italiana, si trova che Velez Malaga e Malaga distando rispettivamente circa 22 e 44 km. dall'epicentro, la distanza percorsa dalle onde sismiche sarebbe ap-

t. XXX, n. 2. — Gran parte delle notizie ivi contenute sono riportate nell'opera del sig. F. Fouqué: *Les tremblements de terre*. Paris, 1889 a pag. 120 e 286-307; come pure nel t. C dei Comptes Rendus di Parigi, 1^o sem. 1885, pag. 598, 1049, 1113, 1436.

prossimativamente di 22 km.; il che darebbe una velocità di 3666 o di 5500 metri al secondo, a seconda che si assuma nel calcolo l'intervallo massimo di 6 secondi o quello minimo di 4 (1). Ma da questi calcoli noi non possiamo attenderci alcun risultato serio, perchè la velocità dipende dalla posizione dell'epicentro, la quale è naturalmente alquanto indeterminata; e la prova ne è che, stando alla Commissione francese, Malaga sarebbe soltanto 9 km. più distante di Velez Malaga per rispetto all'epicentro, invece che 22. Adunque, essendo così indeterminata la distanza vera, percorsa dalle onde sismiche, e troppo incerto il tempo impiegato a percorrerla, non deve recare meraviglia il trovare tanta discordanza tra i valori della velocità che si possono dedurre dall'osservazione fatta all'ufficio telegrafico di Malaga. Un'altra ragione per non prendere in alcuna considerazione le predette velocità si è che, stando alla Relazione italiana, sembra che si tratti di una replica (del 26 dicembre 1884) e non della grande scossa del 25 dicembre come si dice nella Relazione francese nel brano testè riportato (2).

« Però le onde sismiche, propagandosi a distanze ben più ragguardevoli al di fuori della Spagna, giunsero a perturbare i magnetografi a registrazione continua di Lisbona, Parigi, Greenwich e Wilhelmshaven; e le ore del loro passaggio nelle suddette località risultando sufficientemente garantite, tenuto conto delle ragguardevoli distanze, si potevano prestare assai bene al calcolo della velocità. Se non che la Commissione italiana non credette utilizzare tali ore, perchè si trattava di fenomeni troppo isolati per poter concludere con certezza che essi fossero veramente l'effetto dell'arrivo del movimento sismico andaluso fino a quei punti così distanti, anzichè dipendenti da fenomeni locali. Ma in occasione dell'altro non meno celebre terremoto ligure del 23 febbraio 1887 si verificarono nuovamente consimili perturbazioni nei magnetografi d'Europa, anzi questa volta in maggior numero di osservatori.

« Nella relazione della Commissione francese sul terremoto dell'Andalusia, pubblicata appunto dopo il terremoto ligure, si utilizzano i nuovi fatti e si discute sulle possibili cause di siffatte perturbazioni. In tale discussione si è maggiormente inclinati verso l'ipotesi che quest'ultime siano dovute alla conseguenza diretta d'una trasmissione del movimento nel suolo anzichè allo sviluppo di correnti elettriche; ed in seguito, senza volersi pronunciare definitivamente su tale questione, allora molto dibattuta, si fa un tentativo nel

(1) Nella Relazione italiana si dubita che la stessa velocità di 3666 metri al secondo sia troppo grande, perchè quasi 9 volte maggiore della media (416 metri) delle velocità trovate in sette terremoti da Schmidt, Mallet, Seebach e Lasault.

(2) Nel rapporto del Fouqué: *Explorations de la Mission chargée de l'étude des tremblements de terre de l'Andalusie*, pubblicato nei *Comptes Rendus* di Parigi (t. C, 1° sem. 1885, pag. 1049) si trova pure riportata quasi con le stesse parole l'osservazione fatta a Malaga; ma il fatto viene riferito al 26 dicembre 1884, come appunto si dice nella Relazione italiana.

calcolare la velocità di propagazione in base alle ore di Cadice (9^h 18^m) Lisbona (9^h 19^m), Greenwich (9^h 25^m) e Wilhelmshaven (9^h 29^m), ore tutte espresse in t. m. di Parigi. Ecco il risultato a cui giunse la Commissione francese:

« Combinando Cadice con Lisbona si trova una differenza di distanza delle stesse da Alhama (assai vicina all'epicentro) di circa 220 km. e una velocità di metri 3600 per secondo.

« Combinando Alhama con Greenwich si trova, sopra una distanza di 1650 km., una velocità di 4500 metri.

« Combinando Alhama con Wilhelmshaven si trova, sopra una distanza di 2040 km., una velocità di 3100 metri.

« Combinando Greenwich con Wilhelmshaven si ottiene una differenza di distanza delle medesime da Alhama di 390 km. ed una velocità di 1600 metri.

« Però, quasi tutti questi calcoli sono inesatti a causa di parecchi equivoci commessi. Così nel 1° calcolo si attribuisce a Lisbona una maggior distanza di 220 km. da Alhama per rispetto a Cadice, mentre in realtà tale valore è assai più grande. Nel 2° e 3° calcolo, mentre si combinano le ore di Greenwich e Wilhelmshaven con quella di Cadice, le distanze invece si assumono da Alhama, ed in tal modo le medesime risultano circa 200 km. più grandi. Finalmente nel 3° calcolo, non si sa perchè, sembra che siasi diminuita di un intero minuto la differenza tra le ore di Cadice e Greenwich.

« Rifacendo i calcoli a dovere, conservando gli stessi dati orari della Commissione francese, e correggendo le sole distanze, contate a partire dall'epicentro, si ottiene quanto segue:

Combinando Cadice con Lisbona	si ottiene la velocità di	4830 metri
» Cadice con Greenwich	»	» 3430 »
» Cadice con Wilhelmshaven	»	» 2820 »
» Greenwich con Wilhelmshaven	»	» 1750 »

« Nonostante le correzioni apportate, questi valori, se da una parte accennano in generale ad una forte velocità, sono però sempre molto divergenti tra loro e non ispirano davvero una grande fiducia (1). Tant'è vero che il capi-

(1) Nella *Meteorologische Zeitschrift* del febbraio 1885 a pag. 76 si trova una breve Nota del dott. Eschenhagen, in cui dopo aver descritti gli effetti del terremoto andaluso sopra gli strumenti magnetici di Wilhelmshaven, egli termina col fare alcune considerazioni sulla velocità di propagazione. In mancanza di dati orari più sicuri per la zona epentrale, il dott. Eschenhagen assunse l'ora 8^h 53^m (t. m. l.) osservata a Madrid ed uguale a quella di Siviglia, e così trovò che le onde sismiche impiegarono 7 minuti per percorrere la distanza di 1650 km. dall'epicentro fino a Greenwich, 11,4 minuti per la distanza di 2040 km. dall'epicentro fino a Wilhelmshaven, e per conseguenza 4,4 minuti per percorrere

tolo sulla velocità di propagazione viene così chiuso nella Relazione francese: « Avec les données actuelles, il est impossible d'apporter plus de précision dans les calculs de ce genre et, par suite, d'en tirer aucune conséquence sérieuse ».

« Di tale parere non è stato però il dott. Cancani, il quale in un recente lavoro ⁽¹⁾ è ritornato sulla questione; ed utilizzando anche l'ora di Parigi, sebbene meno attendibile rispetto alle altre, ha trovati i seguenti valori, che su per giù s'accordano con quelli precedenti da me ricalcolati:

Alhama — Lisbona,	distanza di	530 km.,	velocità di	4200 metri
» — Parigi,	»	1350 »	»	3200 »
» — Greenwich,	»	1620 »	»	3600 »
» — Wilhelmshaven,	»	2000 »	»	2800 »

« Il Cancani ritenendo eccellenti i dati orari su i quali ha fondato il precedente calcolo, ne conclude: « si vede chiaramente come col diminuire la distanza, la velocità che si deduce va crescendo, appunto perchè col diminuire la distanza si fa maggiormente sentire sugli apparecchi l'effetto delle onde longitudinali ». Anzi egli si fonda in special modo su questa velocità così variabile nel terremoto andaluso, per vedere pienamente confermato quanto il Wertheim ⁽²⁾ scriveva già fin dal 1849, sulla possibilità cioè che nei terremoti si riscontri realmente l'esistenza delle onde longitudinali e trasversali contemplate nella teoria dell'elasticità dei corpi solidi, le quali si propagano nell'interno di una massa indefinita, la prima con una velocità circa doppia della seconda.

« Dinanzi ad una questione così importante io credo che valga la pena di studiare ancora più a fondo il presente terremoto andaluso, per vedere realmente fino a che punto possa il medesimo confermare le viste del Wertheim.

« Intanto non posso fare a meno di rilevare che col metodo adottato dal

la distanza di 390 km., che rappresenta la maggior distanza di Wilhelmshaven per rispetto a Greenwich contata dall'epicentro. Ecco le velocità che ne conseguono:

Combinando l'epicentro con Greenwich	circa	4000 metri.
» l'epicentro con Wilhelmshaven	»	3000 »
» Greenwich con Wilhelmshaven	»	1500 »

Questi valori s'accordano abbastanza con quelli di sopra trovati. In base ad essi, il dott. Eschenhagen crede che forse la velocità diminuisce considerevolmente colla distanza, ed aggiunge che non bisogna dimenticare che Wilhelmshaven è circondata da suolo paludoso, il quale potrebbe aver ritardata la propagazione delle onde sismiche. Su tale interpretazione io mi riservo di tornare in altra circostanza.

⁽¹⁾ *Sulle ondulazioni provenienti da centri sismici lontani*. Ann. dell'Uff. Centr. Met. e Geodinamico It., ser. 2^a, vol. XV, parte I, 1893, pag. 13.

⁽²⁾ *Mémoire sur la propagation du mouvement dans les corps solides et dans les liquides*. Ann. de chimie et de physique. Sér. 3^e, t. XXXI, p. 19.

Cancani si prende per punto di partenza l'ora di Cadice e con essa si confrontano successivamente le ore delle altre località più distanti. Ne consegue che se per una qualsiasi ragione l'ora di Cadice fosse troppo alta, anche di un sol minuto, tale errore basterebbe a spiegare a meraviglia il diminuire della velocità col crescere della distanza. Ed infatti, diminuendo di un sol minuto primo l'ora di Cadice, le velocità sopra riportate del Cancani si ridurrebbero rispettivamente a 2850, 2800, 3200, 2600, e così sparirebbe la presunta variazione colla distanza. Una spiegazione consimile si può dare nel calcolo, fatto dall'Offret, della velocità di propagazione del terremoto ligure del 23 febbraio 1887; poichè se l'ora di Mentone, sulla quale egli si è completamente basato, fosse realmente troppo bassa di qualche minuto soltanto, ciò spiegherebbe appunto l'accrecimento della velocità colla distanza, legge del tutto opposta a quella notata dal Cancani pel terremoto andaluso.

« Mi si accuserà giustamente di un pessimismo troppo spinto nel voler io supporre l'ora di Cadice errata d'un intero minuto primo, essendo notorio che la medesima fu dedotta dall'arresto di due pendoli astronomici del vicino osservatorio di S. Fernando. Io non ho difficoltà alcuna ad ammettere che quei pendoli fossero esattamente regolati fino entro pochi secondi; ma poichè lo scuotimento del suolo a Cadice avrà certamente avuta una sufficiente durata, chi sa dire a quale fase della scossa sarà avvenuto l'arresto dei pendoli? Quel che è certo si è, come vedremo in seguito, che le ore dedotte dai magnetografi di Lisbona, Parigi, Greenwich e Wilhelmshaven si riferiscono al principio della perturbazione, mentre potrebbe darsi benissimo che l'ora di Cadice si riferisse al massimo e fors'anco ad una fase ancor più inoltrata della scossa. Tale questione si trova pure accennata nella Relazione italiana, dove si ritiene che la scossa a Cadice dovette naturalmente cominciare 2 o 3 secondi prima dell'istante in cui si fermarono i pendoli. Anche nella Relazione francese si fa osservare che la discordanza nelle varie ore della Spagna può dipendere, oltre che da molte altre cause di errore, anche dalla circostanza che l'arresto degli orologi a pendolo non avvenne istantaneamente, bensì soltanto dopo un lasso di tempo variabile a partire dal momento della scossa e potè dipendere dal senso in cui giunse il movimento; e si fa inoltre notare assai giustamente che un orologio può arrestarsi al momento di una scossa consecutiva, mentre non è stato arrestato da una prima scossa, benchè più violenta, ma in direzione differente. Una bella conferma di ciò si ha nel grande terremoto degli Stati Uniti del 31 agosto 1886, in cui nella stessa Charleston, città assai vicina all'epicentro, degli orologi a pendolo, perfettamente regolati, fornirono ore assai diverse, perchè alcuni si arrestarono alla 1^a fase della scossa ed altri, diversamente orientati, alla 2^a fase della stessa, verificatasi circa 50 secondi dopo (1). Stando alla Relazione della Commis-

(1) Nell'importante relazione del Capt. Dutton, *The Charleston Earthquake ecc.* (United States Geolog. Survey, Ninth Ann. Report. 1887-88) si parla molto a lungo, a

sione spagnuola, la durata della scossa ha variato da pochi secondi fino a 60 secondi (a Cadiar) secondo le differenti località della Spagna. Ad Alhama, presso l'epicentro, ed a Cadice la durata si pone di 15 secondi; ma questo dato si deve forse ritenere come grossolanamente approssimato. Ad ogni modo io debbo fare osservare che l'uomo suole in generale apprezzare la durata del movimento assai minore di quella che sussiste in realtà; ed i diagrammi che si ottengono di continuo da adatti strumenti, tanto al Giappone quanto in Italia, stanno a provarlo irrefutabilmente. Dunque non solo non ripugna, ma è molto probabile l'ipotesi che l'ora di Cadice, per il solo fatto di essere stata fornita dall'arresto di pendoli, si riferisca ad una fase piuttosto avanzata della scossa, mentre si sa che le ore delle località più distanti si riferiscono invece al principio. Questa circostanza potrebbe, da sola, essere senz'altro la causa della decrescenza della velocità colla distanza, sopra accennata.

« Il metodo poi adoperato dal Cancani e dall'Offret, che consiste nel combinare direttamente l'ora più bassa con tutte le rimanenti, sarebbe irreprendibile solo quando le ore fossero tutte esatte fino entro pochi secondi (segnatamente quella della località più prossima all'epicentro, che si prende nel calcolo per punto di partenza), ovvero quando le distanze di quest'ultima località da tutte le altre fossero così ragguardevoli da non farsi sensibilmente sentire un errore, anche di qualche minuto, nei dati del tempo. Ma nel caso

pag. 384-385, del fatto che l'arresto di un orologio a pendolo può avvenire assai dopo il principio della scossa. In generale, qualora è stato possibile comparare gli orologi arrestati con buone osservazioni personali, i primi mostrarono invariabilmente un tempo più alto. La differenza, dice il Dutton, è evidentemente dovuta al fatto che in generale si richiede un tempo considerevole prima che l'accumulazione degli effetti della vibrazione del fabbricato giunga ad arrestare un orologio a pendolo. A titolo di esempio mi piace qui riportare le differenze che si sono riscontrate in alcune località dagli Stati Uniti, tra le ore dedotte dall'arresto degli orologi e quelle osservate direttamente, in quei casi dove il confronto si rese possibile.

Nome della località	Distanza dall'epicentro	Intervallo decorso tra il principio della scossa all'epicentro		Differenza
		il principio del movimento osservato personalmente	l'istante d'arresto dei pendoli	
Nashville. . . .	km. 705	144 ^s	186 ^s	42 ^s
Covington . . .	785	155	235	80
Cincinnati . . .	790	155	195	40
Pittsburgh. . .	845	174	234	60
Brooklyn. . . .	1035	204	234	30
New York . . .	1040	204	249	45

del terremoto andaluso non verificandosi nè l'una, nè l'altra di queste condizioni, è prudente il non dare la preferenza ad alcuna delle ore osservate, per non essere esposti ad ottenere strani risultati. Facendo altrimenti, equivarrebbe ad accordare all'ora prescelta quale punto di partenza, un peso tante volte maggiore delle altre ore, il che non è giusto fare senza speciali circostanze. Invece, tutte le ore possedute debbono ugualmente entrare nel calcolo, e tanto meglio se siasi in grado di accordare a ciascuna di esse il relativo peso, in seguito ad una conveniente discussione dei dati. Inspirato a questi concetti è precisamente il metodo adoperato dai signori Dutton e Newcomb nel calcolo della velocità di propagazione del terremoto di Charleston, metodo al quale mi sono io stesso attenuto nello studio dei terremoti di Zante del 1893⁽¹⁾, avendolo trovato pienamente soddisfacente e superiore a tanti altri fin qui adoperati, e specialmente per il fatto che in questo metodo vengono di molto attenuate le conseguenze di qualche errore nei dati del tempo. È pur vero che il medesimo si basa sull'ipotesi che la velocità rimanga costante col variare della direzione e della distanza; ma se ciò in realtà non si verificasse prossimamente in natura, noi dovremmo aspettarci di trovarne la prova nei residui delle equazioni di condizioni da noi stabilite per il calcolo de' minimi quadrati.

* In una prossima Nota mi riservo di far conoscere il risultato dei calcoli da me condotti a termine, basati sopra le ore relative alle cinque località prese in considerazione dal Cancani. Naturalmente nel calcolare la velocità del terremoto andaluso, parto anch'io dall'ipotesi che le perturbazioni riscontrate nei vari magnetografi siano realmente da attribuirsi al passaggio delle onde sismiche, ipotesi che ormai si avvicina alla certezza, in seguito all'esperienza avuta in tanti altri terremoti posteriori a venire fino a' nostri giorni⁽²⁾.

(1) Vedi il capo VI della Relazione del prof. Issel e dott. G. Agamennone: *Intorno ai fenomeni sismici osservati nell'isola di Zante durante il 1893* (Ann. dell'Uff. Centr. Met. Geod. It., vol. XV, parte I, 1893, p. 65, od anche i Rend. della R. Accad. dei Lincei, Classe di sc. fis., mat. e nat. Sedute del 17 dicembre 1893 e 15 aprile 1894).

(2) Su di ciò possono consultarsi le seguenti mie Note:

Sopra la correlazione dei terremoti con le perturbazioni magnetiche. Rend. della R. Accad. dei Lincei, vol. VI, p. 21; seduta del 5 genn. 1890.

I terremoti e le perturbazioni magnetiche. Id., vol. II, p. 479; seduta del 21 maggio 1893.

Vedo con piacere che le idee, da me espresse in queste due Note, sono pienamente condivise dal sig. H. Wild in un suo importante articolo comparso nel *Journal de S.-Petersbourg* (domenica 17 (19) juillet 1894) in cui egli riporta che anche il magnetografo di Pavlovsk fu perturbato in occasione del terremoto di Costantinopoli del 10 luglio 1894.