

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCXCVII.

1900

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME IX.

1° SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1900

e nel primo istante della chiusura. Poi il primario è sottratto all'azione del secondario e la curva riprende l'aspetto della fig. 1. In corrispondenza le correnti secondarie hanno la forma data dalla fig. 11.

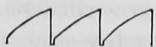


FIG. 10.



FIG. 11.

g) *Circuito secondario chiuso su un circuito avente una grande capacità, in serie, e una resistenza e un'autoinduzione variabili.* — Il condensatore era quello di un grande rocchetto di Ruhmkorff. Senza autoinduzione esterna il Wehnelt ha un andamento incerto e facilmente si incanta; il suono è notevolmente più basso di quello avuto a secondario aperto e l'amperometro discende a circa *cinque ampère*, mentre era a 7,5 con secondario aperto; nel secondario si hanno circa due ampere efficaci. La forma, infine, della corrente primaria diviene così complicata che non tento nemmeno di descriverla. Essa resta però unilaterale. Tanto la forma della curva che l'intensità nel primario e l'altezza del suono dipendono dalla resistenza inserita nel secondario, e si può arrivare a un suono più alto che a secondario aperto con un'intensità media, nel primario, molto minore. Anche l'intensità efficace nel primario è diminuita e ciò rende questi fatti, come gli analoghi nel caso *c*, inesplicabili con la teoria del Simon.

Se poi nel secondario è anche inserita una grande autoinduzione, la intensità media primaria non discende più al disotto di 7,5 ampère.

Fisica terrestre. — *Il pendolo orizzontale nella sismometria.*
Nota del dott. G. AGAMENNONE, presentata dal Socio BLASERNA.

1. Egli è indubitato che il pendolo orizzontale o conico, qualunque sia stata la sua forma, fu ne' primi tempi ideato per ricerche delicate, totalmente diverse da quelle a cui più tardi fu adibito nello studio dei terremoti. Si ritiene da molti che il compianto dott. Rebeur-Paschwitz sia stato il primo a fare le prime osservazioni sismiche col pendolo orizzontale nel 1889, in occasione delle sue esperienze sulla deflessione della verticale per effetto del passaggio della luna al meridiano. La verità però è che il pendolo orizzontale fu impiegato, quale strumento sismico, dal sig. T. Gray già parecchi anni prima ⁽¹⁾, e non più tardi del 1887 fu costruito il sismografo *Gray-Milne* ⁽²⁾, il quale risulta principalmente di due pendoli orizzontali uguali

⁽¹⁾ Philosophical Magazine, vol. XII, settembre 1881, pag. 199.

⁽²⁾ T. Gray, *On an Improved Form of Seismograph*. Philos. Magazine, 1887, n. 143, pag. 353. — La Lumière électrique, T. XXIV, pag. 374, Paris, 1887.

tra loro e ad angolo retto l'uno all'altro, affine di poter registrare ambo le componenti orizzontali del movimento del suolo in occasione d'una scossa.

L'uso dei pendoli orizzontali, come strumenti sismici, fu consigliato senza dubbio dal fatto importante che con essi potevasi, in uno spazio relativamente ristretto, realizzare un lunghissimo periodo oscillatorio delle masse, destinate a comportarsi da *stazionarie* durante un terremoto; mentre con un pendolo verticale non si sarebbe potuto raggiungere un ugual periodo che disponendo di ragguardevoli altezze negli edifici. E per potere utilizzare la *stazionarietà* delle masse, furono queste collegate con stili che dovevano poi registrare meccanicamente, e con un dato ingrandimento, i movimenti effettivi del terreno col quale essi stessi erano solidamente collegati. Come si vede, il concetto dello strumento non poteva essere più logico, e se si aggiunga l'ingegnoso meccanismo nel sismografo Gray-Milne per dare un lungo periodo oscillatorio anche alla 3^a massa, destinata a registrare i moti verticali del terreno, ed infine si abbia presente la feconda idea di dare all'unica zona di registrazione per tutte e tre le componenti una velocità di svolgimento relativamente grande (da 40 fino a 160 centimetri all'ora) anche in tempo di calma sismica, e di moltiplicare notevolmente questa velocità al momento d'una scossa, tutto ciò costituisce un insieme di fatti che deve rendere ancor oggi pregevole il sismografo *Gray-Milne*.

La piccola entità delle masse (circa 3 Kg.) ed il debole ingrandimento (da 3 a 4) delle leve dovevano in questo strumento essere senza dubbio giustificati dal fatto ch'esso era stato costruito espressamente per scosse piuttosto forti, come se ne hanno al Giappone con una frequenza ben più accentuata che in Italia. Che se il meccanismo destinato a moltiplicare automaticamente la velocità della zona di carta, al momento d'ogni scossa, lasciava ancora a desiderare, l'importante si era che il problema fosse stato posto ne' suoi esatti termini; ed il problema infatti non tardò poco tempo dopo ad essere risoluto in modo pratico (1).

Mio desiderio vivissimo sarebbe stato in questi ultimi anni quello di trasformare il sismografo *Gray-Milne* in un apparecchio più confacente ai moderni bisogni della sismometria, ed in special modo di farne uno strumento sensibilissimo che avesse avuta la pretesa di registrare anche i terremoti d'una certa importanza avvenuti in lontanissime regioni. Ma la questione finanziaria ha impedito fin qui la realizzazione del mio desiderio, e questa fu la causa precipua perchè io m'applicassi alla costruzione d'un modello assai più semplice e meno costoso di sismografo, a pendolo verticale il più lungo possibile, allo scopo d'ottenere per la massa *stazionaria* del pendolo un lento periodo oscillatorio, ed arrivare così col mio *registratore a doppia velocità* ad ana-

(1) G. Agamennone, *Sopra un nuovo registratore di terremoti a doppia velocità*. Rend. della R. Acc. dei Lincei, ser. 5^a, vol. I, pag. 247, seduta del 2 ott. 1892.

lizzare accuratamente i movimenti del suolo (¹). Come si vede, pur dovendomi attenere ad un pendolo verticale, assai meno costoso, non perdetti di mira i pregi inerenti al pendolo orizzontale e cercai, per quanto mi fu possibile, di realizzarli nella massima misura.

2. Vediamo ora piuttosto le varie modificazioni che il pendolo orizzontale è andato subendo per opera d'altri. Distinguiamo intanto i pendoli orizzontali in due categorie: quelli a registrazione fotografica e gli altri a registrazione meccanica.

I primi sono generalmente costituiti d'una massa piccolissima perfettamente libera, i cui movimenti sono registrati mediante un fascio convergente di raggi luminosi sopra una zona di carta fotografica, svolgentesi più o meno lentamente. Nella più parte dei pendoli orizzontali (Rebeur-Paschwitz, Ehlert, Wiechert ecc.) i raggi sono riflessi da uno specchietto fisso alla massa, e l'ingrandimento dello strumento dipende dalla distanza a cui si trova il registratore fotografico dallo specchio. Nel modello Milne l'ingrandimento è ottenuto, a somiglianza del sismometro a pendolo conico del Gray, coll'aggiungere alla massa una lunga leva d'alluminio, perfettamente libera e che si può ritenere come un prolungamento della massa stessa.

I pendoli orizzontali a registrazione meccanica differiscono naturalmente dai precedenti per l'entità della massa, che è di 12 kg. in una coppia di siffatti pendoli di Casamicciola, i quali registrano sopra un medesimo cilindro affumicato. Nei pendoli orizzontali, installati dal prof. Cancani nel 1897 a Rocca di Papa in due camere separate, il peso della massa raggiunge i 25 kg. e la registrazione si fa ad inchiostro sopra due zone di carta distinte. Infine ne' pendoli orizzontali, costruiti più recentemente dal prof. Omori a Tokio, la massa è di soli 14 kg. e la registrazione si fa mediante aghi bilicati sopra due distinti cilindri affumicati.

Da notare che l'iscrizione meccanica si ottiene nei predetti pendoli orizzontali mediante un ago od una pennina ad inchiostro, fissi ad un'appendice sporgente dalla massa, e perciò completamente indipendenti dal suolo, se si eccettui il solo punto di contatto col registratore. L'appendice dei pendoli di Casamicciola è notevolmente lunga, come nel pendolo orizzontale del Milne, in modo da amplificare il movimento delle masse nel rapporto di 1 a 8;

(¹) Questo tipo di sismografo è stato descritto a pag. 160 del vol. I (1895) del Boll. della Soc. Sismologica italiana. Di poi ha subite varie modificazioni ed altri perfezionamenti, ed al prezzo di L. 500, non compresa la massa di piombo, è stato già venduto a parecchi Osservatori esteri e nazionali.

Un modello alquanto più economico del precedente, solo perchè fu soppresso il meccanismo della grande velocità, fu acquistato fin dal 1895 all'estero dagli Osservatori di Costantinopoli e di Bucarest ed in Italia dall'Osservatorio di Caggiano. È precisamente quest'ultimo modello che fu dal prof. A. Cancani prescelto per l'Osservatorio di Rocca di Papa, e che nonostante secondarie modificazioni venne descritto sotto il titolo: *Nuovo modello di sismometrografo a registrazione continua*. Boll. della Soc. Sism. Ital., vol. II (1896), pag. 62.

l'amplificazione è nulla nei pendoli orizzontali di Rocca di Papa, ciò che spiega il debole smorzamento che si osserva nei medesimi; l'amplificazione infine è di 10 volte nei pendoli orizzontali di Tokio e si ottiene mediante stili collegati nel tempo stesso alla massa ed al suolo.

3. All'infuori dunque dell'Omori, tutti gli altri hanno preferito di lasciare la massa completamente libera, e per questo solo fatto hanno rinunciato all'incomparabile vantaggio di avere nelle due masse dei pendoli orizzontali due masse *stazionarie* che servano a misurare con esattezza anche le rapide vibrazioni del suolo. La ragione di questa determinazione sta naturalmente nell'aver voluto raggiungere una sensibilità sempre più grande dei pendoli orizzontali, tanto più che col sistema adottato della massa completamente libera, un aumento nella moltiplicazione dello strumento si ottiene senza ulteriore aumento d'attriti; ma questo vantaggio si paga assai caro sotto altri riguardi non meno importanti. Per tutto ciò valga quanto si ebbe a scrivere sul *tromometro fotografico* in altre Note precedenti ⁽¹⁾, e nella mia dal titolo: *I terremoti di lontana provenienza registrati al Coll. Romano* ⁽²⁾, dove in particolar modo ebbi a richiamare l'attenzione sul fatto che il pendolo orizzontale fotografico correva rischio non di rado di registrare appena o punto le scossette locali. Se oggi, in seguito ai grandi perfezionamenti apportati recentemente alla registrazione fotografica, questo inconveniente è stato reso minore, non è men vero che resta sempre la grave difficoltà che i pendoli orizzontali, sia fotografici sia meccanici, non sono capaci di porgere un'idea del vero movimento del suolo, a causa della tendenza che ha la massa, completamente libera, d'entrare in oscillazioni proprie. E questo difetto s'estende anche alle scosse lontane, che ci si rivelano dapprima con movimenti piuttosto rapidi del suolo e poi con moti assai più lenti. Orbene, mentre la 1^a fase del sismogramma è assai bene sviluppata negli strumenti in cui la massa funge da *stazionaria*, invece la detta fase manca completamente, od è appena accennata, od è più o meno travisata nei pendoli orizzontali a massa libera. E di ciò io stesso ho avuta ampia conferma da quando ho cominciato a reggere l'Osservatorio geodinamico di Rocca di Papa, ed ho avuta così l'occasione di studiare da vicino la coppia dei pendoli orizzontali, a massa libera, colà installati fin dal 1897 dal prof. Cancani. Infatti spesso è accaduto che questi strumenti non abbiano indicato piccoli terremoti locali; e per quelli lontani il principio della perturbazione s'è

(1) P. Tacchini, *Sopra un tromometro a registrazione fotografica*. Rend. della R. Acc. dei Lincei, ser. 4^a, vol. VI, pag. 432, seduta del 18 Maggio 1890.

Id., *Dell'influenza del vento sopra il tromometro*. Ibidem, vol. VII, pag. 133, seduta del 1^o Febbraio 1891.

G. Agamennone, *Il tromometro a registrazione fotografica*. Ibidem, ser. 5^a, vol. II, pag. 28, seduta dell'8 Gennaio 1893.

(2) Rend. della R. Acc. dei Lincei, ser. 5^a, vol. III, pag. 543, seduta del 2 Giugno 1894.

trovato quasi sempre in ritardo più o meno notevole per rispetto ad altri apparecchi, fondati sul principio della massa *stazionaria*, quali il mio sismometrografo ed il microsismometro *Vicentini*.

Si fu per ovviare in parte a questo stato di cose che nel novembre 1899 io cercai d'aumentare la massa dei pendoli orizzontali di Rocca di Papa ne' limiti del possibile, portandola da 25 a 60 Kg. Con ciò restò naturalmente aumentata la sensibilità dei pendoli, fino al punto che attualmente è piuttosto raro il caso che anch'essi non accusino il principio d'un movimento qualsiasi, press'a poco in coincidenza con gli altri strumenti a *massa stazionaria*; ma non si deve nascondere che l'alterazione del tracciato, fin dai primi tremiti del suolo, risente enormemente dell'oscillazione propria in cui entrano le masse. E questo si comprende ben facilmente, poichè quando s'è in presenza di vibrazioni piuttosto rapide del terreno, l'inerzia delle masse oscillanti impedisce che i menomi movimenti, in cui entrano gli assi di rotazione dei pendoli orizzontali, possano tradursi in un effetto immediato sul registratore, qualunque sia d'altronde la moltiplicazione dello strumento.

Mi pare dunque che, a meno che non si voglia contentarsi di rilegare un pendolo orizzontale a massa libera nella categoria dei sismoscopi estremamente delicati, v'è tutta la convenienza di ritornare al sistema dei pendoli orizzontali del sismografo *Gray-Milne*, sistema che vedo oggi con piacere ripreso dall'Omori in onore alle tradizioni dei sismografi giapponesi, basati tutti sul principio della massa *stazionaria*. Solo non vedo il perchè l'Omori, pur riconoscendo l'importanza di questo principio, ed avendo ben presenti gli attriti inevitabili che derivano dalla moltiplicazione meccanica, abbia creduto di arrestarsi ad una massa di soli 14 kg., mentre l'adozione d'una massa ben più considerevole non avrebbe portato che un aumento limitato nella spesa, ed in compenso avrebbe permesso allo strumento di raggiungere una potenza tante volte superiore. Sarebbe stato pure a desiderarsi che l'Omori avesse adottato ne' suoi pendoli orizzontali un registratore a doppia velocità, per potere analizzare esattamente e con facilità le vibrazioni rapide del suolo, mentre ciò è difficile, per non dire impossibile, d'ottenere colla velocità unica da lui adottata, sia pure di circa un metro all'ora.

4. Per tutte le predette considerazioni io penso di rimpiazzare l'attuale coppia dei pendoli orizzontali di Rocca di Papa con altra coppia, ispirata al concetto di grandi masse *stazionarie* (per lo meno di 500 kg.) precisamente come, dietro il mio esempio, s'è fatto in quest'ultimi anni in Italia per i sismometrografi a pendolo verticale. Naturalmente io accoppierei i due pendoli orizzontali in modo da potere scrivere sopra un medesimo registratore, per evitare, oltre alla maggiore spesa che deriva dalla costruzione e dall'impiego continuo di due registratori separati, lo svantaggio di dover

fare il confronto delle componenti, ottenute sopra zone distinte. Di più, vorrei dare agli stili scriventi un'amplificazione d'almeno 50 volte e, se le condizioni di stabilità dello strumento lo permettessero, cercherei di spingerla fino a 100, per essere in istato di poter registrare anche menomi movimenti del terreno. Infine mi limiterei a dare ai pendoli orizzontali un periodo semplice da 10 a 15^s, corrispondente a quello che si avrebbe da un pendolo verticale lungo da 100 a 225 metri. In quanto alla delicata questione del registratore da adottarsi per la coppia dei miei pendoli orizzontali, io non esiterò nella scelta ed adotterò quello descritto in questi stessi Rendiconti nella seduta del 19 febbraio 1899 (1).

Adottando questo tipo di registratore che ha già fatto buona prova in un microsismometrografo che funziona da qualche tempo nei sotterranei del Collegio Romano, gli stili dei pendoli orizzontali registrerebbero ad inchiostro sopra una zona di carta bianca svolgentesi costantemente colla velocità oraria di circa 50^{cm}, e nel tempo stesso i loro prolungamenti registrerebbero, invece, nella parte posteriore dello strumento, sopra una zona di carta affumicata chiusa in sè stessa, la quale si porrebbe elettricamente in rapido moto solo al sopraggiungere d'una scossa qualsiasi e vi resterebbe per circa un'ora di seguito, spostandosi man mano lateralmente, per evitare la sovrapposizione dei tracciati.

Con questo sistema di doppia registrazione noi avremmo modo di riconoscere, sulla zona di carta bianca a piccola velocità, non solo il principio esatto dei primissimi tremiti, quello delle singole fasi del sismogramma e la fine delle ultime trepidazioni, ma il periodo, anche se lentissimo, del movimento del suolo, e di abbracciare infine con un colpo d'occhio l'insieme del fenomeno. Sulla zona, invece, affumicata destinata a svolgersi a grande velocità, noi potremmo analizzare a nostro piacere le vibrazioni rapide del suolo ed avere il controllo sia dell'ora sia dell'ampiezza delle successive fasi della perturbazione.

5. Naturalmente quest'analisi sarà tanto più facile e proficua quanto più grande sarà la differenza fra il periodo oscillatorio dei moti del suolo e quello proprio dello strumento. Sarà invece assai più incerta e difficile quando, come spessissimo accade, il periodo oscillatorio del suolo non è troppo diverso da quello stesso dei pendoli orizzontali; poichè in tal caso l'analisi si complica enormemente, ed è solo forse in base alle interferenze più o meno frequenti e più o meno ampie che si originano, che bisognerebbe risalire al vero moto del terreno (2).

(1) G. Agamennone, *Sopra un sistema di doppia registrazione negli strumenti sismici*. Rend. della R. Acc. dei Lincei, ser. 5^a, vol. VIII, pag. 202.

(2) Per dare un'idea della difficoltà del trattare matematicamente questo problema, rimando alle seguenti memorie: De Jonquières, *Sur les mouvements d'ondulations simul-*

A mio modo di vedere, questa difficoltà rimarrà sempre, finchè si voglia disporre d'una sola coppia di pendoli orizzontali. Si potrebbe invece girarla, disponendo d'una 2^a coppia, dotata d'un periodo strumentale assai differente. Supponendo, per es., che il periodo semplice fosse dai 10 ai 15^s per la 1^a coppia — ciò che permetterebbe di riconoscere assai bene i movimenti piuttosto rapidi del suolo e costituirebbe viceversa una difficoltà per misurare i moti lenti della superficie terrestre, dotati di un periodo piuttosto vicino a quello stesso strumentale — la prima idea che potrebbe venire sarebbe quella di dare alla 2^a coppia di pendoli un periodo ancor più lento, per es. dai 50 ai 100^s. Ma egli è chiaro che avendosi allora da fare con periodi così straordinariamente lenti, non mancherebbero dall'ingigantirsi gli effetti dannosi degli attriti, inerenti alla registrazione meccanica, malgrado l'importanza delle masse impiegate. Dinanzi a questa nuova difficoltà, ci sarebbe da pensare se non fosse più conveniente nella pratica di dare, invece, alla 2^a coppia di pendoli orizzontali un periodo assai più breve di 10-15^s, p. es. di 1-2^s; ma allora ognuno comprende la ragionevolezza di ricorrere piuttosto ad un sismometrografo, risultante d'un pendolo verticale piuttosto corto (p. es. di un metro e mezzo), affinchè in presenza d'onde lente quanto si vogliano della superficie terrestre, quest'ultime possano facilmente esser poste in evidenza, essendo difficile che si confondano con le oscillazioni rapide spettanti al pendolo corto verticale (1).

6. Accennati nelle loro linee generali quali dovrebbero essere i pendoli orizzontali ch'io avrei in animo d'installare il più presto possibile a Rocca di Papa, non si può dubitare che i medesimi non abbiano a riuscire d'una

tanés de deux pendules suspendus bout à bout. (C. R., T. 105, pag. 23, 1887). — Lippman, *Sur la théorie et le mode d'emploi des appareils séismographiques.* (C. R., T. 110, pag. 440, 1890). — Cellérier Charles, *Journal de mathématiques pures et appliquées de Liouville*, ser. 4^a, t. VII, 1891. — P. Tavani B., *Mouvements sismiques vibratoires* (Journal de Paris, « Le Cosmos », T. XXXIV, n. 585, p. 34, 11 avril 1896). — F. Fouqué, *Les tremblements de terre.* Paris, 1889, pag. 46 e 47.

Il Grablovitz poi a pag. 54-57 della sua Nota: *Nuovi metodi per indagini geodinamiche* (Boll. della Soc. Sism. Ital., vol. II, 1896, pag. 41) sviluppa una nuova teoria per determinare il reale periodo oscillatorio del suolo, sia orizzontale che verticale, in base alle indicazioni fornite da pendoli oscillanti orizzontalmente o verticalmente. Egli ritorna su tale questione nella relazione sul terremoto nel Mar Tirreno del 15 maggio 1897, registrato ad Ischia, inserita nel Boll. della Soc. Sism. Ital. (Vol. III, 1897) a pag. 170-171 delle notizie sismiche.

(1) Su questa idea ha già insistito il prof. Vicentini nel suo lavoro: *Sugli apparecchi impiegati nello studio delle ondulazioni del suolo.* Atti del R. Istituto veneto di sc., lett. ed arti, T. VIII, ser. 7^a, pag. 207, 1896-97. Io stesso ho avuta già occasione di parlarne nella mia Nota: *Il sismometrografo fotografico.* Rend. della R. Acc. dei Lincei, ser. 5^a, vol. VI, pag. 254, seduta del 4 aprile 1897.

straordinaria sensibilità, tale da non consigliare di fissarli ai muri, sia pure interni, dell'attuale osservatorio, senza compromettere la bontà dei tracciati. Se per l'avvenire si vuole evitare che le variazioni d'alcuni elementi meteorici — i quali, ad es. il vento, sogliono assumere una grande intensità lassù all'Osservatorio, a quasi 800 metri d'altitudine — possano produrre qualsiasi effetto pernicioso sugli strumenti più sensibili, od almeno si vuol cercare di attenuare queste influenze, è assolutamente necessario installare gli strumenti di grande potenza, come appunto la coppia da me proposta di pendoli orizzontali, sullo stesso pilastro centrale, il quale deve essere per questo radicalmente modificato, in modo da rispondere alle moderne esigenze della sismometria (¹).

Riconosco io stesso per il primo che occorre una spesa non lieve sia per la trasformazione del pilastro centrale, sia per la costruzione dei pendoli orizzontali delle dimensioni da me progettate, tanto più se si volesse ai medesimi aggiungere anche la componente verticale con uno stilo speciale che scrivesse sopra lo stesso registratore delle componenti orizzontali. Certo, a questa spesa straordinaria così rilevante non sarebbe da pensare di voler provvedere con la dotazione ordinaria dell'Osservatorio. Ma d'altronde, se si abbia presente che quello di Rocca di Papa è un Osservatorio di primissimo ordine e che deve contribuire al progresso della sismologia, per rispondere appunto allo scopo pel quale fu creato, è da sperarsi che la questione della spesa possa essere risolta con un po' di buona volontà da parte del R. Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica in unione al Ministero d'Agricoltura, Industria e Commercio. Nel nostro caso si tratterebbe d'una spesa straordinaria da farsi in una sola volta e sufficiente per adesso a restituire l'Osservatorio di Rocca di Papa al rango che gli compete, e precisamente in conformità di quanto era stato già combinato l'anno passato fra me ed il prof. comm. P. Tacchini, quand'egli era ancora direttore dell'Ufficio Centr. di Met. e Geodinamica.

(¹) Questo pilastro, fatto costruire sulla viva lava dal mio predecessore, il compianto prof. M. S. De Rossi, ha un diametro di cinque metri ed è completamente isolato; ma stante l'attuale sua forma, non è stato possibile d'installare sul medesimo i registratori moderni di qualche valore, i quali invece dovettero essere fissati, alla meglio, agli stessi muri interni del fabbricato, e non è a dire se risentano per tal fatto gli effetti della temperatura, dell'umidità e del vento.