



dal **Cielo**
alla **Terra** ITALIA
meteorologia e sismologia dall'Ottocento a oggi



dal **Cielo**
alla **Terra** ITALIA
meteorologia e sismologia dall'Ottocento a oggi



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

dal **Cielo**
alla **Terra** ITALIA
meteorologia e sismologia dall'Ottocento a oggi

a cura di Graziano Ferrari

Bononia University Press

dal **Cielo** alla **Terra** ITALIA meteorologia e sismologia dall'Ottocento a oggi

Bononia University Press
Via Farini 37
40124 Bologna
tel. (+39) 051 232882 / fax (+39) 051 221019

www.buonline.com
email: info@buonline.com

© Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
© Bononia University Press

ISBN 978-88-7395-816-1

Collaborazione redazionale
Monia Maresci

*Progettazione e realizzazione logo,
progetto grafico e impaginazione*
Barbara Angioni

Elaborazioni grafiche
Elisabetta Lencioni
con la collaborazione di Eleonora Ulisse

Stampa: Moderna Industrie Grafiche

Prima edizione: giugno 2014

La mostra

Sotto l'Alto Patronato del Presidente della Repubblica Giorgio Napolitano, dal 17 gennaio al 31 maggio 2013 si è tenuta a Firenze, nella Galleria delle Carrozze del Palazzo Medici Riccardi, la mostra *Dal Cielo alla Terra, meteorologia e sismologia a Firenze dall'Ottocento a oggi*. La mostra ha presentato 140 strumenti provenienti da 12 sedi italiane ed europee e ha rappresentato un evento unico nel panorama internazionale per qualità,

varietà e ampiezza dell'arco cronologico degli strumenti esposti, molti dei quali pezzi unici o prototipi. L'iniziativa è stata il frutto della collaborazione fra l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, la Provincia di Firenze, l'Osservatorio Ximeniano di Firenze, il Consiglio Nazionale delle Ricerche, il CMA del Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura e l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare.

Ideazione

Emilio Borchi³

Renzo Macii³

Graziano Ferrari¹

Carolina Vagnoli⁵

Alessandro Carosi¹

Angela Chesi¹

Stefano Bucci¹

Corrado Thermes¹

Coordinamento scientifico e organizzativo

Graziano Ferrari¹

Gianfranco Vannucci¹

Elaborazione digitale documentazione storica

Filippo Antonio Adamo¹

Alessio Mautone¹

Alexia Battelli¹

Diego Capriotti¹

Elaborazione immagini

Elisabetta Lencioni¹

Barbara Angioni¹

Eleonora Ulisse¹

Progetto espositivo

Graziano Ferrari¹

Maria Carmen Beltrano⁴

Emilio Borchi³

Renzo Macii³

Restauro strumenti

Giulio Lozzi¹

Sandro Franceschelli¹

Emanuele Frocione¹

Cataldo Saracino¹

Corrado Thermes¹

Multimedia 3D

Antonio Caramelli¹

Segreteria organizzativa e rapporto con le istituzioni

Monia Maresci¹

Antonella Ierardi²

Elaborazione testi descrittivi

Maria Carmen Beltrano⁴

Emilio Borchi³

Donatella Famà¹

Graziano Ferrari¹

Silvia Filosa¹

Renzo Macii¹

Anna Nardi¹

Antonio Rossi¹

Supporto informatico

Simone Vecchi¹

Francesco Zanolin¹

Progetto grafico

Barbara Angioni¹

Impianti elettrici, rete telematica e sicurezza

Luca Raimondi¹

Massimiliano Ascani¹

Vincenzo Pirro¹

Massimo Mari¹

Alessandro Carmannini²

Ennio Passaniti²

Comunicazione

Agnese Fedeli²

Allestimento

Alexia Battelli¹

Paolo Benedetti¹

Stefano Bucci¹

Diego Capriotti¹

Anna De Santis¹

Segreteria congressuale

Silvia Nardi¹

Riprese fotografiche e video

Luca Arcoraci¹

Emanuele Frocione¹

Alessio Mautone¹

Laboratori didattici

Giuliana D'Addezio¹

¹ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ² Provincia di Firenze ³ Osservatorio Ximeniano, Firenze ⁴ Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura - CMA, Roma ⁵ CNR - Istituto di Biometeorologia, Firenze ⁶ Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Donatella Famà¹
Silvia Filosa¹
Sandro Franceschelli¹
Emanuele Frocione¹
Elisabetta Lencioni¹
Giulio Lozzi¹
Monia Maresci¹
Massimo Mari¹
Alessio Mautone¹
Anna Nardi¹
Silvia Nardi¹
Vincenzo Pirro¹
Luca Raimondi¹
Antonio Rossi¹
Cataldo Saracino¹

Massimo Barzagli²
Maurizio Bianchini²
Gilberto Costanzi²
Riccardo Galeotti²
Sandro Mercatali²
Tonino Palazzolo²
Giulio Ponzalli²
Marco Zatini²

Carolina Vagnoli⁵
Alessandro Zaldei⁵

Carlo Bradaschia⁶

Sorveglianza

Associazione dei vigili urbani
in pensione di Firenze

Altri contributi

Lucio Badiali¹
Romeo Bassoli⁶
Stefano Brizzolara¹
Massimiliano Cerrone¹
Fabio Florindo¹
Antonio Meloni¹
Vincenzo Napolano⁶

Patrocini

Senato della Repubblica
Ministero dell'Istruzione, dell'Università
e della Ricerca
Regione Toscana
Provincia di Firenze
Comune di Firenze
Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione
in Agricoltura
Università di Firenze

Si ringraziano per il prestito degli strumenti

Fondazione Osservatorio Ximeniano, Firenze
Dante Sarti
Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di
Biometeorologia, Firenze
Antonio Raschi
Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in
Agricoltura - CMA
Pier Luigi Perini
Comune Livorno
Paola Meschini, Lorella Betti, Laura Dinelli,
Francesca Giampaolo
Osservatorio *Valerio*, Pesaro
Alberto Nobili
Osservatorio Geofisico *Alberoni*, Piacenza
Matteo Cerini
Observatori Fabra, Reial Acadèmia de Ciències i Arts
de Barcelona
Josep Maria Codina Vidal, Maria Teresa Merino
Institut de Physique du Globe de Strasbourg
Michel Cara, Antoine Schlupp, Valérie Ansel
Istituto Geofisico da Universidade de Coimbra
Susana Custodio, Ivo Alves, Gilberto Pereira

Si ringraziano inoltre per avere creduto nell'iniziativa e averne favorito la realizzazione

Andrea Barducci
Presidente della Provincia di Firenze
Stefano Gresta
Presidente dell'Istituto Nazionale di Geofisica e
Vulcanologia

Massimo Ghilardi
Direttore generale dell'Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia
Dante Sarti
Presidente della Fondazione Osservatorio Ximeniano
Stefano Giorgetti
Assessore alla Protezione Civile della Provincia
di Firenze
Massimo Tarassi
Dirigente dell'Ufficio Cultura della Provincia
di Firenze

Un grazie a quanti hanno contribuito a vario titolo:

Josep Batlló, Wolfgang Beisert, Michael Bishop,
Carlo Bramanti, Valeria Calabrese, Mario Calamia,
Andrea Cantile, Laura Dinelli, Anna Giatti, Klaus-G.
Hinzen, Anita McConnell, Patrick Nott, Alessandra
Saioni, Johannes Schweitzer

Sito internet

www.dalcieloallaterra.it

Abbreviazioni degli enti proprietari degli strumenti

ACBF: *R. Acadèmia de Ciències i Arts, Observatori Fabra, Barcellona*
CPOV: *Comune di Pesaro Osservatorio Valerio, Pesaro*
CRA-CMA: *Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione
in Agricoltura - Unità di ricerca per la Climatologia e la
Meteorologia Applicate all'Agricoltura*
CCAM: *Collegio Carlo Alberto di Moncalieri dei PP.
Barnabiti*
FMCC: *Fundação Museu da Ciência, Universidade de
Coimbra, Coimbra*
HP: *Hotel President, Firenze. (ex. Osservatorio alla
Querce)*
IBN: *Istituto Bianchi dei PP. Barnabiti, Napoli*
IGM: *Istituto Geografico Militare, Firenze*
INGV: *Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma*
INGV-OV: *Istituto Nazionale di Geofisica e
Vulcanologia, Osservatorio Vesuviano, Napoli*
OPA: *Osservatorio Astronomico di Palermo, Palermo*
OX: *Fondazione Osservatorio Ximeniano.*

Indice

- 9** **Presentazione**
Stefano Gresta
- 11** **Prefazione**
Mara Miniati
- 12** **Introduzione**
Graziano Ferrari
- 15** **Meteorologia**
- 17** **Sei e Settecento: i secoli della nascita della meteorologia scientifica**
Stefano Casati
- 25** **Cenni di storia della meteorologia del XIX e XX secolo**
Emilio Borchi e Renzo Macii
- 31** **La meteorologia all'Osservatorio Ximeniano**
- 35** **Cenni sui costruttori di strumenti meteorologici**
Paolo Brenni
- 45** **Gli strumenti della meteorologia**
Maria Carmen Beltrano, Emilio Borchi, Renzo Macii
- 165** **Sismologia**
- 167** **Osservazione strumentale dei terremoti dal XVIII al XX secolo**
Graziano Ferrari
- 199** **Gli strumenti della sismologia**
Graziano Ferrari, Donatella Famà, Silvia Filosa, Antonio Rossi, Anna Nardi, Rodolfo Console
- 313** **Bibliografia**
- 327** **Biografie**
Francesca Quareni, Graziano Ferrari, Monia Maresci
- 381** **Referenze iconografiche**

Presentazione

Stefano Gresta, Presidente dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Fra la seconda metà del Seicento e i primi decenni del Settecento scienziati italiani hanno dato vita alle prime osservazioni strumentali in due importantissime discipline delle scienze della Terra: la meteorologia e la sismologia. Non si tratta di isolate esperienze di geniali scienziati, di cui è peraltro ricca la storia della scienza italiana, ma di studiosi che hanno saputo costituire una rete scientifica, una intera comunità disciplinare. Scienziati che hanno avuto nella natura, e praticamente solo nella natura, il loro laboratorio.

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), che ho l'onore di presiedere, è uno degli eredi di questa prestigiosa e lunga tradizione in quanto in essa affonda le proprie radici.

L'INGV è nato nel 1999 dall'aggregazione di diverse istituzioni operanti nell'ambito delle scienze geofisiche e vulcanologiche, tra cui l'Osservatorio Vesuviano, fondato nel 1841 (il più antico osservatorio vulcanologico al mondo) e l'Istituto Nazionale di Geofisica (fondato nel 1936); quest'ultimo, all'atto della sua costituzione recepì le competenze geofisiche dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geofisica, altro storico ente nato nel 1876.

Al di fuori del mondo scientifico, l'INGV è conosciuto soprattutto per la sua attività nel settore sismologico e vulcanologico; una ricerca fortemente orientata al servizio della società, che l'INGV svolge anche attraverso la sorveglianza sismica e vulcanica dell'intero territorio nazionale. Reti strumentali tecnologicamente avanzate, distribuite sul territorio nazionale o concentrate sui vulcani attivi, registrano dati che vengono trasmessi in tempo reale alle nostre sale operative di Roma, Napoli e Catania, dove personale specializzato opera 24 ore su 24. In caso di evento sopra una prefissata soglia, le informazioni vengono inviate, nell'arco di pochi minuti, al Dipartimento della Protezione Civile e alle altre autorità preposte alla gestione delle emergenze.

Inoltre, l'INGV è presente in una altra grande varietà di ricerche, sia di base che applicate, e non solo sugli aspetti geodinamici.

Molto ampia è, inoltre, la rete delle collaborazioni con università e centri di ricerca italiani ed esteri. INGV partecipa, in molti casi con ruolo di

coordinamento, a numerosi importanti progetti strategici nazionali e internazionali, fra cui il Programma Nazionale di Ricerche in Antartide. Consapevole dell'importanza del proprio ruolo, l'INGV è particolarmente attento alla divulgazione della cultura scientifica e all'educazione ambientale, con particolare riguardo agli aspetti di educazione al rischio, alla sua conoscenza e riduzione.

Numerose sono le iniziative editoriali per le scuole, le mostre dedicate alla geofisica, ai rischi naturali e ambientali e i servizi informativi su Internet, con i più diffusi social network.

E' in questo quadro di tradizione, ricerca e divulgazione che si colloca questa iniziativa editoriale, unica nel panorama nazionale e internazionale, grazie anche all'unicità dell'esperienza italiana e del conseguente suo ingente patrimonio scientifico storico.

Nel recupero e nell'analisi delle nostre radici non troviamo solo i semi dei nostri ambiti disciplinari, ma anche importanti dati utili per la ricostruzione di serie storiche di eventi naturali di lungo periodo. Nello studio del passato troviamo anche un po' delle risposte per il presente e per il futuro, oltre alla stessa passione e senso di responsabilità sociale che animava i pionieri delle discipline qui descritte e che anima tutt'ora i nostri ricercatori e tecnici.

Questo volume è nato da un'iniziativa espositiva retrospettiva sulla meteorologia e sismologia, realizzata in collaborazione con la Provincia di Firenze, l'Osservatorio Ximeniano di Firenze, il Consiglio Nazionale delle Ricerche, il CMA del Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura e l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare.

La conseguente riflessione su storia, tradizione e attualità della ricerca meteorologica e sismologica, ci ha spinto a valorizzarne qui il patrimonio di conoscenze e di strumentazione storica, nella consapevolezza che esso rappresenti, non solo uno straordinario giacimento di beni culturali scientifici, ma anche un'inesauribile fonte di conoscenza a cui avvicinarsi con umiltà e riconoscenza nei confronti dei protagonisti di queste affascinanti avventure scientifiche.

Prefazione

Mara Miniati, Conservatore onorario del Museo Galileo, Firenze

Meteorologia e sismologia sono due discipline che occupano un posto tutto sommato marginale nella considerazione generale: pur avendo la prima origini assai risalenti nel tempo, non ha goduto di eccessiva considerazione scientifica, mentre la seconda ha storia recente e valutazioni difformi.

Sin dal Seicento sono state registrate pazientemente le variazioni climatiche periodiche, la quantità di pioggia, la direzione e la forza del vento. Per ottenere risultati affidabili, scienziati e tecnici hanno lavorato alla produzione di una strumentaria sempre più sofisticata, in grado di rispondere a esigenze pratiche, come la difesa dei territori, la garanzia delle produzioni agricole e del buon funzionamento dei trasporti, la corretta analisi del rapporto tra situazione climatica e salute della popolazione.

Per registrare i fenomeni sono stati impiegati il barometro, nato dall'esperienza torricelliana sul vuoto, il termometro, realizzato a partire dalle esperienze della fiorentina Accademia del Cimento, gli anemometri e gli anemoscopi, gli igrometri e poi i pluviometri. Si tratta di strumenti che nel tempo si sono evoluti e, da apparecchi 'sperimentali' e mutevoli, si sono affermati come efficaci registratori. L'avvento dell'elettronica ha infine modificato sostanzialmente e profondamente questa strumentaria manuale e gli osservatori meteorologici hanno cessato di assolvere la funzione che avevano ricoperto, spesso associati alle specole astronomiche o parte di esse.

Anche la sismologia ha prodotto strumenti in grado di registrare fenomeni non prevedibili e dagli effetti devastanti e, anche in questo caso, la varietà e la quantità delle apparecchiature rivelano l'attenta ricerca e il lavoro incessante per porre le basi e affermare l'esistenza di una disciplina scientifica che cresceva con le apparecchiature stesse. Tromometri, sismografi, sismometrografi, e così via, risalenti soprattutto all'Ottocento e al Novecento, ne sono i testimoni, ancora in quantità consistente e con una grande varietà di dimensioni e principi di funzionamento.

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha da tempo richiamato l'attenzione sulle apparecchiature relative a queste due discipline: nel 1988 (allora ING) promosse il primo seminario nazionale su *Gli strumenti nella storia della sismologia italiana*. Studiosi e specialisti illustrarono gli strumenti conservati in varie istituzioni europee e, gli italiani in particolare, sollecitarono l'avvio di campagne puntuali di ricognizione e censimento di apparecchiature a buon diritto ritenute a rischio di sparizione.

Come è noto, in Italia la tutela per legge degli strumenti scientifici storici è un fatto relativamente recente e spesso sono state denunciate condizioni di conservazione carenti, dismissioni disinvolute e disattenzioni ripetute soprattutto nei confronti di apparecchiature recenti ed effettivamente utilizzate.

Nel 1990, la prima mostra di strumenti sismici storici rese noto a un pubblico anche di non specialisti un patrimonio ricchissimo, che evidenziava le ricerche effettuate in Italia nel campo della sismologia e la originale creazione di una strumentaria che cresceva insieme con l'affermazione di una disciplina.

Non sarà sottolineata mai abbastanza la necessità di approfondire e valorizzare al meglio la tradizione scientifica italiana, le competenze tecniche impegnate nello sviluppo delle apparecchiature e la ricerca che ha consentito l'affermazione di discipline come la sismologia e la meteorologia. Lo storico Osservatorio Ximeniano, a Firenze, ne è a tutt'oggi la dimostrazione e il suo patrimonio strumentale e librario documenta le tappe della ricerca compiuta e delle innovazioni tecniche ideate intorno a queste due discipline.

La mostra fiorentina, da cui è nata l'idea di questo volume, ne è stata una testimonianza significativa e di grande rilievo che, ci auguriamo, rappresenti una ulteriore sollecitazione alla cura di un patrimonio strumentale e istituzionale di tutto rispetto e originalità.

Introduzione

Graziano Ferrari, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

L'Italia vanta una delle più antiche tradizioni al mondo nei settori dell'osservazione scientifica meteorologica e sismologica. È della metà del XVII secolo la nascita a Firenze della prima rete meteorologica, comprendente stazioni di rilevamento italiane e straniere. Si trattava del primo tentativo di raccolta sistematica di dati descrittivi e strumentali provenienti da luoghi geografici diversi, tramite l'utilizzazione di strumenti omogenei e l'adozione di procedure di rilevamento il più possibile uniformi. In Italia, già dagli anni Trenta del XVIII secolo, iniziarono i primi concreti tentativi di registrare i terremoti, prima con semplici sismoscopi, poi nell'Ottocento e Novecento con strumenti sempre più sofisticati.

L'intensa attività di progettazione di strumenti e di registrazione di fenomeni meteorologici e sismologici ha dato vita a una densissima rete di osservazione meteorologico-sismica costituita da osservatori pubblici, privati o afferenti ad alcuni ordini religiosi particolarmente attivi in questi settori scientifici.

Negli ultimi 25 anni, i progetti Tromos e Sismos dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) hanno condotto un censimento e una sistematica operazione di recupero e di valorizzazione scientifica e culturale di osservatori, strumenti e documentazione di questa intensa e unica tradizione scientifica.

Fino dai primi anni della sua attività, l'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica prima del 1999) ha rapporti di stretta collaborazione con sedi storiche di monitoraggio meteorologico e sismologico. Fra questi, in particolare, spicca l'Osservatorio Ximeniano di Firenze, portatore di una delle più antiche e prestigiose tradizioni in questi due settori di studio a livello internazionale.

Aderendo a una proposta della Provincia di Firenze di organizzare una mostra retrospettiva di meteorologia e sismologia che valorizzasse l'antica tradizione fiorentina in questi settori, rappresentata in particolare dall'Osservatorio Ximeniano, alla fine dell'anno 2011 prese forma la mostra *Dal cielo alla terra, meteorologia e sismologia a Firenze dall'Ottocento a oggi*. I primi protagonisti furono: lo Ximeniano, l'INGV, l'Istituto di Biometeorologia del CNR, l'Unità di Ricerca per la Climatologia e la Meteorologia Applicate all'Agricoltura del CRA, a cui successivamente si unirono altri enti nazionali e internazionali.

In considerazione della ricca rete di collaborazioni nazionali e internazionali, soprattutto in ambito sismologico, dei progetti Tromos e Sismos dell'INGV e degli altri partner per la meteorologia, fu subito chiara la grande opportunità di contestualizzare la tradizione fiorentina di questi studi nel panorama euro-mediterraneo, a partire dalla fine del XVIII secolo, realizzando così un evento unico a livello internazionale.

La planimetria lunga e stretta della Galleria delle Carrozze del Palazzo Medici Riccardi, sede della mostra messa a disposizione dalla Provincia, si prestava perfettamente a uno sviluppo tematico cronologico dell'esposizione degli strumenti. In questa configurazione del *racconto*, le due discipline rappresentate potevano *dialogare*, come durante il lungo percorso insieme, condotto presso osservatori meteorologico-sismici ottocenteschi, oppure seguire percorsi differenti come nelle più moderne rispettive reti osservative.

Ben presto il progetto espositivo si è arricchito di centoquaranta strumenti di meteorologia e geofisica, dai delicati sismoscopi e barometri della fine del Settecento a sensibili sismografi con grandi masse del Novecento e a un aereo meteorologico, fino alla rivoluzione tecnologica dell'elettronica. Ci si è ben presto resi conto che la contestualizzazione nazionale e internazionale della tradizione osservativa fiorentina rendeva omaggio in qualche modo anche all'intera tradizione italiana. È al contesto nazionale che è quindi esteso il presente volume. La comprensione del contributo dell'Osservatorio Ximeniano allo sviluppo di sismologia e meteorologia assume un particolare rilievo inoltre con l'approssimarsi, nel 2015, dell'inizio delle celebrazioni dei 150 anni di Firenze capitale d'Italia (1865-1871). Da un'attenta lettura emergerà come lo Ximeniano, e più in generale tutta la tradizione osservativa di studiosi e istituzioni fiorentine, abbiano costituito un incubatore scientifico nella prima Italia unita.

L'iniziativa espositiva, che ha registrato circa 100.000 visitatori provenienti da tutto il mondo, è stata una grande opera di sensibilizzazione sui temi dei rischi da eventi naturali estremi e sulle strategie per una società più sicura, anche attraverso un ricco calendario di conferenze indirizzate a studenti e cittadini. Si è trattato, inoltre, di un'opportunità per il recupero di numerosi importanti beni culturali scientifici: gran parte della strumentazione è stata, infatti, oggetto di opportuno trattamento presso il

laboratorio di restauro della strumentazione scientifica storica del centro Sismos (INGV, <http://sismos.rm.ingv.it>), specializzato in questo tipo di strumentazione.

Anche se le attività osservative della meteorologia e della sismologia sono state spesso condotte negli stessi osservatori e dagli stessi studiosi, soprattutto fino ai primi decenni del Novecento, si è qui preferito sviluppare separatamente i due percorsi disciplinari. Ciò si è reso necessario anche per le diverse esigenze descrittive dei due temi. Mentre l'obiettivo principale della sismologia strumentale è quello di registrare con la massima precisione tutte le varie componenti del moto del suolo, la meteorologia strumentale ha un'ampia gamma di variabili da registrare, per ciascuna delle quali è stata sviluppata una serie di strumenti via via più sofisticati e precisi.

Tre brevi contributi introduttivi di storia della meteorologia sono quindi seguiti da sezioni tematiche, secondo le variabili meteorologiche da misurare, ciascuna delle quali ha una breve introduzione storica e le schede di alcuni strumenti. Segue poi l'introduzione alla sismologia e le schede degli strumenti relativi. Una sezione bibliografica e un ricco apparato biografico completano il volume.

Come leggere le schede

Ogni scheda si compone di un numero pari di pagine, in genere due, e inizia a pagina pari con una grande immagine dello strumento o degli strumenti, se più di uno. La didascalia a sinistra riporta, nell'ordine, per ciascuno strumento e se disponibili, le seguenti informazioni: il nome dello strumento, nome e luogo del costruttore, materiali costruttivi (solo degli strumenti ancora esistenti), misure in centimetri, acronimo dell'ente proprietario dello strumento riprodotto nell'immagine (elenco a fine di pag. 6). In alcuni casi seguono ulteriori informazioni sullo strumento.

La pagina dispari e le eventuali pagine successive di ciascuna scheda descrivono sinteticamente lo strumento o gli strumenti. Le piccole icone nel testo introducono rispettivamente: l'ideazione (lampadina), il principio di funzionamento (ingranaggio), eventuali informazioni di corredo (i) e l'indicazione della pagina della bibliografia (libri).

Per mantenere un testo snello ed evitare ripetizioni, i personaggi in ciascuna scheda sono citati, la prima volta, con la sola iniziale del nome, le volte successive con il solo cognome. Per brevi biografie sui personaggi citati si rimanda alla specifica sezione di questo volume. Solo per i personaggi di cui non è stato possibile reperire significative informazioni, si riportano anche il nome e gli estremi cronologici, quando disponibili.

Le piccole immagini a piè di pagina riportano particolari degli strumenti o immagini a essi correlate, di corredo al testo.



Particolare dell'esposizione di alcuni strumenti meteorologici, sullo sfondo, e di un Microsismografo astatico orizzontale Wiechert da 1000 kg, a destra.

Nello sviluppo espositivo è stato fatto largo uso di tecniche di presentazione multimediale, con animazioni e filmati in 3D.

Terminano la mostra un aereo per misure meteorologiche (a destra) e uno dei primi specchi dell'Interferometro Virgo del Consorzio EGO per la rilevazione delle onde gravitazionali. All'inizio e alla fine della Galleria delle Carrozze due porte virtuali guardavano al passato e al futuro.

Cenni di storia delle meteorologia del XIX e XX secolo

Emilio Borchi e Renzo Macii, Fondazione Osservatorio Ximeniano, Firenze

Le radici della meteorologia moderna in Europa

Alla fine del Settecento le iniziative per la creazione di reti meteorologiche si moltiplicarono anche in ambito regionale, specialmente in Germania. Nel 1778 a Karlsruhe nel Baden, Johann Lorenz Bockam costituì una rete regionale di 16 stazioni che funzionò per alcuni anni.

La più prestigiosa rete meteorologica fu in ogni caso la *Societas Meteorologica Palatina* che funzionò dal 1781 al 1795 e cessò del tutto l'attività nel 1799. La Societas fu organizzata dall'Accademia Palatina di Mannheim di cui era segretario il fisico Johann Jacob Hemmer (1733-1790). Il principe elettore Karl Theodor von Pfalz (1724-1799) si impegnò in quest'opera imponente, a cui aderirono 39 sedi dell'Europa, della Groenlandia (una), del Massachusetts (due), e della Russia (tre). Non parteciparono la Spagna e l'Inghilterra. I risultati furono pubblicati dal 1783 al 1795 sulle *Mannheimer Meteorologischen Ephemeriden*. La Società Meteorologica di Mannheim ricopiò il grande esempio seicentesco dell'Accademia del Cimento fornendo agli operatori strumenti dello stesso tipo e precise regole di lettura dei dati. In Italia parteciparono alla rete l'Osservatorio di Padova, diretto da Giuseppe Toaldo (1719-1797)¹ e successivamente dal nipote Vincenzo Chiminello (1741-1815), l'Osservatorio del Collegio Romano, diretto dall'abate Calandrelli (1749-1827), e l'Osservatorio di Bologna diretto da Carlo Matteucci (1811-1868). Già alla fine del XVIII secolo si cominciò a studiare, specialmente in Francia, la possibilità di fare le prime previsioni meteorologiche. I promotori delle varie iniziative, per altro con scarso successo, furono Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), Jean Borda (1733-1799), Pierre Simon de Laplace (1749-1827), e specialmente Claude Chappe (1763-1795), inventore del telegrafo aereo, che, fin dal 1793, segnalava la possibilità di utilizzare vantaggiosamente il suo dispositivo per controllare l'arrivo delle perturbazioni.

Nella prima metà dell'Ottocento la meteorologia era diventata una scienza matura che poteva utilizzare di volta in volta gli strumenti e le facilitazioni offerte dalla nascente tecnologia delle comunicazioni elettriche. Già si

aveva a disposizione una grande quantità di dati meteorologici, che permisero la compilazione delle prime carte affidabili del tempo. Segnaliamo tra i personaggi più attivi il naturalista Alexander von Humboldt (1769-1859), i fisici Ludwig Kämtz (1801-1867) e Heinrich Dove (1803-), il meteorologo Christoph Buys Ballot (1817-1890), l'astronomo Jean-François Arago (1786-1853).

Nel 1823 venne fondata a Londra la prima società meteorologica nazionale. Nel 1830 lo zar Nicola I (1796-1855) volle la realizzazione in Russia di numerose stazioni meteorologiche, dirette e controllate dall'Accademia delle Scienze di San Pietroburgo. In Europa già verso il 1860 sia l'Inghilterra che la Francia avevano un loro regolare servizio meteorologico centrale. Anche l'Austria dal 1851 disponeva di un suo Istituto Centrale di Meteorologia.

Con l'invenzione e lo sviluppo del telegrafo, nella seconda metà dell'Ottocento i dati venivano trasmessi in tempi brevi agli uffici centrali. Ciò favorì lo sviluppo di reti sempre più estese e quindi la speranza di riuscire a prevedere il tempo in maniera affidabile utilizzando dati su scala estesa e non solo su scala locale. Nacquero così, favorite dall'impegno di Adolphe Quetelet (1796-1784) e di John F. W. Herschel (1792-1871), le prime collaborazioni internazionali che utilizzavano dati di reti diverse per interpretare e prevedere il clima di una regione. Nel 1879 fu stabilita a Roma una cooperazione internazionale chiamata *Organizzazione Meteorologica Internazionale* (OMI) basata su reti di stazioni collegate a un Ufficio Centrale. L'osservatorio inglese di Kew, dal 1853, calibrava tutti gli strumenti venduti poi agli altri paesi.

La meteorologia nell'Ottocento in Italia e la nascita della meteorologia nazionale

L'idea di centralizzare e coordinare le diverse iniziative presenti sul territorio italiano fu proposta e sviluppata da Vincenzo Antinori (1792-1865), direttore del Museo di Fisica e Storia Naturale di Firenze, fin dal primo congresso degli scienziati italiani, tenuto a Firenze nel 1839 e fu riproposta anche nei successivi convegni. Il Museo era suggerito come centro di



Frontespizio (sinistra) e particolare dell'indice (destra) del primo numero del Bollettino meteorologico dell'Osservatorio di Moncalieri. L'indice evidenzia la portata geografica della prima rete di Denza e la varietà di fenomeni documentati.

raccolta e ordinamento delle osservazioni meteorologiche di tutta l'Italia. Tuttavia, i tempi non erano politicamente maturi e bisognò attendere il 1856 allorché padre Angelo Secchi (1818-1878), direttore dell'Osservatorio del Collegio Romano, organizzò su scala ridotta una rete meteorologica ben strutturata all'interno dello Stato della Chiesa. Le osservazioni giornaliere, prese a Roma, Ancona, Bologna, Pesaro, Perugia, Urbino e in molti altri centri minori dello stato, venivano trasmesse e scambiate anche per via telegrafica mediante le stazioni di Roma, Bologna e Ancona. Uno degli scopi principali nell'intenzione di Secchi era quello di poter prevedere, a partire dai dati di temperatura e pressione in molte regioni europee, l'evoluzione del tempo e in particolare il passaggio di tempeste in vicinanza delle zone costiere. La Corrispondenza telegrafica dello Stato della Chiesa entrò nel 1857 a far parte del Servizio Meteorologico Internazionale creato a Parigi dall'astronomo e meteorologo Urbain Le Verrier (1811-1877).

L'esempio di Secchi fu subito seguito dal padre barnabita Francesco Denza (1834-1894), che nel 1859 impiantò un osservatorio meteorologico nel Collegio Carlo Alberto di Moncalieri e creò una fitta rete di stazioni nella regione alpina,

allargandola poi su tutto il territorio nazionale. Nella prima fase egli fu aiutato dalla collaborazione con il Club Alpino Italiano. Dal 1873, con l'ingresso nella Corrispondenza Meteorologica Alpina di Denza, dell'Osservatorio Ximeniano di Firenze e delle stazioni della Rete Meteorologica Toscana, promossa dal padre scoliofilo Filippo Cecchi (1822-1887), si costituì la Corrispondenza Meteorologica Italiana delle Alpi e degli Appennini che alcuni anni dopo (1882) diventò la Società Meteorologica Italiana.

Sul piano istituzionale le basi di una prima organizzazione meteorologica governativa furono gettate, con circolare del 14 gennaio 1865, dal responsabile del ministero di Agricoltura, Industria e Commercio, il senatore Luigi Torelli (1810-1887). Nella circolare, il ministro invitava gli studiosi e i responsabili degli osservatori a coordinarsi, per la caratterizzazione meteo-climatica della Penisola e per la formulazione dei presagi (cioè le previsioni), attraverso un ufficio centrale da costituirsi presso la Direzione Statistica del ministero.

La risposta positiva di ventidue studiosi a quest'iniziativa permise al ministro di attivare, fin dall'1 marzo dello stesso anno, un Servizio

Meteorologico ufficiale del Ministero. La direzione del Servizio fu assunta da Giovanni Cantoni (1818-1897), professore di fisica all'università di Pavia. Sotto la sua direzione ebbe inizio nel 1865 la pubblicazione dei volumi di Meteorologia Ufficiale che continuò fino al 1878.

Con Regio Decreto n° 2235 del 9 aprile 1865 il Ministero della Marina avocò a sé il diritto di gestire la sezione dei presagi del Servizio Meteorologico dell'Agricoltura. Il Ministero della Marina fin dall'anno precedente aveva incaricato Carlo Matteucci, professore di fisica a Firenze e ispettore generale dei telegrafi di istituire un servizio dei presagi presso

le Capitanerie dei porti principali. Il *Servizio meteorologico telegrafico* o *Servizio Operativo Marittimo* ebbe sede fin dal 1865 a Firenze presso il Museo di Fisica e di Scienze Naturali, un organo dell'Istituto di Studi Superiori di Firenze di cui il Matteucci era direttore. Del Servizio Operativo della Marina facevano parte sei stazioni marittime di prima classe (Genova, Napoli, Livorno, Palermo, Messina e Ancona) e quattordici di seconda classe. Alla sede di Firenze arrivavano quotidianamente i dati meteorologici delle stazioni, oltre a quelli di alcune città estere, tra cui Londra e Parigi. I dati servivano anche per effettuare le previsioni. Il servizio cominciò a funzionare regolarmente nel 1866. Alla morte di Matteucci, nel 1868 la direzione fu affidata all'astronomo Giovanni Battista Donati (1826-1873), a cui subentrò Costantino Pittèi (1839-1912). Due altri ministeri svilupparono e coordinarono nel frattempo una loro attività meteorologica: il ministero della Pubblica Istruzione per gli osservatori annessi alle scuole e agli istituti universitari e il ministero dei Lavori Pubblici per gli studi idrologici del Paese per provvedere a un servizio di preavviso delle inondazioni.

A Cantoni va il merito di avere riunito i servizi meteorologici della Marina, dei Lavori Pubblici e della Pubblica Istruzione sotto la direzione del Ministero dell'Agricoltura, anche se i risultati non furono del tutto sperati.

L'Ufficio Centrale di Meteorologia del Ministero dell'Agricoltura, che doveva rappresentare il nuovo servizio unitario, fu fondato a Roma nel novembre 1876, con il compito di tracciare le carte sinottiche, di effettuare i presagi e di studiare la climatologia italiana. La sede era il Collegio Romano di cui il Secchi, che era rimasto fedele al pontefice dopo la breccia di Porta Pia, era ancora di fatto il direttore, poiché il governo italiano non aveva mai preso l'iniziativa di rimuoverlo dall'incarico in virtù dei suoi altissimi meriti scientifici. Solo dopo la morte di Secchi, nel 1878 l'astronomo e geofisico Pietro Tacchini (1838-1905) fu nominato contemporaneamente direttore dell'Osservatorio Astronomico e primo direttore dell'Ufficio Centrale (1879), succedendo con quest'ultima funzione a Cantoni.

Dal 1879 i volumi di Meteorologia Ufficiale di Cantoni furono sostituiti dagli *Annali dell'Ufficio Centrale di Meteorologia*.

Fu merito del Tacchini se le stazioni dei preesistenti Servizi, pur conservando la loro autonomia, operarono per qualche tempo in modo coordinato. Nel 1887 l'Ufficio cambiò nome diventando Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica con un ampliamento dei propri compiti istituzionali.

Il Ministero della Marina dopo la fine del Servizio Operativo Marittimo continuò a svolgere attività di meteorologia nell'Istituto Idrografico di Genova. A Firenze restò ancora per qualche anno un osservatorio



Mappa della Rete Meteorologica Toscana realizzata per iniziativa di Filippo Cecchi, direttore dell'Osservatorio Ximeniano di Firenze dal 1873 aderente alla rete della Corrispondenza Meteorologica Alpina di Denza.

METEOROLOGIA

meteorologico, prima sotto la direzione di Antonio Rosti (1843-1921), professore di fisica dell'Istituto Superiore degli Studi, e in seguito di Pittei.

Le reti meteorologiche degli stati preunitari, le reti locali

Parallelamente a un servizio meteorologico organizzato dal Governo Italiano continuò con grandi meriti, prima di integrarsi nella struttura governativa, il servizio meteorologico già presente degli stati preunitari

della Penisola e progredì un servizio organizzato da privati, il quale collaborò con le istituzioni governative condividendone anche le normative almeno nelle linee essenziali, allo scopo di uniformare la raccolta dei dati meteorologici. A questo proposito si è già citata, per la sua rilevanza, la rete di osservatori coordinata da Denza. A essa aderì ben presto la Rete Meteorica Toscana coordinata da Cecchi, direttore dell'Osservatorio Ximeniano di Firenze.

È noto che alla fine del Settecento e durante la prima metà dell'Ottocento, la pratica sperimentale si estese anche ad ambienti periferici rispetto ai principali centri della cultura scientifica. Nell'ambito della meteorologia la raccolta dei dati fu compito prevalente degli osservatori astronomici, delle accademie scientifiche, degli istituti scientifici dei religiosi, delle sedi universitarie. Tuttavia, si moltiplicarono i cultori della disciplina che si dedicavano alla misura delle principali grandezze che caratterizzano il clima. Molti di questi erano dediti per la massima parte a studi naturalistici e applicavano i dati meteorologici all'agricoltura e allo sviluppo delle ricerche agrarie. Esistevano anche reti locali o regionali coordinate da istituzioni diverse. I religiosi infine, anche su iniziativa individuale, tenevano molto spesso nelle canoniche e nei conventi appositi registri delle più semplici misure meteorologiche.

A motivo della situazione politica italiana e della suddivisione in numerosi piccoli stati indipendenti, il contributo locale alla meteorologia è estremamente variegato. I dati meteorologici più antichi e consistenti provengono dagli osservatori di Padova, Brera, Napoli e Palermo e da quelli dell'Accademia delle Scienze di Bologna, dall'Osservatorio Ximeniano di Firenze, dal Reale e Imperiale Museo di Firenze e dal Collegio Romano. Nel tempo alcune serie meteorologiche sono state interrotte oppure le stazioni meteorologiche sono state trasportate altrove. Qui ci limiteremo a dare alcuni cenni dell'argomento che riguarda in definitiva tutte le regioni italiane.

Storicamente il merito della prima rete meteorologica, ben strutturata all'interno dello Stato della Chiesa, spetta a Secchi, direttore dell'Osservatorio del Collegio Romano.

In quel periodo la meteorologia sperimentale progrediva rapidamente: a Palermo Gaetano Cacciatore (1814-1889) e l'astronomo Tacchini, a Napoli l'astronomo Carlo Brioschi (1782-1833), a Modena Domenico Ragona (1820-1892), a Urbino il P. Alessandro Serpieri (1823-1885), ad Ancona Francesco De Bosis, tutti iniziarono le loro quotidiane osservazioni. Secchi iniziò nel 1856 una corrispondenza meteorologica telegrafica tra Roma, Ancona, Bologna e Ferrara. Nel 1862 cominciò la pubblicazione del *Bullettino Meteorologico* del Collegio Romano con i dati meteorologici

Bollettino Meteorico
dell'Ufficio Centrale di Meteorologia
ROMA

1879
30 Dicembre

Stazioni	Barometro a 24 ab. linee 12 5° zero	Termometro in ombra 5° zero	Termometro in ombra 15° zero	Termometro in ombra 15° zero	Stato del cielo 5° zero	Stato del mare 5° zero	Stato della notte 5° zero	Stato del cielo 5° zero	Osservazioni particolari
Milano	746,2	+1,6	W	—	Interram- to agitato	—	Interram- to agitato	Interram- to agitato	Vento per la massima e il maggiore
Firenze	744,8	-0,2	SE	6	Vento debole	—	Interram- to agitato	Interram- to agitato	Stato 12 alle 3 notte per una nave a mare agitato
Genova	744,7	+5,0	SE	16	Interram- to agitato	Agitato a mare	S	Vento debole	Vento forte nella giornata
Parma	744,3	+2,1	W	32	Interram- to agitato	debole	—	Agitato	Agitato per le 10 di sera e si intensifica a ogni vento forte a mare
Como	751,9	+2,5	NW	6	Agitato	—	N	Agitato	Vento moderato a 5° zero la temperatura + 1,5
Roma	746,1	+12,0	SW	6	Interram- to agitato	—	NSW	Agitato a mare	Agitato a notte nelle 10 e si intensifica a ogni vento forte a mare
Foggia	746,1	+12,9	W	54	1/2 di notte agitato	—	—	agitato	—
Napoli	742,5	+14,5	SW	36	Interram- to agitato	agitato	SW	Interram- to agitato	Vento forte per la massima e il maggiore. Foggia per la 3 di e il maggiore
Bari	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Perù	742,9	+17,0	W	46	agitato	—	—	agitato	Agitato per la massima e il maggiore
Palermo	751,4	+17,7	NSW	26	Interram- to agitato	agitato	NSW	agitato	Vento forte per la massima e il maggiore. Foggia per la 3 di e il maggiore. Bari per la 3 di e il maggiore

* Si suppone manca

Strumenti meteorologici e tavola di raffronto fra scale termometriche (John Theophilus Desaguliers, *A course of experimental philosophy*, London: printed for John Senex ..., W. Innys and Richard Manby ..., 1734-1744).

annuali e articoli su meteorologia, sismologia, astronomia, geodesia e magnetismo terrestre. La struttura dell'Osservatorio del Collegio Romano fu ben presto presa a modello a Pesaro da Luigi Guidi (1824-1883), fondatore nel 1861 e direttore dal 1861 al 1883 dell'Osservatorio *Meteo-Sismico Valerio* di Pesaro, giustamente considerato l'iniziatore di misure sistematiche di meteorologia nella sua città. Guidi fu aiutato nella sua impresa dalla locale Accademia Agraria, dai consigli di Serpieri, rettore dell'Università di Urbino ed eminente studioso di meteorologia, e dal sussidio straordinario di 20.000 lire che il commissario generale per la provincia delle Marche, Lorenzo Valerio, assegnò al Municipio di Pesaro per la costruzione di un osservatorio meteorologico. Guidi realizzò una rete termo-udometrica provinciale che ebbe sempre vita difficile per la pessima situazione economica dell'Osservatorio. Alla sua morte (1883) divenne direttore Pio Calvori, di Fano. L'Osservatorio *Valerio* restò sempre in ambito governativo, con un piccolo finanziamento del governo di Roma; tuttavia mandò sempre i dati delle osservazioni anche alla rete di Denza. L'Osservatorio *Valerio* continua ancora, dopo 150 anni, a essere gestito dal Comune di Pesaro.

All'Osservatorio astronomico di Palermo le osservazioni meteorologiche furono avviate alla metà del 1791 per iniziativa dell'astronomo Giuseppe Piazzi (1746-1826). Le misure furono affidate a Niccolò Cacciatore (1770-1841) e si protrassero regolarmente fino al 1817, quando Piazzi si trasferì a Napoli e Cacciatore diventò direttore dell'Osservatorio. Di questo periodo si conservano ancora un barometro di Ramsden e un igrometro di De Saussure. Cacciatore si prodigò affinché altri osservatori sorgessero in diverse località della Sicilia (Agrigento, Trapani, Catania). Alla sua morte il figlio Gaetano divenne il nuovo direttore dell'Osservatorio astronomico. Dal 1842 al 1853, le misure astronomiche furono curate da Ragona, mentre G. Cacciatore si interessò specialmente di dati meteorologici. Nel 1849 G. Cacciatore fu allontanato dall'osservatorio per le sue simpatie rivoluzionarie e la direzione venne affidata a Ragona. Quest'ultimo dette grande impulso con nuove misure (radiazione solare, ozonometria) e con altri progetti alla meteorologia, ma la sua fedeltà al regime borbonico gli costò, dopo l'annessione della Sicilia al Regno d'Italia, l'allontanamento dall'Osservatorio e il trasferimento nella piccola sede di Modena. Al posto di Ragona, nel 1860, fu reintegrato G. Cacciatore mentre Tacchini, giovane direttore di Modena, divenne astronomo aggiunto dell'importante sede di Palermo. Agli strumenti meteorologici acquistati da Ragona (psicrometro di August, pluviometro Caruso), si aggiunse la ricca collezione di strumenti della nuova direzione Cacciatore e delle successive gestioni (atmometri di Vivenot e Cantoni, barometro di Deleuil, igrometro di Chistoni).

Dopo varie e complesse vicende, la meteorologia dell'osservatorio di Palermo ha proseguito per tutto il Novecento, anche con gravissime difficoltà, nella sede dell'osservatorio astronomico, fino al momento attuale. I dati raccolti rappresentano un prezioso contributo di oltre 200 anni di osservazioni.

Cenni sulle reti meteorologiche del Novecento

Come si è visto, il primo servizio meteorologico nazionale postunitario cominciò a operare nel 1879 come R. Ufficio Centrale di Meteorologia (UCM), ivi compreso il Servizio Presagi. Con l'assunzione della responsabilità del servizio geodinamico, dal 1887, l'UCM subì nei primi trent'anni di attività numerose variazioni di regolamento e funzioni, che avevano fortemente condizionato lo sviluppo organico del servizio nazionale, tanto che nel 1906 si dovette mettere mano a un riordino normativo.

Furono gli anni caratterizzati da una rapida evoluzione delle attività connesse con le previsioni del tempo, con le prime ascensioni con aerostati e la realizzazione di campagne di ascensioni dei servizi meteorologici europei facenti capo alla Organizzazione Meteorologica Internazionale (OMI), alle quali l'UCM collabò attivamente. Crebbe l'interesse dei meteorologi per gli strati più alti dell'atmosfera e fu in questo scenario che iniziò a costituirsi il Servizio Aerologico, che divenne in seguito una parte essenziale dell'attuale Servizio Meteorologico dell'Aeronautica.

Luigi Palazzo (1861-1933), succeduto nel 1900 a Tacchini alla direzione dell'UCM, contribuì fortemente allo sviluppo complessivo dell'Ufficio, ma tra le sezioni privilegiò la Sezione Presagi in considerazione della necessità crescente nel Paese delle previsioni del tempo. Nonostante la maggiore efficienza e qualità del servizio prestato dall'UCM, le istituzioni interessate alle previsioni del tempo (il Servizio Aerologico, l'Istituto Idrografico della Marina Militare, il Regio Magistrato delle Acque di Venezia), richiedevano previsioni sempre più specializzate.

Durante la prima guerra mondiale il Servizio Aerologico, la Sezione Meteorologica del Comando Supremo e l'Istituto Idrologico della Marina accentuarono le loro capacità operative evidenziando l'esigenza di creare un organismo specializzato per le previsioni del tempo, distinto dall'UCM. Ciò avvenne di fatto nel 1925 quando il Commissariato per l'Aeronautica avocò a sé il settore previsionistico e la Sezione presagi, ribattezzata Ufficio presagi, passò alle dipendenze del nuovo ente. Il mutamento di gestione segnò storicamente la nascita di fatto del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare.

L'Ufficio Centrale si è andato trasformando sempre di più in un servizio meteorologico per l'agricoltura ed esiste ancora, con la nuova

denominazione di Unità di Ricerca per la Climatologia e la Meteorologia applicate all'Agricoltura del Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (CRA-CMA).

Nel 1894, con la morte di Denza, l'Associazione Meteorologica Italiana, da lui fondata nel 1880, ebbe segni di profondo cedimento.

Nel 1907 il Ministero dei Lavori Pubblici costituì il R. Magistrato delle Acque, erede di uno storico ufficio del governo della Serenissima: esso attualmente è un istituto periferico del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con sede a Venezia. Al tempo della sua istituzione il Magistrato aveva il compito di fornire la raccolta delle osservazioni idrologiche in relazione a quelle meteorologiche per le province del Veneto e del Friuli e di parti delle attuali province di Trento e Trieste. In relazione alla peculiarità di tali compiti, al Magistrato alle Acque venne demandata anche la funzione di provvedere alla raccolta sistematica delle osservazioni idrografiche e marine attraverso l'istituzione del primo Ufficio Idrografico Centrale. Giovanni Pietro Magrini, studioso di idrografia e di oceanografia, primo direttore dell'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque, ebbe il merito di avere attribuito una grande importanza ai temi dell'idrografia marittima organizzando un Servizio Mareografico in seno alle attività dell'Ufficio Idrografico. Tale servizio era specificatamente dedicato alle lagune e ai litorali nord adriatici e in particolare con il compito di provvedere alla raccolta sistematica e ininterrotta dei dati di marea lungo la costa nord adriatica e nelle lagune mediante stazioni mareografiche permanenti.

Nel 1912 a questo primo Ufficio Idrografico si aggiunse l'Ufficio Idrografico del Po con sede a Parma che aveva il compito specifico di controllo sul più grande fiume italiano. Nel 1917 dall'allora Ministero dei Lavori Pubblici venne costituito il Servizio Idrografico e Mareografico Italiano con lo scopo di uniformare, organizzare e rendere disponibili le misurazioni pluviometriche, idrometriche e mareografiche in Italia. Prima di allora, tali misurazioni erano eseguite in maniera non coordinata da singole strutture che avevano svolto tale compito negli stati preunitari. Il Servizio idrografico ha anche proceduto, fino alla sua dismissione, alla pubblicazione dei cosiddetti *Annali idrologici*, relativi ai vari compartimenti in cui era stato diviso il territorio. La divisione in 14 compartimenti ricalcava grossomodo i bacini idrografici dei principali fiumi italiani e teneva conto della particolare natura amministrativa dei vari territori, più precisamente i 14 compartimenti; tale Servizio è cessato nel 1998.

Nel 1923 fu istituito il Commissariato per l'aeronautica con una Sezione Aerologica e un Servizio Presagi.

Nel 1934 venne stabilito su tutto il territorio nazionale e coloniale un servizio meteorologico unitario, affidato alla Rete dell'Aeronautica Militare

che forniva i dati su scala sinottica per le previsioni del tempo ed era inserita in tempo reale nel circuito internazionale.

Negli anni seguenti si aggiunsero molte altre reti alcune su scala nazionale.

Nei primi anni cinquanta del Novecento le principali reti esistenti erano quella del Ministero dei Lavori Pubblici, del Servizio Idrografico, del Ministero dell'Agricoltura, dell'Ufficio Centrale di Meteorologia, del Ministero dell'Aeronautica - Servizio Meteorologico, del Ministero della Marina - servizio Idrografico. A tali reti, nella seconda metà del secolo scorso presto se ne aggiunsero altre gestite da Regioni, Province, enti privati, enti industriali, enti culturali, enti religiosi. A questa profonda trasformazione si deve aggiungere anche la perdita di importanza di alcune reti di origine storica.

Note

Riguardo alla sede di Padova, particolarmente attiva in quel periodo, è opportuno osservare che Toaldo e Chiminello operarono in alcuni periodi con due gruppi diversi di strumenti e due orari diversi, uno relativo alla serie iniziata da Poleni e proposta da Jurin, l'altro con la serie della Societas Palatina. Toaldo a sua volta fondò una serie italiana di 32 osservatori che andò scomparendo all'inizio del diciannovesimo secolo e propose anche un'interessante iniziativa, legata al "Giornale AstroMeteorologico" di cui era editore. Nel giornale oltre alle effemeridi astronomiche si pubblicava un bollettino dell'anno, una previsione giornaliera dello stato del tempo del giorno successivo, basata sulla statistica di quanto era avvenuto in tale data negli anni precedenti, una serie di articoli contenenti informazioni sulla meteorologia, istruzioni sull'uso degli strumenti e misurazioni di grandezze meteorologiche. L'iniziativa terminò con la morte di Toaldo e di Chiminello.

Borchi E., R. Macii e M. Parisi R. 1990, *Il barometro. Storia ed applicazioni nell'Osservatorio Ximeniano*, pp. 117 - 120, Firenze.

Camuffo D. 1995, La nascita delle reti meteorologiche, in *Atti del Convegno Padre Francesco Denza nel centenario della morte*, Moncalieri, 13 - 15 dicembre 1994) pp.111 - 115, Tipolito Subalpina srl, Torino.

Iafrate L. 2002, Verso un ufficio meteorologico centrale anche in Italia?, in *Presenze scientifiche illustri al Collegio Romano*, Atti del Convegno (Roma, Ufficio Centrale di Ecologia Agraria, 26 novembre 2001, pp. 65 - 76, Roma.

La meteorologia all'Osservatorio Ximeniano

L'attività di ricerca scientifica degli Scolopi di Firenze, nasce verso la fine del Settecento nell'edificio di San Giovannino, a seguito dell'eredità di P. Leonardo Ximenes (1716-1786). La meteorologia, anche dopo la conduzione dell'osservatorio da parte dei pp. Scolopi, rimase un'attività accessoria alle principali attività scientifiche dell'Osservatorio, l'astronomia, l'idraulica e la meccanica, così come erano state programmate da Ximenes fino dalla metà del Settecento. Non conosciamo quali strumenti meteorologici siano stati inizialmente adoperati; di tutta la primitiva strumentazione sono rimasti solo un barometro/igrometro di Angelo Pasquetti, costruito nei primi anni dell'Ottocento, un barometro a pozzetto, costruito da Schiavetto, un termometro di Dollond, riconducibile addirittura a Ximenes e un barometro portatile, privo di firma ma attribuito a Dollond, costruito anche esso nei primi decenni dell'Ottocento.

Le prime osservazioni vennero trascritte, a partire dal 1812, nel Registro delle osservazioni. Sicuramente è questa la data di nascita della nuova sezione di meteorologia nell'Osservatorio, diretto in quel periodo dal P. Gaetano Del Ricco (1746-1818).

Sono riportate le letture di pressione, in pollici, di temperatura in gradi Réaumur, di umidità relativa e di declinazione magnetica.

A partire da gennaio 1814 le letture divennero regolari e le osservazioni vennero fatte due volte al giorno, al mattino e alla sera, nel gennaio del 1815, vennero introdotte le letture della temperatura di un termometro esterno; dal 21 gennaio 1820 la stazione meteorologica dell'Osservatorio divenne completa, le misure divennero regolari. Alle letture che venivano già effettuate due volte al giorno, alle 7 del mattino e alle 11 della sera, venne aggiunta una terza lettura, a mezzogiorno.

Dal 1843 per la misura della temperatura vengono adoperati nuovi termometri a massima e minima, dal 1856 la misura dell'umidità venne effettuata non più con l'igrometro a capello ma con uno psicometro di August, dal 1872 la misura della pressione dell'aria, venne eseguita con il barometro di Fortin, costruito da Giustino Paggi; l'anno seguente comparve nel registro la quantità di acqua evaporata; le misure di evaporazione

	Barometro	Termometro Internum	Termometro Externum	Declinazione all'ora dell'ora della sera giorno	Stato	Nota Cielo
1.	28.2.8	4.7	24. -	17.3	E. S. E.	nuvola
2.	28.2.11	4.3	26. -	17.4	B. S. S.	nuvola
3.	28.2.15	6.6	26.2	17.4	B.	nuvola e pioggia
4.	27.9. -	2.1	24.5	17.3	B.	pioggia
5.	28.2.1	4.7	26.2	17.4	C.	Avano imbrogliato
6.	27.10.7	10.1	24.7	17.3	vari	nuvola
7.	27.10.7	8.8	27.6	17.2	S. S. O.	nuvola
8.	27.10.8	6.8	26.1	17.3	B. E.	Avano nebbia
9.	27.9.4	7.2	24.8	17.4	S. E.	Sereno
10.	27.10.1	5.5	25.6	17.3	S. E.	Sereno
11.	27.10.9	2.4	24.8	17.2	S. E.	Sereno
12.	27.11.2	4.9	26.7	17. -	S. E. S. O.	Sereno con nuvola
13.	27.11.5	5.5	25.1	17. -	S. E. S. O.	Sereno con nuvola
14.	28.2.4	6.1	25. -	17.2	B.	S. S.
15.	27.10.8	9.2	24.4	17.2	B. S. E.	Spicchio
16.	27.2.9	6.7	27. -	17.4	B. S. S.	pioggia
17.	27.10.6	9.8	25.4	17.6	B.	quasi sereno
18.	28.2.1	6.1	26.1	17.9	B.	nuvola
19.	28.2.3	4.8	29.4	17.9	C.	Sereno
20.	28.2.8	5.3	25.2	17.9	C. S. O.	nuvola e sereno
21.	28.2.11	6.2	26.5	17.8	S. S. O.	nebbia
22.	28.2.1	6.1	25.4	17.9	B.	nuvola
23.	28.2.1	7.5	25. -	17.9	vari	Spicchio
24.	27.11.7	5.8	26.5	17.9	B.	nuvola
25.	27.10.5	8.8	24.5	17.7	S. E.	nuvola
26.	27.6.6	7.2	24. -	17.8	S. E.	nuvola chiara
27.	27.8.2	4.9	24.9	17.8	S. E.	nuvola chiara
28.	27.9.8	5.7	23.4	17.8	S. E.	Sereno con nuvola
29.	27.8.1	6.2	23.3	17.8	S. E.	Nuvola e pioggia

Prima pagina manoscritta delle osservazioni meteorologiche iniziate all'Osservatorio Ximenesiano nel 1812.



furono eseguite con strumenti ideati dal P. Filippo Cecchi. La sezione di meteorologia dell'Osservatorio si avvaleva all'epoca della collaborazione dello scolio P. Pio Liverani, aiuto presso l' Osservatorio Ximeniano. A partire dal dicembre 1872 Liverani pubblicò sul Giornale agrario italiano un *bollettino*, nel quale, oltre a fornire spiegazioni sulle cause di certe situazioni climatiche in Toscana, riportò anche grafici sull'andamento dei principali parametri meteorologici. In quegli anni in Italia si era prossimi ai profondi cambiamenti, che portarono alla nascita della meteorologia nazionale: sotto la direzione di Cecchi la meteorologia all'Osservatorio acquistò un'importanza straordinaria, non solo per le sue numerose invenzioni nel settore, ma soprattutto perché l'Osservatorio divenne un polo di eccellenza in Toscana, dove il padre scolio aveva realizzato e coordinato una rete meteorologica. La strumentazione era di ottimo livello: nel 1872 vennero introdotti i barometri tipo Fortin, più precisi dei tradizionali barometri a pozzetto o a sifone; nel 1875 era stato acquistato dal Tecnomasio di Milano uno psicrometro a ventilatore, nel 1876 fu acquistato un barometro Fortin della ditta Duroni di Torino, che doveva essere lo strumento campione sul quale tarare i barometri della rete meteorologica della Toscana. Il 1878 è l'anno dell'assetto definitivo della sezione meteorologica dell'Osservatorio. Tra gli strumenti tradizionali apparvero anche i primi strumenti registratori. L'evoluzione della tecnologia aveva reso questi nuovi strumenti sempre più precisi, affidabili, di facile manutenzione e di costi contenuti.

Da una lettura attenta dei registri delle osservazioni meteorologiche dell'Osservatorio Ximeniano si nota che nel 1894 compaiono i dati relativi alla misura della pioggia caduta, rilevati con un pluviografo della ditta Richard. L'analisi delle registrazioni di questo strumento aveva consentito non solo la misura della quantità di pioggia caduta ma anche la sua durata. Nel 1895 venne acquistata una serie contenuta di strumenti registratori costruiti sempre dalla ditta Richard di Parigi. Sotto la direzione del P. Guido Alfani (1876-1940), dai primissimi anni del Novecento, la strumentazione meteorologica dell'Osservatorio venne ampliata con un massiccio acquisto di altri strumenti registratori. Alle tradizionali misure, rilevate manualmente tre volte al giorno, alle 7, alle 14 e alle 19 vennero affiancate quelle registrate con continuità su carta dai nuovi strumenti. Questi erano allocati in due stanze, entrambe rivolte a Nord: in una di queste era collocata la *gabbia meteorica* dentro la quale erano posti la maggior parte degli strumenti; l'altra stanza era dedicata alle misure di pressione. Nel 1913 Alfani acquistò un bellissimo esemplare di barometrografo Agolini tuttora funzionante. Nei primi anni del Novecento Alfani dotò l'Osservatorio di alcuni strumenti idonei alla misura della radiazione solare, più

Anemoscopio sul tetto dell'Osservatorio Ximeniano (secc. XVIII - XIX).

precisamente per la misura del soleggiamento e della intensità calorifica dei raggi solari. L'interesse per le misure di radiazione solare era stimolato dall'importanza sempre crescente che esse assumevano per l'interpretazione dei dati climatologici e meteorologici nelle differenti regioni del nostro pianeta. La descrizione dell'attività dell'Osservatorio e delle innovazioni che vi furono portate nel difficile periodo dopo la seconda guerra mondiale sono riportate, in una breve memoria del direttore P. Cesare Coppedè (1880-1964). Nel 1973, con la direzione di P. Dino Bravieri (1923-2008), iniziò un intenso periodo di realizzazioni strumentali presso la sezione meteorologica dell'Osservatorio; nella primavera del 1976 fu costruito un giardino pensile a prato, nel cui centro fu disposta una nuova capannina in sostituzione della vecchia capanna meteorica e vi furono collocati prima gli strumenti per misure termiche e igrometriche a lettura diretta e, successivamente, anche alcuni sensori delle stazioni automatiche. Nel 1995 entrò in esercizio la Stazione Automatica Ximeniano (SAX), gestita completamente dall'Osservatorio: i sensori della stazione furono collocati, per perseguire la massima omogeneità possibile dei dati rilevati con la serie storica delle misurazioni effettuate in passato, nelle stesse posizioni della preesistente strumentazione meccanica; inoltre per alcuni anni le letture manuali furono confrontate con quelle automatiche. Con la trasformazione dell'Osservatorio Ximeniano in Fondazione, avvenuta nel 2004, è stata messa in funzione una nuova stazione meteorologica automatica; è continuato il servizio di informazione e di certificazione delle condizioni meteorologiche della città di Firenze ed è stato redatto un bollettino annuale (annuario) sullo stato del tempo; sono cominciate anche molte nuove attività di ricerca sperimentale: realizzazione di strumentazione per la misura del contenuto di ioni dell'atmosfera, realizzazione di unità di misura, in Toscana e nelle Marche (Pesaro), della radiazione UVA, UVB; UVC e dei danni biologici da essa prodotti, realizzazione di strumentazione per la misura del CO e della CO₂ ed altri gas nocivi.



Stazione meteorologica digitale su una terrazza dell'Osservatorio Ximeniano. Sullo sfondo la cupola di Brunelleschi della cattedrale di Santa Maria del Fiore.

La sismologia

Osservazione strumentale dei terremoti dal XVIII al XX secolo

Graziano Ferrari, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

La sismologia è una scienza molto giovane, con radici profonde nel pensiero naturalistico e filosofico premoderno. Se si escludono le introduzioni di alcuni manuali attuali di sismologia, spesso esempio di una concezione finalistica della storia della scienza, non esiste ancora una vera storia della sismologia intesa come conoscenza delle attività degli studiosi che hanno costituito questa comunità scientifica (Kuhn 1970). Nelle poche pagine che seguono, non essendo possibile riempire questo vuoto, si delinea un quadro sintetico della storia dell'osservazione strumentale dei terremoti, dai primi strumenti nel Settecento al secondo dopoguerra. Il vantaggio che i sismologi possono trarre dal conoscere, in modo critico, il percorso teorico e sperimentale seguito dai protagonisti della propria storia disciplinare non è da sottovalutare; non si tratta di evidenziare le tappe più importanti o le svolte ritenute decisive in relazione ai modelli attuali, ma di analizzare di nuovo le varie fasi della storia della sismologia, per comprenderne i presupposti, le motivazioni e le conseguenze teoriche e pratiche all'interno di specifici indirizzi di ricerca.

Se questo obiettivo può essere raggiunto in una corretta prospettiva diacronica, in alcune situazioni specifiche l'analisi deve essere necessariamente sincronica. Queste due diverse concezioni, oggetto di un ampio dibattito fra storici della scienza, risultano entrambe indispensabili a delineare il percorso dei primi decenni della storia della sismologia.

È da un'analisi incrociata di questo tipo che i sismologi di oggi possono ricavare dal passato vari dati sperimentali utili. Poiché i terremoti hanno un carattere di ricorrenza su tempi relativamente lunghi (decine di anni, secoli e anche millenni) e non sono riproducibili in laboratorio, se non in alcuni aspetti, essi richiedono per essere conosciuti ampie serie di dati estese cronologicamente. Da ciò emerge la necessità e l'importanza di recuperare, non solo dati storici descrittivi (che è attività tipica della sismologia storica), ma anche dati strumentali relativi all'attività sismica e all'insieme dei fenomeni che la precedono e la seguono, validandoli alla luce dei modelli attuali, quando è possibile.

Ma l'uso scientifico di dati strumentali del passato non è sempre possibile

e comunque non sempre è l'aspetto più rilevante: per esempio, le rilevazioni fatte da Luigi Palmieri, oggi una delle figure più conosciute della storia della sismologia, possono risultare di scarso rilievo scientifico ai fini di un loro utilizzo pratico. Interessante è, invece, capire l'importantissimo ruolo di questo studioso e delle sue misure per gli studiosi suoi contemporanei: basti ricordare che le sue osservazioni, strumentali e non, sull'attività del Vesuvio servirono per anni come elemento di *taratura* e di validazione delle osservazioni sui fenomeni del *vulcanismo italiano*, espressione che per lungo tempo ha identificato l'attività sismica in Italia nella teoria sismogenetica del tempo.

Sebbene la nascita della scienza dei terremoti non sia direttamente legata all'uso di strumenti, tuttavia, la progettazione, lo sviluppo e l'uso di strumenti sismici ha svolto e svolge tuttora un ruolo fondamentale nel progresso teorico e sperimentale della sismologia.

L'invenzione e lo sviluppo di strumenti per la rilevazione e la registrazione dei movimenti causati dai terremoti sono stati fortemente influenzati da due fattori: le teorie sviluppate nel tempo sull'origine e la natura dei terremoti e la disponibilità di potenziali fenomeni da osservare. A questo proposito i maggiori progressi e gli sviluppi più importanti nella storia della sismometria si sono verificati in paesi come l'Italia, gli Stati Uniti e il Giappone, soprattutto dopo terremoti catastrofici che hanno risvegliato l'interesse di studiosi e la sensibilità dei governi.

La storia documentata degli strumenti sismici è lunga circa due millenni, anche se con importanti discontinuità, e il loro sviluppo interessò principalmente l'Europa, l'Asia e gli Stati Uniti. Fino a tutto l'Ottocento, la progettazione di apparati per rilevare i movimenti sismici si è fondata su principi che sono alla base anche del comportamento di oggetti di uso quotidiano, quando sottoposti agli effetti di un terremoto. L'oscillazione di lampade e di altri oggetti sospesi (pendoli comuni), nonché di alberi (pendoli rovesci), e l'oscillazione e il travaso di liquidi da recipienti, sono stati ispiratori dei principi di funzionamento nella progettazione dei primi strumenti sismici.

La prima prova di uno strumento progettato e utilizzato specificamente per rilevare i terremoti è il sismoscopio di Zhang Hêng (78-139 d.C.) realizzato in Cina nel 132 d.C (Needham 1959). Poco più di mille anni più tardi, si trovano riferimenti ad alcuni strumenti sismici in uso presso Maragheh in Iran, ma è solo agli inizi del Settecento che si stabilì una pratica di progettazione e di uso scientifico di strumenti sismici. Ed è in Europa, ma soprattutto in Italia che, per tutto il Settecento e per la maggior parte dell'Ottocento, sono documentati la realizzazione e l'utilizzo di una grande varietà di strumenti sismici.

Inoltre, fino alla fine degli anni settanta dell'Ottocento, la maggior parte degli strumenti sismici erano per lo più dei sismoscopi, strumenti idonei cioè a evidenziare l'occorrenza di un terremoto, ma non a registrare l'evoluzione temporale del moto sismico.

Solo quando negli anni settanta e ottanta dell'Ottocento furono realizzati i primi sismografi (in Italia, Giappone e Germania), poi sviluppati sostanzialmente nei primi decenni del secolo scorso, prese forma l'attuale approccio strumentale allo studio dei terremoti. La massiccia sperimentazione di quegli anni ha permesso di stabilire l'importanza del periodo proprio di oscillazione e dello smorzamento del sensore nella progettazione di strumenti. Vennero realizzati strumenti di sensibilità sempre crescente e furono raggiunte amplificazioni fino ad allora inimmaginabili, utilizzando grandi masse in strumenti a registrazione meccanica o sistemi galvanometrici per la registrazione su carta

fotografica. E infine, quando alcuni scienziati in fuga dalla Germania nazista portarono la cultura sismologica europea in contatto con quella californiana degli anni venti del Novecento, si formò al Caltech (California Institute of Technology di Berkeley, in California) uno dei più straordinari gruppi di ricerca sismologica della storia di quel secolo.

La bibliografia di studi sull'invenzione e lo sviluppo di strumenti di registrazione degli effetti dei terremoti non è molto estesa e presenta molte lacune cronologiche e geografiche. Cercheremo di tracciare nel seguito, a grandi linee, una storia della sismometria concentrandoci in particolare su quella italiana e sviluppando in particolare l'esperienza pionieristica otto-novecentesca fino alla fine degli anni Quaranta del secolo scorso. Il periodo successivo assume connotati via via sempre più specialistici, il cui dettaglio trascende la presente trattazione.

Le origini

La sismologia strumentale ha trovato condizioni naturali per il proprio sviluppo in Europa nell'ambito delle antiche reti di osservazione astronomica e meteorologica. Ci sono prove bibliografiche che suggeriscono di un interesse scientifico per l'influenza dei terremoti sulle osservazioni astronomiche. Così, in un saggio sui piccoli e spontanei movimenti dei pendoli, Timoteo Bertelli raccolse un consistente *corpus* di prove di probabili disturbi microsismici (Bertelli 1873), per lo più osservati da astronomi nel corso delle operazioni di taratura degli strumenti, fin dal Seicento.

Non è probabilmente un caso, quindi, che la prima descrizione nella cultura occidentale, di uno strumento specificamente progettato per rilevare i terremoti sia il sismoscopio a mercurio inventato dall'astronomo francese Jean de Hautefeuille (1703).

Questo strumento era composto da un recipiente dotato di otto scanalature che facevano capo ad altrettante cavità sottostanti; il recipiente veniva riempito di mercurio che al verificarsi di una scossa, scivolava nei bicchierini sottostanti. Osservando in quali bicchierini il mercurio era caduto e in che quantità, de Hautefeuille riteneva di poter determinare approssimativamente le direzioni e la *intensità* della scossa. È curioso notare che nel 1834 il sismoscopio a mercurio ricomparve in Francia come inventato da Paul-Jean Coulier e, come vedremo in seguito, certamente realizzato e utilizzato da Niccolò Cacciatore nel 1818, in Sicilia (Cacciatore 1842).

Non è certo se de Hautefeuille realizzò mai il suo strumento, mentre abbiamo le prove negli scritti di Nicola Cirillo (1733-1734 e 1747) e di Andrea Bina (1751) dell'utilizzo dei primi rudimentali sistemi pendolari per



1) Sequenza sismica del febbraio-marzo 1783: rovina nelle vicinanze di Cinquefrondi, tavola XXIX dell'Atlante di Schiantarelli e Stile allegato alla *Istoria de' Tremuoti* ... Oltre alle drammatiche distruzioni, i consistenti effetti ambientali causati dal terremoto stimolarono gli scienziati a cercare spiegazioni e inventare strumenti.

la registrazione su sabbia, polvere o ceneri dell'ampiezza e della direzione dei movimenti sismici risultanti rispettivamente da forti terremoti in Puglia nel marzo 1731 e in Umbria nel luglio 1751.

Verso la fine del Settecento furono ideati e costruiti in Italia numerosi strumenti per rilevare e registrare i terremoti, in particolare in seguito alle reazioni emotive per i terremoti in Calabria del febbraio-marzo 1783, tanto disastrosi da ridurre la regione in uno stato di grande desolazione (1 e 2). L'impressionante sequenza di terremoti di quel periodo è stata descritta in dettaglio e con molta apprensione in giornali e lettere dell'epoca, nonché da viaggiatori, e ha spinto alla progettazione di numerosi strumenti, anche a registrazione oraria.

L'orologiaio napoletano Domenico Salsano (1783) fu probabilmente il primo a utilizzare il termine *geosismografo* nel descrivere lo strumento per rilevare i movimenti sismici, da lui realizzato.

Diversi altri strumenti furono costruiti o descritti da studiosi del tempo come Ascanio Filomarino Duca della Torre (1796) e Nicola Zupo (1784) (3) al tempo dei terremoti della Calabria.

L'abate Atanasio Cavalli fu il primo a costruire uno strumento molto simile a quello progettato da De Hautefeuille, di cui realizzò anche una versione con sistema di registrazione del tempo della scossa (Cavalli 1785a).

Già nel 1784 Cavalli, responsabile della Specola del Duca Caetani in Roma, costruì un semplice sismoscopio a mercurio *per palesare il sopravvenire di un movimento tellurico, anche quando questo non fosse avvertito da alcuno* (Cavalli 1785b). In occasione del terremoto di Piediluco del 2 ottobre 1785, avvertito anche a Roma, l'ingegnoso scienziato perfezionò il suo sismoscopio al fine di ottenere l'indicazione di più scosse successive e registrarne l'ora.

Il più antico strumento sismico giunto fino a noi è il sismoscopio a mercurio di Cacciatore, di cui sono stati realizzati due esemplari, costruttivamente coincidenti con lo strumento progettato da De Hautefeuille. Cacciatore era, dal 1817, direttore dell'Osservatorio Astronomico di Palermo e non è un caso che sia proprio un astronomo a riprendere il progetto dell'astronomo francese e a realizzarlo utilizzando

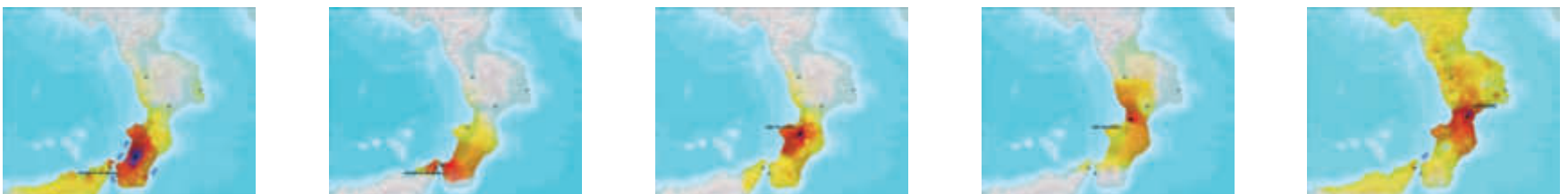
lo strumento per condurre osservazioni sul terremoto nelle Madonie del marzo 1818. Per quanto ne sappiamo, il sismoscopio Cacciatore è anche il primo strumento sismico ad avere avuto una diffusione al di là del luogo in cui è stato progettato. O.W. H. Abich (1806-1886) ricorda che uno strumento simile a quello di Cacciatore, installato presso l'osservatorio di Tabriz (Iran), *registrò* un terremoto il 4 ottobre 1846 (Ambraseys e Melville 1982).

Nella prima metà dell'Ottocento in Italia e in Europa vi è evidenza di altri modesti contributi alla progettazione di nuovi strumenti sismici.

In seguito al periodo di intensa attività sismica che ebbe inizio nel 1839 vicino a Comrie (Perthshire, Scozia), la *British Association for the Advancement of Science* (BAAS) istituì una commissione speciale per progettare strumenti per la registrazione dei terremoti in Gran Bretagna. Il più importante risultato del lavoro della commissione fu l'uso, da parte di James Forbes, di un sismometro a pendolo rovescio (Forbes 1844). Lo strumento (4) utilizzava una matita fissata parallelamente all'asta del pendolo per registrarne le oscillazioni su di una cupola sferica rivestita di carta. Sei di questi strumenti, il cui uso fu limitato alla sequenza sismica di Comrie, non diedero risultati di rilievo scientifico.

Nel 1849 circa, durante la sua permanenza a Praga, dove fu anche direttore dell'Osservatorio Astronomico del Klementinum, l'astronomo austriaco Karl Kreil costruì uno strumento sismico in legno, tutt'ora esistente, con un pendolo che scriveva su di una tavoletta (5).

Sebbene Jared Brooks di Louisville, Kentucky (Fuller 1912), risulti il primo ad aver utilizzato pendoli di lunghezze differenti per osservare i terremoti (quelli del 1811 e 1812 di New Madrid - Missouri, Stati Uniti), fu invece il barnabita Giovanni Cavalleri il primo a effettuare approfonditi esperimenti per intercettare le differenti componenti armoniche del moto sismico con una serie di pendoli (Cavalleri 1857). Benché Cavalleri abbia pubblicato un unico saggio riguardante gli strumenti sismici, i suoi contenuti rivelano la natura acuta e innovativa delle sue idee sulla registrazione dei terremoti. È probabile che Palmieri si sia ispirato all'opera di Cavalleri quando progettò il suo sismografo elettromagnetico (Palmieri 1859), come



2) Sintesi delle distribuzioni degli effetti distruttivi delle scosse del febbraio-marzo 1783. Da sinistra a destra: 5, 6, 7 febbraio, 1 e 28 marzo. I colori dal giallo al violetto rappresentano livelli crescenti di gravità del danno e della distruzione: dal VI all'XI grado della scala macrosismica Mercalli Cànconi Sieberg (MCS).

lasciano supporre almeno due similitudini costruttive: il metodo per determinare l'inizio temporale della registrazione dei terremoti (con l'avvio di un orologio nel momento in cui inizia la scossa) e il metodo per misurare la *intensità* delle oscillazioni verticali dello strumento.

Tromometri, avvisatori, sismografi 1850 - 1880

Grande è stato il contributo degli studiosi italiani allo sviluppo e alla sperimentazione di strumenti per rilevare i terremoti, soprattutto nella fase pionieristica della seconda metà dell'Ottocento. Non c'è nessuno dei maggiori sismologi europei che non sia venuto in Italia per conoscere l'esperienza dei sismologi italiani, per poi trarne beneficio nella progettazione dei rispettivi strumenti o delle reti di osservazione. Basti per tutti citare John Milne e Emil Wiechert. Il primo, famoso sismologo inglese, a cui si deve l'installazione della prima rete sismica mondiale, dopo un incontro a Roma con Pietro Tacchini – direttore dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica – volle presentare al Comitato Sismologico Britannico l'esperienza italiana come ispirazione per stabilire un analogo servizio geodinamico nell'impero britannico (Milne 1898). Anche Emil Wiechert, dopo un viaggio in Italia in cui incontrò alcuni dei maggiori

sismologi italiani del tempo (Guido Alfani, Giovanni Agamennone e Giuseppe Vicentini), rientrato a Göttingen, progettò il suo sismografo astatico orizzontale, uno degli strumenti meglio riusciti e più longevi della storia della sismologia (Schreiber 1991). Oltre a ispirare studiosi stranieri, il fervore di studi realizzati in Italia, in maniera anomala al di fuori delle istituzioni scientifiche, favorì la nascita di una comunità sismologica e la messa a punto di un metodo di rilevazione. Apriamo una parentesi per approfondire il periodo 1850-1880 in Italia, rivelatosi decisivo sia nel nostro Paese sia all'estero per passare dal naturalismo tardo-settecentesco a un approccio scientifico sperimentale prima e teorico poi.

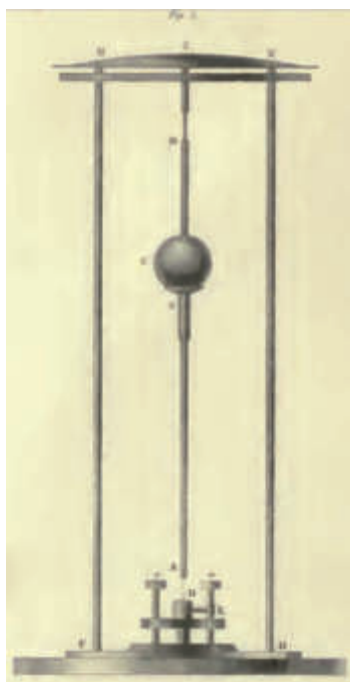
Tromometri, avvisatori e sismografi sono tre categorie di strumenti sviluppatasi in Italia nel periodo 1850-1880: le vicende che portarono alla loro progettazione, al loro perfezionamento e al loro funzionamento evidenziano le fasi attraverso cui si è formato un metodo sperimentale in sismologia in Italia.

Attorno a questi strumenti ruotarono gli sforzi progettuali di numerosi studiosi per stabilire regolari osservazioni utili alla comprensione della natura delle forze sismogenetiche. Benché siano nati con finalità scientifiche fra di loro differenti, tali tipologie di strumenti sono accomunate da una certa somiglianza, tanto che è difficile in taluni casi precisare i confini fra una categoria di strumenti e l'altra, dato che la loro differenziazione è caratterizzata dal metodo stesso di rilevazione utilizzato. I tromometri di Bertelli e di Michele Stefano de' Rossi disponevano, per esempio, di accorgimenti per attivare elettricamente suonerie e per far funzionare orologi sismoscopici, assolvendo così anche a una funzione ausiliaria di avvisatori. D'altronde, l'avvisatore sismico a *doppio effetto* Galli-Brassart in una delle sue varianti costruttive disponeva di un sistema di registrazione su carta telegrafica e quindi funzionava come un rudimentale sismografo.

I metodi di rilevazione e gli strumenti degli inizi della sismologia richiamano alla mente temi ancora attuali nella sismologia di oggi, come quello dei moti lenti della Terra, che si riallaccia al modello fisico della sorgente sismica e come quello della precisa localizzazione ipocentrale, premessa indispensabile per la delimitazione delle zone sismogenetiche e per la modellazione geometrica della sorgente sismica.

I nodi di una discussione

Nella seconda metà dell'Ottocento la sismologia si affermò come disciplina autonoma. Con la pubblicazione dell'opera di Robert Mallet (1810-1881) sul grande terremoto della Basilicata del 1857 (Mallet 1862),



4) Sismoscopio a pendolo rovescio di Forbes, utilizzato in una rete di 6 esemplari per lo studio della sequenza sismica di Comrie (Perthshire, Scozia) nel 1840-44 (da Forbes 1844). 5) Sismoscopio Kreil realizzato dallo studioso austriaco nel 1849 e utilizzato a Praga nell'Osservatorio astronomico del Klementinum, negli anni in cui Kreil ne era il direttore (Kreil 1855). Lo strumento è oggi conservato presso il museo della tecnologia di Praga.



6) Rovine della città di Polla, nel Vallo di Diano, per il terremoto del 16 dicembre 1857. L'incisione è tratta dal primo volume dell'opera di Robert Mallet *The great Neapolitan earthquake of 1857*.

per la prima volta venne usato il nome di sismologia per identificare la scienza dei terremoti. Questo fondamentale contributo non rappresentò, tuttavia, un episodio isolato: in quegli anni Julius Schmidt (1825-1884) applicò per la prima volta, nel 1847, il metodo dei *minimi quadrati* ai tempi di arrivo di un terremoto in diverse località per determinarne l'epicentro e Palmieri nel 1856 costruì il suo sismografo elettromagnetico, il primo del genere. Furono iniziative relativamente indipendenti, che introdussero importanti contributi sul piano metodologico e su quello strumentale per la determinazione dei principali parametri di un terremoto, ossia il tempo origine, la localizzazione e l'intensità. Tuttavia, fattori diversi rallentarono o sminuirono, in una certa misura, il contributo di quegli studiosi.

Metodi come quello di Schmidt e successivamente quello di Karl von Seebach (1839-1880), pur corretti dal punto di vista teorico, risultarono inapplicabili fino all'avvento e alla diffusione, agli inizi del secolo scorso, di apparati strumentali confrontabili dal punto di vista dei dati rilevati e in grado di discriminare con precisione i tempi di arrivo dei diversi tipi di onde sismiche registrate.

Non era la prima volta che venivano tentati, soprattutto in Italia, approcci strumentali attraverso semplici apparati pendolari autocostruiti, come si è visto in precedenza. Le osservazioni strumentali non avevano, tuttavia, obiettivi scientifici precisi se non la semplice temporanea *registrazione* su sabbia, cenere, pollini ecc. di solchi prodotti dal movimento di un pendolo o la fuoriuscita di mercurio da un recipiente. Nonostante ci fosse un generale interesse per la costruzione di apparati strumentali, l'assenza di un quadro teorico di riferimento allontanò di fatto la formulazione di un metodo sperimentale scientifico di rilevazione.

Fino a metà dell'Ottocento, a fianco di queste prime rilevazioni strumentali, gli studiosi dei terremoti, provenienti dalle più diverse esperienze scientifiche, tesero a sviluppare una scienza dei terremoti di tipo osservativo e descrittivo. Le prime vere misure in ambito sismologico sono riconducibili alle registrazioni di Palmieri, effettuate dal 1856 in poi, con il suo sismografo elettromagnetico.

Il 14 agosto 1851, il 9 aprile 1853 e il 16 dicembre 1857 (6) il Regno di Napoli fu colpito da disastrosi terremoti che causarono gravissime distruzioni e molte vittime (Mallet 1862, Ferrari 2004-2009). Non furono anni di soli disastri, ma anche di importanti sviluppi per la sismologia: quella osservazionale, messa straordinariamente in primo piano dallo studio di Mallet, e quella strumentale alla quale contribuirono in modo determinante Cavalleri e Palmieri.

Gli effetti dei terremoti del 1851 e del 1857 furono oggetto di particolare attenzione da parte di Palmieri. In occasione del primo condusse con Arcangelo Scacchi (1810-1893) uno studio di tipo osservazionale, con particolare riguardo agli aspetti geologici (Palmieri e Scacchi 1852), mentre nel terremoto del 1857, quando era già direttore dell'Osservatorio Vesuviano (il primo osservatorio geodinamico al mondo), utilizzò il sismografo elettromagnetico da lui progettato. Si trattava dello strumento sismico più sofisticato che fosse mai stato realizzato, perché riassumeva nell'apparato sensore tutti i metodi di rilevazione dei movimenti sismici fino ad allora utilizzati singolarmente in altri strumenti (7).

Due furono gli esemplari dello strumento fatti costruire da Palmieri: il prototipo, realizzato nei laboratori dell'Università di Napoli e uno, più raffinato dal punto di vista costruttivo, affidato alla grande esperienza del

SISMOLOGIA

costruttore di strumenti di Napoli Giovanni Bandieri. Il sismografo, costruito nel 1856, si compone di due parti distinte: un apparato segnalatore, destinato a evidenziare i movimenti sia orizzontali (allora chiamati *scosse ondulatorie*) sia verticali (*scosse sussultorie*), e un apparato registratore che, mediante una matita rossa e una nera, riporta su una striscia di carta le indicazioni rispettivamente delle oscillazioni verticali e di quelle orizzontali.

I due apparati sono collegati elettricamente tra loro e la tensione elettrica viene fornita da una pila a più elementi.

Palmieri progettò e fece costruire anche una versione portatile del suo strumento, adatta a essere installata nelle zone appena colpite da un terremoto per poterne registrare le repliche.

Due copie dello strumento furono inviate in Giappone e nel 1874 il sismografo di Palmieri era in funzione presso l'Osservatorio Meteorologico Centrale di Tokio (Kikuchi 1904; Holden 1898; Nazzaro e Tramma 1985).

La notevole complessità costruttiva del sismografo elettromagnetico Palmieri fisso, che comportava anche un elevato costo, limitò molto la diffusione di questo strumento, che avrebbe potuto accelerare lo sviluppo della sismologia strumentale in Italia della seconda metà dell'Ottocento.

Ma la messa a punto di una vera rilevazione dei fenomeni sismici e la sua sistematica applicazione si riscontrarono solo una ventina di anni dopo le

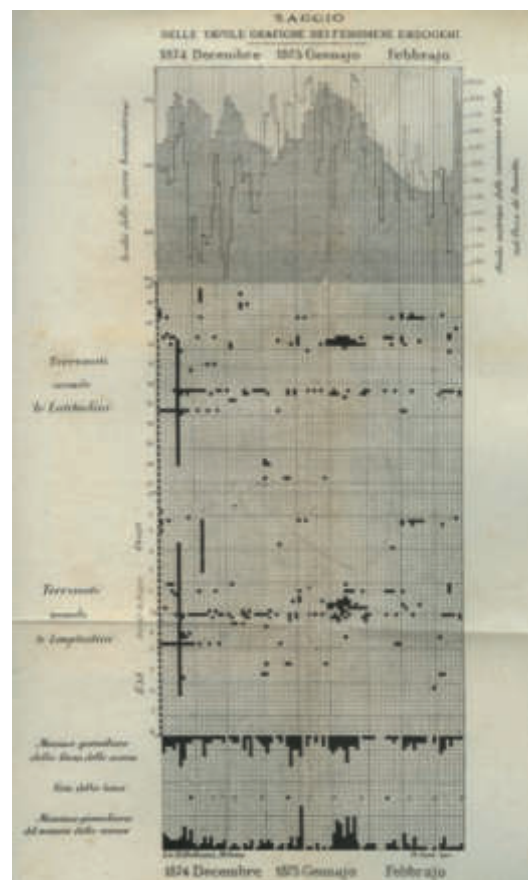
prime esperienze di Palmieri, nelle misure tromometriche di Bertelli e de Rossi. Questo intervallo di alcuni decenni intercorso fra la nascita del primo strumento per la registrazione e la *misura* dei terremoti, cioè il sismografo Palmieri, e l'avvio di un diffuso metodo di osservazione fa certamente riflettere. La correlazione fra la comparsa del primo strumento sismico e la data di nascita della sismologia come scienza mostra qui la sua inconsistenza. L'ipotesi che questo *vuoto* tragga origine dalla mancanza di un quadro di riferimento teorico trova in parte conferma nel fatto che le misure tromometriche si diffusero molto rapidamente negli osservatori meteorologici, dove una tradizione di misurazioni quotidiane era già consolidata da decenni e talvolta anche da secoli.

Questa rapida e spontanea adesione alle misure tromometriche può essere indice di quanto fosse maturo e sensibilizzato l'ambiente degli studiosi di scienze della Terra della metà dell'Ottocento in Italia.

Fra i contributi più importanti all'affermazione della sismologia, almeno



7) Sismografo elettromagnetico Palmieri in una fotografia storica della fine del XIX secolo.



8) Grafico di confronto fra intensità, frequenza e distribuzione geografica dei terremoti e dei fenomeni astronomici e meteorologici.

nell'area italiana ed europea, vi è il ruolo avuto da Bertelli e de Rossi: essi stimolarono gli studiosi contemporanei a dar vita a una comunità sismologica e a una rete di osservazione strumentale dei terremoti in Italia.

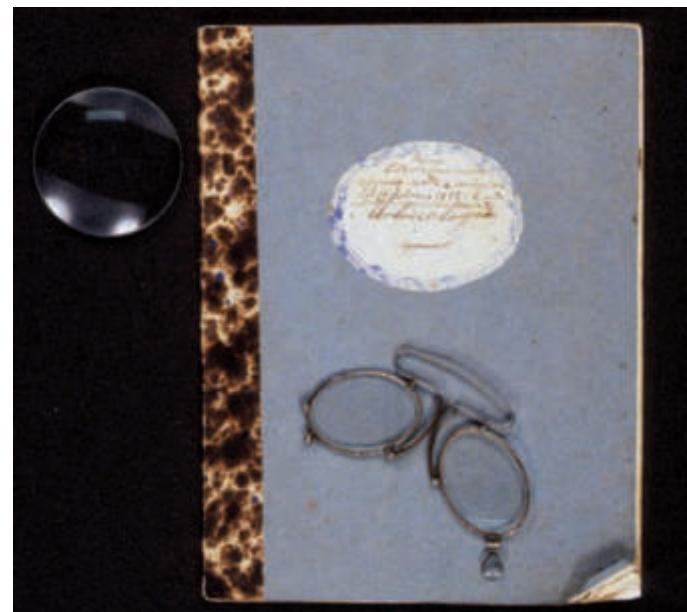
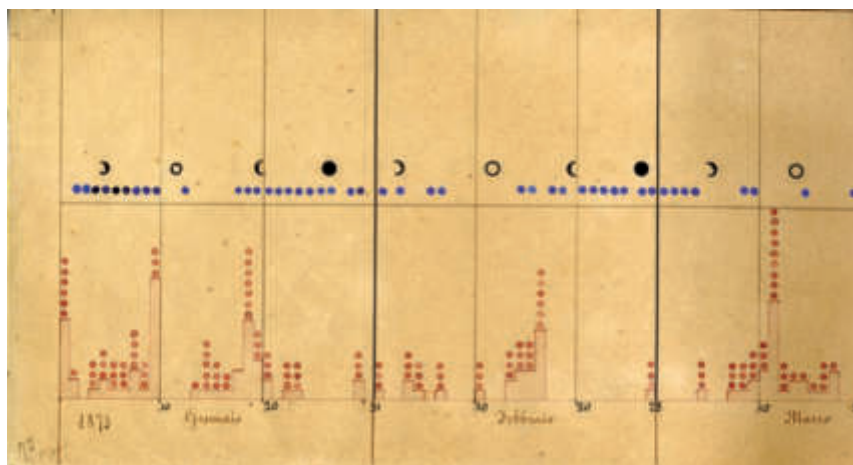
Le pubblicazioni sismologiche di Bertelli, de Rossi e dei loro seguaci, per la quantità, il genere e l'organizzazione dei contenuti si distinguono nettamente dalla produzione degli autori precedenti. Questo aspetto si rileva per esempio nel *Bullettino del Vulcanismo Italiano* (BVI) e in altre riviste del tempo (bollettini, atti di accademie ecc.) in cui, dagli inizi degli anni settanta dell'Ottocento, compaiono sempre più frequentemente articoli sismologici ricchi di tabelle, grafici e quadri sinottici con i primi tentativi di correlazione fra i fenomeni geodinamici e quelli astronomici e atmosferici più diversi (8/9); e questo non solo in Italia.

L'esperienza pionieristica dei primi sismologi italiani, infatti, non mancò di essere ripresa da studiosi europei sia all'interno di propri contributi sia con traduzioni integrali in inglese, francese e tedesco di articoli e studi italiani. Il ruolo di Bertelli e de Rossi per la sismologia del tempo è un aspetto su cui vale la pena di soffermarsi perché costituisce uno dei momenti più importanti per la nascita e il consolidamento di un metodo di osservazione scientifica dei terremoti in Italia. La stessa rete di osservatori e osservatori, articolata su tutto il territorio italiano e al di fuori di qualsiasi coordinamento istituzionale, fu determinante per lo sviluppo della successiva rete osservativa che fece capo all'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica (UCMG).

valore numerico relativo del medesimo, mi contentai di osservare semplicemente e poi anche in seguito di notare a libro la direzione del moto stesso, classificando con termini convenzionali in grandi, grandissime, piccole e minime le oscillazioni microscopiche del pendolo. Esse allora non si osservavano infatti che con una semplice lente tenuta a mano esternamente alla vetrata della custodia del pendolo stesso (Bertelli 1876) (10). Il laboratorio in cui Bertelli conduceva le sue osservazioni era *un andito scuro scuro, basso basso, adibito generalmente a deposito di carbone (...). Il locale è incomodo, le osservazioni non possono farvisi che ginocchioni, la luce esterna non vi penetra da nessuna parte* (Melzi d'Eril 1906). Le condizioni sperimentali delle prime osservazioni di Bertelli non erano molto diverse da quelle di tanti suoi predecessori: un pendolo, un po' di sabbia o una superficie ricoperta di nerofumo. L'osservazione di piccoli movimenti del pendolo, anche in assenza di terremoti nei pressi della sua sede di Firenze o altrove, convinsero Bertelli ad approfondire il fenomeno per trovare le possibili cause. Con queste ricerche Bertelli aprì nuovi orizzonti all'osservazione strumentale dei terremoti: l'idea che si potessero rilevare i piccoli movimenti del terreno non percettibili all'uomo fece sperare in una concreta possibilità di predisporre modelli per la previsione dei terremoti, sulla base dell'attivarsi della sismicità maggiore attraverso piccole scosse. La pubblicazione dei primi risultati delle osservazioni di Bertelli (1872 a, b) fu sì accolta con interesse dal suo ambiente, ma non mancò di suscitare

Dagli osservatori agli osservatori

Quando nel 1870 incominciai le mie osservazioni sul moto microsismico dei pendoli, essendo allora più preoccupato a riconoscere l'esistenza che non il



9) Confronto (sopra) fra forza e frequenza dei terremoti, aurore boreali e fasi lunari nel particolare di un grafico manoscritto di de Rossi.

10) Quaderno di Bertelli con le prime misure tromometriche, annotate con continuità dal 12 maggio 1872 al 1905, anno della sua morte.

SISMOLOGIA

diverse perplessità anche nei colleghi a lui più vicini ed esperti. Cavalleri, in una lettera a Bertelli suggerendogli grande cautela, si spinse a considerare che *con tutto ciò i suoi fenomeni potrebbero anche derivare da vere oscillazioni della crosta terrestre ed essere in relazione con altri fenomeni terrestri. In questo caso assumerebbero una importanza tutta nuova e sarebbero una vera scoperta* (Cavalleri 1872).

Agli inizi del 1873, in un lavoro espressamente dedicato a raccogliere le osservazioni sui piccoli e spontanei moti dei pendoli condotte dal Seicento fino ai suoi giorni, Bertelli prese in considerazione un'ampia bibliografia di esperienze e le analizzò criticamente [Bertelli 1873]. Questo lavoro fu per lui un'occasione per riordinare idee e osservazioni, ma al tempo stesso costituì il capitolo introduttivo degli studi successivi e la premessa di un nuovo settore di analisi, denominato dai contemporanei *microsismologia*. Bertelli mantenne una stretta corrispondenza con alcuni studiosi di cui aveva analizzato le osservazioni sui pendoli e scambiò con loro per lungo

tempo idee e pareri. La sua cautela, da più parti consigliatagli, fece sì che nei primi tre anni di misure egli approfondisse le relazioni sperimentali fra i moti dei pendoli osservati e le principali cause di disturbo: fino a quasi tutto il 1873 i moti sismici furono da Bertelli messi sempre in relazione con fenomeni meteorologici.

La messa a punto del primo tromometro e del conseguente *laboratorio* di ricerca, il 21 giugno 1872, segnò una scelta di campo precisa da parte di Bertelli, secondo cui i moti osservati erano microsismici.

Con la pubblicazione dei primi risultati, Bertelli accese l'interesse di altri studiosi di diverse città italiane; fra i primi, il già nominato Cavalleri, Domenico Conti di Cosenza, Demetrio Lorenzini di Porretta (Bologna), Francesco Denza di Moncalieri, Luigi Guidi di Pesaro, Antonio Galeazzo Malvasia di Bologna, Ignazio Galli di Velletri. In seguito la rete tromometrica si sviluppò rapidamente: nel 1877 gli osservatori che realizzavano misure tromometriche erano 6, nel 1880 già 25 e nel 1888 erano ben 44 [11].



11) Rete dei corrispondenti di de Rossi nel 1888. Da queste località gli studiosi inviarono preziose informazioni su terremoti, pubblicate poi sul BVI.

12) Rete dei corrispondenti di Denza, che cambiavano con lo studioso anche informazioni meteorologiche e sismiche.

Allo sviluppo di questa rete contribuì, già dalla seconda metà degli anni settanta del XIX secolo, la relazione che si stabilì fra de Rossi e Denza, promotore, quest'ultimo, di una rete meteorologica che raggiunse in breve oltre 200 stazioni. La fitta rete di corrispondenti di Denza (12) favorì la diffusione del progetto di de Rossi e l'avvio di osservazioni geodinamiche dove già si effettuavano osservazioni meteorologiche e talvolta anche astronomiche.

Questo insieme di osservatori rappresentò il primo nucleo di quella che diventò poi una rete di osservazione strumentale dei terremoti, su scala nazionale, non ancora organizzata istituzionalmente, e che solo sul finire degli anni ottanta dell'Ottocento venne in parte sostituita e in parte integrata nel primo servizio geodinamico nazionale dell'UCMG.

Rispetto al prototipo ideato da Bertelli, il tromometro subì numerose modifiche che ne favorirono la diffusione in tutto il territorio nazionale e soprattutto ne consentirono la normalizzazione costruttiva e sperimentale.

Il maggiore impulso alla diffusione del tromometro e alle conseguenti varianti costruttive dello strumento venne da de Rossi, anche se il contributo sperimentale e teorico di Bertelli fu sempre fondamentale.

Le misure, soprattutto negli anni 1873-1875, furono condotte con apparati sensibilmente differenti in relazione alle opinioni e agli approcci sperimentali dei diversi studiosi. Perché fossero confrontabili, tuttavia, le misure venivano tradotte tutte in unità di arco, in genere secondi; pendoli di lunghezza diversa amplificano in millimetri diversamente uno stesso spostamento angolare. de Rossi e Bertelli si incaricarono di stendere una serie di istruzioni per il collocamento degli strumenti nelle migliori condizioni sperimentali (de Rossi 1877) e calcolarono tabelle di conversione da millimetri, o decimi di millimetro, a secondi di arco. Il primo fondamentale riferimento alla necessità della normalizzazione dei tromometri, delle condizioni sperimentali e di quelle di misura, si trova in una lettera di de Rossi a Bertelli, del 10 marzo 1875: (...) *proporrei per norma il pendolo di 1.50 col peso di 100 grammi* (13). *È indispensabile adottar tutti un peso simile col filo ugualmente lungo, acciò le osservazioni siano paragonabili in ogni senso. Per risparmiare poi agli osservatori l'impazzimento della collocazione (...) proporrei che da un centro comune si diramassero le norme o quel che è più gli strumenti stessi tromometrici completi* (de Rossi 1875a). De Rossi successivamente pubblicò le norme per l'installazione e per la normalizzazione delle osservazioni con il tromometro normale (de Rossi 1875b).

Fisica e statistica dei terremoti a confronto

La sismologia strumentale dal 1850 al 1880 circa, in Italia, visse un'apparente contraddizione: nonostante fin dal 1856 fosse stato realizzato un sismografo di grande sensibilità e sofisticata concezione costruttiva, nei decenni successivi si svilupparono e si diffusero, anche negli osservatori pubblici, avvisatori sismici di grande semplicità costruttiva, spesso di modesta sensibilità e di basso costo.

La realizzazione del sismografo di Palmieri e l'attività di sperimentazione avviata dallo studioso costituirono, come si è rilevato, una novità nell'ambiente delle scienze della Terra del tempo.

Dal punto di vista costruttivo, lo strumento di Palmieri offriva notevoli miglioramenti riguardo alla sensibilità, alla precisione e all'affidabilità, in confronto alle più semplici strumentazioni fino ad allora utilizzate. Lo strumento era, per così dire, allineato con le più avanzate conoscenze della fisica e della tecnologia del tempo.

Gli strumenti e le osservazioni di Palmieri furono punti di riferimento precisi per tutti gli studiosi italiani che nella seconda metà del Ottocento si applicarono



13) Principali componenti di un tromometro. Un peso da bilancia da 100 g, un filo di rame, un tubo di lamiera e uno di vetro di protezione. A questi andava aggiunto un cannocchiale da microscopio, dotato di scala graduata.

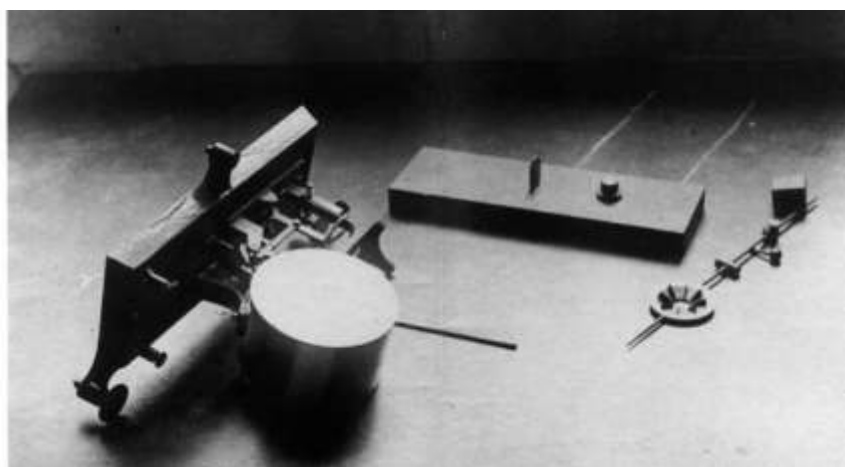
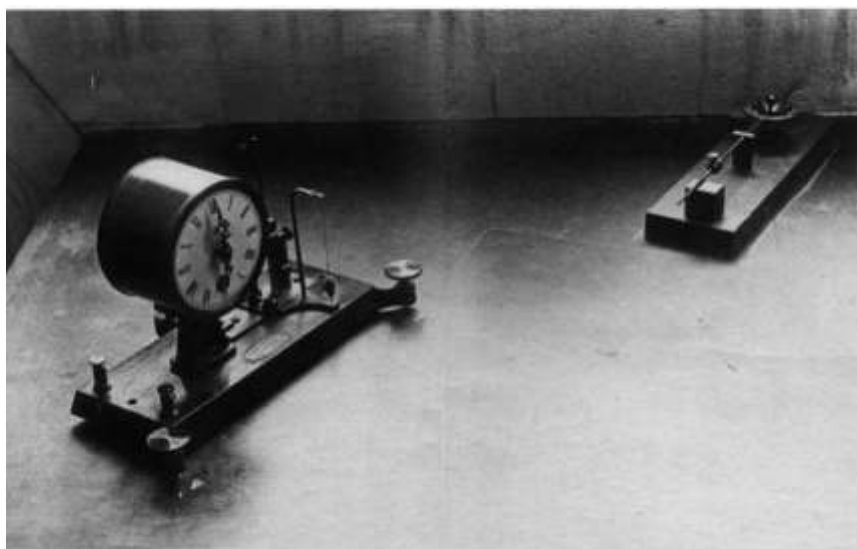
alla sismologia sperimentale. Si è ricordato come gli stessi protagonisti dell'osservazione tromometrica in Italia si fossero ispirati a Palmieri e avessero con lui importanti corrispondenze e collaborazioni scientifiche.

Nonostante il favore che i sismografi di Palmieri rapidamente incontrarono presso la comunità scientifica italiana e internazionale, questi strumenti, come si è detto, non si diffusero nei decenni successivi che in pochi esemplari, almeno nelle loro versioni originali.

A partire dalle esperienze di Bertelli, de Rossi, Malvasia, Galli e altri, fra il 1870 e il 1880 furono progettati numerosi avvisatori sismici (alcune decine), strumenti atti ad avvertire dell'occorrenza di un terremoto con sistemi acustici (campanelli, spari a salve ecc.) o visivi (arresto di orologi in

funzione o avvio di orologi bloccati ecc.) (14). A differenza dello strumento di Palmieri, il funzionamento di questi apparati era spesso ispirato a quello di oggetti di uso comune e i principi fisici applicati e le soluzioni tecnologiche erano generalmente molto semplici. Un elemento a favore della diffusione di questo tipo di strumenti era la possibilità di costruirli con tecniche e professionalità molto diffuse o addirittura potevano essere autocostruiti o semplicemente assemblati a partire da elementi disponibili in commercio per altri scopi, come il tromometro normale proposto da Bertelli e de Rossi. Per spiegare il successo di strumenti più semplici e meno precisi, rispetto allo strumento di Palmieri, occorre considerare il concorso di due fattori: uno tecnico-economico e l'altro culturale. Al primo fattore vanno attribuite le difficoltà derivanti dagli elevati costi di realizzazione dello strumento e il fatto che officine di precisione in grado di riprodurre meccanismi a orologeria come quello del registratore del sismografo Palmieri erano rare. Infatti, a quell'epoca, erano abbastanza diffusi i buoni artigiani, soprattutto nei principali centri urbani, e ciò favoriva una notevole quanto singolare condivisione di esperienze costruttive diversificate. Ma i costruttori di orologi di precisione erano molto rari in Italia. Napoli, nella prima metà dell'Ottocento, era una capitale in cui fiorirono numerosissime industrie e commerci soprattutto di svizzeri, francesi e inglesi - e in cui vi era una ricca tradizione di scambi commerciali e tecnici con gran parte dell'Europa (De Sanctis 1986). Questi elementi favorirono la nascita di un genere di strumenti al passo con le conoscenze fisiche e tecnologiche dell'epoca.

Il secondo fattore, quello culturale, si può individuare nella tendenza della sismologia di quegli anni in Italia a privilegiare più gli aspetti statistici della distribuzione cronologica e geografica dei terremoti che la descrizione del fenomeno dal punto di vista geofisico. Questo approccio favorì il rilevamento di migliaia di piccole scosse, in genere impercettibili all'uomo, in maniera abbastanza omogenea geograficamente: gran parte di questo patrimonio di dati sperimentali, a causa delle difficoltà di interpretazione di dati provenienti da strumenti anche molti diversi fra loro, è tuttora utilizzato solo in parte per gli attuali cataloghi dei terremoti. Una delle principali ragioni di questo sottoutilizzo dei dati sta nella determinazione generalmente imprecisa del tempo del terremoto, dei vari istanti in cui è stato sentito o registrato in ogni singola località. Questo aspetto fu per gli studiosi, e successivamente per i responsabili del primo servizio geodinamico nazionale, il più importante obiettivo nella descrizione di un evento sismico. L'esatta determinazione oraria opportunamente confrontata consentiva, e consente tuttora, di sincronizzare effetti sismici sui singoli terremoti individuati.



14) Avvisatori sismici Brassart dell'Osservatorio di Verona in due immagini, prima e dopo il terremoto del veronese del 7 giugno 1891. La violenza del moto sismico ha addirittura ribaltato o spostato gli strumenti.

La precisione delle determinazioni orarie era però a quel tempo molto scarsa, principalmente per due motivi: per problemi pratici di sincronismo degli orologi sul territorio nazionale e per il diverso significato dell'attivazione di vari avvisatori, che si trovavano in disomogenee condizioni ambientali e sperimentali. Le diverse situazioni, quindi, favorivano la registrazione di parti distinte e non confrontabili dell'insieme di onde sismiche. Questa confusione durò nei decenni successivi fino alla fine dell'Ottocento, ma nonostante ciò la tradizione strumentale italiana nel trentennio 1850-1880 e oltre influenzò in maniera decisiva tutta la sismologia mondiale successiva. Gli strumenti italiani realizzati alla fine dell'Ottocento ispirarono, per esempio, Wiechert nella progettazione di nuovi sismografi, i primi che abbiano consentito una lettura chiara e distinta delle varie componenti armoniche della registrazione di un terremoto (Schreiber 1991).

Benché come si è visto gli strumenti progettati in Italia non fossero in genere particolarmente sensibili o sofisticati dal punto di vista costruttivo, gli studiosi italiani furono in grado di incrementare notevolmente il numero di terremoti rilevati dai loro sismoscopi. Questo è dovuto soprattutto a quella densa rete di osservatori e osservatori, prima privata poi istituzionale, che caratterizzarono questa storia disciplinare italiana.

Nella sua ricerca di sempre più sofisticati sistemi di rilevazione, de Rossi iniziò nel 1878 (seguito da Milne nel 1882) a sperimentare un microfono sismico per *ascoltare* i rumori della Terra, e incoraggiò Temistocle Calzecchi - Onesti (1853-1920), lo scopritore del *coherer*, ad applicare la sua invenzione alla progettazione di un avvisatore sismico. Questo strumento fu effettivamente progettato, ma non vi è traccia documentaria che sia mai

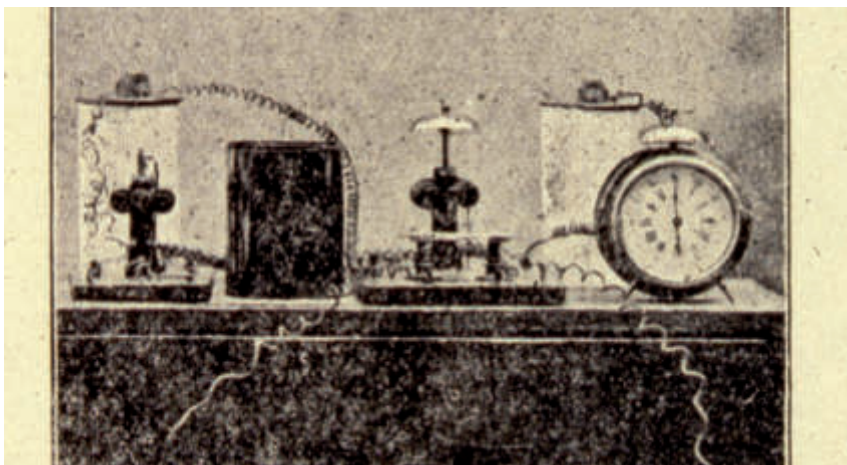
stato realizzato (Calzecchi - Onesti 1886). Solo vent'anni dopo, come risposta al drammatico terremoto di Messina del 28 dicembre 1908, il percorso intrapreso da Calzecchi - Onesti fu proseguito nel 1909 da Atto Maccioni (1909) e Antonio Prati (15). Gli strumenti radio utilizzati da Maccioni e Prati furono presentati come preavvisatori sismici, cioè come dispositivi progettati per prevedere il verificarsi di eventi sismici. Quando Maccioni presentò il suo apparato e i relativi risultati delle previsioni a Guido Alfani, quest'ultimo fu molto prudente e chiese di avere uno strumento all'Osservatorio Ximeniano di Firenze, di cui era direttore. Il sismologo fiorentino non ricevette mai lo strumento, anche perché Maccioni poco dopo abbandonò gli esperimenti, a seguito di diversi insuccessi di previsione.

La sismologia italiana si confronta con il contesto internazionale 1880 - 1900

Tutti questi tentativi di *sentire* i movimenti sismici sempre più piccoli, celavano la speranza di poter riconoscere nei terremoti più piccoli i premonitori di quelli più grandi. Per questo, il problema di *catturare* la sequenza temporale delle onde venne per un certo periodo in secondo piano. In realtà i primi strumenti in grado di registrare su carta affumicata scorrevole il movimento di una molla o di un pendolo sono riconducibili a Filippo Cecchi, padre scolio, direttore dell'Osservatorio Ximeniano di Firenze. Dal 1875, Cecchi ideò, costruì e utilizzò numerosi sismografi a registrazione su carta affumicata: il sismografo elettrico a carte affumicate scorrevoli (Cecchi 1876), il sismografo elettrico a carte affumicate scorrevoli 2° modello (Nigri 1879) e il sismografo elettrico a registrazione continua.

Si tratta di tre strumenti molto importanti dal punto di vista storico, essendo fra i primi a rendere possibile la registrazione su carta affumicata scorrevole delle tre componenti ortogonali del moto sismico. Uno di questi strumenti registrò a Moncalieri, presso l'Osservatorio del Collegio *Carlo Alberto*, il terremoto del 23 febbraio 1887 nella Liguria occidentale (16/17). Gli strumenti di Cecchi furono molto apprezzati dai sismologi, non solo italiani, del tempo. Alcuni di questi strumenti furono anche installati all'Osservatorio di Manila (Su 1988).

Nella seconda metà degli anni settanta dell'Ottocento iniziò la progressiva emigrazione di sismologi inglesi verso il Giappone. Quando gli strumenti di Forbes si rivelarono inefficaci nel rilevare la modesta sismicità del Regno Unito, i sismologi inglesi si trasferirono in Giappone, allora protettorato britannico, dove trovarono nell'elevata sismicità di quel paese un laboratorio più favorevole ai loro studi. Ci riferiamo in particolare a Milne, James Ewing e Thomas Gray, professori presso il Collegio imperiale d'Ingegneria di Tokio), protagonisti di una importante attività di ricerca e



15) Preavvisatore sismico di Antonio Prati. L'immagine è tratta da una pagina che pubblicizzava lo strumento a fini commerciali.

di sperimentazione che permise di realizzare la prima rete mondiale di strumenti sismici standard.

Quando Milne nel 1876 arrivò a Tokio vi trovò Edward Ayrton e John Perry e i suoi interessi per i terremoti si svilupparono solo quattro anni dopo. L'utilizzo di un lungo pendolo e di una base mobile, consentì a Milne di registrare a Tokio tre secondi del terremoto di Yokohama del 22 febbraio 1880. Nella primavera dello stesso anno Milne promosse la nascita della Società Sismologica del Giappone.

Ewing ottenne una registrazione più lunga e più completa per un piccolo

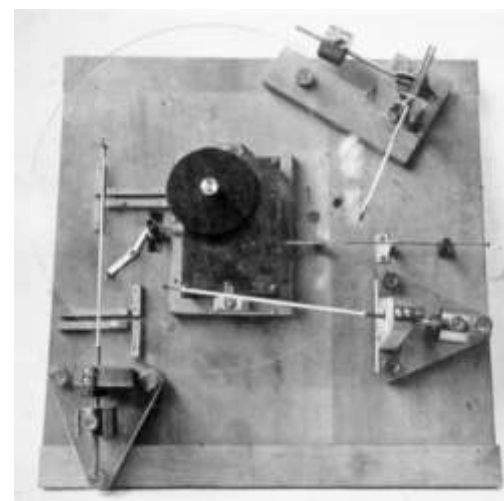
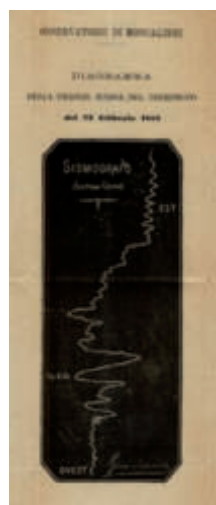
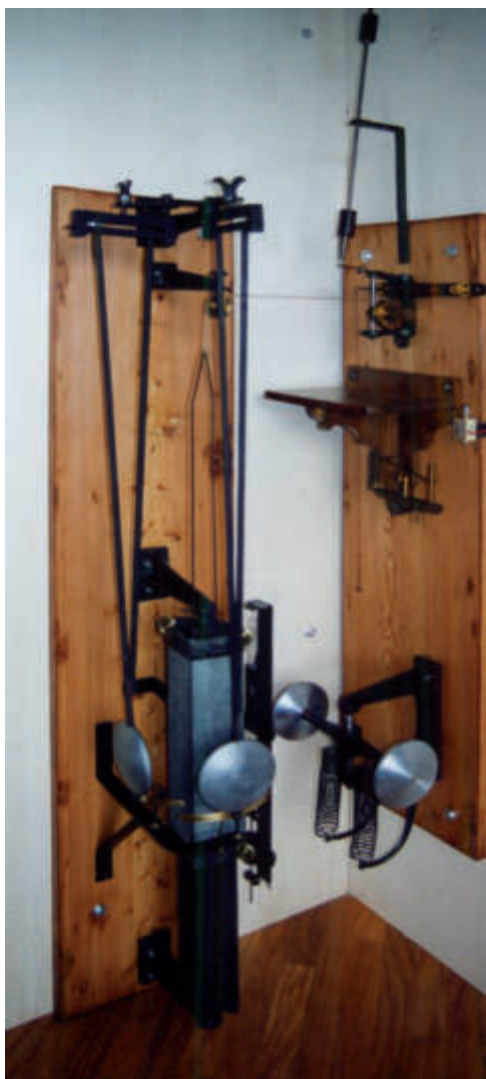
terremoto del 3 novembre 1880, utilizzando il pendolo orizzontale per la prima volta in sismologia (18).

L'invenzione del pendolo orizzontale, si rivelò un importante passo in avanti nella registrazione dei terremoti e F. Zöllner è stato il primo a riconoscere le sue potenzialità per l'utilizzo in un sismografo (Davison 1927) (18).

Il pendolo orizzontale Zöllner, originariamente sviluppato come strumento per osservare variazioni gravitazionali causate dalle maree (Zöllner 1869), è considerato un involontario precursore dei più noti sismometri a pendolo orizzontale Galitzin, nel 1905.

Milne, tuttavia, fu il primo a comprendere appieno l'importanza di questo tipo di pendolo per la registrazione dei terremoti lontani e applicò il relativo principio nello strumento noto come sismografo Milne (Milne 1896; Davison 1927).

Con l'introduzione del pendolo orizzontale, Ewing diede quindi un contributo molto originale alla registrazione dei terremoti. Il suo strumento era sviluppato su tre componenti: una verticale e due orizzontali, ortogonali fra loro, con la registrazione sopra un disco di vetro affumicato (18). Il sistema di registrazione veniva innescato da un sismoscopio Palmieri, probabilmente il sismografo elettromagnetico fisso o portatile, - 7 -; 7 alla funzione di avvisatore. Negli anni ottanta dell'Ottocento, la progettazione e la descrizione, soprattutto sulle pagine della rivista *Philosophical Magazine*, di un gran numero di strumenti da parte degli studiosi inglesi in Giappone e il loro successo nella rilevazione di terremoti impercettibili alle persone segnarono una tappa fondamentale nello sviluppo della sismologia



16) Sismografo elettrico a carte affumicate scorrevoli Cecchi (1875) dell'Osservatorio di Moncalieri, composto da tre sensori: due pendoli per i movimenti orizzontali e una molla per quelli verticali. 17) Sismogramma del terremoto della Liguria occidentale del 23 febbraio 1887, registrato da questo strumento.

18) Sistema a tre componenti di sismografi Ewing a registrazione su disco, in una foto della fine del XIX secolo.

strumentale. La circolazione di questi risultati ispirò i sismologi europei, in particolare in Italia la ditta Fratelli Brassart, costruttori dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica, Giulio Grablovitz e, via via negli anni successivi, anche Agamennone.

Nascita di un servizio geodinamico istituzionale italiano

Tre terremoti diversamente distruttivi scandirono i tempi della nascita di un servizio geodinamico istituzionale italiano: 4 marzo 1881 e 28 luglio 1883 nell'Isola d'Ischia e 23 febbraio 1887 nella Liguria occidentale.

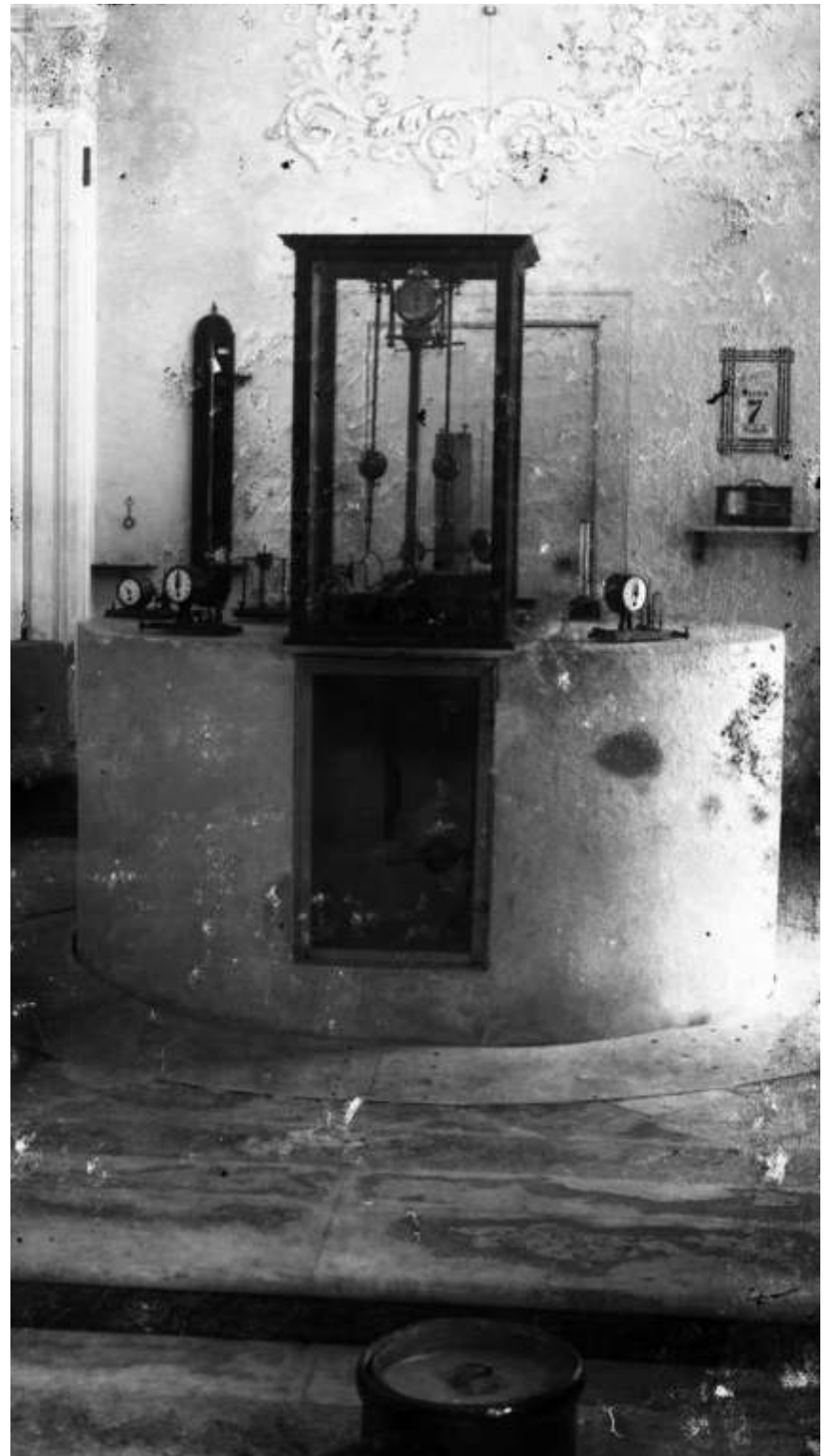
L'attività di de Rossi non passò inosservata sia a livello internazionale, da cui vennero numerosi inviti a tradurre in diverse lingue la sua esperienza, sia a livello nazionale dove Felice Giordano (1825-1892), direttore del Corpo delle Miniere, promosse l'attività di de Rossi favorendo l'avvio dell' ; ; -) 7 17 -, 01 17 -6)4 8- 47 ; , 17 , -44) 11C -6, 7 -6) - - ; - 16)4), nel 1882 dopo il primo terremoto nell'Isola d'Ischia. Questa istituzione, con a capo de Rossi stesso, prese vita presso il Servizio Geologico e doveva costituire il primo nucleo di un futuro, più strutturato, servizio geodinamico del regno.

Dopo numerosi rinvii e un altro terremoto nell'Isola d'Ischia, finalmente, nel 1884 cominciò a operare la Reale Commissione Geodinamica. Nello stesso anno, la sismologia italiana fu messa in mostra al grande pubblico per la prima volta nell'Esposizione Generale di Torino, dove una sezione fu dedicata a 35 strumenti progettati dalla maggior parte dei corrispondenti di de Rossi, oltre allo stesso studioso romano, e a più di 200 fra manoscritti, disegni e pubblicazioni di geodinamica.

Fu, tuttavia, dopo il terremoto del 1887, nella Liguria occidentale, che prese il via ufficialmente il servizio geodinamico, presso l'Ufficio Centrale di Meteorologia (UCM). Nel frattempo erano stati avviati o stavano per avviarsi i lavori per la costruzione dei primi osservatori geodinamici del primo ordine a Rocca di Papa e a Casamicciola (Isola d'Ischia) (19), realizzati su progetti rispettivamente di de Rossi e di Giulio Grablovitz. Ambedue furono i primi direttori dei rispettivi osservatori.

Nel settembre del 1887, nel Seminario vescovile dell'Aquila - in quel centro storico oggi devastato dal terremoto del 6 aprile 2009 - si tenne il primo congresso sismologico, per iniziativa della Società meteorologica Italiana, fondata e presieduta da Denza (20). Non è un caso, come si è già visto, che questa iniziativa congressuale sia stata organizzata nell'ambito di una più matura associazione disciplinare come la meteorologia.

Di pari passo con lo sviluppo di strumenti sismici sempre più idonei a registrare l'intero segnale sismico in una progressione temporale, ai



19) Pilastro sismico dell'Osservatorio del Porto d'Ischia, allestito da Grablovitz in attesa della costruzione dell'Osservatorio della Grande Sentinella di Casamicciola. Sono visibili alcuni avvisatori sismici Galli-Brassart, un sismografo Cecchi a tre componenti e, in basso, un galleggiante dei livelli geodinamici Grablovitz. Dal calendario e da alcune considerazioni contestuali, la fotografia è stata realizzata il 7 maggio 1897. Un'altra lastra fotografica di questa immagine è negli Archivi Milne nell'Isola di Wight.



20) Foto di gruppo dei partecipanti al primo congresso di sismologia dell'Aquila del 1887. Fra quelli considerati nella presente trattazione si riconoscono: 1 Francesco Denza; 2 Michele Stefano de Rossi; 3 Ignazio Galli.

sismologi italiani Cecchi, Grablovitz, Vicentini e Agamennone va il merito di avere introdotto la registrazione in continuo su carte affumicate avvolte su rulli metallici dotati di rotazione e traslazione orizzontale, anche se le iniziali velocità di scorrimento della carta erano troppo basse da consentire una distinzione delle onde di più elevata frequenza.

E' di questo periodo la comprensione in ambito internazionale che gli strumenti migliori dovessero avere periodo proprio di oscillazione maggiore del periodo delle onde che si volevano registrare. Si cominciarono quindi a immaginare strumenti pendolari di lunghezza di alcune decine di metri. Agamennone ne realizzò uno all'Osservatorio Geodinamico di Catania con massa di 300 kg sospesa a un cavo di 25 m. Nel decennio successivo furono messi a fuoco altri due importantissimi aspetti della moderna sismologia: il problema della sincronizzazione delle registrazioni

nei singoli osservatori e lo smorzamento del moto dello strumento.

Il primo riguardava sostanzialmente la precisione degli orologi utilizzati per associare una scala di tempo assoluta alle registrazioni degli strumenti sismici. A quell'epoca, in Italia, l'osservazione strumentale sismologica avveniva in un'ampia tipologia di osservatori, pubblici e privati, dotati di sistemi di determinazione del tempo universale di diversa precisione. La presenza, rara, negli osservatori di sistemi di rilevazione del tempo per via astronomica garantiva elevatissimi livelli di precisione per quei tempi, mentre la più frequente prassi di regolare gli orologi con meridiane solari (21) o con altri metodi fornivano sincronizzazioni via via meno precise (Grablovitz 1901, Agamennone 1910). Prima del collegamento di sistemi a orologeria alle tracce degli strumenti sulle carte di registrazione, su queste ultime veniva indicato ora e minuto dell'inizio della registrazione e i tempi



24) Livella Geodinamica Grablovitz da una lastra fotografica positiva conservata negli Archivi di John Milne, nell'Isola di Wight. L'immagine fa probabilmente parte della serie di lastre per lanterna magica richieste da Milne a Tacchini per presentare l'organizzazione del servizio geodinamico italiano alla BAAS.

il dibattito all'estero andò evolvendo fino all'adozione di sistemi di smorzamento di diverso tipo, in Italia la situazione si cristallizzò sulla posizione critica di Agamennone che, sia per l'autorevolezza che gli era riconosciuta sia per il ruolo di responsabile del servizio geodinamico, condizionò lo sviluppo e l'uso di sismografi in Italia fino all'avvio delle rete sismica nazionale dell'Istituto Nazionale di Geofisica, nella seconda metà degli anni quaranta del Novecento.

Mentre, in particolare negli ultimi decenni dell'Ottocento, continuava la pratica di realizzare strumenti sismici attraverso la sperimentazione diretta, adeguando passo passo le soluzioni costruttive, già dal 1879 Perry e Ayrton (1879) progettano uno strumento sismico con un approccio teorico. Il loro contributo teorico contiene due importanti elementi progettuali volti a conseguire una migliore registrazione dei movimenti sismici: il periodo naturale del pendolo doveva essere maggiore o uguale a quello delle onde sismiche da registrare e lo smorzamento viscoso del sismografo garantiva una più accurata registrazione delle oscillazioni sismiche.

L'uso diffuso di strumenti composti da pendoli per la rilevazione di fenomeni diversi dai terremoti ha portato alla registrazione accidentale del terremoto di Tokio del 14 aprile 1889 da parte di Ernst von Rebeur-Paschwitz negli osservatori di Potsdam e Wilhelmshaven, utilizzando due pendoli orizzontali (Von Rebeur-Paschwitz 1889). Ancora una volta è l'ambiente degli astronomi a dare una mano, involontariamente, ai sismologi.

Gli strumenti di Rebeur-Paschwitz erano stati costruiti per misurare le piccole variazioni della verticale. La registrazione era di tipo fotografico, in un modo simile a quello utilizzato, a quel tempo, dalla strumentazione magnetica, su carta fotografica avvolta attorno a un tamburo rotante a 11 millimetri all'ora.

Il periodo naturale del pendolo relativamente lungo rendeva lo strumento poco sensibile a terremoti locali, ma straordinariamente sensibile alle onde di lungo periodo che si propagano, per terremoti di elevata magnitudo, a migliaia di chilometri di distanza. Il sistema consentì la registrazione di circa un'ora e mezza di disturbi di varie ampiezze su poco più di due centimetri di carta fotografica. Questa scoperta spinse Rebeur-Paschwitz a ulteriori sperimentazioni e a proporre la creazione di una rete mondiale

di stazioni sismiche per registrare contemporaneamente i terremoti. Già nel 1846, Mallet (1848) aveva suggerito l'istituzione di una rete di osservatori in tutto il mondo per registrare i terremoti e la registrazione del telesisma di Tokio del 1889, da parte di Rebeur-Paschwitz, diede un forte impulso ai sismologi del tempo per la realizzazione di questa rete. Questi nuovi orizzonti dello studio dei terremoti su scala globale portarono a una maggiore normalizzazione degli strumenti e, quando la Commissione sismologica inglese adottò il sismografo orizzontale di Milne come strumento standard per il monitoraggio sismico, nacque la prima rete sismica mondiale.

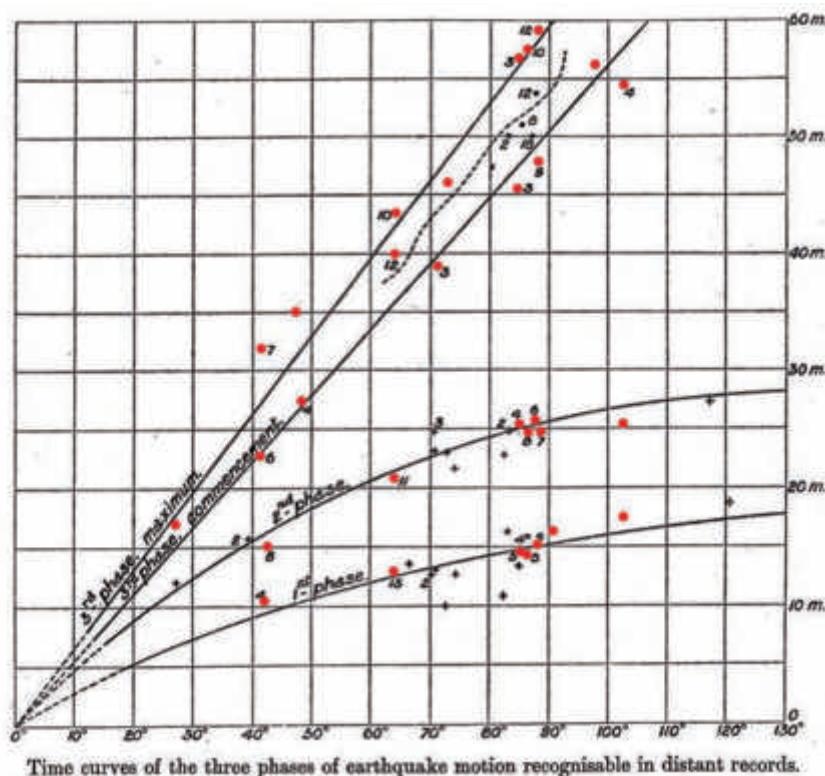
La creazione di questa rete fu certamente resa più facile dall'enorme estensione geografica dell'Impero britannico; ben presto le stazioni installate arrivarono a 38 unità.

Stabilitosi nell'Isola di Wight, di ritorno dal Giappone nel 1895, Milne avviò il confronto dei migliori strumenti sismici del tempo, installati nella sua stazione sismica di Shide. Fra questi figuravano anche un Microsismografo Vicentini, strumento che risultò da questo confronto fra i più versatili (Milne 1896).

Sempre riguardo all'attenzione di Milne per la tradizione sismologica italiana, in una lettera del 20 maggio 1898 a Tacchini lo scienziato inglese chiese delle diapositive per presentare l'organizzazione del servizio geodinamico italiano e trarne ispirazione per uno analogo nell'impero britannico (Milne 1898). Ricerche presso gli archivi Milne all'Isola di Wight hanno consentito di ritrovare almeno 3 positivi su lastra, per lanterna magica, in bianco e nero di grande formato relativi all'Osservatorio di Rocca di Papa, a quello di Porto d'Ischia (19) e a una livella geodinamica di Grablovitz (24). Solo 3 anni dopo, la rete mondiale di Milne era installata! A dispetto, tuttavia, della maggiore versatilità dello strumento di Vicentini, del suo minor costo e della maggiore finezza dei suoi tracciati, qualità riconosciute dallo stesso Milne, il Comitato britannico scelse il sismografo Milne per strumentare la rete mondiale. Questa scelta, apparentemente contraddittoria, fu probabilmente dettata da alcune ragioni di opportunità interna: gli strumenti di Milne erano realizzati dalla ditta Robert Munro di Londra, con il vantaggio di avere il controllo dei tempi di produzione,

rispetto a un'importazione di sismografi Vicentini dall'Italia, e favorire la produzione artigianale inglese. Un aspetto, invece, tecnico è legato alla maggiore semplicità e velocità di installazione di un sismografo Milne rispetto all'impianto di un Vicentini. Il risultato fu che l'obiettivo di Milne di una rete sismica globale fu fortemente depotenziato dai limiti dei suoi strumenti: basso ingrandimento, mancanza di sistema di smorzamento, bassa velocità di scorrimento della carta di registrazione. Ciò comportò una sensibilità ai soli grandi terremoti, ma uno scarso dettaglio delle onde registrate (Agnew 2002).

L'ultimo decennio del XIX secolo rappresentò un periodo di svolta per la sismologia italiana: avviarono i principali osservatori geodinamici del regno, nacque, nel 1895, la Società Sismologica Italiana e con essa il suo Bollettino, e furono sviluppati importanti contributi della sismologia strumentale, in particolare da parte di Grablovitz. Anticipando molte altre esperienze nazionali e su scala globale e continuando idealmente il lavoro iniziato 20 anni prima da de Rossi, il Bollettino della Società Sismologica Italiana conteneva una sezione dedicata alle informazioni descrittive e strumentali di terremoti italiani e stranieri.



25) Curve di velocità di propagazione delle tre fasi principali di onde sismiche riconoscibili dalle registrazioni di terremoti lontani (da Oldham, 1900 modificata). I punti identificano i dati utilizzati da Oldham, di cui quelli rossi provengono da stazioni italiane, il 74% del totale.

Già dal 1895 Grablovitz, nei suoi osservatori dell'Isola d'Ischia, fu in grado di ottenere registrazioni di terremoti di area italiana ed euro-mediterranea e nel 1896 e 1897 di registrare telesismi occorsi in Giappone (31 agosto 1896) e in India (12 giugno 1897). Dai sismogrammi ottenuti per il terremoto giapponese Grablovitz fu in grado di riconoscere tre prime serie di onde (fasi) del terremoto. In uno studio sul terremoto indiano del 1897, Richard Oldham - studioso inglese del servizio geologico indiano - riconobbe in sismogrammi italiani le tre fasi, analogamente, ma indipendentemente da Grablovitz. La letteratura sismologica internazionale riconosce a Oldham la priorità della scoperta (Davison 1927; Agnew 2002), ignorando che lo stesso Oldham la riconobbe circa vent'anni dopo (nel 1913) tale priorità a Grablovitz (Ferrari 2009). Un ulteriore segnale della particolare importanza della sismologia italiana in quel tempo deriva dal fatto che il 74% dei dati utilizzati da Oldham erano estratti da sismogrammi registrati da stazioni sismiche italiane (25).

Verso una sismologia globale: 1900 - 1920

Nei primi anni del XX secolo si registrarono importanti svolte nella progettazione di nuovi strumenti che ebbero una grande diffusione in tutto il mondo e che operarono per diversi decenni, con la messa a fuoco dei principali problemi connessi con la migliore produzione di registrazioni sismografiche, quali: l'accurata misura del tempo, la velocità e uniforme rotazione della carta di registrazione, la sensibilità, l'amplificazione e lo smorzamento. Proprio nei primi anni del Novecento i tempi si rivelarono maturi per la nascita dell'Association Internationale de Séismologie (AIS) che raggruppasse tutti i sismologi che operavano da tempo nel mondo, una parte dei quali si ritrovò nel 1901 alla prima conferenza internazionale di sismologia a Strasburgo (26), allora territorio tedesco, su iniziativa di Georg Garland (1833-1919) professore dell'Università di Strasburgo.

Nel 1902, le risoluzioni di questa prima conferenza furono inviate ai rappresentanti delle diverse istituzioni sismologiche mondiali, con invito ad aderire alla costituenda AIS.

Pur vedendo in questa iniziativa una duplicazione della rete mondiale britannica e, in maniera non dichiarata, mostrando diffidenza verso il paese proponente, la Germania, il Comitato sismologico britannico e lo stesso Milne non aderirono subito formalmente all'iniziativa, ma solo nel 1907. Le tappe forzate con cui Milne e la *Committee* condussero, negli anni 1896 e 1897, l'installazione della loro rete mondiale sembra un tentativo di ricondurre questa iniziativa associativa internazionale di sismologia, forse già nell'aria alla fine dell'Ottocento, nell'alveo dell'iniziativa britannica. L'operazione non riuscì e la divaricazione fra la rete inglese e quella dell'AIS



26) Partecipanti alla Prima Conferenza Internazionale di Strasburgo (11-13 aprile 1901).

si fece via via più ampia fino a raggiungere livelli di vera e propria rivalità (Adams 2002). Nel rendiconto della seconda conferenza internazionale di sismologia, dove si gettarono le basi dell' AIS, i rappresentanti italiani Palazzo e Grablovitz sottolineano come $604 - 174; 71; 157; 148877461401016774477, 1; 11761; 1510 - 7; 1F0 - 11414; 167, -, 1 - 1 -$ (Palazzo e Grablovitz 1904; Agnew 2002). L' AIS fu formalmente stabilita l' 1 aprile 1904 con 18 paesi aderenti di cui 4 extraeuropei. L' associazione, che esiste ancora oggi in una sua evoluzione come $6 - 617614;; 711767. - 1574A)6, 0A; 1; 7. 0 - 10N6 - 17$ (IASPEI), subì numerosi cambiamenti nei suoi oltre cento anni di vita, assumendo via via sempre di più una dimensione planetaria e oggi conta 100 paesi aderenti. Fra i principali obiettivi della nascente AIS vi furono la creazione di nuovi

osservatori e l' organizzazione di un Ufficio Centrale per la raccolta, l' elaborazione e la diffusione dei dati inviati dai paesi associati, che fu stabilito a Strasburgo insieme a una Stazione Sismica Centrale, allestita con i migliori strumenti dell' epoca. Ben presto l' AIS bandì un concorso per uno strumento che rispondesse a requisiti di efficienza ed economicità. Parteciparono anche la ditta Luigi Fascianelli, costruttore ufficiale dell' UCMG, con un sismografo a tre componenti progettato da Agamennone.

Fin dai primi anni e le prime decisive azioni di coordinamento dell' attività scientifica dei più illustri sismologi del tempo - fra i tanti: Emil Wiechert, Boris Galitzin, Fusakichi Omori, Harry Reid - i sismologi italiani furono fra i protagonisti più attivi e apprezzati: Palazzo, Agamennone, Grablovitz, Adolfo Càncani, Alfani, Oddone, che ricoprirono anche importanti ruoli di

coordinamento di commissioni di studio. Palazzo e Oddone ebbero la presidenza dell'AIS rispettivamente dal 1905 al 1907 e dal 1930 al 1936. L'Ufficio centrale e la stazione sismica centrale erano a disposizione di studiosi degli stati associati, per esperimenti e studi.

La necessità di avere registrazioni più complete e fedeli delle onde sismiche propagatesi da terremoti vicini o lontani concentrarono l'attenzione dei sismologi sulla sensibilità e amplificazione degli strumenti, sull'introduzione o meno dello smorzamento e sulla sincronizzazione dei tempi riportati sulle registrazioni sismiche.

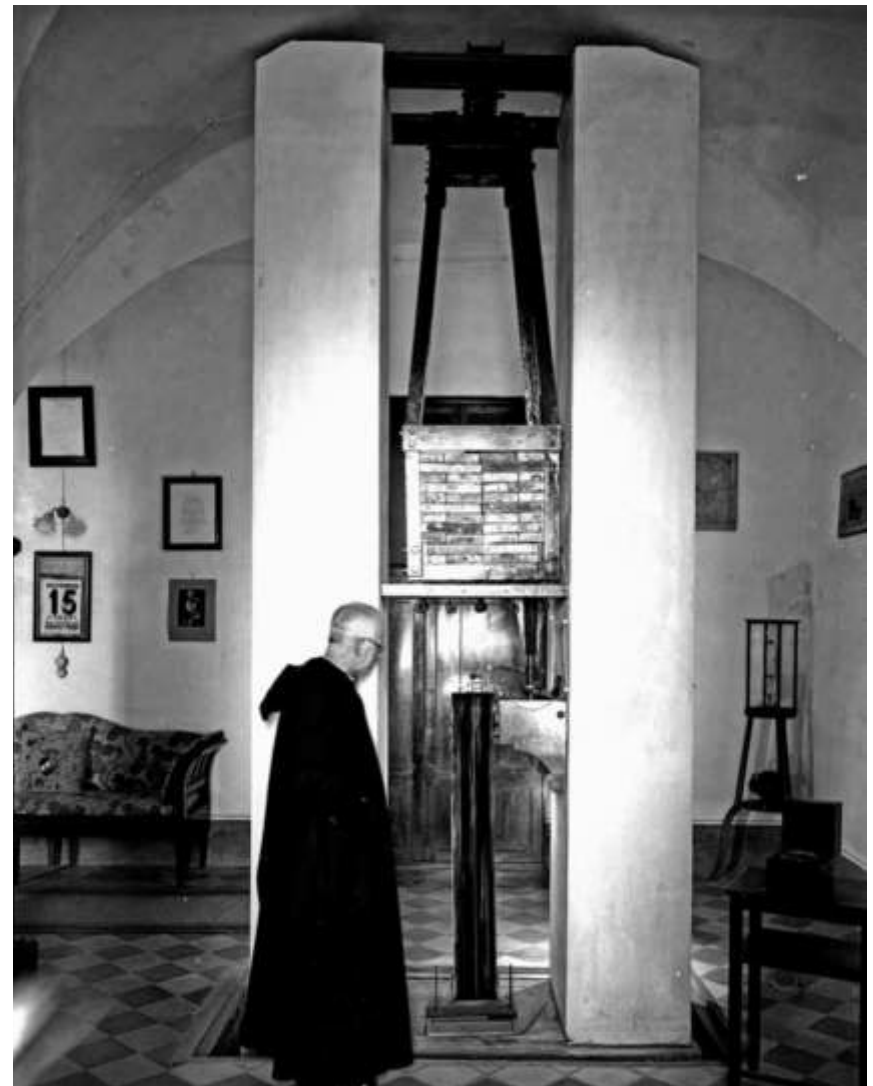
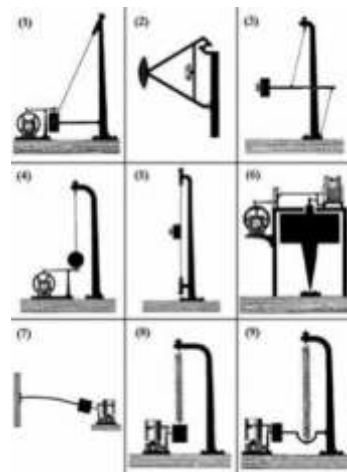
I problemi di sensibilità e di amplificazione avevano implicazioni finanziarie, quello dello smorzamento fu di interesse teorico per gli studiosi coinvolti nella progettazione e nella costruzione di strumenti sismici in Russia e in Italia, per esempio, così come in Giappone.

Riguardo ai problemi di sensibilità e di amplificazione, due opposte scuole di pensiero si confrontarono per diversi decenni. Alcuni sostenevano il sistema di registrazione fotografica, che risolveva il problema dell'attrito del sistema di registrazione meccanica con carta affumicata.

La registrazione su carta affumicata risultava la più economica in quanto, in assenza di registrazioni, la carta poteva essere nuovamente affumicata, mentre quella fotografica no. Lo spessore della traccia di registrazione nel sistema fotografico era inoltre molto maggiore rispetto a quello su carta affumicata, rendendo le registrazioni su quest'ultima più fini (27).

I sostenitori della registrazione meccanica affrontarono il problema

dell'attrito tra il pennino di registrazione e la carta affumicata aumentando notevolmente la massa del sensore e quindi la sua inerzia. Questa è la ragione per cui alcuni strumenti, in Italia e in Europa più in generale, nel primo ventennio del Novecento furono realizzati con masse da 1.000 a 22.000 kg. In Italia Agamennone progettò e installò all'osservatorio di Rocca di Papa un microsismografo orizzontale la cui massa fu inizialmente di 500 kg per essere poi via via accresciuta fino a 2.000 kg (28). In Germania, a Göttingen,



27) Principi di funzionamento dei principali tipi di sismografi (Sieberg 1923 modificato da Batllò 2000). Orizzontali: 1 pendolo conico tipo Omori, Bosch, Alfani; 2 pendolo orizzontale Rebeur-Paschwitz; 3 Pendolo Zöllner, Galitzin; 4 Pendolo normale; 5 Pendolo a torsione Wood-Anderson; 6 Pendolo rovescio Wiechert. Verticali: 7 Pendolo a barra flessibile Vicentini; 8 pendolo verticale traslazionale; 9 Pendolo verticale rotazionale Galitzin, Alfani e successivi.

28) Il Microsismografo Agamennone da 2.000 kg e il Padre Bernardo Paoloni il 15 novembre 1937 o 1943. Lo strumento proveniva da Rocca di Papa, dove Agamennone ne variò la massa da 500 kg iniziali, poi a 1.000 kg e infine a 2.000 kg.



29) Rete dei 36 osservatori sismologici italiani a gennaio 1909 (Agamennone 1909). In alcune località esistevano più osservatori. Il numero che precede il nome della località è l'ingrandimento statico massimo degli strumenti dell'osservatorio. I simboli quadrati localizzano gli epicentri dei sei terremoti particolarmente distruttivi occorsi nel primo ventennio del XX secolo. La dimensione è proporzionale alla magnitudo riportata in tabella.

Wiechert installò un microsismografo orizzontale a due componenti da 17.000 kg e a Zurigo in Svizzera nel 1922 fu installato un sismografo universale De Quervain-Piccard, con una massa di 22.000 kg, un periodo proprio di alcuni secondi e un'amplificazione statica uguale a 2.000 volte.

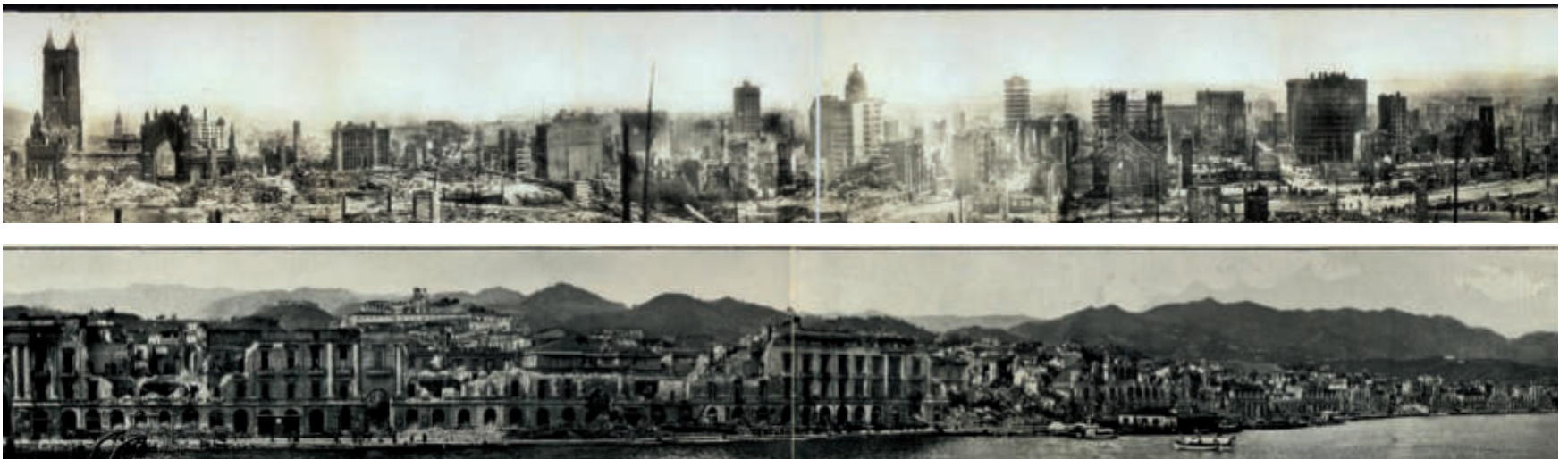
Sebbene, come si è detto, Perry e Ayrton avessero prodotto argomenti teorici già dal 1879 sulla necessità di introdurre lo smorzamento del sistema oscillante del sensore e agli inizi del Novecento, Wiechert (in Germania) e Galitzin (in Russia) introdussero strumenti smorzati che nei successivi anni divennero tra i più usati nel mondo (27), tuttavia, fino al 1940, Omori e Agamennone, rispettivamente in Giappone e in Italia, continuarono la progettazione e la costruzione di strumenti non smorzati. L'introduzione dello smorzamento nei sismografi, e in particolare la modulazione dei coefficienti di smorzamento, portò alla caratterizzazione di strumenti per la registrazione di accelerazione, velocità e spostamento nel moto del suolo.

Una drammatica sequenza di terremoti distruttivi interessò l'Italia da sud a nord nel primo ventennio del Novecento, fornendo un ulteriore motivo di stimolo per i sismologi italiani di enti pubblici e privati (ordini religiosi, cultori privati). La rete sismica italiana all'epoca contava 36 osservatori (29), la maggior parte dei quali aveva sismografi con registrazione su carta affumicata. Dei 59 strumenti ufficialmente operanti in questi osservatori quasi un quarto disponevano di un Microsismografo Vicentini (orizzontale e/o verticale) e poco più di un quarto di un Sismometrografo Agamennone. Poco meno del 50% degli strumenti installati erano di altro tipo. I microsismografi Vicentini erano quelli che realizzavano i maggiori ingrandimenti, da 50 a 165 e frequentemente oltre 100, mentre gli strumenti di Agamennone non

superavano i 10-20 ingrandimenti. Solo il microsismografo Agamennone da 1.500 kg di massa (28) raggiunse i 150 ingrandimenti nel solo osservatorio di Rocca di Papa. Questi dati evidenziano il ruolo che ha continuato ad avere l'iniziativa scientifica esterna all'UCMG, l'ente allora preposto alla sorveglianza sismica del territorio italiano.

Vicentini aveva progettato il suo microsismografo orizzontale nel 1895, quando ancora insegnava a Siena, e lo perfezionò negli anni successivi presso l'Università di Padova. La fama dello strumento si diffuse rapidamente, tanto che, come si è già detto, Wiechert nel 1899 fece visita a Vicentini per valutarne di persona l'efficacia. In quella occasione lo scienziato tedesco si rese conto della miglior finezza della traccia registrata su carta affumicata, rispetto alla registrazione su carta fotografica, da lui fino ad allora sperimentata.

In quello stesso periodo, Alfani, che aveva da pochi anni assunto la direzione dell'Osservatorio Ximeniano di Firenze, si era già fatto notare per le sue qualità di studioso attento e versatile nella progettazione di strumenti sismici innovativi. Proprio in occasione del terremoto dello Stretto di Messina del 1908 (30), il sismologo fiorentino, la mattina del 28 dicembre, comunicò immediatamente ai giornali fiorentini la registrazione di un terremoto straordinario, lontano 650 km, localizzato sicuramente in Calabria, per la somiglianza con i sismogrammi del terremoto della Calabria del 1905, ma di intensità molto superiore (Barsanti 1992). Questa dichiarazione di Alfani, comparsa sull'edizione pomeridiana dei giornali fiorentini anticipò la portata del disastro, prima ancora delle notizie ufficiali, non ancora diramate, per l'assenza o la frammentarietà delle informazioni



30) In alto, panoramica della città di San Francisco, in California, dopo le distruzioni causate dal terremoto del 18 aprile 1906 e il conseguente incendio. In basso, panoramica della città di Messina dopo le distruzioni causate dal terremoto del 28 dicembre 1908.

giunte a Roma dalle zone terremotate. Alfani, oltre a dotare il suo osservatorio della migliore strumentazione del tempo, si impegnò in un'intensa attività di progettazione, *a tutto campo*, sperimentando e perfezionando strumenti sismici basati su diversi principi di funzionamento, dal pendolo conico (orizzontale) introdotto da Omori per i sismografi orizzontali (27-1) ai pendoli verticali rotazionali (27-9) e dalla registrazione meccanica su carta affumicata con masse fino a 1.000 kg a quella su carta fotografica con masse da 10 kg.

Il terremoto del 1908 si verificò quando già la comunità sismologica internazionale era stata fortemente stimolata dal terremoto che aveva distrutto San Francisco il 18 aprile 1906 (30).

Intorno alla figura di Wiechert si andò formando un gruppo di giovani ricercatori destinati a contribuire in modo determinante allo sviluppo della sismologia nella prima metà del XX secolo, fra i tanti: Karl Bernhard Zoeppritz, Beno Gutenberg.

Al primo si devono i primi studi, insieme a Wiechert, sulla propagazione delle onde sismiche, mentre il secondo contribuì in modo determinante alla modellazione, per via sismologica, dell'interno della terra.

Sempre dal gruppo di studiosi di Göttingen vennero importanti contributi all'identificazione dei diversi tipi di onde, dopo Grablovitz e Oldham, e alla definizione della loro nomenclatura in onde *P* (*Primae*: onde di compressione), *S* (*Secundae*: onde di taglio) e *L* (*Longae*: onde di superficie); con *i* (*impetus*) identificarono il carattere impulsivo dell'inizi della

registrazione e con *e* (*emersio*) il lento inizio dell'ampiezza della prima onda. Questa nomenclatura è ancora in uso oggi.

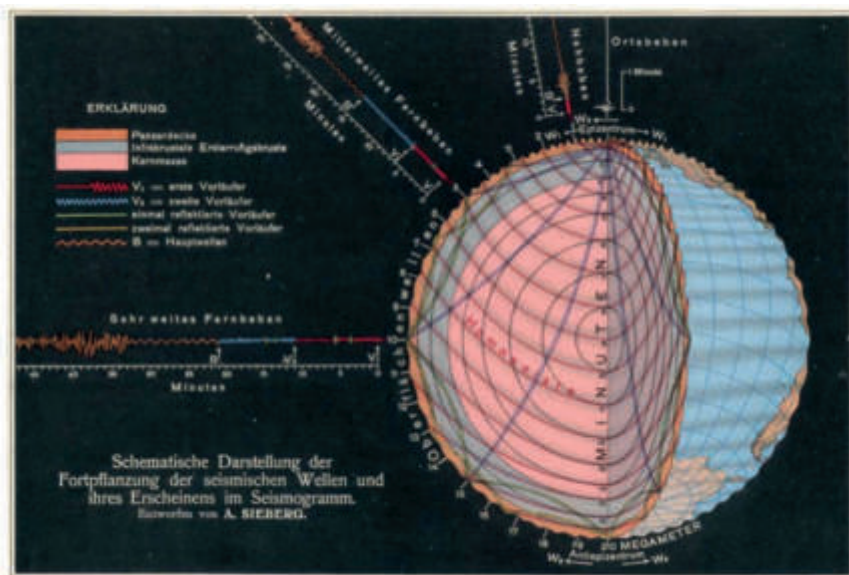
Il perfezionamento alla fine dell'Ottocento degli strumenti sismici ha consentito di registrare terremoti sempre più distanti, favorendo la registrazione di sismogrammi sempre più ricchi di onde sismiche propagatesi all'interno della terra lungo percorsi diversi e con velocità differenti (31). Scoprire e iniziare a interpretare questa complessità ha stimolato l'invenzione di strumenti più sofisticati e sensibili. La comunità sismologica italiana continuò a collaborare a questi temi, partecipando attivamente alle iniziative della AIS anche nelle sue successive evoluzioni. Nel 1916, infatti, la AIS si dissolse per continuare dal 1922 come Sezione sismologica dell'*International Union of Geodesy and Geophysics* (IUGG). Nel corso della riunione, tenutasi a Roma nel 1922 (Rothé 1981), in cui fu istituita questa Sezione sismologica, fu approvata la proposta di Agamennone che il bollettino sismico che H.H. Turner pubblicava per conto del Comitato Sismologico della BAAS, come continuazione dell'attività di Milne, facesse capo alla nuova Sezione.

Nel 1916, da una statistica condotta da Ferdinand Montessus de Ballore risultò che la sismologia italiana dalle origini aveva realizzato circa un quarto dell'intera produzione scientifica sismologica mondiale: 2.002 pubblicazioni su di un totale di 8.500. E Charles Davison, nel riprendere questa statistica sottolineò i principali contributi per cui la sismologia è in debito di riconoscenza verso gli studiosi italiani: il primo studio di grandi terremoti, il primo osservatorio geodinamico al mondo (Vesuviano), il primo sismoscopio registratore (Palmieri), il riconoscimento di microsismi (Bertelli), la pubblicazione della prima rivista sismologica (BVI), serie di prime scale delle intensità (de Rossi, Mercalli), serie di mappe della sismicità e dettagliati studi di terremoti recenti (Davison 1927).

Il periodo classico: 1920-1960

Nel periodo 1880-1920 la sismologia internazionale è passata dalla visione naturalistica ottocentesca alla focalizzazione di alcuni degli aspetti fondamentali per i propri futuri sviluppi. Si è capito che attraverso le registrazioni sismiche era possibile *guardare* dentro la terra e cercare di comprendere come fosse fatta e si è cominciato a capire come dovevano essere gli strumenti più adeguati. I quarant'anni successivi sono considerati il periodo classico, in quanto rappresentarono un momento di raffinamento di quanto precedentemente immaginato, senza sostanziali cambiamenti negli obiettivi e nelle tecniche.

Mentre numerosi strumenti progettati in Europa si andavano affermando e diffondendo in tutto il mondo (32), al Caltech nel 1922, John Anderson e



31) L'interno della Terra e i percorsi delle onde sismiche in un'illustrazione tratta da Sieberg (1908) che rappresenta lo stato delle conoscenze agli inizi del Novecento.

Harry Wood introdussero un nuovo tipo di sismometro composto da una massa di rame di forma cilindrica sospesa a un filo di fibra di quarzo, il tutto immerso in un campo magnetico generato da un magnete a U disposto verticalmente. Il breve periodo proprio di oscillazione dello strumento (0,8 secondi), il coefficiente di smorzamento (0,8) e il livello di amplificazione statica (2.000-3.000) rendono questo strumento particolarmente adatto per la registrazione di terremoti locali e regionali (Goodstein 1988, Wood e Anderson 1925).

Quando nell'autunno del 1922 fu pronto il primo prototipo del sismometro orizzontale Wood-Anderson, i primi esperimenti dimostrarono che lo strumento presentava caratteristiche superiori alle aspettative. Infatti, oltre alla registrazione di terremoti locali, questo sismografo poteva fornire una buona registrazione delle prime fasi di terremoti distanti.

Verso la fine degli anni venti del Novecento, mentre il sismografo Wood-Anderson si andava diffondendo in tutti gli Stati Uniti, Hugo Benioff (assistente di Wood) progettò un innovativo sismografo verticale, destinato a operare insieme a una coppia di sismografi orizzontali a breve periodo (Goodstein 1988). In breve tempo, il sismografo Wood-Anderson e la terna di sismografi Benioff divennero degli standard a livello mondiale. Un ulteriore elemento di importanza del Wood-Anderson è quello di essere stato preso come riferimento nella definizione della scala di magnitudo formulata da Charles Richter (1935).

Nei primi anni trenta del Novecento, due tradizioni sismologiche si incontrarono al Caltech, rispettivamente nelle persone di Wood e di Gutenberg. Il primo, versatile progettista di strumenti sismici, di cui si è già detto, e il secondo è stato il maggiore sismologo osservazionale del

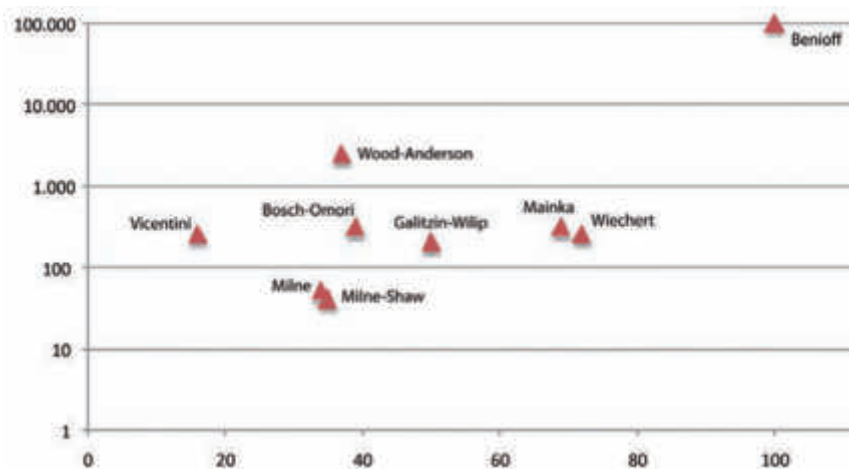
Novecento, emigrato negli Stati Uniti nel 1930, in seguito alle discriminazioni razziali subite in patria. La tradizione americana (Wood) era interessata principalmente ai terremoti locali, mentre la tradizione europea (Gutenberg) aveva una visione più globale della sismologia. Fu in quegli anni che intorno a Wood e Gutenberg iniziò una delle più importanti stagioni della sismologia mondiale a cui parteciparono altri famosi sismologi come Richter e Perry Byerly (1897-1978).

Dal punto di vista strumentale, la situazione della rete sismica italiana non mutò di molto fino al secondo dopoguerra. Mentre nelle stazioni sismiche europee e mondiali si installavano gli strumenti più avanzati del tempo (Wiechert, Galitzin, Mainka, Wood-Anderson ecc.) in Italia la situazione non era molto diversa da quella del 1909 (29) e le stazioni sismiche italiane meglio strumentate continuavano a essere spesso quelle non istituzionali, come Padova (con sismografi Vicentini), Firenze (Galitzin, Alfani), Piacenza (Wiechert, Vicentini), che raggiungevano amplificazioni del moto del suolo spesso molto superiori a quelle di stazioni della rete istituzionale. Unica eccezione era L'Osservatorio di Rocca di Papa che era praticamente il laboratorio di prototipazione di Agamennone. Alfani dichiarava di ottenere facilmente amplificazioni di 2.000 volte con i suoi fotosismografi, orizzontali e verticali, strumenti nati da una sua rivisitazione dei sismografi Galitzin. La stessa amplificazione che Wiechert otteneva con il suo sismografo per le componenti orizzontali di 17.000 kg di massa, installato nella stazione sismica di Göttingen.

La mancanza di ricambio generazionale nel servizio sismico istituzionale (UCMG), l'influenza e la lunga permanenza in esso, anche oltre il pensionamento, di Agamennone che si oppose all'applicazione in Italia a numerose e importanti innovazioni introdotte negli strumenti sismici progettati all'estero, condizionò notevolmente lo sviluppo della sismologia strumentale in Italia in questo periodo.

Oldham, riferendosi agli sviluppi sulla conoscenza delle onde superficiali, considerava i soli Grablovitz e Càncani interlocutori adeguati e ricordava come gli sia stato impossibile utilizzare i dati prodotti dai calcoli molto laboriosi di Agamennone e come questi si opponesse alle idee di Càncani (Oldham 1900).

Si è già ricordata questa opposizione all'introduzione di apparati di smorzamento e in una lettera ad Alfani del 24 ottobre 1904 Agamennone affermava: *se nelle date e nelle ore non si pone la più grande esattezza, si è esposti a prendere i più gravi equivoci. Ed io credo che il sistema Vicentini di registrare cioè sopra una ruota di carta affumicata che gira più volte su se stessa, concorra non poco a generare confusione (...) Col mio sistema di registrare ad inchiostro su di un foglio di carta che si svolge una sola volta,*



32) Diffusione dei sismografi agli inizi degli anni trenta del Novecento. In ascissa il numero di strumenti installati e in ordinata l'amplificazione statica. Ai limiti dell'arco cronologico si affacciarono gli strumenti di Benioff che raggiunsero in breve una grande diffusione e un'amplificazione molto più grande degli strumenti precedenti.



676; 17 -)4 68- 1747, 1)4; 7) (Agamennone 1904). E' da notare che già nel 1882 Cecchi aveva per primo utilizzato la registrazione continua su rullo affumicato e che dagli inizi del XX secolo tutti i progettisti di strumenti, tranne Agamennone, registravano su un rullo di carta affumicata o fotografica. Nel 1912 Alfani fu il primo in Italia a dotare il proprio Osservatorio di un sistema radio per ricevere il segnale orario dalla Torre Eiffel di Parigi e il 12 settembre dello stesso anno ricevette anche la visita di Guglielmo Marconi curioso di questa applicazione della sua invenzione (Barsanti 1992).

Nel 1930 Giovan Battista Rizzo lanciò un allarme 76 F,) .) 5 -) 1 4) ; - 744 , 1; 87; 16761))45 -6 - 16 17 - - 8U)6 7) 8- 4 5 16) 1 76 -6) 6-44 6 7 - 8 787; - , -4 76; 1447; 8- 17 - 1 47 1, -44 -7.1 1) 16)4) ; 1.) 1 677 61 17 678U;) ; 1- 1- ;) ; -5 8 - 8U, 1.1 1/4 7 -6- - 15 -BB16- -; ;) 18- OE 167; 11 1 187; ;)67 778-) - , - 6) 5 -6 - 76 9 -44;) 61 18- 148 7 -; ; 7, 19 -; ;) ; 1-6B) (Rizzo 1930).

Secondo un recente studio 6-44N) 4) , - 41) 661 -6) N) 671 -7.1 115) 676 4 -7.1 1) 16 -;) 75 - 7 87 , 1 767; -6B- 1- 0- - 1, 1 ; 7 - 4) 6B) (...) (Foresta Martin e Calcara 2010) e la sismologia italiana



33) Stazione sismica centrale presso la Città universitaria di Roma negli anni '30 e '40 del Novecento. In primo piano una coppia di sismografi orizzontali Galitzin e in secondo piano un microsismografo astatico orizzontale Wiechert da 1.000 kg.

34) Serie di sismografi Wiechert orizzontali da 200 kg (3 in primo piano) e verticali da 80 kg (3 in secondo piano).

35) Foto di gruppo all'Assemblea generale della IUGG a Oslo nel 1948: al centro I. Lehman, alla sua destra B. Gutenberg, alle sue spalle H. Jeffreys e in ultima fila a destra in alto Pietro Caloi.



36) Mappa delle stazioni della World-Wide Standardized Seismic Network nel 1966.

emerse nel contesto internazionale più come contributi di tanti validi singoli piuttosto che come istituzione, che non riuscì, per ragioni diverse, a tenere il passo dei tempi.

Articolata e complessa fu la competizione politica fra ministeri per la nascita di un Istituto Nazionale di Geofisica (ING), senza sacrificare l'UCMG. Guglielmo Marconi, allora presidente del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), mise in campo tutto il suo prestigio e il credito di cui godeva da parte del Governo e il 25 novembre 1936 firmò la nascita del nuovo ente affidandone la direzione ad Antonino Lo Surdo.

Ma la sfida vera doveva ancora iniziare e fu tutta sulle spalle del direttore del nuovo istituto. Si trattava, da una parte di organizzare il trasferimento delle pertinenze geofisiche dall'UCMG all'ING e, compito ancora più impegnativo, dare applicazione all'ambizioso progetto di creare un ente geofisico in grado di competere con il panorama internazionale.

Lo Surdo puntò subito sulla qualità, selezionando i migliori giovani geofisici del tempo. Nel 1938 c'erano quattro geofisici: Pietro Caloi, Guido Pannocchia, Francesco Peronaci ed Ezio Rosini. Spicca fra tutti la figura di Pietro Caloi, senza dubbio il maggior sismologo italiano del Novecento.

Nel 1937 prese avvio l'impianto dell'Istituto e l'autocostruzione di strumenti scientifici. Oltre a stabilire presso la Città universitaria di Roma la stazione centrale (33), nell'immediato secondo dopoguerra l'ING installò una nuova rete sismica dotata di una terna di sismografi Wiechert di piccola massa (200 kg l'orizzontale e 80 kg il verticale) autocostruiti nelle officine dell'Istituto (34). Successivamente l'ING aggiornò le proprie stazioni con

anche sismografi orizzontali del tipo Galitzin-Wilip e sismografi Ishimoto, tutti strumenti autocostruiti nelle proprie officine. Nel secondo dopoguerra l'ING portò nelle assemblee internazionali la nuova geofisica italiana. All'Assemblea Generale della IUGG di Oslo, dell'agosto 1948, troviamo Caloi con alcuni dei più grandi sismologi del tempo: Inge Lehman, Gutenberg, Harold Jeffreys (35). Qui nacque l'idea fra Caloi e Lehman di creare un'organizzazione di coordinamento sismologico europeo: quella che nascerà nel 1950 come federazione e nel 1952 come *78-16-1574/147551; 176* (ESC). Caloi rimase comunque una figura *8)* - che, godendo di stima a livello internazionale, dialogò con quel mondo, mentre la maggior parte dei geofisici dell'ING, sotto la direzione di Enrico Medi - succeduto a Lo Surdo - trascurarono le relazioni internazionali preferendo rimanere isolati in un ristretto ambito nazionale. Questo aspetto è particolarmente testimoniato dalla scarsissima produzione in lingua inglese dei geofisici dell'ING, mentre troviamo il solo Caloi fra il ristretto numero dei geofisici al mondo invitati a contribuire a un volume in onore di Gutenberg, in occasione del suo pensionamento (Ewing 1958).

L'era moderna: dopo il 1960

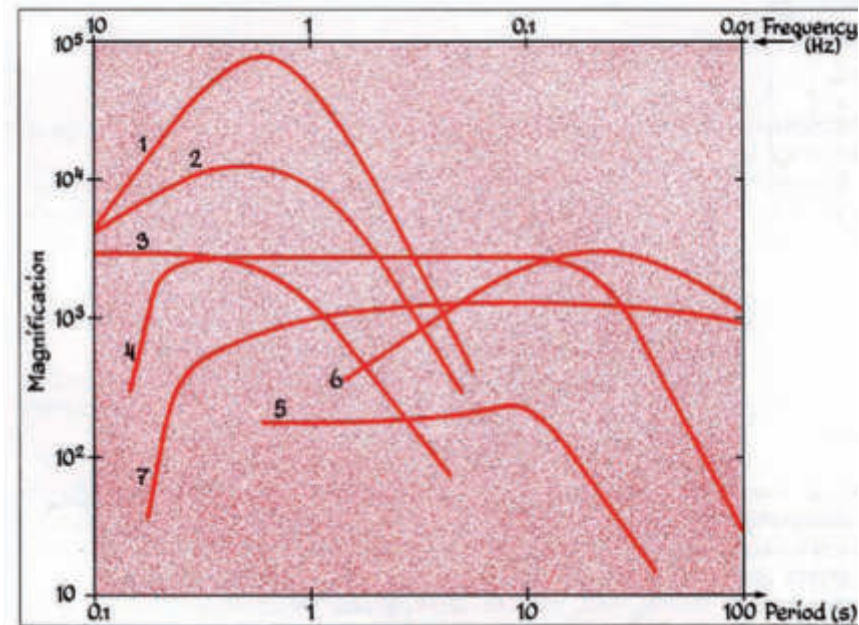
In vari periodi storici, e in diversi paesi e continenti, i grandi terremoti hanno incoraggiato o rilanciato l'interesse della comunità scientifica nel perseguire un approccio sperimentale per la sismologia. Tuttavia, la sismologia strumentale, come altri settori della scienza e della tecnologia, deve parte del suo sviluppo recente anche a interessi strategico-militari.

Così, nel 1960, l'interesse di parte della comunità sismologica (soprattutto statunitense) si concentrò sulla più straordinaria e terrificante arma di distruzione utilizzata dall'uomo: la bomba atomica. La necessità di registrare e di localizzare le esplosioni derivanti da esperimenti nucleari ha portato gli americani a proporre la realizzazione di una rete mondiale di strumenti sismici standard: la *World-Wide Standardized Seismographic Network* (WWSSN), che utilizzava, per ogni stazione, due terne di strumenti: una a breve periodo e una a lungo periodo. La combinazione di strumenti a breve e a lungo periodo proprio di oscillazione consentiva di evitare il rumore sismico ambientale (quello in assenza di terremoti dovuto alla restante dinamica ambientale: variazioni di pressione atmosferica, moto del mare sulle spiagge, maree ecc.) che ha il suo massimo sui 6 secondi. La rete partì nei primi anni sessanta del Novecento con circa 120 stazioni (36) per raggiungere, alla fine degli anni ottanta, il numero di oltre 180. In Italia funzionarono le stazioni di Trieste e dell'Aquila.

Il ruolo della sismologia nel contesto delle attività politiche e diplomatiche che hanno portato al bando totale delle esplosioni nucleari (trattato CTBT aperto alla firma degli Stati il 24 settembre 1996) è testimoniato dalla lunga serie di riunioni politiche con la partecipazione di sismologici presso la Conferenza del Disarmo di Ginevra a partire dal 1958. A seguito di tali riunioni, nel 1978, la Conferenza del Disarmo diede mandato a uno specifico gruppo di esperti in sismologia, identificato con l'acronimo GSE (*Ad Hoc Group of Scientific Experts*), di studiare le misure di collaborazione internazionale idonee alla rilevazione e identificazione di esperimenti nucleari sotterranei in ogni parte del mondo. Per circa venti anni il GSE ha lavorato per la definizione della rete globale di stazioni sismiche e del centro internazionale dati, che avrebbe consentito un monitoraggio affidabile di eventuali esperimenti nucleari clandestini. Il sistema di monitoraggio sismico internazionale progettato dal GSE è stato effettivamente realizzato dall'Organizzazione creata in base al trattato CTBT, e comprende un totale di 170 stazioni sismologiche di altissima qualità i cui dati vengono trasmessi a Vienna per la loro analisi in tempo reale.

Con l'avvento, dalla fine degli anni '50, dei primi elaboratori elettronici e successivamente della tecnologia elettronica, analogica prima e digitale poi, la sismologia mondiale e con essa quella italiana entrarono nella loro fase matura.

La centralizzazione dei dati, ai fini di una loro completa distribuzione, la disponibilità di programmi di calcolo per gli elaboratori elettronici, in grado di utilizzare a pieno l'apparato matematico messo a punto nei primi decenni del XX secolo, hanno portato a sviluppi fino ad allora inimmaginabili e

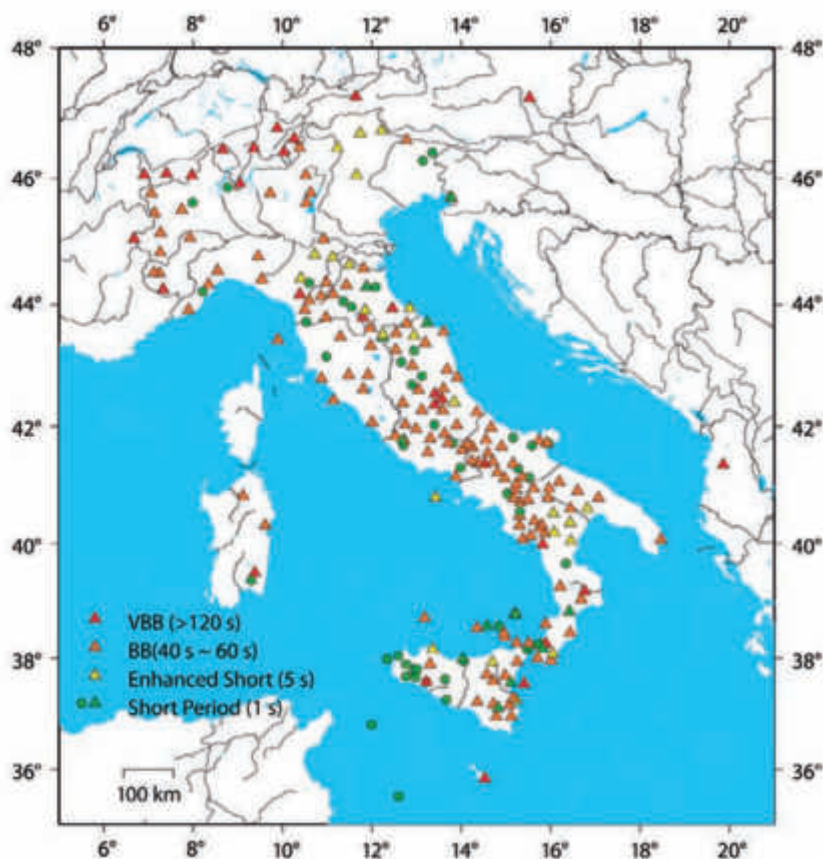


hanno aperto nuove prospettive nello sviluppo di strumenti sismici. Senza entrare nel dettaglio di una materia vastissima e specialistica, basti considerare che si è oggi giunti a strumenti in grado di registrare onde sismiche su di un intervallo di periodi di oscillazione che va da 0,1 s a 1.000 s. Quanto alle amplificazioni, si è passati da ingrandimenti di poche decine di volte, degli inizi del XX secolo, ad amplificazioni di milioni di volte con gli strumenti digitali odierni (37). Si osserva come alcuni strumenti abbiano curve a forma di campana, destinati ad amplificare onde in un ristretto intervallo di frequenza. Gli strumenti con campane centrate su piccoli periodi di oscillazione sono più adatti a registrare terremoti di origine vicina, in cui è maggiore il contenuto di alte frequenze (37-1), mentre strumenti con campane centrate su lunghi periodi di oscillazione (37-6) sono più adatti a registrare terremoti di origine lontana in cui si esaltano onde di bassa frequenza. Strumenti digitali moderni consentono pressoché la stessa amplificazione per un intervallo estremamente ampio di frequenze (37-7). Fra gli altri vantaggi delle tecniche di trasmissione dei segnali e della registrazione digitale vi è la possibilità di elaborare in tempo reale, con processi di calcolo automatizzati, le registrazioni di centinaia di strumenti distribuiti in un territorio. Prima che per il suo valore scientifico, tale sviluppo è fondamentale per il suo valore sociale, in quanto permette la determinazione in pochi minuti dei principali parametri di un terremoto utili ai fini di protezione civile: localizzazione e magnitudo. In questo modo è possibile attivare e coordinare i soccorsi così da ridurre al minimo il costo

37) Confronto delle curve di amplificazione del moto del suolo in relazione al periodo di oscillazione delle onde sismiche, per alcuni strumenti (Kulhanek 1990). Fra quelli qui considerati: 1 Sismografo Benioff (della rete WWSSN); 3 Wood-Anderson; 5 Wiechert orizzontale da 1.000 kg; 7 Strumento digitale *broad-band* (a larga banda).



38) Evoluzione della rete sismica italiana dal 1954 al 1987.



39) La rete sismica nazionale italiana è oggi composta da oltre 300 stazioni sismiche con i dati centralizzati in tempo reale nella Sala sismica della sede di Roma dell'INGV.

sociale dei terremoti. È stato questo importantissimo aspetto che ha consentito alla sismologia strumentale italiana, e con essa tutta la sismologia, di trarre consistenti avanzamenti nella conoscenza della dinamica sismogenetica del territorio italiano. Per un'efficace azione di protezione civile è indispensabile avere, nel più breve tempo possibile, informazioni precise sulla localizzazione e la grandezza (magnitudo) del terremoto, per indirizzare rapidamente i primi soccorsi. Questo significa avere un elevato numero di stazioni sismiche, distribuite in maniera omogenea sul territorio, collegate in tempo reale a un centro di raccolta dati, dove, sotto l'attenta supervisione di sismologi, programmi di elaborazione automatica di questi dati consentono di calcolare in pochi minuti le informazioni da trasmettere ai centri di coordinamento della protezione civile.

Ancora a metà dell'Ottocento, in assenza di strumenti sismici adeguati, per avere anche solo in via approssimativa queste informazioni ci volevano

alcuni giorni, come ad esempio accadde per il terremoto della Basilicata del 16 dicembre 1857. Il terremoto, comunque registrato dal sismografo Palmieri, interessò un'area impervia del Regno di Napoli e la rottura dei cavi del telegrafo isolò per diversi giorni i paesi devastati dal terremoto. Come si è già detto, notizie del terremoto dello Stretto di Messina del 28 dicembre 1908 furono date per primo da Alfani con un sapiente utilizzo dei dati dei suoi sismografi, quando ancora a Roma le autorità di governo sapevano poco o nulla. E così fino al terremoto dell'Irpinia del 23 novembre 1980, quando la maggior parte dei sistemi di comunicazione dell'area colpita furono messi fuori uso dagli effetti del terremoto e le prime notizie indicavano pochi danni a Eboli, quasi 40 km dall'epicentro.

Anche la storia recente della sismologia strumentale in Italia deve il suo sviluppo, ahimé come nell'Ottocento, alla risposta dei governi all'onda emotiva dell'immediato dopo terremoto. Per capire meglio questo aspetto facciamo un passo indietro, quando abbiamo lasciato la rete sismica italiana al secondo dopoguerra.

Con la ristrutturazione della rete sismica italiana, all'indomani della nascita dell'ING, a metà degli anni cinquanta del Novecento erano in funzione 28 fra osservatori dell'ING e stazioni sismiche di altri enti che partecipavano alla rete in regime di convenzione. I dati sismici venivano rilevati localmente e inviati periodicamente alla sede nazionale dell'ING per la stesura del Bollettino sismico e, solo in caso di evento distruttivo, venivano comunicati per vie più veloci. Anche nelle condizioni migliori non era possibile avere la localizzazione e la magnitudo del terremoto prima di molte ore, oltre al fatto che la precisione di questi dati poteva essere anche molto scarsa a causa della intrinseca efficienza della rete (densità geografica delle stazioni, sensibilità degli strumenti ecc.). Delle 15 stazioni ING funzionanti nel 1954, ben 12 avevano ancora sismografi Wiechert con ingrandimenti non superiori a 100 (De Simoni 1987). Con i terremoti del 6 maggio 1976, in Friuli, e del 23 novembre 1980, in Irpinia, la rete sismica nazionale italiana rivelò tutta la sua inadeguatezza per un efficace servizio di protezione civile. Proprio dall'esigenza di una maggiore tempestività nella determinazione dei dati sismici utili a tali servizi, dagli anni ottanta del Novecento la rete sismica nazionale dell'ING, e oggi dell'INGV, è andata via via incrementando la propria efficienza sia con la centralizzazione telematica, realizzata e progressivamente aggiornata in base agli sviluppi tecnologici nella trasmissione dei dati (prima via telefono, poi via satellite), sia con l'aumento della densità di stazioni sismiche. La trasmissione con sistemi di telefonia mobile o satellitare hanno anche consentito l'installazione di stazioni sismiche in siti poco antropizzati, dove è molto basso il rumore sismico legato alle attività umane e si possono mantenere amplificazioni molto alte del moto del suolo.

Abbiamo iniziato questo veloce viaggio in quasi tre secoli di storia disciplinare passando dagli osservatori solitari alle reti di osservatori, fino ai servizi

sismologici per fini sia scientifici che sociali. La grande illusione, dei pionieri italiani della sismologia dell'Ottocento, che la rilevazione di terremoti impercettibili all'uomo potesse portare alla previsione di quelli disastrosi si è trasformata da tempo nella consapevolezza che il problema è più complesso e che la protezione dai terremoti debba passare per la prevenzione, piuttosto che dalla previsione, obiettivo quest'ultimo ancora lontano da raggiungere. La sismologia strumentale è, invece, ora in grado di contribuire molto, insieme ad altri settori della sismologia, alla realizzazione di carte della pericolosità sismica di un territorio, strumento indispensabile per una corretta strategia di adeguamento antisismico del nuovo edificato e il restauro di quello storico.

Oggi la rete sismica nazionale dell'INGV conta oltre 300 stazioni sismiche distribuite sul territorio italiano (39) in grado di localizzare terremoti di energia di milioni di volte inferiori al terremoto più distruttivo della nostra storia sismica documentata. La sismicità italiana, compresa quella connessa alle aree vulcaniche, è tenuta sotto osservazione da un servizio di sorveglianza 24 ore su 24 per tutto l'anno, in stretto contatto operativo con la sala di coordinamento del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale. Anche nel recupero e nell'utilizzo scientifico e culturale dell'eredità materiale della sismologia italiana ed europea l'Italia è un punto di riferimento internazionale. Con il progetto Sismos, iniziato nel 1999, l'INGV realizza la riproduzione digitale ad alta risoluzione e la distribuzione alla comunità scientifica internazionale dei sismogrammi storici di oltre un migliaio dei più distruttivi terremoti dell'area euro-mediterranea del Novecento.

Per quanto detto all'inizio di questo percorso storico, la sismologia *si nutre* anche dei dati del passato. Quindi il debito che abbiamo con quanti hanno fatto la storia della sismologia in Italia, non è solo culturale: il prodotto delle loro ricerche e del loro pionieristico servizio di sorveglianza *ci parla ancora* e può contribuire a darci delle risposte, per la scienza e per la società.

Bibliografia

- Adams R. D. 2002, International Seismology, *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, Part A, edited by W. H. K. Lee, P. Jennings, C. Kisslinger e H. Kanamori, 29-37.
- Agamennone G. 1904, Archivio dei PP. Scolopi, Fondo Alfani, Lettera di Giovanni Agamennone a Guido Alfani, 24 ottobre 1904.
- Agamennone G. 1909, Brevi cenni sull'organizzazione del servizio sismico in Italia con l'elenco de' principali Osservatori sismici italiani, *Bollettino della Società Sismologica Italiana*, (1908-1909), 13, 41-74.
- Agamennone G. 1910, Sui mezzi più acconci per la determinazione dello stato assoluto negli orologi delle stazioni sismiche di 2° ordine, *Bollettino della Società Sismologica Italiana*, 14, 84-99.
- Agnew D. C. 2002, History of Seismology, International Seismology, *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, Part A, edited by W. H. K. Lee, P. Jennings, C. Kisslinger e H. Kanamori, 3-11.
- Ambraseys N. N. e Melville C.P. 1982, *A History of Persian earthquakes*, Cambridge.
- Barsanti D. 1992, *P. Guido Alfani. Un grande studioso di sismologia tecnica*, Firenze.
- Batlò J. 2000, *A Catalogue of old Spanish Seismograph*.
- Bertelli T. 1872a, Osservazioni sismometriche fatte a Firenze al Collegio la Querce dall'agosto 1871 all'ottobre 1872, *Bollettino Meteorologico dell'Osservatorio del R. Collegio Carlo Alberto in Moncalieri*, 6 (1870-71), 146-148.
- Bertelli T. 1872b, Osservazioni sui piccoli movimenti dei pendoli in relazione ad alcuni fenomeni meteorologici, *Bollettino Meteorologico dell'Osservatorio del Collegio Romano*, 11.
- Bertelli T. 1873, Appunti storici intorno alle ricerche sui piccoli e spontanei moti dei pendoli fatte dal secolo XVII in poi, *Bollettino di bibliografia e di storia delle scienze matematiche e fisiche*, 6, 1-44.
- Bertelli T. 1876, Riassunto delle osservazioni microsismiche fatte nel Collegio alla Querce di Firenze e delle principali riflessioni teorico-sperimentali dedotte dalle medesime dal 1870 al 1875, *Atti dell'Accademia Pontificia de'Nuovi Lincei*, 29 (1875-76), 83-110.
- Bina A. 1751, Ragionamento sopra la cagione de' terremoti ed in particolare di quello della Terra di Gualdo Nocera nell'Umbria seguito l'A. 1751, Perugia.
- Brassart E. 1888, Sismoscopi o avvisatori sismici, *Annali dell'Ufficio Centrale Meteorologico e Geodinamico Italiano*, s.II, 8, pt.IV(1886), 1-13.
- Cacciatore G. (a cura di) 1842, *Annuario del Reale Osservatorio per l'anno 1842*, 1.
- Calzecchi-Onesti T. 1886, Di una forma che può darsi all'avvisatore microsismico, *Nuovo Cimento*, s.III, 19 (1886), 24-26.
- Cavalleri G. M. 1857, Di un nuovo sismometro collocato nel Collegio di Monza, *Atti dell'Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti*, 1.
- Cavalleri G. M. 1872, *Archivio Generale dei Barnabiti, Roma, Fondo Bertelli, Lettera di Giovanni Maria Cavalleri a Timoteo Bertelli, Monza 11 giugno 1872*.
- Cavalli A. 1785a, *Lettere meteorologiche romane dell'abate Atanagio Cavalli*, tomo I, Roma.
- Cavalli A. 1785b, *Lettera del signor ab. Cavalli a S.E. il Sig. Duca di Sermoneta*, Roma 3 ottobre 1785, *Antologia Romana*, 12 (16), 121-123.
- Cecchi F. 1876, Sismografo elettrico a carte affumicate scorrevoli, *Atti dell'Accademia Pontificia de'Nuovi Lincei*, 29 (1875-76), 421-428.
- Cirillo, N. 1733-34. Historia terraemotus Apuliam & totum fere Neapolitanum regnum, anno 1731, vexantis, *The Philosophical Transactions*, 38, 79-84.
- Cirillo N. 1747, The history of an earthquake, which shook Apulia, and almost the whole Kingdom of Naples, in 1731, *The Philosophical Transactions* (from the year 1732, to the year 1744) abridged, and disposed under general heads 8, pt.II, 682-684.
- Davison Ch. 1927, *The Founders of Seismology*, Cambridge (ristampa anastatica, New York 1978).
- De Hautefeuille J. 1703, Moyen de faire des Observations sur les tremblements de Terre, & de les pouvoir prèdire, in *Microscope micrométrique, pour diviser les Instruments de Mathématique dans une grande précision. Gnomon horizontal, et instrument astronomique, pour prendre la hauteur des Astres jusques aux Tierces. Et l'Application des Lunetes Pinulères*,

- aux Instruments de la Géométrie pratique. Avec un Moyen de faire des Observations sur les Tremblements de Terre, & de les pouvoir prédire*, 25-28, Paris.
- De Rossi M. S. 1875a, *Archivio Generale dei Barnabiti, Roma, Fondo Bertelli, Lettera di Michele Stefano de Rossi a Timoteo Bertelli, Roma 10 marzo 1875*.
- De Rossi M. S. 1877, Guida Pratica per le osservazioni sismiche, *Bullettino del Vulcanismo Italiano*, 4, 5-42.
- De Rossi M.S. 1879-1882, *La Meteorologia Endogena*, 2 voll., Milano.
- De Sanctis R. 1986, *La nuova scienza a Napoli tra '700 e '800*, Roma-Bari.
- De Simoni B. 1987. L'attuale rete sismica nazionale centralizzata (RSNC) dell'Istituto Nazionale di Geofisica. Futuri sviluppi, in *Aree sismogenetiche e Rischio sismico in Italia*, vol. 1, a cura di E. Boschi e M. Dragoni, 277-286, Ed. Galileo Galilei, Lausanne.
- EuroSeismos 2007, sito internet http://storing.ingv.it/es_web.
- Ewing M. 1958, *Contributions in geophysics - In honor of Beno Gutenberg*.
- Ferrari G. (a cura di) 1990, *Gli strumenti sismici storici. Italia e contesto europeo. Historical seismic instruments. Italy and the european framework*, ING-SGA, Bologna.
- Ferrari G. (a cura di) 1991, *Tromometri avvisatori sismografi. Osservazioni e teorie dal 1850 al 1880. Tromometers seismoscopes seismographs. Observations and theories between 1850 and 1880*, ING-SGA, Bologna.
- Ferrari G. (a cura di) 1992, *Two hundred years of seismic instruments in Italy 1731-1940*, ING-SGA, Bologna.
- Ferrari G. (a cura di) 2004-2009, *Viaggio nelle aree del terremoto del 16 dicembre 1857*, 6 voll. e 3 DVD-ROM, SGA, Bologna.
- Ferrari G. 2009, *Giulio Grablovitz (1846-1928) and his scientific activity based on personal and institutional correspondence. Annals of Geophysics*, vol. 52; 625-643.
- Filomarino A. duca Della Torre 1796, *Gabinetto vesuviano del duca Della Torre*, Napoli.
- Forbes J. D. 1844, *On the theory and construction of a seismometer, or instrument for measuring earthquake shocks, and other concussions*, *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 15, 219-228.
- Foresta Martin F. e Calcara G. 2010, *Per una storia della geofisica italiana. La nascita dell'Istituto Nazionale di Geofisica (1936) e la figura di Antonino Lo Surdo*, 278pp.
- Fuller M. L. 1912, *The New Madrid earthquake*, *United States Geological Survey Bulletin*, 494, Washington (ristampa, Marble Hill, Missouri, 1993).
- Goodstein J. R. 1984, *Waves in the earth: Seismology comes to southern California*, *Historical Studies in the Physical Sciences* 14 (2), 201-230.
- Grablovitz G. 1901. *Sulla misura del tempo nella geodinamica*, *Bollettino della Società Sismologica Italiana*, 7 (1901-1902), 276-281.
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G. e Valensise G. 2007, *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*. ING-V-SGA. Disponibile all'indirizzo: <http://storing.ingv.it/cfti4med/>.
- Holden E. S. 1898, *A catalogue of earthquakes on the Pacific Coast, 1769 to 1897*, *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 1087, 17-22.
- Kikuchi D. 1904, *Recent Seismological Investigations in Japan*, *Publication of the Earthquake Investigation Committee*, 19, 1-78.
- Kreil K. 1855, *Über einem neuen Erdbebenmesser*, *Sitzungsberichte der kaiserliche Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-naturwissenschaftliche Classe*, 15, 370-371.
- Kuhn T. 1970, *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, 2ª ed. (1ª ed. 1962; trad. it. *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Torino 1978).
- Kulhánek, O. (1990). *Anatomy of seismograms. Developments in Solid Earth Geophysics* 18, Amsterdam, 78 pp.
- Maccioni A. 1909, *Nuova scoperta nel campo della sismologia*, *Atti della R. Accademia dei Fisiocritici in Siena*, 1, 435-444.
- Mallet R. 1848a, *On the dynamics of earthquakes; being an attempt to reduce their observed phenomena to the known laws of wave motion in solids and fluids (1846)*, *Transactions of the Royal Irish Academy*, 21, 50-106.
- Mallet R. 1862. *The great neapolitan earthquake of 1857. The first principle of observational seismology*, Londra. (Ristampa anastatica con traduzione italiana in E.Gudoboni e, G.Ferrari. Mallet's macroseismic survey on the Neapolitan Earthquake of 16th December, 1857, Bologna 1987,)
- Melzi d'Eril C. 1906, *Commemorazione del P. Timoteo Bertelli*, *Memorie della Pontificia Accademia de'Nuovi Lincei*, 24, 1-16.
- Milne J. 1896, *Report of the British Association for the Advancement of Science*, 187-188.
- Milne J. 1898, *Archivio del Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura, Unità di ricerca per la climatologia e la meteorologia applicate all'agricoltura*, Roma, *Fondo epistolare di Pietro Tacchini, Lettera di John Milne a Pietro Tacchini, Roma 20 maggio 1898*.
- Montessus de Ballore F. 1916, *Du rôle comparé des diverses nationalités dans les progrès de la sismologie moderne*, 20, 263-272.
- Nazzaro A. e Tramma B. 1985, *Il sismografo di Luigi Palmieri*, *Bollettino della Società dei Naturalisti in Napoli*, 94, 1-18.
- Needham J. 1959, *Science and Civilisation in China*, vol.3: *Mathematics and the Science of the Heavens and the Earth*, Cambridge (trad. it. *Scienza e civiltà in Cina*, vol.3: *La matematica e le scienze del cielo e della terra*, pt.II: *Meteorologia e scienze della terra*, Torino 1986).
- Ness H. F., Harrison J. C. e Slichter L. B. 1961, *Observations of the free oscillations of the Earth*, *Journal of Geophysical Research* 66, 621-629.
- Nigri V. 1879, *L'esposizione degli strumenti meteorologici in Roma nell'aprile 1879*, Foggia, 1-33.
- Nöggerath J. J. 1847. *Das Erdbeben vom 29. Juli 1846 im Rheingebiet und den benachbarten Ländern*, Bonn.
- Oddone E. 1908, *La seconda riunione della Commissione Permanente e la prima Assemblea Generale dell'Associazione Internazionale di Sismologia all'Aja dal 21 al 25 settembre 1907*, *Bollettino della Società Sismologica Italiana*, 1908-1909, 13, 17-36.
- Oldham R. D. 1882, *The Cachar earthquake of 10th January, 1869*, *Memoirs of the Geological Society of India* 19, 1-98.
- Oldham, R.D. 1900, *On the propagation of earthquake motion to great distance*, *Philosophical Transactions of the Royal Society, A.*, 194, 135-174.
- Palazzo L. e Grablovitz G. 1904, *La seconda Conferenza Sismologica Internazionale tenuta a Strasburgo nel luglio 1903*, *Bollettino della Società Sismologica Italiana*, 10 (1904-05), 119-145.

- Palmieri L. 1859, *Annali del Reale Osservatorio Meteorologico Vesuviano*, 1, Napoli.
- Palmieri L. 1874, Il sismografo portatile, *Atti della Accademia Pontaniana di Napoli*.
- Palmieri L. e Scacchi A. 1852, *Della regione vulcanica del monte Vulture e del tremuoto ivi avvenuto nel dì 14 agosto 1851*, Napoli.
- Perry J. e Ayrton W. E. 1879, On a neglected principle that may be employed in earthquake measurement, *Philosophical Magazine*, s.V, 8, 30-50.
- Rebur-Paschwitz E. von 1889, The earthquake of Tokio, April 18, *Nature*, 40, 294-295.
- Richter C. F. 1935, An instrumental earthquake magnitude scale, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 25, 1-31.
- Rizzo G. B. 1930, I nuovi orizzonti della Geofisica, *Atti della Società Italiana per il Progresso delle Scienze*, 18, 1.
- Rothé J. P. 1981, Fifty years of history of the International Association of Seismology (1901-1951), *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71, pp. 905-933.
- Salsano D. 1783, Descrizione di un geo-sismometro o sia misura-terremoto inventato da D. Domenico Salsano orologiaio e meccanico nella città di Napoli, *Nuovo Giornale Enciclopedico*, ottobre 1783, 89-96.
- Sarconi M. 1784, *Istoria de' fenomeni del tremoto avvenuto nelle Calabrie, e nel Valdemone nell'anno 1783 posta in luce dalla Reale Accademia delle Scienze e delle Belle Lettere di Napoli*.
- Schiantarelli P. e Stile I. 1784, *Atlante*. Allegato a Sarconi 1784.
- Schreiber H. 1991, Il sismografo astativo orizzontale di Wiechert, in G. Ferrari (a cura di) *Tromometri, avvisatori, sismografi. Osservazioni e teorie dal 1850 al 1880*, Bologna, 74-77.
- Schweitzer J 2002,
- Seebach K. A. L. von 1873, *Das mitteldeutsche Erdbeben vom 6 März 1872*, Leipzig.
- Sieberg, August (1908). *Der Erdball seine Entwicklung und seine Kräfte*. Verlag J. F. Schreiber, Eßlingen 1908.
- Sieberg A. 1923, *Erdbebenkunde*, Jena.
- Su S. 1988, Historical seismograms of the Manila Observatory, in W.H.K. Lee, H. Mayers e K. Shimazaki (a cura di), *Historical Seismograms and Earthquakes of the World*, 490-496.
- Wood H. O. e Anderson J.A. 1925, Description and theory of the torsion seismometer, *Bulletin of the Seismological Society of America* 15, 1-72.
- Zöllner F. 1869, Über eine neue Methode zur Messung anziehender und abstossender Kräfte, *Berichte über die Verhandlungen der königlich sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig*. Mathematisch-physikalische Klasse, 21, 280-284.
- Zupo N. 1784, *Riflessioni su le cagioni fisiche dei tremuoti accaduti nelle Calabrie nell'anno 1783*, Napoli.

Gli strumenti della sismologia

*Graziano Ferrari, Donatella Famà, Silvia Filosa, Anna Nardi, Antonio Rossi, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Rodolfo Console, Centro di Geomorfologia Integrata per l'Area del Mediterraneo, Potenza*

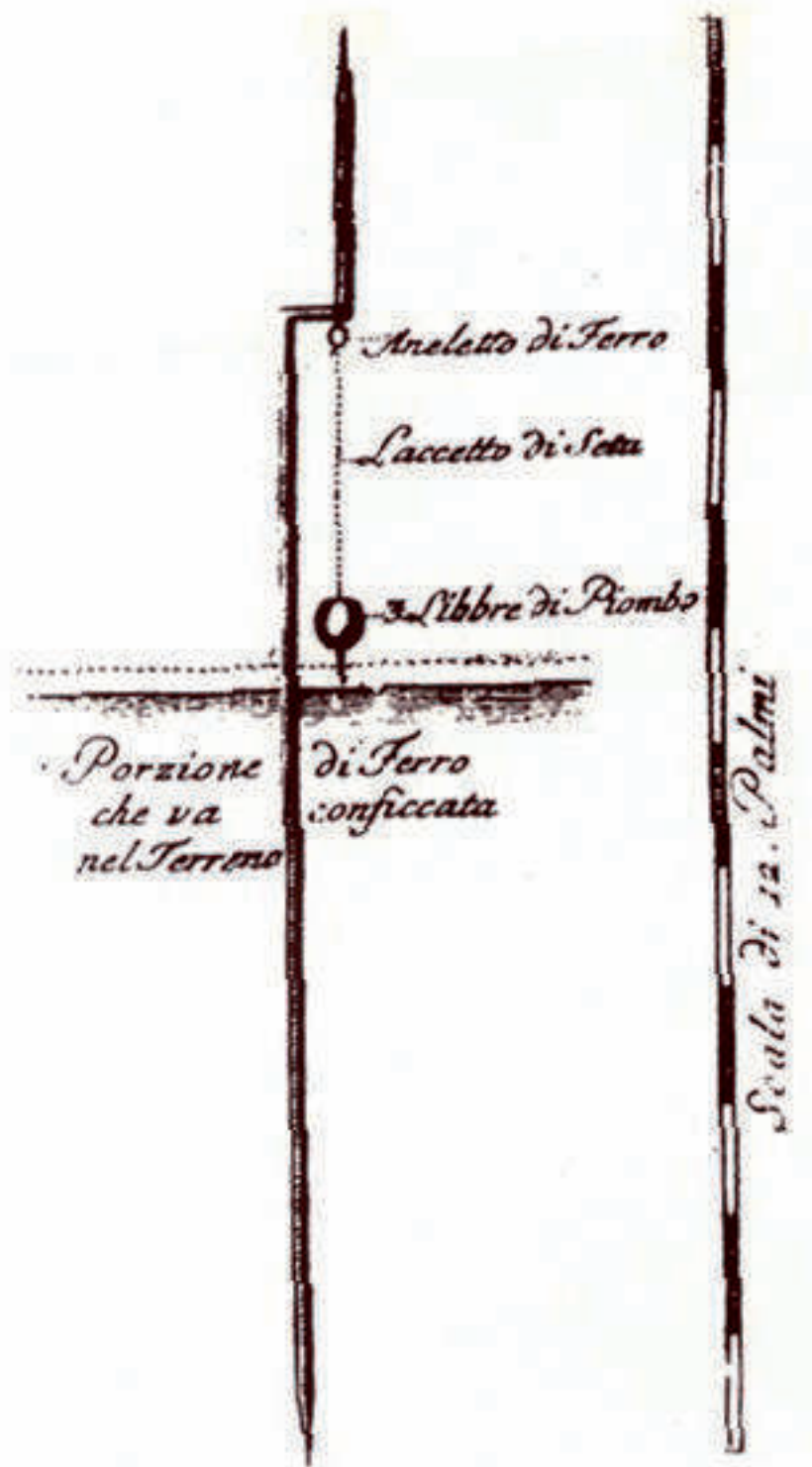
SISMOLOGIA

Sismoscopio Zupo;
(ferro, corda,
piombo;
300x15x30 cm).
INGV

Lo strumento è
una riproduzione
realizzata a partire
dal disegno, a lato,
e dalla descrizione
del suo ideatore.

Per oltre metà
della sua altezza
lo strumento era
conficcato nel
terreno.

La riproduzione
non riporta
i campanelli.



Pendolo sismico Zupo



N. Zupo, medico e naturalista cosentino, appartenne alla poliedrica schiera di intellettuali locali che reagirono al manifestarsi della catastrofica sequenza sismica della Calabria del 1783 e cercò di spiegare con la ragione la

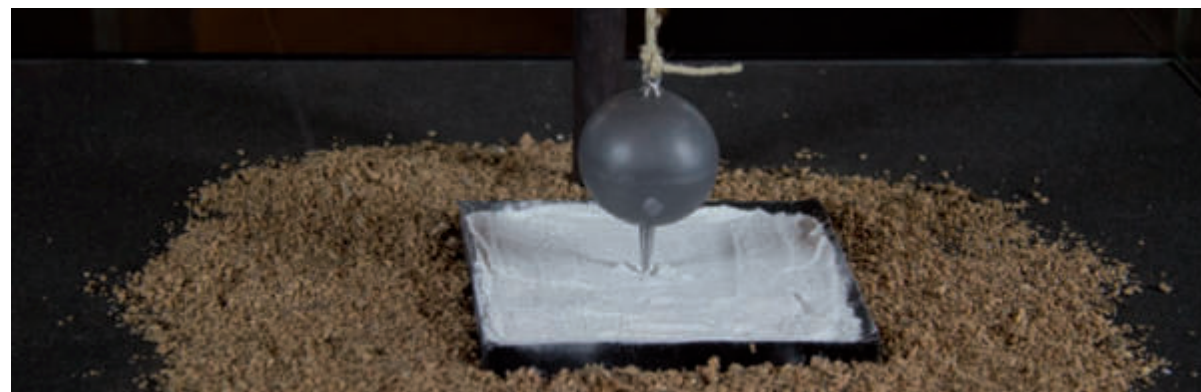
Convinto sostenitore del ruolo dell'elettricità atmosferica nella genesi dell'attività sismica, in antinomia con l'ipotesi incentrata sull'elettricità ipogea, Zupo ideò e realizzò un pendolo per rilevare la direzione del movimento del suolo e verificare la fondatezza della sua ipotesi.



Lo strumento è costituito da un'asta di ferro di 12 palmi (circa 3 metri) di lunghezza, appuntita alle estremità e infissa nel terreno per due terzi. A circa metà altezza l'asta è opportunamente sagomata in modo da ospitare un anello di ferro dal quale, legata con un cordoncino di seta, pende una palla di piombo di circa 1,3 kg. Nella parte inferiore della massa, una punta di ferro lunga

tocca uno strato, dello spessore di , di cenere finissima, situato sopra una tavoletta.

Ai punti cardinali, quattro campanelli erano disposti attorno alla massa inerziale, a una distanza tale che tra il pendolo e i campanelli per fornire l'informazione sulla direzione del moto. All'occorrenza di un terremoto la massa del pendolo urtava il



Sismoscopio Zupo: particolare della massa pendolare in piombo, scivente su polveri fini, quali cenere, lycopodio o sabbia.

campanello nella direzione del primo movimento sensibile e lasciava traccia del suo moto sulla cenere.

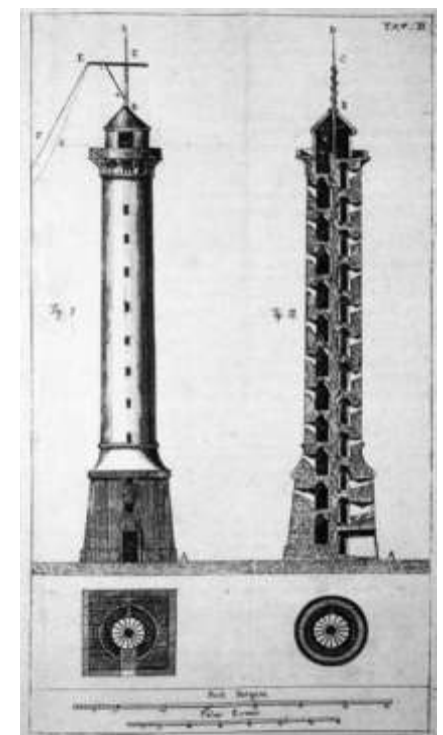
Secondo le intenzioni del suo ideatore, lo strumento non doveva soltanto rilevare il fenomeno sismico, ma doveva fornire la prova inconfutabile a sostegno della teoria elettrica del terremoto: il supporto costituito dall'asta di metallo inserita nel terreno fungeva da tratto d'unione tra le forze elettriche della terra e dell'aria così come da immaginato da P. Bertholon e progettato, ma non realizzato, nel 1787 a seguito del terremoto di Rimini del 25 dicembre 1786.



É evidente come il ricorso allo strumento non fosse solo e unicamente funzione di un'ansia di del fenomeno sismico. Il suo apparato doveva fornire la prova inconfutabile a sostegno di una del terremoto e della sua natura. Lo strumento divenne perciò sostegno nelle dispute e alle dispute.



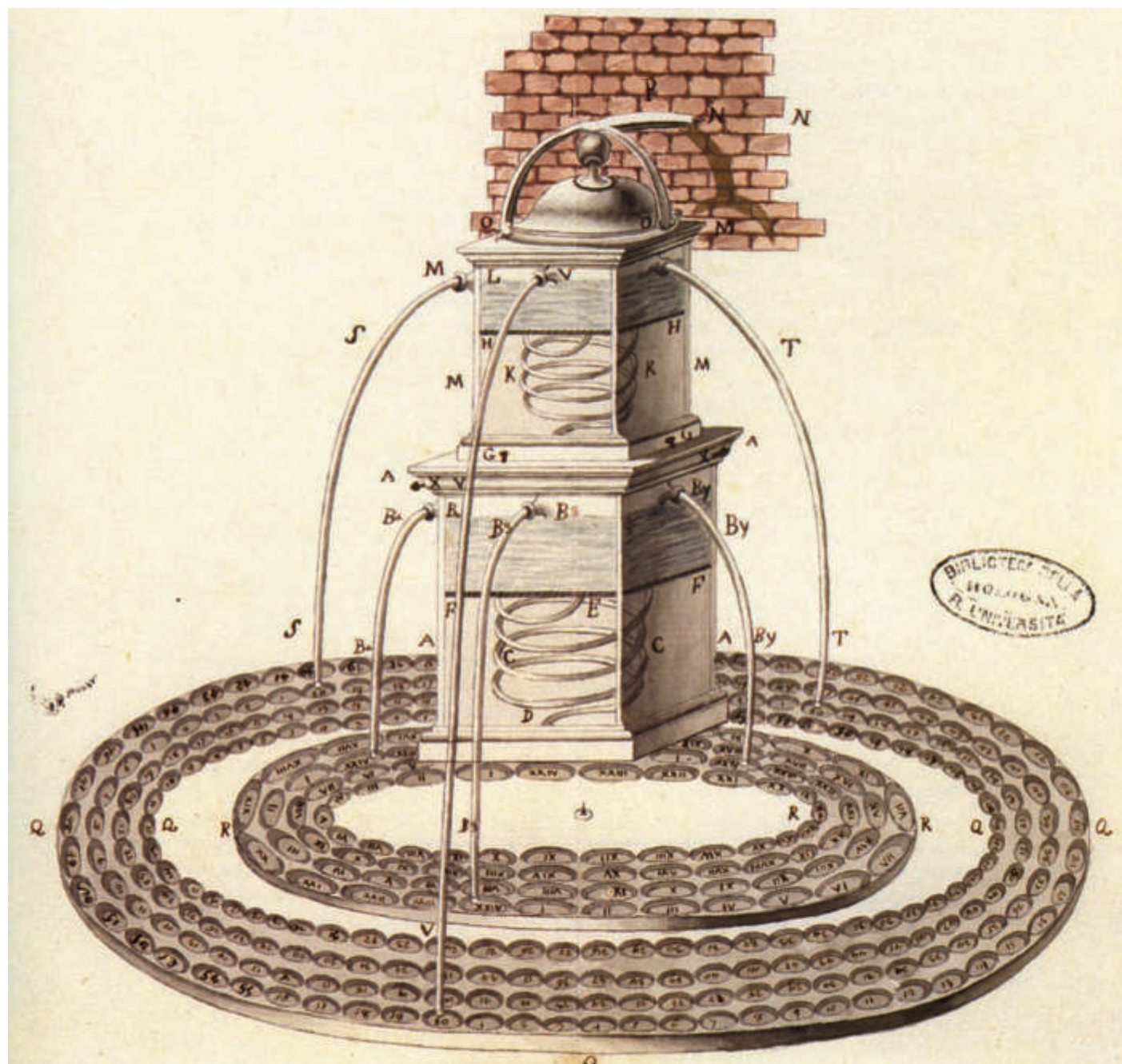
p. 321



Torri paraterremoto progettate per proteggere la città di Rimini, in base alla teoria elettricista dell'origine dei terremoti.

SISMOLOGIA

Sismoscopio a mercurio a registrazione oraria Cavalli in un disegno al tratto allegato alla descrizione che ne dà il suo ideatore.



Sismoscopio a mercurio a registrazione oraria Cavalli

1784 - 1785



Nel 1784 l'abate A. Cavalli, direttore e responsabile della sezione meteorologica della Specola del duca Francesco Caetani a Roma, rilevando la soggettività della percezione dei terremoti, costruì un semplice sismoscopio a mercurio per mostrare in modo efficace l'occorrenza di un terremoto anche di modesta grandezza. A lui si deve inoltre la progettazione di un più sofisticato sismoscopio a mercurio dotato di un ingegnoso sistema di registrazione oraria.



Il primo sismoscopio a mercurio è formato da una bottiglietta di vetro con quattro fori equidistanti. Da ogni foro parte un tubo di vetro rivolto verso un piccolo recipiente sottostante, riempito di mercurio fino a lambire i fori. Il contenitore, protetto da una campana di vetro, è posto su una mensola fissata a una parete dell'osservatorio. Il terremoto fa fuoriuscire il liquido e dall'osservazione del foro da cui esce il mercurio si ha anche l'indicazione della direzione del movimento.

Il sismoscopio con il sistema di registrazione oraria consiste di due vasi di vetro sovrapposti, contenenti mercurio, solidamente collegati e appesi nella parte superiore a un braccio di ferro fissato a un muro maestro. Da ognuno dei due vasi si dipartono quattro tubicini equidistanti e disposti secondo i quattro punti cardinali. Il mercurio contenuto nei vasi lambisce i fori d'uscita in modo da traboccare in caso di movimento del

suolo, anche minimo. Per segnare l'ora e i minuti dell'evento, gli otto condotti, più lunghi i quattro superiori, più brevi gli inferiori, terminano su due corone circolari concentriche poste in rotazione dal meccanismo di un orologio. Le corone, su cui ci sono rispettivamente 24 e 60 incavi equidistanti, per ogni direzione, compiono un giro completo l'una in 24 ore e l'altra in 60 minuti. A seconda di quali incavi raccoglievano il mercurio fuoriuscito per un terremoto si poteva risalire all'orario dell'evento, con la precisione di un minuto.



Probabilmente Cavalli non conosceva uno strumento molto simile al suo più semplice sismoscopio, proposto in precedenza dal francese J. de Haute-Feuille, che avrebbe successivamente ispirato N. Cacciatore. Si hanno notizie certe che il sismoscopio di Cavalli abbia fatto parte della strumentazione utilizzata presso la Specola del duca Caetani in Roma dall'aprile del 1784 al novembre del 1787, anche se, tuttavia, né lo strumento, né parti di esso sono sopravvissuti. Né si ha notizia che la versione oraria del sismoscopio sia mai stata realmente realizzata.



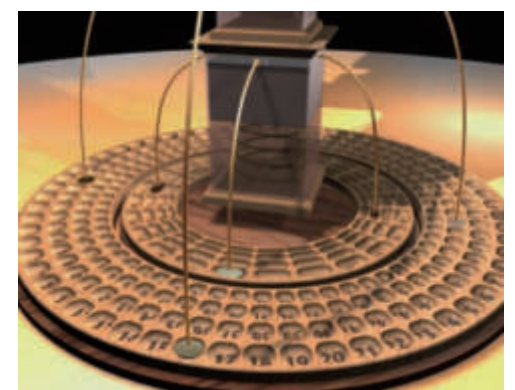
p. 321



Sismoscopio a mercurio Cavalli: disegno allegato alla descrizione che Cavalli diede della prima formulazione dello strumento, poi perfezionato con la registrazione oraria.



Ricostruzione della prima versione di sismoscopio a mercurio Cavalli.



Sismoscopio a mercurio a registrazione oraria: particolare di un'animazione che riproduce lo strumento all'atto della registrazione di ore e minuti del sisma nelle 4 direzioni.

SISMOLOGIA

Sismoscopio a

mercurio

Cacciatore;

(legno;

Ø 20x17 cm).

CRA-CMA



Sismoscopio a mercurio Cacciatore

1818



L'esistenza di un *sismografo* nell'Osservatorio astronomico di Palermo è comprovata dai registri delle osservazioni fin dal 1818, in cui, fra i fenomeni e le annotazioni che seguono alle osservazioni meteorologiche, per la prima volta si fa menzione del sismoscopio per descrivere i rilievi fatti in occasione del terremoto del 20 marzo 1818 alle Madonie. Effetti di terremoto del catanese sono documentati a Palermo in questo giorno, mentre una sequenza sismica con danni fu in quell'area dall'8 settembre 1818 al 31 maggio 1819. Dello strumento, introdotto all'Osservatorio da N. Cacciatore, dal 1817 direttore dell'Osservatorio astronomico di Palermo, abbiamo la prima descrizione da parte del figlio Gaetano solo l'anno dopo la morte del padre. Lo strumento, che ne ricorda uno analogo ideato nel 1703 dall'abate francese J. de Haute-Feuille, è una testimonianza di quanto la sismologia sperimentale affondi parte delle sue radici nell'astronomia.



Lo strumento è costituito da un piccolo recipiente circolare di legno, munito di coperchio, riempito di mercurio fino a lambire otto fori laterali equidistanti e orientati secondo i quattro punti cardinali e gli intermedi. Sotto ciascun foro un bicchierino di legno serve a raccogliere il mercurio versato a seguito di oscillazioni del recipiente conseguenti, in particolare, a un terremoto. Posto sopra un piano orizzontale, per

oscillazioni sufficientemente ampie, il mercurio esce da uno o più fori a seconda delle direzioni delle oscillazioni e viene raccolto nei corrispondenti bicchierini sottostanti. Secondo la descrizione di G. Cacciatore il mercurio così versato indicava le scosse *ondulatorie* dei terremoti, mentre se versato in tutti o quasi i bicchierini ne segnalava il carattere *succussorio*. Nel giugno del 1827, N. Cacciatore fece costruire un nuovo sismografo di legno di bosso, collocandolo nei locali dell'Osservatorio in una nicchia su di una base di marmo.



Nel 1898, ricevendo in dono da Francesco Paolo Crescimanno, direttore della stazione termo-udometrica e sismica di Corleone, un sismoscopio a mercurio, P. Tacchini, allora direttore dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica, scrisse che si trattava dello stesso apparecchio fatto costruire da N. Cacciatore e funzionante nella Specola palermitana sin dal 1818.

La testimonianza di Tacchini è da ritenersi attendibile dal momento che egli operò, per più di quindici anni (1863-1879), come assistente di Astronomia presso l'Osservatorio palermitano, sotto la direzione di G. Cacciatore.



p. 321



Sismoscopio a mercurio Cacciatore: vista dall'alto.



Particolare di uno dei canali di scolo del mercurio dal recipiente superiore e del sottostante bicchierino di raccolta. I bicchierini, opportunamente orientati, corrispondono ai quattro punti cardinali e agli intermedi.



Particolare dello strumento dopo il travaso di mercurio in uno dei bicchierini di legno, conseguente a un moto sismico.

SISMOLOGIA

Sismografo
elettromagnetico
Palmieri,
Giovanni Bandieri,
Napoli; (sensore:
legno, ottone,
rame, ferro
magnetizzato,
marmo, ardesia,
osso, vetro;
60x60x80 cm;
registratore:
legno, ottone,
rame, ferro,
marmo, ardesia,
tessuto, carta;
80x50x80 cm).
INGV-OV



Sismografo elettromagnetico Palmieri

1856 - 1864



Deciso a realizzare un sismografo, sensibile anche alle più piccole scosse, L. Palmieri realizzò un prototipo, utilizzando anche *la forza ausiliaria della corrente elettrica*, che nel 1856 installò all'Osservatorio Vesuviano. Nel 1864 Palmieri affidò a G. Bandieri, prestigioso costruttore napoletano, la realizzazione di un altro esemplare del suo sismografo.

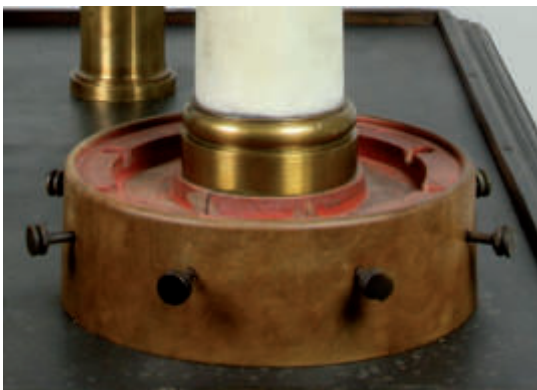


Lo strumento si compone di due parti: un sensore e un registratore. Il sensore comprende una serie di apparati per rilevare i movimenti verticali e orizzontali; quelli per i movimenti orizzontali sono tre: un sismoscopio a mercurio del tipo Cacciatore, così ricordato dallo stesso Palmieri, un pendolo con massa sferica circondata da otto asticelle di vetro, 4 tubi a *U* di vetro e aperti, riempiti di mercurio. Il sismoscopio tipo Cacciatore è costituito da un cilindro di legno di bosso con una scanalatura coassiale a forma circolare da cui partono 8 fori radiali verso l'esterno, chiusi da spine metalliche di forma conica con la funzione di tappi.

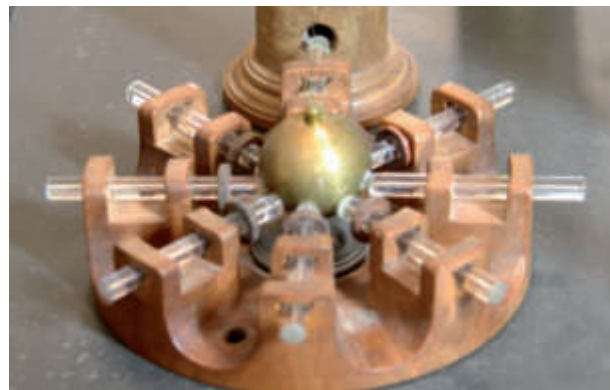
Il pendolo è costituito da un filo di acciaio che termina con una sfera di ottone circondata da otto asticelle radiali di vetro sostenute da una struttura di legno in cui possono scorrere con il minimo attrito. L'ampiezza del loro movimento orizzontale è delimitata da dischetti di cuoio coassiali alle asticelle.

Ciascun tubo di vetro a *U* ha i lati verticali aperti alle estremità, di diametri differenti, e viene riempito di mercurio fino a una certa altezza. Nella parte di tubo più larga una punta di ferro o platino è immersa nel mercurio, mentre nel tubo opposto più stretto un'analogo punta si trova a piccolissima distanza dalla superficie del mercurio. Questa distanza è opportunamente regolabile per rendere l'apparato più o meno sensibile all'ampiezza delle oscillazioni del mercurio nel tubo, conseguenti a movimenti orizzontali del terreno. Le due punte metalliche costituiscono i contatti elettrici di un circuito che comprende, oltre a una pila, anche il registratore. Sulla superficie libera del mercurio del tubo più stretto poggia un galleggiante di osso, collegato con un filo di seta a una puleggia di osso e a un contrappeso dalla parte opposta. Alla puleggia è solidale un indice per la misura dell'ampiezza dell'oscillazione del mercurio. Tale misura si effettua per mezzo di una scala graduata fissata alla colonnetta di ottone che sostiene la puleggia.

In occasione di un terremoto sufficientemente sensibile per lo strumento, il sismoscopio tipo Cacciatore travasa mercurio nei fori corrispondenti alle direzioni prevalenti del moto orizzontale; l'oscillazione del pendolo allontana le asticelle di vetro, nelle direzioni prevalenti del moto, di una quantità pari alla semiampiezza della massima oscillazione. L'oscillazione del mercurio nei tubi chiude il circuito che attiva il registratore e, sollevando i galleggianti,



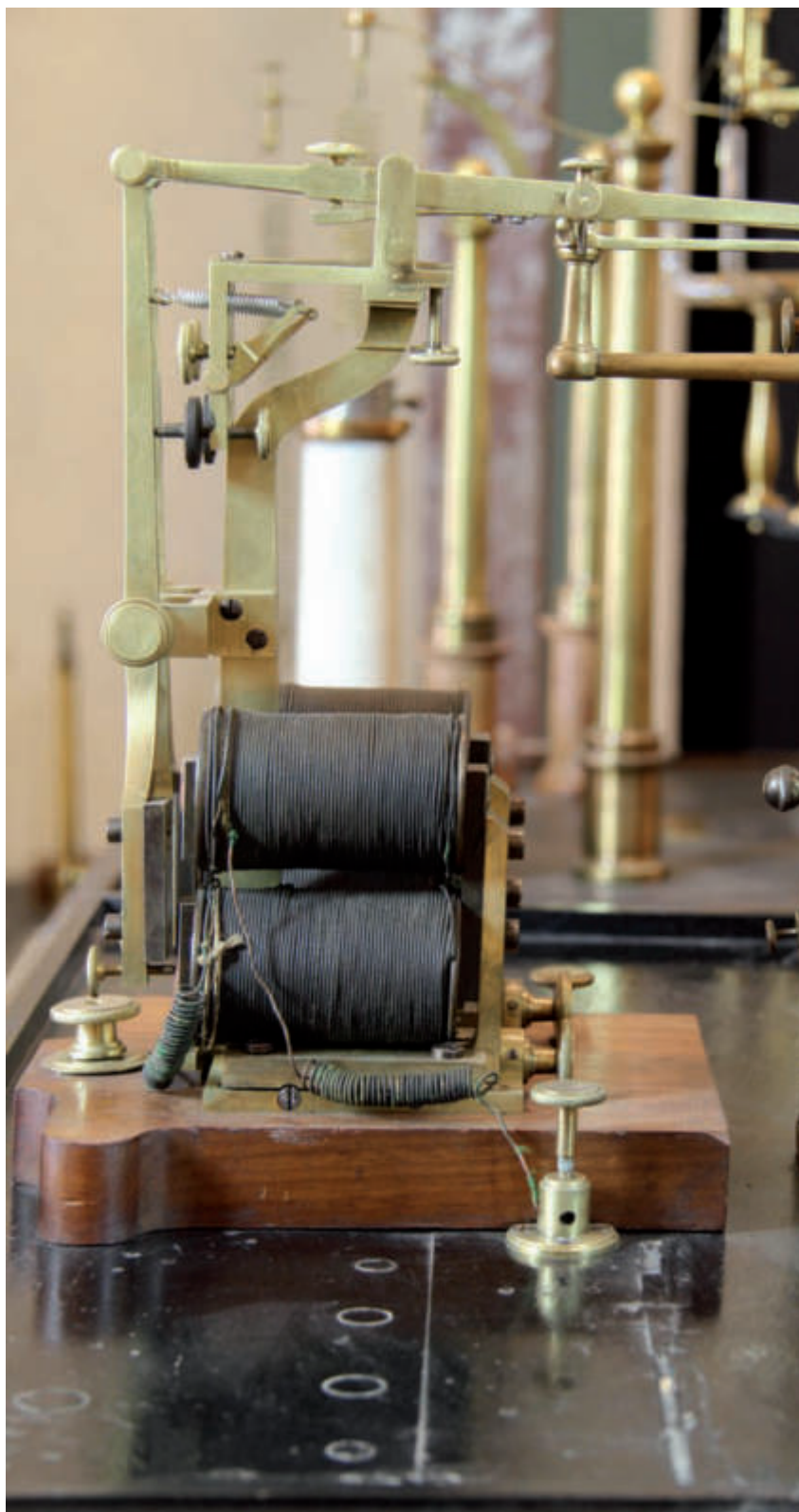
Sismoscopio tipo Cacciatore per i movimenti orizzontali. Sono visibili in primo piano i tappi degli 8 fori in cui travasa il mercurio secondo le direzioni di oscillazione del terreno.



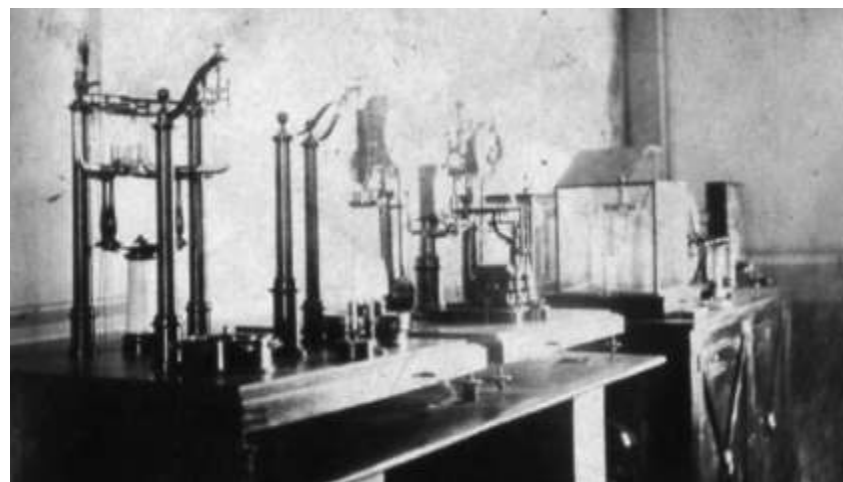
Particolare del pendolo per i movimenti orizzontali. L'oscillazione della sfera allontana i cilindretti di vetro relativi alle direzioni di oscillazione del terreno.



Sistema di tubi a *U* per i movimenti orizzontali. L'oscillazione del mercurio nei tubi, assente nella foto, chiude un circuito elettrico che attiva la registrazione.



Sensore del sismografo Palmieri: particolare delle elettrocalamite per la trasformazione dei segnali elettrici provenienti dagli apparati del sensore in movimenti, in tracciati semplici, punti e linee, sulla carta telegrafica di registrazione. In alto, una foto storica del prototipo dello strumento.

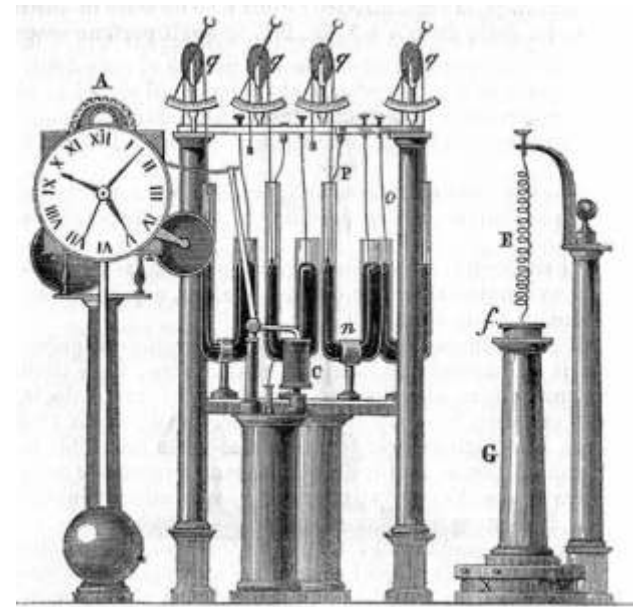


fa ruotare l'indice della corrispondente puleggia in quantità proporzionale all'oscillazione del mercurio. Gli apparati sensori per i movimenti verticali sono costituiti da due molle. La prima, più lunga, termina con un disco di ottone e un sottile magnete cilindrico posto molto vicino a una vaschetta di legno contenente limatura di ferro. Il disco di ottone poggia sul lato più corto dell'indice di una scala per la misura degli spostamenti verticali della molla. La seconda molla, più corta, è sostenuta da un braccio di ottone fissato a una colonna, anch'essa di ottone. La molla termina con una punta di ferro o platino mantenuta molto vicina alla superficie libera del mercurio contenuto in un recipiente cilindrico posto sulla sommità di una piccola colonna di marmo, coassiale al sismoscopio tipo Cacciatore precedentemente descritto. In caso di terremoto, la prima molla oscillando sposterà l'indice della scala indicando l'ampiezza dell'oscillazione verticale. Il registratore si compone di due orologi e un sistema elettromagnetico per la registrazione meccanica dei movimenti orizzontali e verticali rilevati dagli apparati del sensore. Due coppie di elettrocalamite costituiscono il sistema di trasduzione dei segnali elettrici provenienti dai sensori orizzontali (tubi di vetro) e verticale (molla piccola) in movimenti di leve per la scrittura su carta. Quando le oscillazioni degli apparati sensori, dotati di contatti elettrici, sono sufficientemente ampie da chiudere i rispettivi circuiti, ciascuna coppia di elettrocalamite attira la rispettiva ancora. A quest'ultima è collegato un sistema di leve che contemporaneamente blocca l'orologio di sinistra sul giorno, l'ora e i minuti dell'inizio della registrazione del terremoto, avvia l'orologio di destra per il

trascinamento della carta telegrafica di registrazione e muove una matita scrivente. Al momento del blocco dell'orologio di sinistra, due campanelli suonano, avisando dell'inizio della registrazione. A ogni attrazione delle elettrocalamite, due matite di colore diverso tracciano punti o linee: un colore per i movimenti orizzontali, l'altro per quelli verticali.

Palmieri pubblicò per la prima volta la descrizione del suo strumento solo nel 1859. In particolare, nella prima descrizione egli prevedeva tre piccole barre cilindriche magnetizzate, e non una come negli esemplari che ci sono giunti, con la limatura di ferro sottostante. I due esemplari tuttora esistenti sono: il prototipo e l'esemplare costruito da Bandieri. Il primo è conservato al Museo di Paleontologia dell'Università di Napoli, mentre il secondo è conservato al Museo dell'Osservatorio Vesuviano, presso la sede storica al Vesuvio. Un sismografo Palmieri fu inviato in Giappone dove funzionò, presso l'Ufficio Centrale Meteorologico di Tokio, dal 1875 al 1883, poi sostituito da un sismografo Gray-Milne.

Nel 1874 Palmieri progettò una versione portatile del suo sismografo, tuttora esistente all'Osservatorio Vesuviano, che ne consentiva il facile trasporto in zone dove erano in atto sequenze sismiche importanti. Nonostante i sismografi Palmieri siano stati gli strumenti più sofisticati, prima dell'avvento dei sismografi di F. Cecchi, J. Ewing, J. Milne e Brassart, l'elevato costo non ne consentì la diffusione auspicata dal suo ideatore.



Sismografo elettromagnetico fisso Palmieri: disegno schematico, pubblicato nel 1869, di parte dell'apparato sensore e dell'orologio per la determinazione dell'inizio della registrazione. E' presente a destra uno degli apparati per la rilevazione dei movimenti verticali. Sono qui evidenti le notevoli differenze di larghezza e altezza dei tubi a dell'apparato per i movimenti orizzontali.

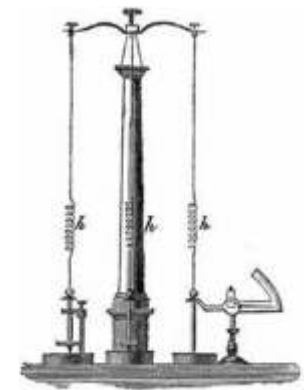
 p. 321



Sensore del sismografo elettromagnetico Palmieri: particolare dell'apparato per i moti verticali e per la misura della

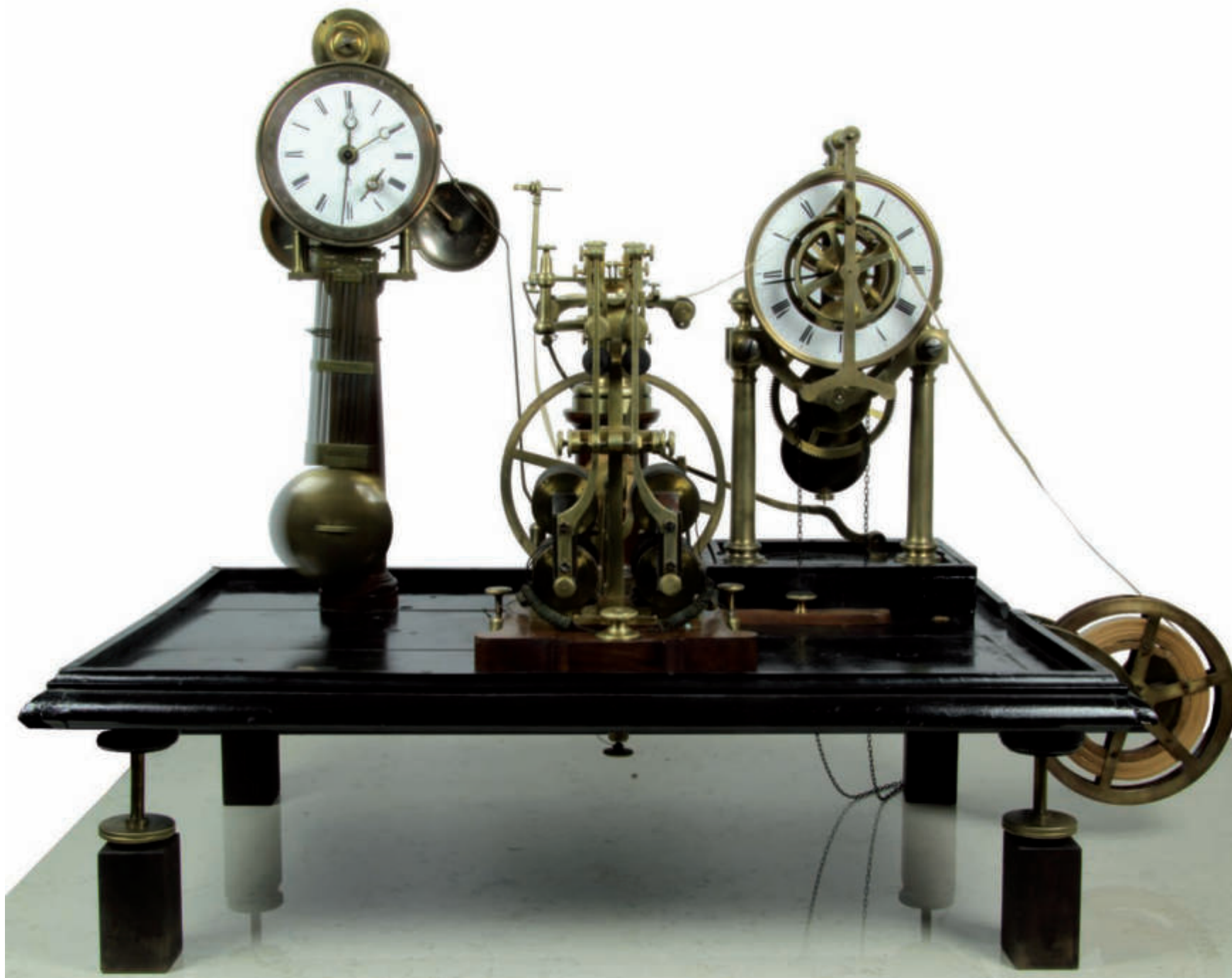


Particolare del secondo apparato per i movimenti verticali. L'oscillazione della molla mette in contatto il pesetto conico con il mercurio della vaschetta sottostante, chiudendo il circuito elettrico sul registratore.



Apparato per i movimenti verticali della prima versione del sismografo Palmieri. Sono presenti tre molle a spirale con magneti e una sola scala per la forza sospensiva.





SISMOLOGIA

Pendoli Cavalleri,
allestimento
realizzato da
Filippo Cecchi
all'Osservatorio
Ximeniano di
Firenze; (ferro,
ottone, vetro,
marmo;
160x30x250 cm).
OX



Pendoli sismoscopici Cavalleri



Nel 1856 G. M. Cavalleri, consapevole dell'importanza di progettare uno strumento in grado di **affrontare** la complessità **di un terremoto**, realizzò uno strumento composito da cui ciascun componente doveva intercettare una parte di questa complessità. Lo strumento consentì al suo ideatore di conoscere: orario della scossa, direzione della prima oscillazione, direzione, ampiezza e lunghezza delle oscillazioni orizzontali e di quelle verticali, composizione di entrambe, direzione di emersione di questa composizione, sua velocità, durata e intensità totale, quest'ultima a partire dalla durata delle oscillazione dei diversi pendoli.



Sei pendoli di lunghezze diverse, dunque con differente periodo di oscillazione, muniti di una punta immersa nella cenere in altrettante ciotole sottostanti, costituiscono l'apparato di rilevazione della direzione e dell'ampiezza dei moti orizzontali. Poiché il pendolo che lascia la traccia più ampia è quello che ha il periodo di oscillazione più vicino a quello del suolo, nelle intenzioni di Cavalleri lo strumento avrebbe indicato la frequenza dell'onda sismica. Lo strumento registrava l'istante di inizio della scossa, avviando un orologio a molla con bilanciere sempre caricato e tenuto fermo dal braccio più corto di una leva. La molla registrava e misurava l'intensità dei movimenti verticali. È probabile che L. Palmieri, direttore dell'Osservatorio Vesuviano, si sia ispirato allo strumento di

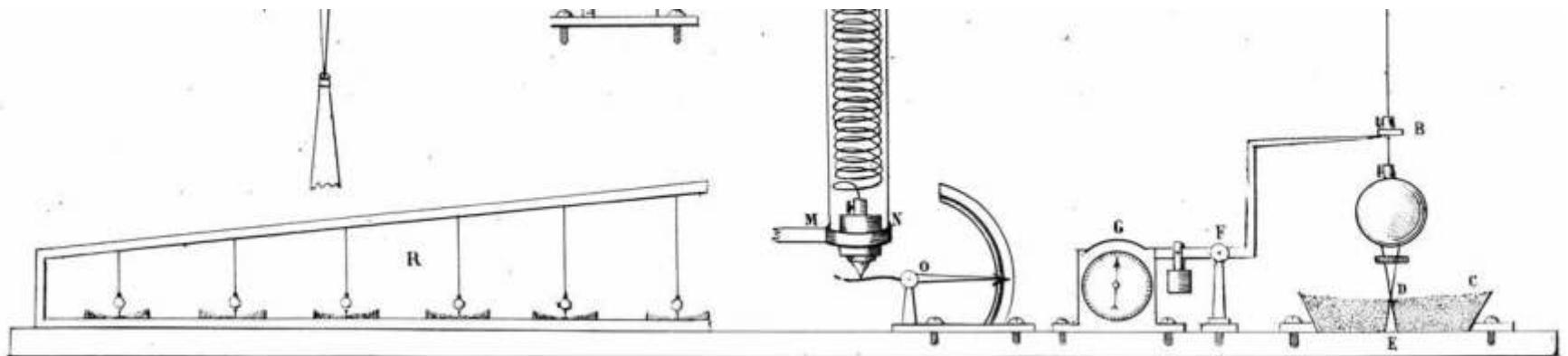
Cavalleri per alcune soluzioni progettuali del suo sismografo elettromagnetico, come lasciano supporre le similarità costruttive nell'avvio dell'orologio per determinare l'inizio del terremoto e nell'apparato di registrazione e misura dell'ampiezza dell'oscillazione verticale. Ciò trova sostegno nel fatto che entrambi gli studiosi dichiarano di avere realizzato e messo in funzione i propri strumenti nel 1856, ma Cavalleri pubblicò la descrizione del suo strumento nel 1857, due anni prima di Palmieri.



Lo strumento originale di Cavalleri è andato perduto, né è stata rintracciata alcuna delle copie che secondo una fonte sarebbero state prodotte dal Tecnomasio di Milano. L'unica serie di pendoli sismoscopici esistente fu costruita all'Osservatorio Ximeniano di Firenze, sotto la supervisione di F. Cecchi, con la differenza che le registrazioni sono su vetro affumicato, successivamente fissate con lacche naturali. I sette pendoli, tuttora conservati e visibili presso l'Osservatorio, registrarono numerosi terremoti nell'area toscana, fra cui quelli del 18 maggio 1895 a Firenze, del 29 giugno 1919 nel Mugello e del 7 settembre 1920 in Garfagnana.



p. 321



Sismometro Cavalleri: disegno tratto dalla descrizione originale dell'ideatore.


SISMOLOGIA

Tromometro antico
di T. Bertelli,
originariamente
installato dal suo
ideatore nel
sotterraneo
del Collegio *alla*
Querce di Firenze;
(ferro, ottone,
rame, vetro ottico;
Ø 18x25 cm).
IBN



Tromometri

1870 - 1875

 Incuriosito dalle esperienze condotte da astronomi su supposti spontanei e piccoli movimenti del suolo, il barnabita T. Bertelli, professore di Fisica al Collegio di Firenze, nel 1870 avviò osservazioni del moto di un lungo pendolo, nel seminterrato del collegio. Rinfrancato dai primi interessanti risultati, Bertelli perfezionò lo strumento che chiamò tromometro – dal greco (tremito) - e pubblicò nel 1872 le prime misure. Attorno a questa pubblicazione e sull'origine dei fenomeni osservati si sviluppò un dibattito che coinvolse anche M. S. de Rossi, studioso romano che avrebbe avuto nell'ultimo quarto del XIX secolo un ruolo fondamentale nella sismologia italiana. Nel 1872 Bertelli avviò sistematiche osservazioni tromometriche su una serie di strumenti da lui stesso realizzati che consentivano una valutazione numerica dell'ampiezza dell'oscillazione pendolare: chiamò tromosismometro l'insieme di un isosismometro con il quale misurava le oscillazioni orizzontali del suolo, un ortosismometro per la misurazione delle oscillazioni verticali e un avisatore sismico elettrico a mercurio. De Rossi impiantò un osservatorio tromometrico in una grotta del suo villino a Rocca di Papa, collocandovi un tromometro simile a quello di Bertelli e quattro pendoli sismometrici di varia lunghezza. Agli inizi del 1875 de Rossi espose i risultati di circa 7.500 osservazioni, confrontandoli con le contemporanee rilevazioni di Bertelli e del conte A. G. Malvasia a Bologna, e con i dati delle registrazioni del sismografo di L. Palmieri all'Osservatorio

Vesuviano. Nel periodo 1874-1875 Bertelli e de Rossi progettaronο i tromometri normale e a prisma, per rendere confrontabili le osservazioni nei vari osservatori interessati a installare questi strumenti.

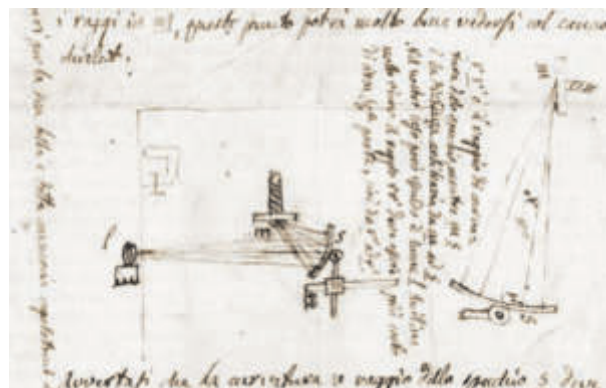


Il primo tromometro Bertelli

Una sfera pesante, appesa a un filo lungo e sottile, il tutto ben protetto da correnti d'aria, fu il primo tromometro di Bertelli. Dopo aver cercato per molto tempo la lunghezza ideale del pendolo, scelse per le proprie osservazioni, annotate dal 24 agosto 1871, un pendolo di 3,3 m. Il pendolo, sorretto da un robusto braccio di ferro, era formato da un filo di rame ricotto a cui era appesa una pesante sfera di piombo dotata di una punta sottile, sottostante e coassiale al filo, la quale corrispondeva al centro di una divisione circolare recante i punti cardinali. Con una lente Bertelli misurava le oscillazioni della punta del pendolo. Successivamente egli fece realizzare una struttura di ottone con un piccolo cannocchiale, rotante sopra un cerchio goniometrico, dotata di una scala micrometrica per le misure degli spostamenti del pendolo. Dello strumento originale resta la sfera e gran parte del sistema di misura. De Rossi, nel riprodurre le esperienze di Bertelli, fece realizzare una sua versione di questo primo tromometro con una massa cilindrica inserita in un tubo di cellulouide. La massa pendolare è circondata da quattro lamelle elastiche orientate secondo i punti cardinali e



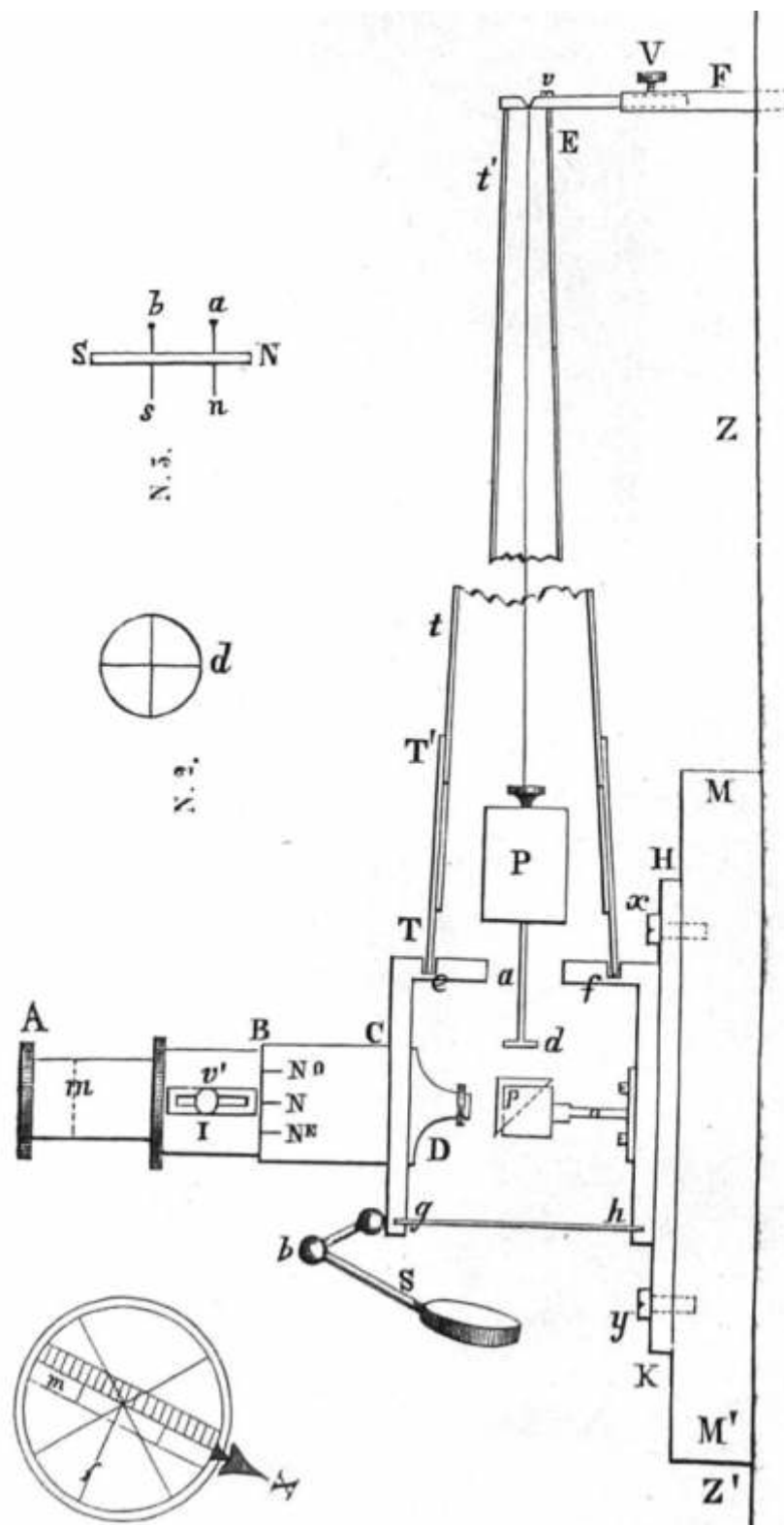
Disegno della grotta nel villino de Rossi di Rocca di Papa adattata dallo studioso a osservatorio geodinamico. Qui furono anche sperimentati altri prototipi di avvisatori sismici.



Lettera di G. Cavalleri a Bertelli, del 24 marzo 1874, sul sistema di illuminazione del crocifilo di misura del tromometro.



Lettera di de Rossi a Bertelli, del 10 marzo 1875, con la proposta della definizione e la diffusione di un tromometro normale e lo schema di un tromometro a prisma.



Schema costruttivo del tromometro a prisma, con i suoi componenti principali: massa da 100 g, sospesa a un filo di rame, con la croce di misura in *d* e il prisma sottostante. Il cannocchiale di misura porta nel cilindro *A* l'indicazione delle direzioni di osservazione corrispondenti alla rotazione del cannocchiale. In basso a sinistra del disegno: particolare della misura dell'oscillazione del pendolo.

collegate elettricamente a un sistema acustico. La chiusura del circuito avviene quando la massa del pendolo, connessa elettricamente al circuito attraverso il filo di sospensione, urta una delle lamelle.



Tromometro normale

Il tromometro normale è un pendolo costituito da un filo di rame ricotto di 1,5 m, appeso a una staffa fissata a un muro, che termina con una massa di ottone di 100g coassiale al filo. Sotto la massa è fissato un ago di cui si misura l'oscillazione per mezzo di una scala graduata inserita in un cannocchiale di misura, libero di ruotare su di un arco di 180°. Il filo è protetto da disturbi esterni con un tubo di latta, mentre la massa e l'ago sono protetti con tubi di vetro. Le misure vengono effettuate lungo due direzioni orizzontali ortogonali N-S ed E-O; in questo modo è possibile rilevare la posizione della punta del pendolo su di un piano perpendicolare al pendolo stesso.



Tromometro a prisma

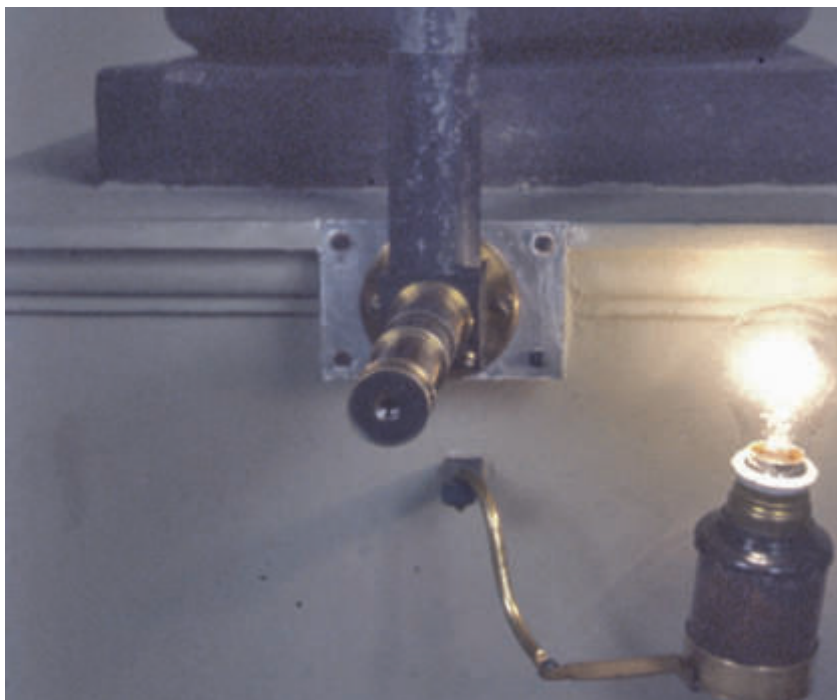
Nel 1874 Bertelli sostituì l'ago sotto il peso del pendolo con una piccola asticella che porta all'estremità un piccolo dischetto. Sulla faccia argentata del dischetto rivolta verso terra è incisa una croce. Questa appendice del peso entra in una cassettona con tre pareti di vetro contenente un prisma. Dalla scatola sporge un microscopio che ruota unicamente sul proprio asse e dotato, all'interno, di un micrometro graduato al decimo di millimetro. Il prisma riflette sopra un piano verticale la crocetta presente sul dischetto orizzontale consentendo di misurare con il micrometro gli spostamenti del pendolo su piani diversi per mezzo di una semplice rotazione del cannocchiale. La ghiera fissata alla cassettona di vetro e concentrica al cannocchiale porta incise le otto direzioni principali della rosa dei venti, per permettere, di volta in volta, una precisa valutazione del piano di misura.



La semplicità ed economicità costruttiva dei tromometri ne favorì la grande diffusione e nel 1888 oltre 50 tromometri costituirono la prima rete sismica italiana, completamente privata. Di questi strumenti, almeno una decina sono sopravvissuti alla dispersione: 5 a Roma, 2 a Firenze, 1 a Piacenza, 1 a Pesaro, 1 a Moncalieri e 1 a Mineo.



p. 322



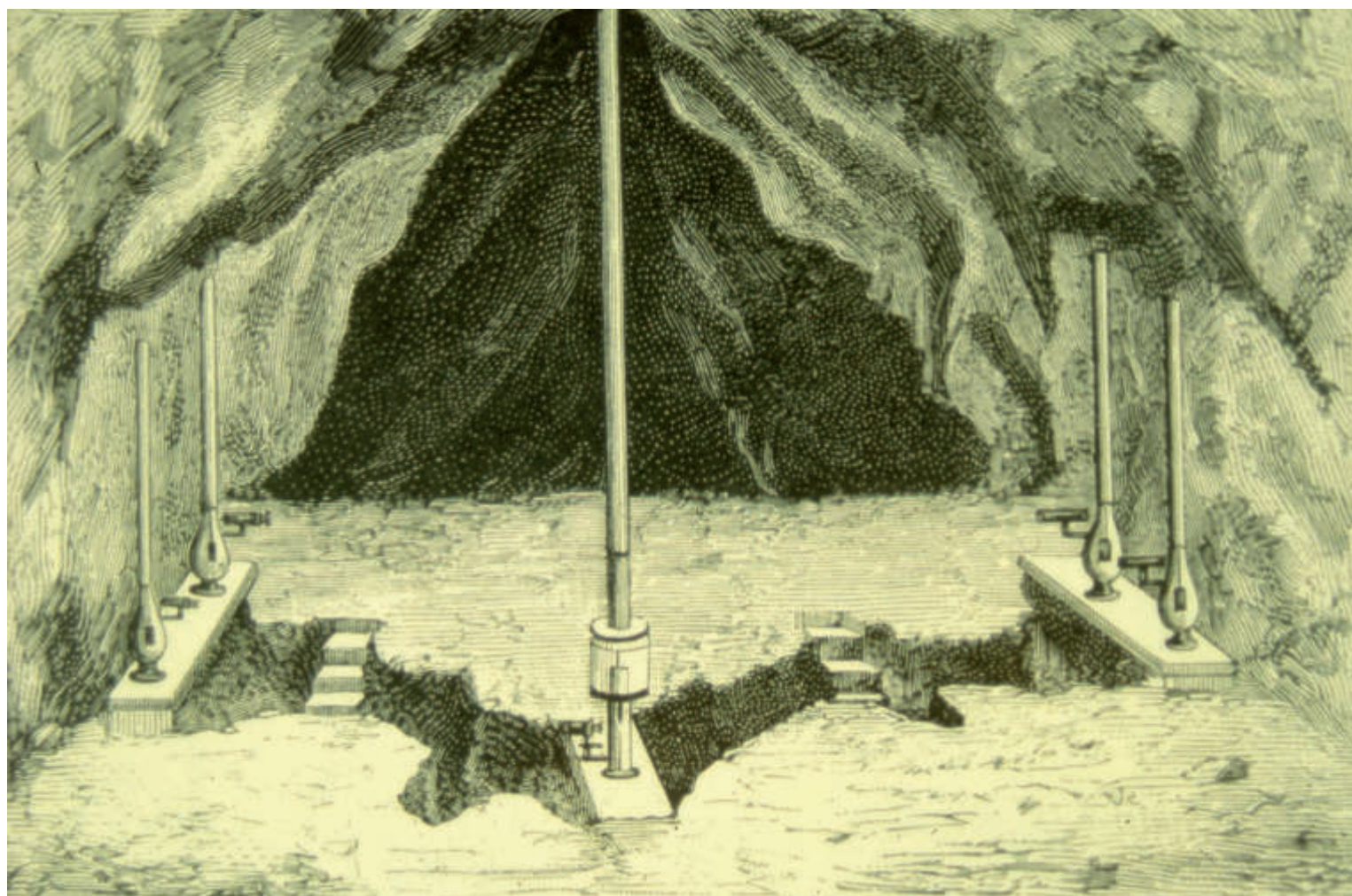
Tromometro a prisma dell'Osservatorio *alla Querce* di Firenze, nella sua collocazione originale, sopra un pilastro, isolato dal pavimento, sormontato da una colonna di ghisa a cui è fissato lo strumento.



Uno dei tromometri a prisma realizzati dall'Officina Galileo di Firenze, fra il 1875 e il 1880 circa. Questo esemplare è appartenuto a G. Alfani che lo utilizzò fin dal 1895, prima al Seminario Gavi di Livorno, poi all'Osservatorio Ximeniano di Firenze, dal 1905. Un altro esemplare di questo tromometro fu donato al papa Leone XIII per il suo giubileo sacerdotale nel 1888.



Pilastro sismico dell'Osservatorio del Collegio *alla Querce* di Firenze dopo i restauri dei primi anni '90 del Novecento. Al centro vi è la colonna di ghisa degli strumenti pendolari: tromometro (centro), isosismometro (sinistra) e ortosismometro (destra). In primo piano vi è un ricevitore telegrafico Breguet, trafugato a fine Novecento.



Disegno della grotta nel parco del villino a Rocca di Papa dove M. S. de Rossi condusse la sperimentazione sui diversi tipi di tromometri e sui prototipi di altri strumenti sismologici.



M. S. de Rossi, a destra, e il suo assistente Gatti nella sala degli strumenti sismici del Reale Osservatorio di Rocca di Papa, probabilmente in occasione dell'inaugurazione nei primi anni '90 del XIX secolo. In primo piano, a destra e a sinistra, gli avvisatori sismici Galli-Brassart e in secondo piano al centro il pilastro dei tromometri utilizzati da de Rossi nella sua grotta.

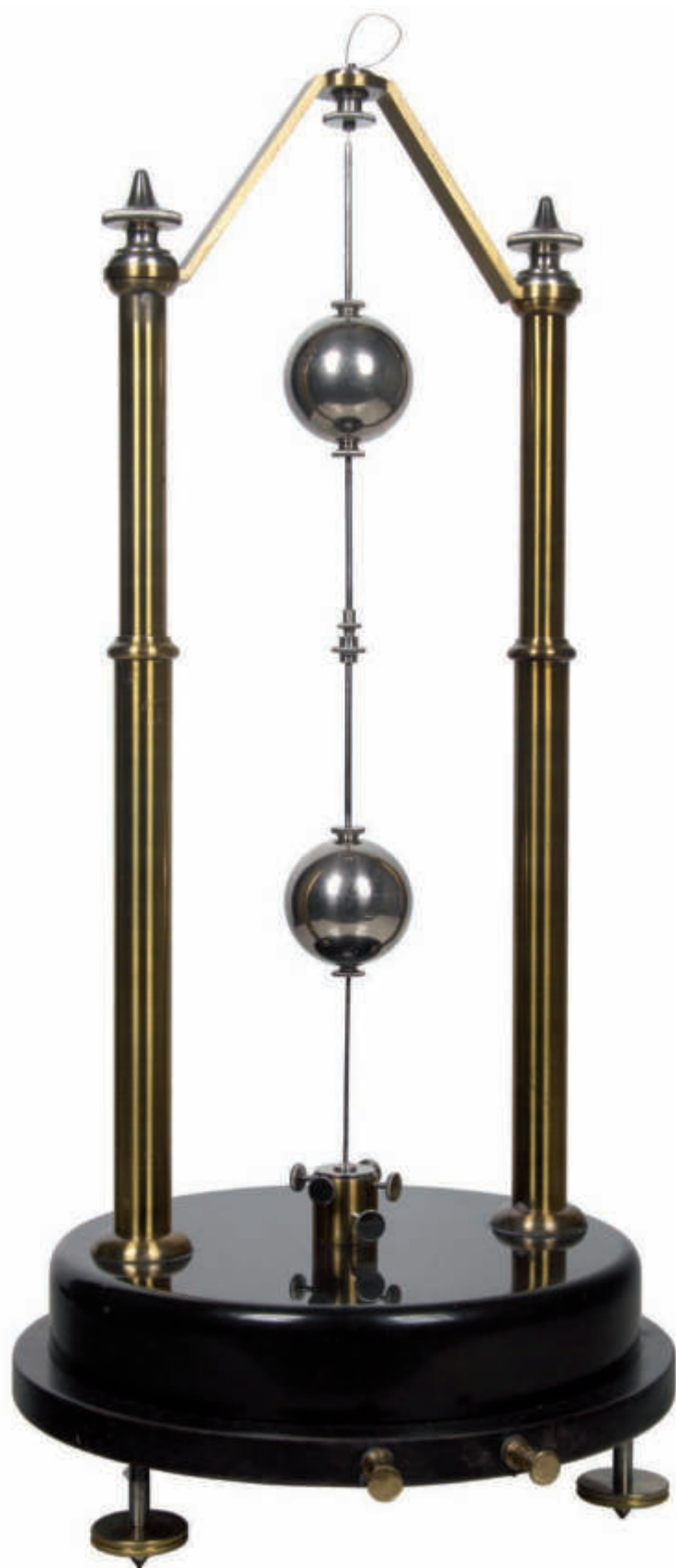
SISMOLOGIA

Sismoscopio a
doppio pendolo
Bertelli.

Lo strumento era
originariamente
collocato
nell'Osservatorio
del Collegio *alla
Querce* di Firenze;
(ottone, pietra,
ferro nichelato
Ø 25x55 cm).


IBN


A destra un
particolare delle
parti terminali dei
due pendoli che,
in caso di
oscillazione per
terremoto,
entrano in
contatto,
chiudendo un
circuitto elettrico
che provoca
l'avviso acustico
tramite un
campanello.



Avvisatore sismico a doppio pendolo Bertelli


c. 1880

 Fra il 1874 e i primi anni ottanta dell'Ottocento numerosi studiosi proposero diversi tipi di avvisatori sismici. Anche T. Bertelli contribuì con almeno due tipi di avvisatori sismici a doppio pendolo: uno a doppia spirale e l'altro con l'accoppiamento di un pendolo diretto e uno inverso. Solo di quest'ultimo rimangono due esemplari.

 Lo strumento si compone di un elegante sostegno in ottone a forma di rovesciata fissata a una base di pietra levigata. Nella parte alta centrale del sostegno è appeso un pendolo normale composto da un filo d'acciaio fissato a una sottile asta di ferro filettata, su cui una sfera di ottone nichelato può essere fissata ad altezze diverse, per mezzo di due dadi di bloccaggio. L'estremo inferiore dell'asticella termina con una punta conica. In asse con questo pendolo, un secondo pendolo, rovescio, è fissato alla base attraverso un sistema di bloccaggio che ne consente l'allineamento con il pendolo superiore. Con lo stesso sistema di bloccaggio e di regolazione, anche questo secondo pendolo porta una massa sferica identica a quella superiore. L'estremità superiore di questo pendolo rovescio termina con un cilindro metallico cavo che ospita, senza entrarvi in contatto, il terminale conico del pendolo superiore. I due pendoli sono collegati elettricamente ad altrettanti morsetti fissati sulla base dello strumento. Questo avvisatore sismico veniva inserito all'interno di un

circuito che comprendeva una pila e un campanello, ed eventualmente un sistema di bloccaggio di un orologio. L'oscillazione di uno o più dei due pendoli mette in contatto le rispettive estremità che chiudono così il circuito elettrico, facendo suonare il campanello e bloccando l'orologio.

L'altro strumento, di cui il precedente sembra essere un'evoluzione, è meglio documentato da pubblicazioni di Bertelli. Si compone di due pendoli a molla, una con la molla sospesa a un supporto ricurvo e l'altro con la molla fissata a una base di legno dotata di 3 viti calanti per regolarne la verticalità. Un sottile filo di platino, fissato alla massa cilindrica della molla superiore, è inserito, senza toccarlo, in un anello di mercurio contenuto in una coppetta di ferro montata in cima alla molla inferiore. Analogamente allo strumento precedente questo era inserito in un circuito elettrico di avviso. Ambedue gli strumenti erano protetti da disturbi esterni con una campana di vetro.

 Sono noti due esemplari dello strumento ancora esistenti, uno conservato presso l'Osservatorio Ximeniano di Firenze, l'altro presso il museo dell'Istituto Bianchi di Napoli.

 p. 322



Morsetto di fissaggio inferiore del pendolo rovescio dell'avvisatore Bertelli. Le viti di fissaggio consentono di regolare il posizionamento orizzontale del pendolo.



Sospensione del pendolo superiore dell'avvisatore Bertelli. Un sottile filo d'acciaio, solidale con l'asta rigida del pendolo superiore, è fissato con un sistema che ne consente la regolazione verticale.



Versione dell'avvisatore Bertelli con i pendoli a molla invece che rigidi. L'immagine è tratta dall'unica descrizione nota dello strumento da parte dell'autore.

SISMOLOGIA

Isosismometro

Bertelli.

Lo strumento era originariamente

collocato

nell'Osservatorio del Collegio *alla*

Querce di Firenze;

(ottone, ferro,

rame;

Ø 25x28 cm).

IBN

Lo strumento è stato oggetto di

interventi di

restauro, con

integrazioni delle

aste e dei

relativi noni.

L'Isosismometro

Bertelli

nell'originale

pilastro sismico

del Collegio *alla*

Querce di Firenze,

realizzato da

Bertelli, dopo i

restauri dei primi

anni '90 del

Novecento.

In alto in primo

piano anche

il tromometro

normale a prisma.



Tromosismometro Bertelli

1873



Il tromosismometro è un sistema di strumenti ideati da T. Bertelli che si compone di un isosismometro, per le componenti orizzontali del moto sismico e di un ortosismometro per la componente verticale.



Isosismometro

La misura delle oscillazioni orizzontali viene rilevata dall'isosismometro. La massa cilindrica di ferro del pendolo è circondata da un cerchio che sostiene 8 asticelle di vetro o di metallo, scorrevoli su un supporto, disposte a mezzo millimetro di distanza e orientate secondo i 4 punti cardinali e i 4 punti intermedi. Durante un terremoto, tutte o parte delle asticelle vengono allontanate dalla massa. Un sistema a nonio permette di misurare lo spostamento in millimetri di ciascuna asticella.



Ortosismometro

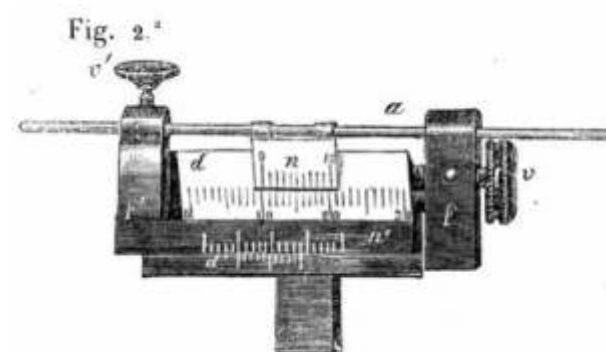
Per la misura delle oscillazioni verticali del suolo il filo del pendolo era sostituito da una lunga molla a spirale di rame, contenuta in un tubo di cartone, a cui era appesa una massa sferica di 5Kg, sotto la quale lungo l'asse, era innestato un sottilissimo ago di platino. Il cannocchiale con cui si osservava la punta di platino era girevole sopra un cerchio graduato cosicché la punta era visibile da tutte le parti. All'interno del cannocchiale, un vetro con divisioni millimetriche permetteva di misurare l'ampiezza delle oscillazioni ingrandite 10 volte. Di questo strumento, di cui esisteva una versione modificata fino a una quindicina di anni fa al Collegio [di](#), si sono perse le tracce



p. 322



Isosismometro Bertelli: particolare della massa e della corona di asticelle per la misura e l'orientamento delle oscillazioni del pendolo.



Disegno del sistema di misura a nonio dell'ampiezza delle oscillazioni del pendolo



Particolare visto dall'alto della massa e della corona di asticelle per la misura e l'orientamento delle oscillazioni del pendolo.

SISMOLOGIA

Sismoscopio

Malvasia,

appartenuto a

M.S. de Rossi;

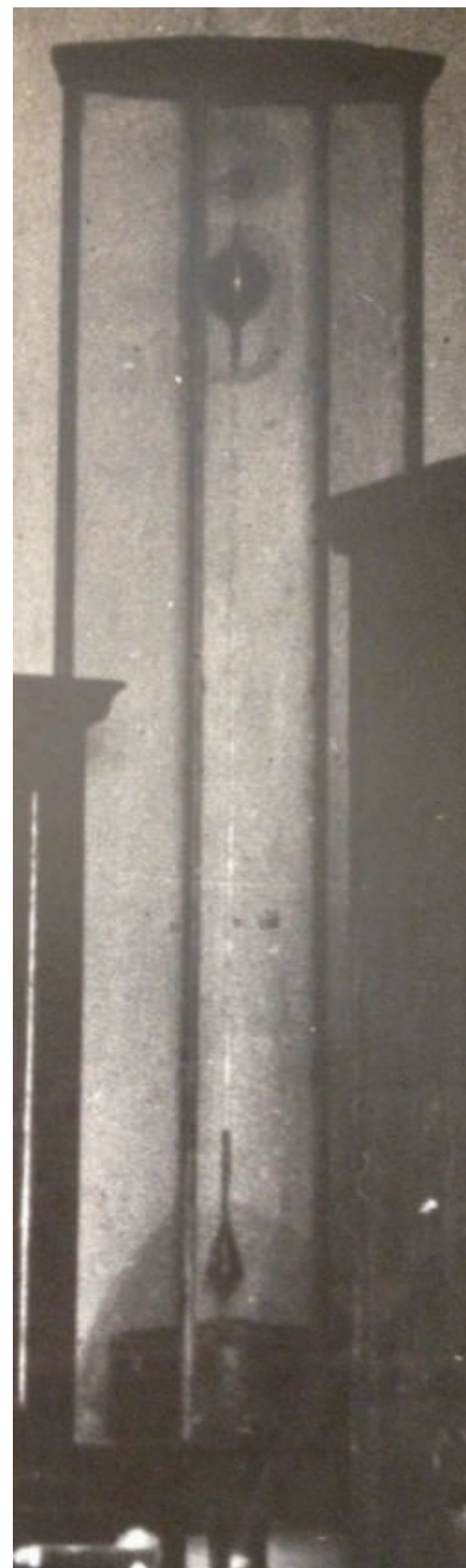
(legno, ferro,

ottone, vetro;

Ø 40x100).

CRA-CMA

Lo strumento, a destra in una foto di fine Ottocento, (installazione originale nell'Osservatorio di Rocca di Papa), è stato integrato di alcune parti. Dello strumento originale oggi sopravvivono: l'asta di vetro del pendolo e i relativi attacchi in ottone, la sfera e la struttura in legno scuro.



Avvisatore sismico Malvasia

1874



Il conte A. G. Malvasia contribuì alla rete spontanea di rilevazione di movimenti sismici, promossa e coordinata da M. S. de Rossi, con la realizzazione di un sismoscopio a pendolo verticale di particolare originalità costruttiva.



Una calotta sferica di legno con la convessità rivolta verso l'alto poggia su una base anch'essa in legno. Sulla superficie della calotta sono intagliate otto scanalature orientate secondo i punti cardinali. Su una punta metallica posta al vertice della calotta è collocata una sfera di ottone, mantenuta in equilibrio da una massa inerziale di forma conica, in ottone, appesa a una catenella, con la base tangente la sfera e il vertice rivolto verso l'alto. La base del cono termina con una vite concava, la cui concavità rivolta verso il basso mantiene in equilibrio la sfera e ne agevola il movimento. Un foro lungo l'asse della vite concava e della massa conica ospita un sottile ago metallico. Una vite posta tra la catenella e la massa inerziale consente la regolazione della pressione della massa conica sulla sfera, che a sua volta determina la sensibilità dello strumento.

In caso di terremoto, il moto relativo della sfera rispetto alla massa inerziale provoca la caduta della sfera lungo la scanalatura opposta alla direzione del moto del suolo.

La caduta della sfera libera l'ago metallico che esce dal suo alloggiamento

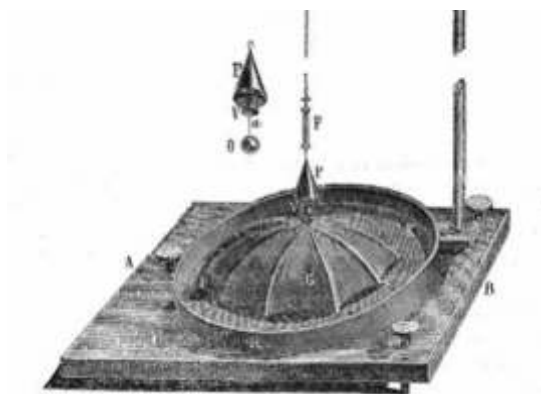
all'interno della massa inerziale e lo blocca in corrispondenza della scanalatura della calotta lungo la quale è rotolata la sfera, permettendo di risalire alla direzione di arrivo e al verso del primo arrivo. La sfera cade in una corona circolare alla base della calotta di legno e rotola fino a scivolare, attraverso un foro e lungo un tubo verticale, fino a colpire, nella prima versione dello strumento, il grilletto di un'arma da fuoco caricata a salve, che fungeva da avvisatore acustico. Successivamente, Malvasia apportò due importanti modifiche allo strumento: sostituì la catenella di sospensione con un'asta rigida di vetro, per evitare torsioni della catenella, e il sistema acustico di avviso con un contatto di ottone che chiude un circuito elettrico, facendo suonare un campanello e/o arrestare un orologio per registrare anche l'orario della scossa.



Sopravvivono due esemplari dello strumento: l'originale, che Malvasia utilizzò prima nel suo osservatorio privato e successivamente nell'osservatorio da lui fondato presso il Santuario di San Luca a Bologna, e una copia fatta realizzare a Roma da de Rossi per le sue osservazioni.



p. 322



Sismoscopio Malvasia: particolari della parte terminale del pendolo in posizione di riposo e della massa pendolare, della sfera e dell'ago coassiale alla massa, pubblicati da de Rossi.



Parte terminale del pendolo in posizione di riposo. La massa pendolare conica con il suo peso mantiene in delicato equilibrio la sfera che poggia sulla punta metallica della calotta sferica della base di legno.

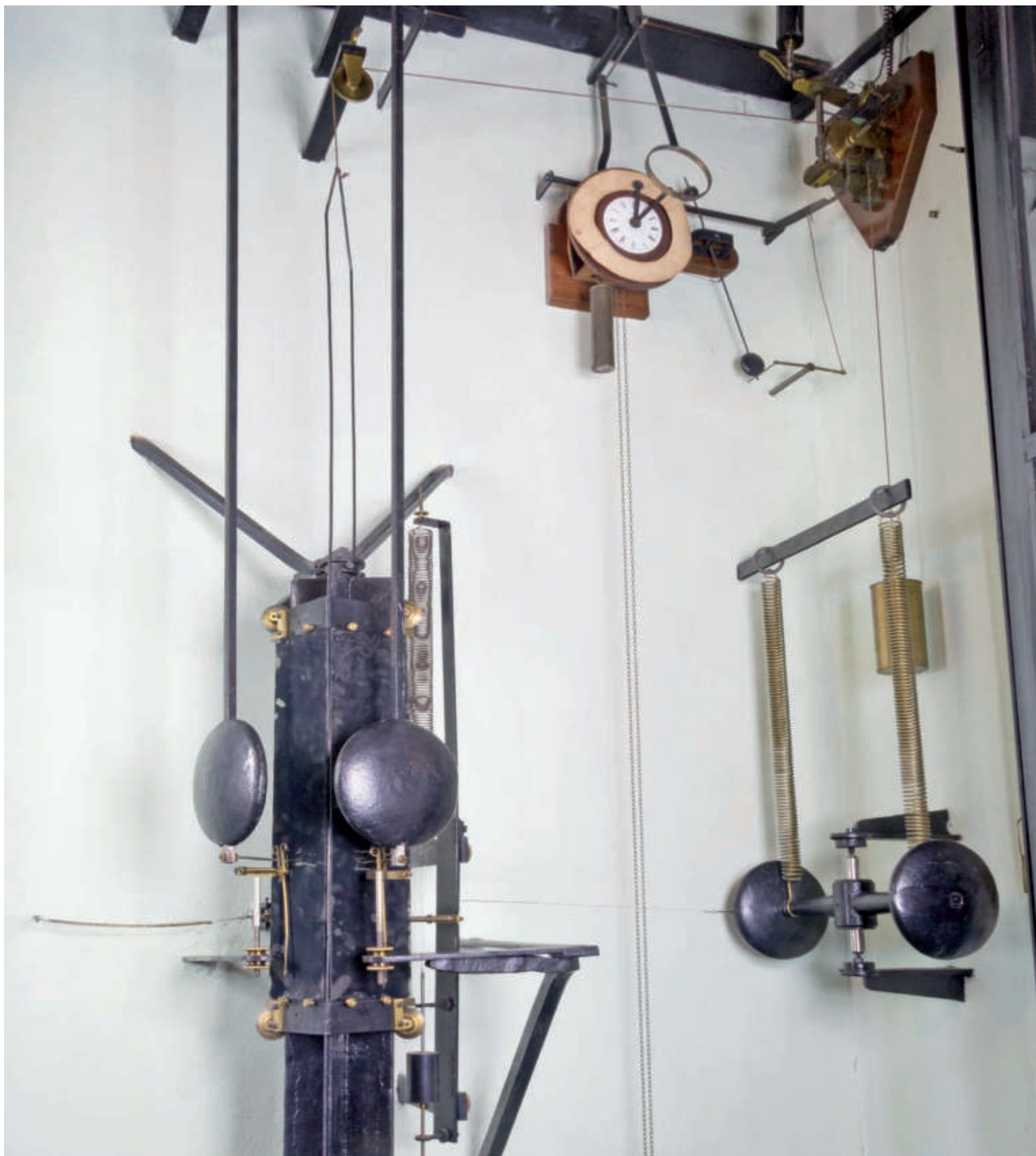


Parte terminale del pendolo dopo l'attivazione. La sfera è caduta e ha chiuso il circuito elettrico, mentre l'ago uscendo indica la direzione del moto sismico.

SISMOLOGIA

Sismografo
Cecchi a carte
affumicate
scorrevoli,
Officina Galileo,
Firenze;
(legno, ferro,
ottone, rame,
corda, vetro;
115x50x250 cm).

OX



Sismografo elettrico a carte affumicate scorrevoli Cecchi 1875 - 1879



Lo strumento, ideato nel 1875 e descritto nel 1876 da F. Cecchi, venne costruito allo scopo di registrare simultaneamente i movimenti verticali, orizzontali e *vorticosi* e consente inoltre di raccogliere anche informazioni sul numero di scosse, l'intensità, l'orario dei primi due eventi, con la durata di ognuno di essi.



Lo strumento è formato da due pendoli, oscillanti in piani verticali fra loro ortogonali, e da una molla a spirale gravata d'un peso, così da scomporre i moti del terreno secondo tre componenti ortogonali. Porta inoltre una specie di bilanciere, caricato di due lenti di piombo agli estremi dei suoi due bracci eguali, e girevole intorno a un asse verticale. Questa parte dello strumento, secondo le intenzioni di Cecchi, doveva registrare i moti così detti *rotatori* o *vorticosi*. A ciascuno di questi apparati sono collegati altrettanti pennini che registrano su carte o vetri affumicati disposti sulle 4 facce di un parallelepipedo retto. Un altro piccolo pendolo avvisatore, oscillando a causa di un terremoto, chiude un circuito elettrico, e determina lo scorrimento, per caduta, del parallelepipedo per metà della sua corsa, cosicché lo strumento è in grado di registrare due scosse successive.

Il sismografo è inoltre dotato di un orologio a sveglia con le lancette fisse sulle ore 12, trattenuto fermo da un sistema di controllo dell'avvio fino al

momento del primo movimento sismico. Ciò al fine di segnalare, in assenza di un osservatore, il tempo trascorso dal momento della prima scossa. All'occorrenza di un moto sufficiente ad attivare il pendolo avvisatore, si chiude il circuito elettrico su di un'elettrocalamita che libera sia il meccanismo di discesa del parallelepipedo delle carte affumicate sia l'orologio, che si avvia e una suoneria entra in funzione. Un pendolo conico garantisce la regolarità della velocità di caduta del parallelepipedo di registrazione.

Sismografo elettrico a carte affumicate scorrevoli (secondo modello)

Lo strumento, di cui sopravvive un solo esemplare, ricorda come principio di funzionamento il sismografo Cecchi sopra descritto. Questo, come altri strumenti di Cecchi, non è documentato in modo diretto, ma sappiamo che un esemplare fu esposto nel 1879 a Roma, al Congresso internazionale di meteorologia. Lo strumento è descritto da V. Nigri come una variante più compatta e sofisticata, scrivente su rullo rotante, del sismografo elettrico a carte affumicate scorrevoli.

Lo strumento che ci è pervenuto si presenta, infatti, più compatto, più sofisticato nei meccanismi di registrazione di più scosse e con una maggiore amplificazione. La registrazione avviene su di un foglio di carta affumicata avvolta a un rullo rotante.



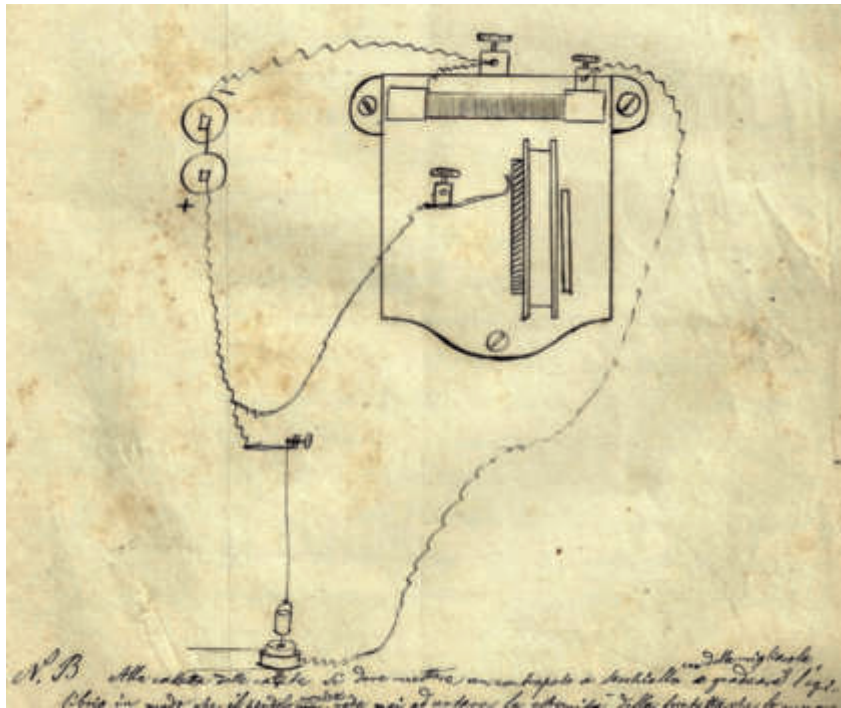
Sismografo elettrico a carte affumicate scorrevoli Cecchi: particolare del sistema di registrazione delle componenti orizzontali del terremoto.



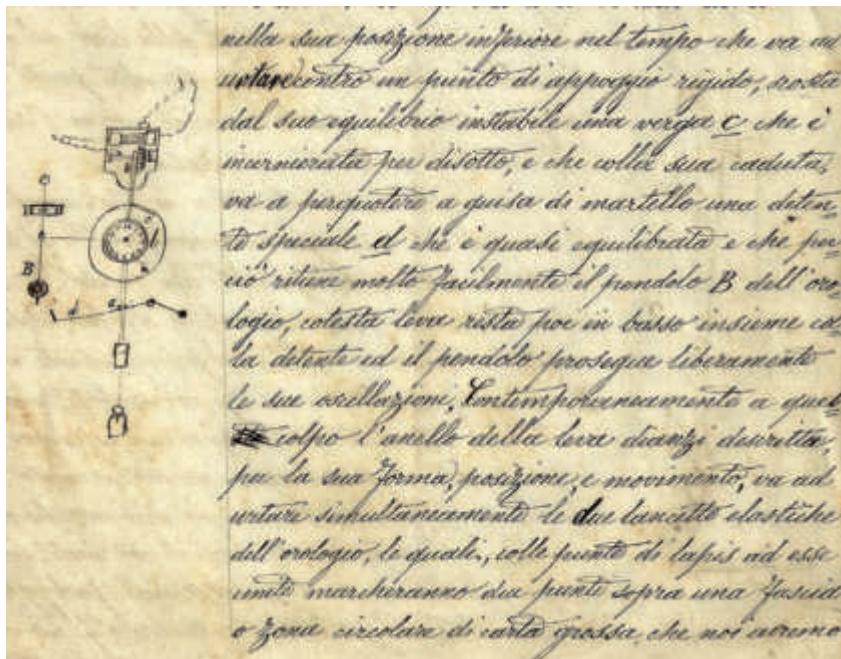
Particolare del sistema per segnare l'orario delle scosse. All'avvio della registrazione un anello di ottone urta le lancette, le cui matite segnano sulla carta due punti da cui si risale all'orario.



Particolare del sistema di controllo dell'avvio e della velocità di scorrimento delle carte di registrazione.



Sismografo elettrico a carte affumicate scorrevoli Cecchi: particolare del sistema di avvio della registrazione in una lettera di F. Cecchi a L.Guidi, con le istruzioni per installare lo strumento. In basso il pendolino avvisatore che funge da interruttore per chiudere il circuito sulla pila (in alto a sinistra) e attivare l'elettrocalamita sempre in alto, che sblocca la discesa del parallelepipedo di registrazione.

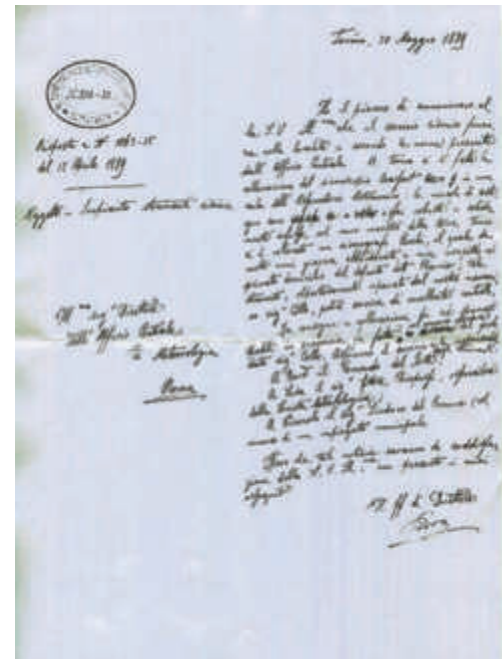


Il sistema di avvio della registrazione nella lettera di istruzioni di F. Cecchi a L.Guidi. In basso il pendolino avvisatore la cui azione sblocca anche il pendolo B dell'orologio di registrazione dell'orario del terremoto. Al centro, sul quadrante dell'orologio, l'anello di ottone connesso funzionalmente al sistema di sblocco del parallelepipedo di registrazione.

Lo strumento è installato su di una colonna di legno, dipinta a finto marmo e conservato presso il museo del CRA-CMA. La parte dello strumento dedicata alla rilevazione dei movimenti orizzontali è formata da due pendoli del tutto identici a quelli dello strumento precedentemente descritto, oscillanti su due piani ortogonali, in genere disposti N-S ed E-O, uno fissato alla faccia destra della colonna e uno a quella posteriore. I pendoli trasmettono il loro movimento a due pulegge munite di pennini scriventi sopra un foglio di carta affumicata avvolta sul rullo di registrazione verticale.

I movimenti verticali sono rilevati da un meccanismo formato da una molla a spirale verticale, lunga circa 80 cm, tenuta in tensione nella parte inferiore da una massa. A questa estremità della molla è collegato un filo che risale verticalmente e, attraverso un sistema di pulegge, trasmette il movimento a un pennino scrivente sul rullo della carta affumicata.

Il bilanciere dell'apparato dedicato ai *moti vorticosi* si trova sopra l'orologio e da una delle due masse si allunga orizzontalmente un filo che, per mezzo di una puleggia, trasmette il movimento a un quarto



Minuta di lettera del 30 maggio 1889 scritta da F. Porro a P. Tacchini, direttore dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica. Porro segnala a Tacchini l'avvio del servizio sismico nel territorio torinese e di avere installato nell'Osservatorio un sismografo Cecchi, il quale giaceva abbandonato a mia insaputa, nel privato domicilio del defunto dott. Charrier.

pennino scrivente sul rullo. Il sistema di trascinamento della carta, normalmente fermo, entra in funzione solo all'occorrenza di un movimento rilevabile da un terzo pendolo a braccio corto, a sinistra in alto della colonna, ed è in grado di riattivarsi fino a 2 volte per ogni carica del sistema di registrazione. Quando si verifica un terremoto, il moto di questo pendolo sblocca l'orologio responsabile del movimento del rullo di registrazione e il sistema di attivazione della registrazione composto da: puleggia, ruota dentata, conchiglia e tamburo.

Un ingegnoso gioco di leve consente di far battere un anello di ottone contro le lancette dell'orologio (le cui matite fissano l'orario della scossa sulla striscia circolare) e di ripristinare l'apparato di registrazione a completamento della rotazione del sistema dopo circa 2 minuti dall'inizio della registrazione.

1876 Nel 1876 erano stati costruiti già sei esemplari del primo modello presso l'Officina Galileo in Firenze, sotto la direzione di L. Golfarelli; di questi uno venne collocato presso l'Osservatorio Ximeniano, un altro era in uso presso l'Osservatorio del Seminario di Fiesole, nei pressi di Firenze, il terzo operò per molti anni nell'Osservatorio Geodinamico del Collegio *Carlo Alberto* di Moncalieri, nei pressi di Torino, e con esso fu ottenuta la più antica e significativa registrazione in occasione del disastroso terremoto ligure del 23 febbraio 1887. Il quarto strumento fu acquistato, ma mai installato, nel gennaio del 1877 da L. Guidi, direttore dell'Osservatorio Valerio di Pesaro, il quinto funzionò presso l'Osservatorio Meteorologico *Vincenzo Nigri* di Foggia, il sesto infine restò in funzione per molti anni nell'Osservatorio sismologico di Perpignan in Francia.

Del secondo modello, di cui sopravvive un unico esemplare, non conosciamo la prima destinazione, ma sappiamo solo che fu ritrovato da Francesco Porro (1861-1937), direttore dell'Osservatorio Astronomico di Torino, nel domicilio del defunto Angelo Charrier. Nel 1889 Porro lo installò nell'Osservatorio, ma pochi anni dopo ne fece dono al museo dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica di Roma (oggi CRA-CMA).



p. 322



Sismografo elettrico a carte affumicate scorrevoli Cecchi (secondo modello): in primo piano il rullo di registrazione e la molla per la componente verticale del moto; immediatamente sopra l'orologio e il bilanciante per i moti *rotatori*. A destra il pendolo per una delle componenti orizzontali e a sinistra in alto il piccolo pendolo per l'avvio della registrazione. Lo strumento è tutt'ora conservato nel museo del CRA-CMA; (ferro, ottone, piombo, legno, rame; 50x60x250 cm).

SISMOLOGIA

Microfono sismico

Mocenigo -

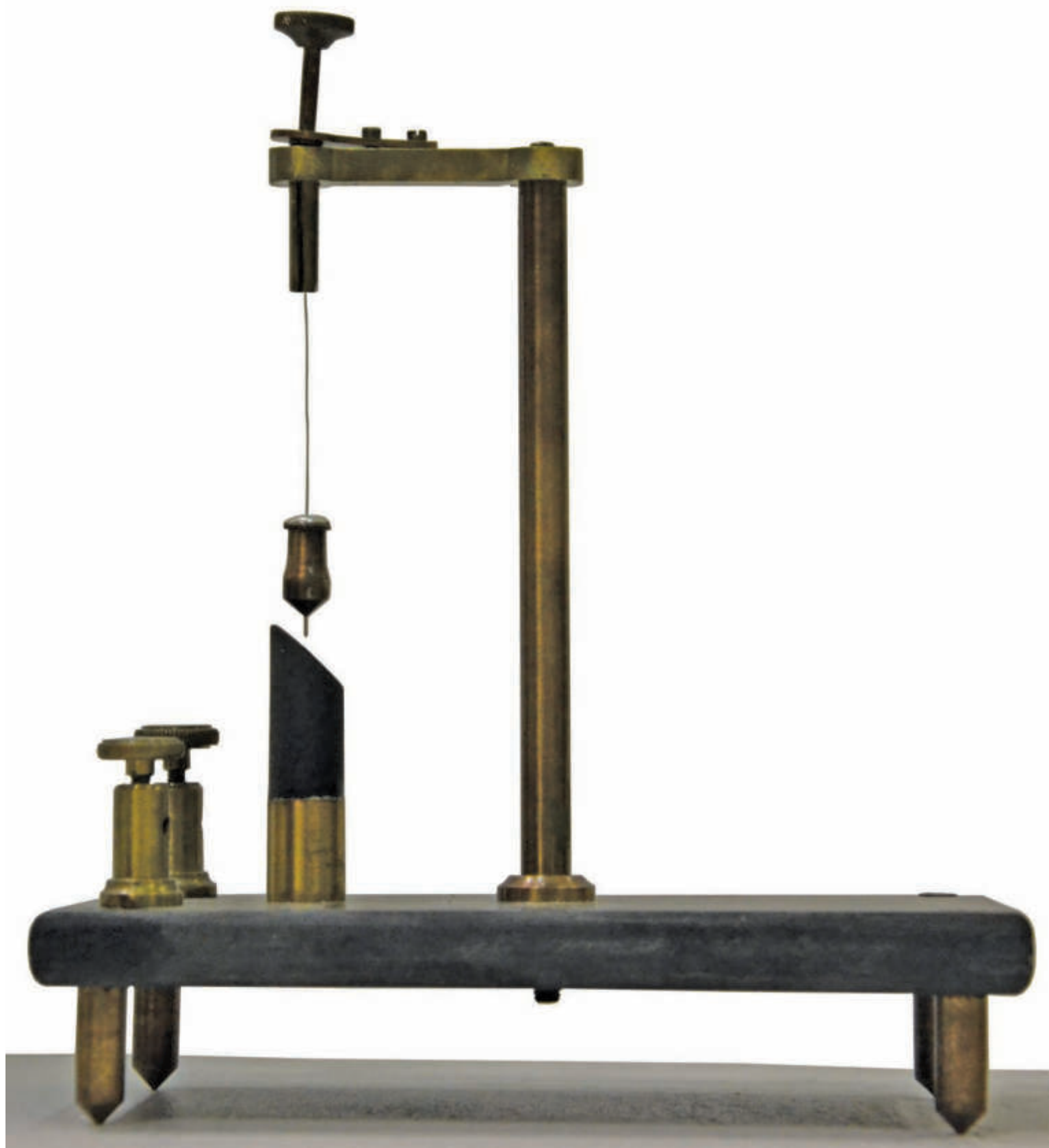
de Rossi;

(ferro, ottone,

grafite, rame;

17x11x21 cm).

INGV-OV



Microfono sismico Mocenigo - de Rossi

1875 - 1878



L'idea di realizzare uno strumento per rilevare e registrare i rumori prodotti dai fenomeni sismici venne a M. S. de Rossi nel 1875 a seguito di alcune considerazioni fatte dal Conte G. Mocenigo di Vicenza, in un articolo pubblicato quell'anno, dove mostrava la corrispondenza tra perturbazioni e interruzioni della corrente elettrica in un galvanometro e perturbazioni naturali dovute a scosse microsismiche.

Questa esperienza spinse de Rossi a intraprendere una serie di osservazioni sperimentali presso la sua grotta-osservatorio di Rocca di Papa, dove installò il suo primo microfono sismico.



Lo strumento è costituito da un microfono speciale a bilancia montato su una lastra di pietra, composto semplicemente da un filo metallico e da un piano d'argento collocato a diretto contatto con le rocce affioranti del suolo, isolato da disturbi accidentali e protetto all'interno di una custodia. Lo strumento era collegato con un telefono mediante il quale era possibile ascoltare i rumori prodotti dal microfono. Trasformando in suono le vibrazioni sismiche, il microfono aveva, secondo de Rossi, la particolare capacità di misurare l'intensità e la durata di un terremoto. Per questioni di semplicità ed economia di costruzione, de Rossi decise di sostituire il microfono con due oggetti semplici e facilmente reperibili: un orologio da taschino e un chiodo. Una pila elettrica veniva collegata al

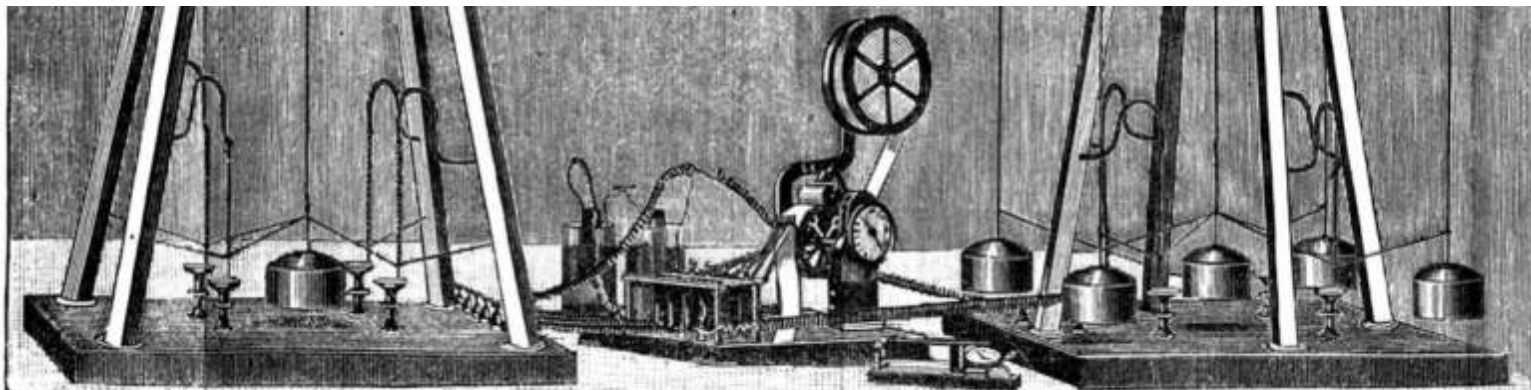
meccanismo: il primo polo alla leva metallica che sorreggeva il chiodo e il secondo, passando per il telefono, alla cassa metallica dell'orologio. In questo modo era possibile ascoltare il ticchettio dell'orologio e le vibrazioni che fossero intervenute a disturbare il contatto tra il chiodo e la cassa dell'orologio.



De Rossi approfittò delle ore notturne per sperimentare lo strumento, rilevando la corrispondenza tra i suoni prodotti dal microfono e l'attività dei sismografi. Durante l'eruzione del Vesuvio nel settembre 1878, recandosi a Pozzuoli e sul cratere del vulcano, egli studiò la relazione tra i rumori prodotti dal microfono sismico e l'attività del vulcano. Nel 1881, su invito del Ministro di Agricoltura, Industria e Commercio, de Rossi presentò all'Esposizione Universale di Parigi tre suoi strumenti: il Microfono sismico, il Protosismografo e il Microsismografo ricevendo in premio un diploma d'onore. L'Ascoltatore endogeno di G. Mugna, strumento che si basava sullo stesso principio del microfono, fu premiato con una medaglia d'argento. Il Microfono sismico de Rossi ebbe una certa diffusione in Italia e in Europa.



p. 322-323



Particolare di un'incisione che raccoglie l'allestimento espositivo dei tre strumenti presentati da de Rossi all'Esposizione Universale di Parigi, nel 1881. A sinistra il Protosismografo, al centro un registratore e il Microfono sismico, a destra il Microsismografo. Al centro, in secondo piano, la pila Minotto che dava tensione al circuito.

di Parigi, nel 1881. A sinistra il Protosismografo, al centro

SISMOLOGIA

Sismografo Galli;
(ottone, ferro,
ferro magnetizzato,
lamierino di ferro,
vetro, marmo;
40x40x60 cm);
CRA-CMA

A destra lo stesso
strumento nella
sua custodia
protettiva che
porta in cima un
sistema di
osservazione delle
oscillazioni di uno
dei due pendoli
rovesci.

Questa parte,
andata perduta, è
qui ricostruita
sulla base di
disegni editi.



Sismografo Galli

1879



I. Galli ideò uno strumento costituito da diversi sistemi che consentivano anche a non esperti di registrare l'ampiezza e la direzione dei moti orizzontali e verticali del suolo e l'orario dell'evento.



Sopra una base di marmo sono fissati una barra di ottone a forma di *U* rovesciata e due colonnine di ottone che terminano con una punta di ferro. Su ciascuna delle colonnine un pendolo rovescio, costituito da una base conica a cui è fissata una lunga asta sottile, è libero di oscillare in ogni direzione orizzontale. Nella piccola semisfera di ottone al vertice della base conica del pendolo è incastonata una coppetta di pietra dura che poggia sulla punta della colonnetta sottostante. Delle due aste dei pendoli, una è più corta e termina con un telaio quadrato con un vetro affumicato. Su di esso, un ago fissato alla barra di ottone serve a tracciare il segnale del moto relativo fra il vetro e la punta, dando indicazione sulla direzione e l'ampiezza del moto orizzontale. Un microscopio sopra la custodia dello strumento rende possibile osservare oscillazioni di ampiezze molto piccole del pendolo più lungo. Un'altro pendolo rovescio, fissato al centro del basamento di marmo, permette il tracciamento della direzione dei movimenti sismici, per mezzo di un telaietto di ferro che sostiene un vetro affumicato, su cui vengono registrati i moti orizzontali con un sistema ad ago, analogo al precedente. Per stabilire poi il verso di provenienza del

moto, Galli ideò un meccanismo costituito da una barretta cilindrica di ferro con una massa sferica in alto e la superficie inferiore piana, poggiata su di un disco orizzontale, circondata da una corona circolare a forma di cono rovesciato, suddivisa in sedici parti uguali, orientate secondo i punti cardinali. Se il supporto oscilla, la barretta si comporta come un pendolo rovescio non vincolato e cade sulla corona circolare, nel verso opposto a quello di provenienza del moto; cadendo, muove una leva che ferma il pendolo dell'orologio sull'orario del terremoto. Una molla a spirale con massa cilindrica evidenzia i moti sismici verticali. L'oscillazione della molla attiva la registrazione sopra un foglio o vetro affumicato. Lo strumento è inoltre dotato di un sistema con calamita per rilevare eventuali variazioni d'intensità del campo magnetico terrestre, ipotizzate in occasione di terremoti da precedenti studi di T. Bertelli e A. G. Malvasia.



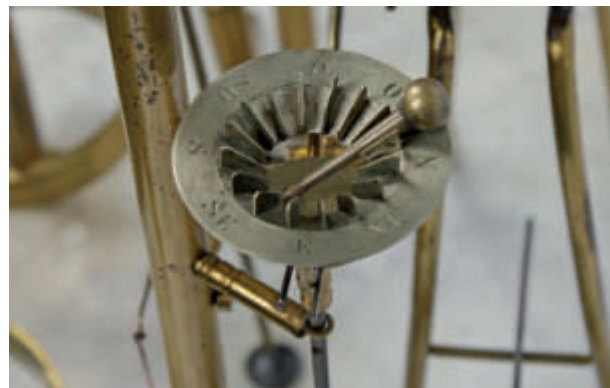
Galli sperimentò il nuovo strumento in occasione di un terremoto il 13 ottobre 1879 (ore 11:50 UTC) in Velletri. La leggerissima scossa causò la caduta della barretta sulla divisione SSO, si fermò l'orologio e si ottennero due tracce nei vetri affumicati dei sistemi pendolari.



p. 323



Particolare degli apparati di registrazione su vetro affumicato dei movimenti orizzontali. I pennini sono solidali con la struttura del sismografo mentre si muovono i vetri di registrazione.



Sistema a caduta di un pendolo rovescio per fissare la direzione prevalente dei movimenti sismici orizzontali. Questo sistema fu ripreso dai Fratelli Brassart nei loro avvisatori sismici.



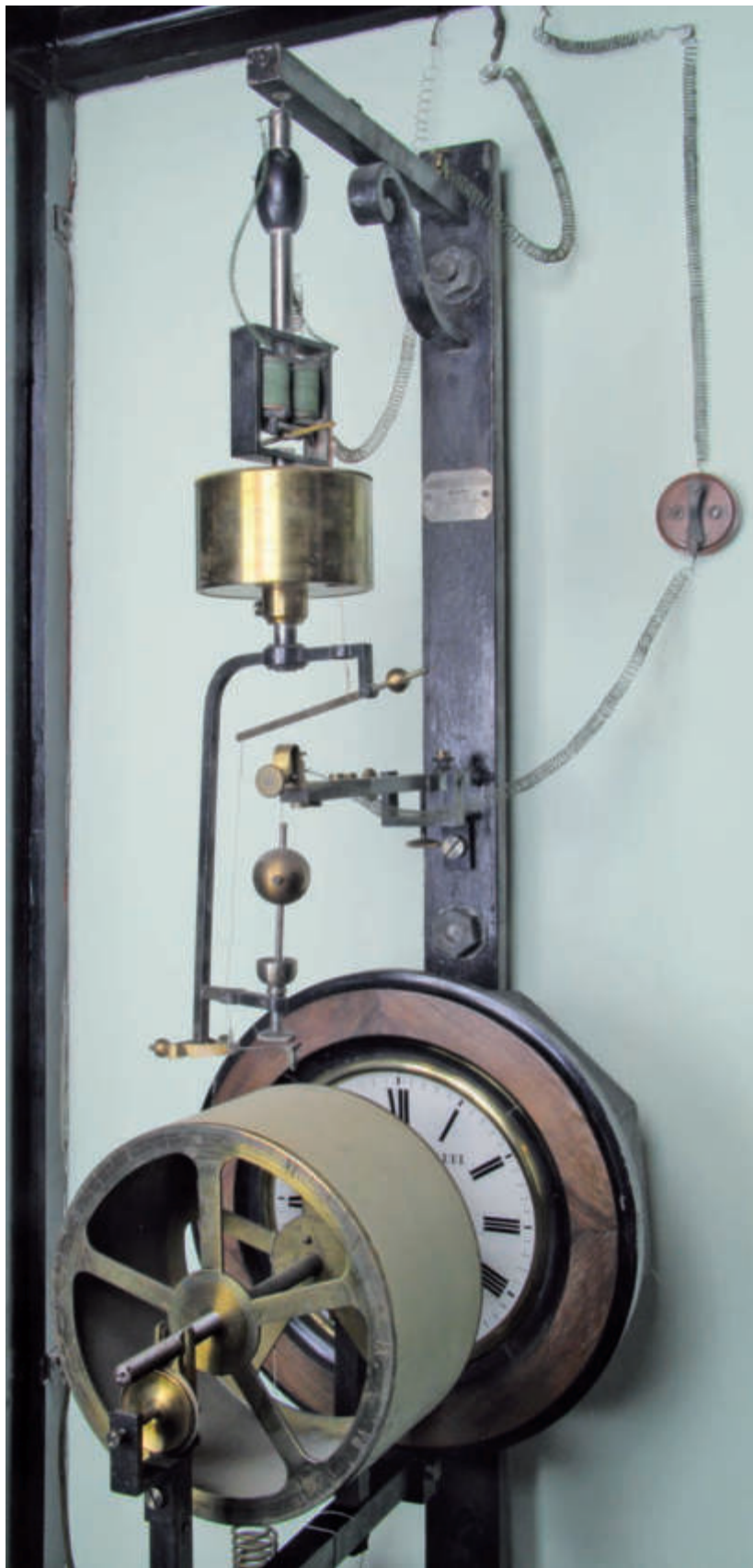
Sistema di trasmissione del moto della molla della componente verticale al pennino di registrazione.

SISMOLOGIA

Sismografo elettrico Cecchi a registrazione continua; Officina Giustino Paggi, Firenze; (ferro, ottone, rame, carta, ferro magnetizzato, ottone smaltato; 45x105x150 cm); OX

L'immagine a destra mostra la parte inferiore dello strumento, relativa alla componente verticale.

Lo strumento ha registrato terremoti anche lontani: Ungheria dell'8 aprile 1893, Locride del 20 e 27 aprile 1894, Costantinopoli del 10 e 13 luglio 1894, Mar Caspio dell'8 luglio 1895.



Sismografo elettrico Cecchi a registrazione continua

1882



Lo strumento, di cui non esiste alcuna descrizione da parte di F. Cecchi, fu presentato all'Assemblea Meteorologica di Napoli nel 1882, e rappresentò un primo passo verso la moderna registrazione continua.



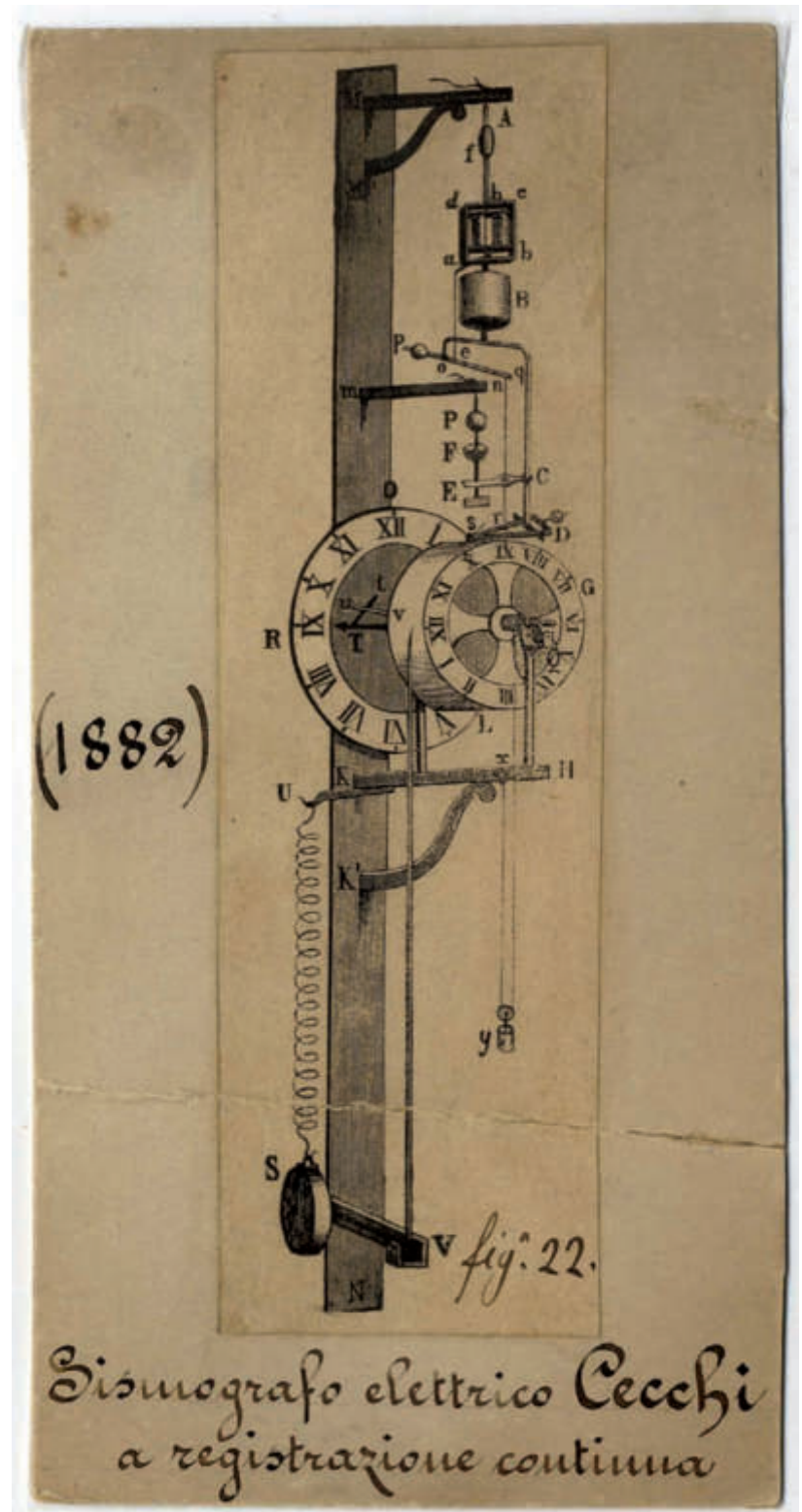
E' composto da due pendoli, uno cortissimo e l'altro più lungo. Quest'ultimo è piegato a squadra nella parte inferiore e porta una piccola vaschetta di mercurio, che viene così a trovarsi sotto la punta del pendolo corto. A ogni contatto tra la punta inferiore del pendolo piccolo e il mercurio si chiude un circuito elettrico su un'elettrocalamita la cui àncora, per mezzo di una levetta e di un filo, fa muovere un pennino a inchiostro. Il pennino è bilicato da un contrappeso e scrive su un foglio di carta avvolta su un cilindro, rotante per mezzo di un meccanismo a orologeria. Il cilindro ruota attorno a una vite senza fine, con un'autonomia di 10 giorni. I movimenti verticali sono segnati sulla stessa carta, da un altro pennino solidale con una robusta molla a spirale alla quale è sospesa una massa.



L'unico altro esemplare esistente di questo strumento ha funzionato presso l'Osservatorio Meteorologico e Geodinamico di Benevento dal 1895 - 1906. Nel 1912 lo strumento fu donato al Museo dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica (oggi CRA-CMA).



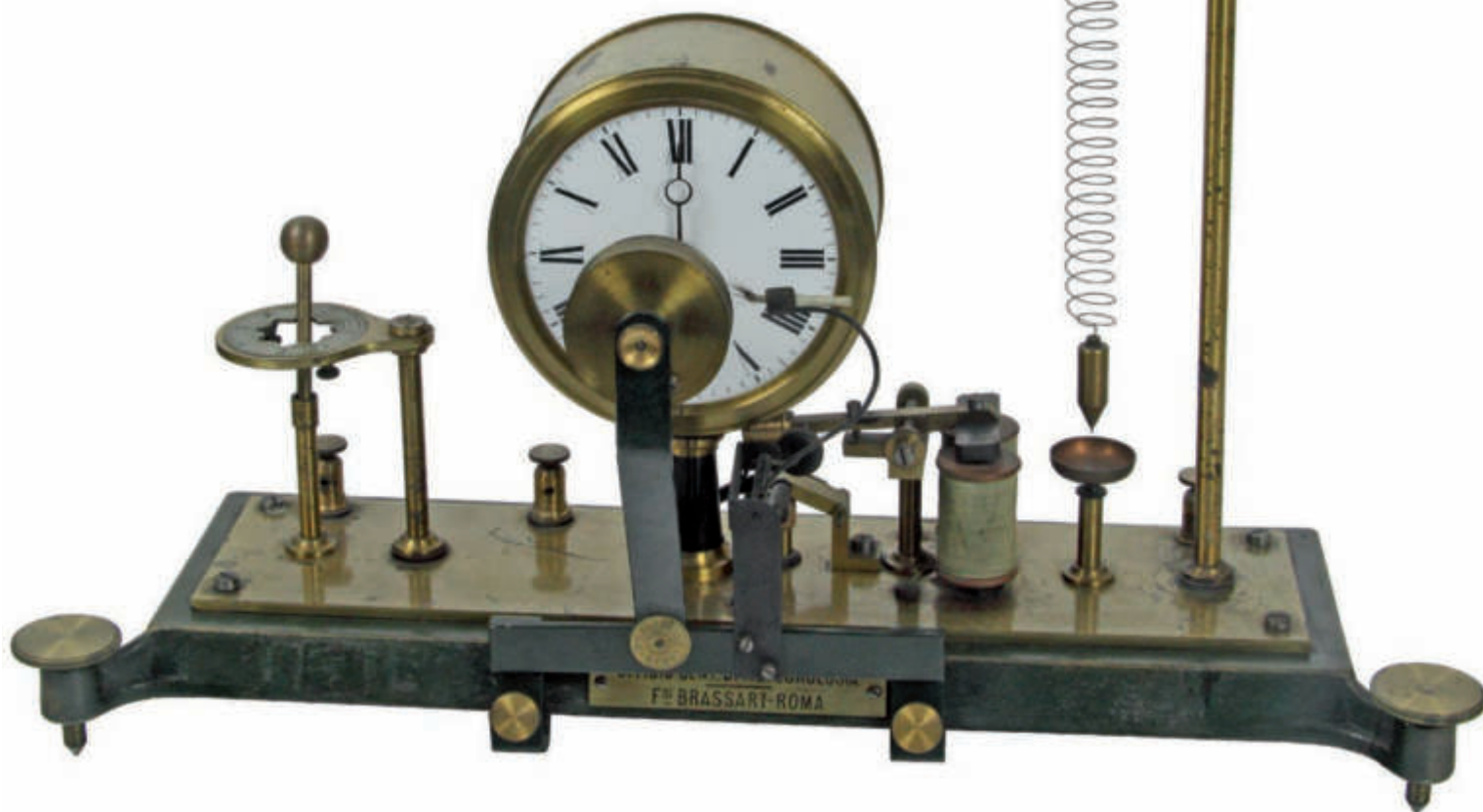
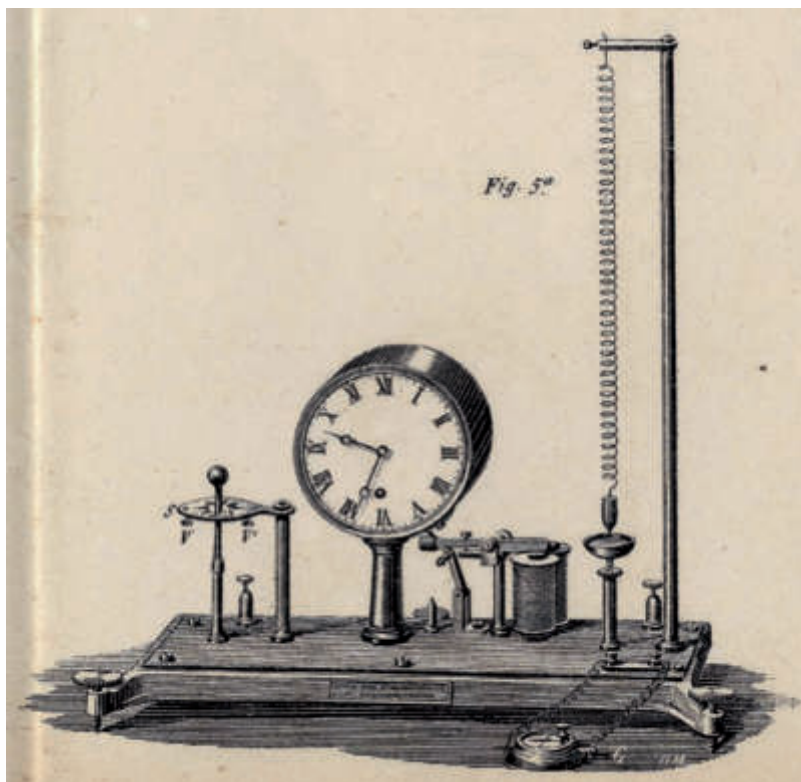
p. 323



Lo strumento in un disegno pubblicato in una descrizione di G. Giovannozzi, che succedette a Cecchi nel 1887 alla direzione dell'Osservatorio Ximeniano.

SISMOLOGIA

Avisatore sismico
Galli-Brassart
per le scosse
ondulatorie e
sussultorie,
detto anche
a doppio effetto;
F.lli Brassart,
Roma; (ghisa,
ferro, ottone,
rame, ebanite;
40x17x30 cm).
CRA-CMA



Avvisatori sismici Galli-Brassart

1881 - 1886



Nel 1881, l'Ufficio Centrale di Meteorologia affidò alla ditta F.lli Brassart di Roma l'ideazione e la costruzione di avvisatori sismici nell'ambito del progetto di realizzazione di una rete di stazioni sismiche alle falde dell'Etna. Gli strumenti dovevano essere di facile installazione e manutenzione per un loro utilizzo anche negli uffici telegrafici del regno. I Brassart utilizzarono per i movimenti verticali la molla a spirale e per i movimenti orizzontali un sensore che si basava sul principio già ideato da I. Galli, costituito da una massa di piccole dimensioni che cade in un imbuto metallico scannellato secondo le direzioni della rosa dei venti. I Brassart ebbero l'intuizione di produrre basi standard di varie misure su cui si potevano realizzare diverse configurazioni strumentali a partire da: i sensori per i movimenti verticali e orizzontali e l'orologio sismoscopico.



Avvisatore sismico Galli-Brassart per le *scosse ondulatorie* e *sussultorie* o a doppio effetto.

Questo strumento rappresenta la sintesi più completa fra gli avvisatori sismici progettati dai Brassart. Esso raccoglie in un'unica base tutti i componenti: orologio sismoscopico e sensori per i movimenti orizzontali e verticali, movimenti all'epoca descritti rispettivamente come *scosse ondulatorie* e *sussultorie*.

Il sensore per i movimenti verticali è costituito da una colonna di ottone

incurvata in alto, a forma di squadra, alla quale è sospesa, mediante una molla, una massa metallica che termina nella parte inferiore con un ago di platino. Sotto l'ago, un contenitore di rame, retto da una colonnina di supporto, è riempito di mercurio; una vite di fissaggio del contenitore permette di regolare la distanza tra l'ago e la superficie del mercurio. La colonna che regge la molla e la basetta del contenitore di mercurio sono isolate alla base da una rondella di ebanite e sono dotate di morsetti per la connessione a un circuito elettrico.

Il sensore per i movimenti orizzontali, sistema Galli, è un pendolo rovescio non vincolato composto da un'asta di ottone che termina in alto a forma di sfera, in equilibrio sopra una colonnina, accanto alla quale un'altra colonnina regge un disco forato a forma di stella a otto punte, orientata secondo la rosa dei venti. Le colonnine di supporto sono elettricamente isolate dalla base e collegate a morsetti elettrici.

La forma più semplice dell'orologio sismoscopico è costituita da un orologio che, in condizione di riposo, è regolato sul mezzogiorno e il cui pendolo viene mantenuto fermo.

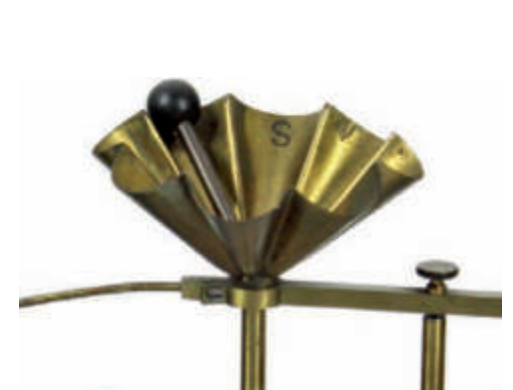
Fra il sensore verticale e l'orologio sismoscopico vi è il sistema di sblocco dell'orologio, costituito da un'elettrocalamita e da un meccanismo a bilancia con due bracci di lunghezza diversa. Il braccio più lungo ha la funzione di mantenere bloccato il pendolo dell'orologio, mentre il braccio corto porta



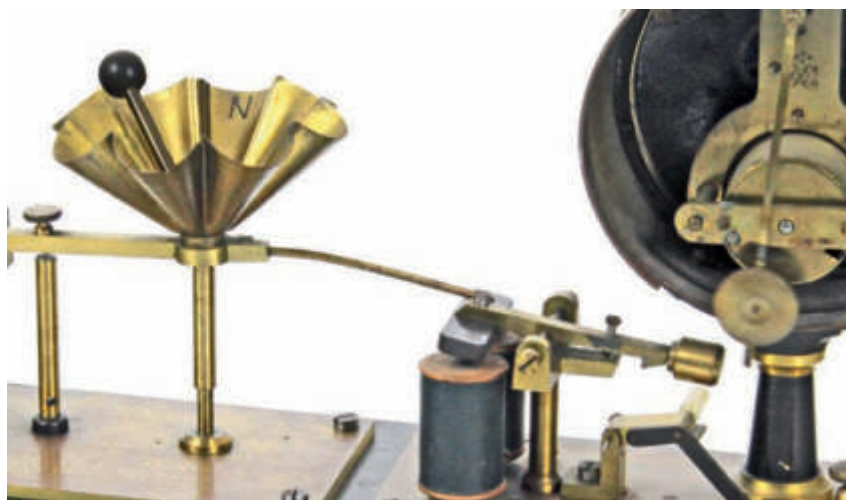
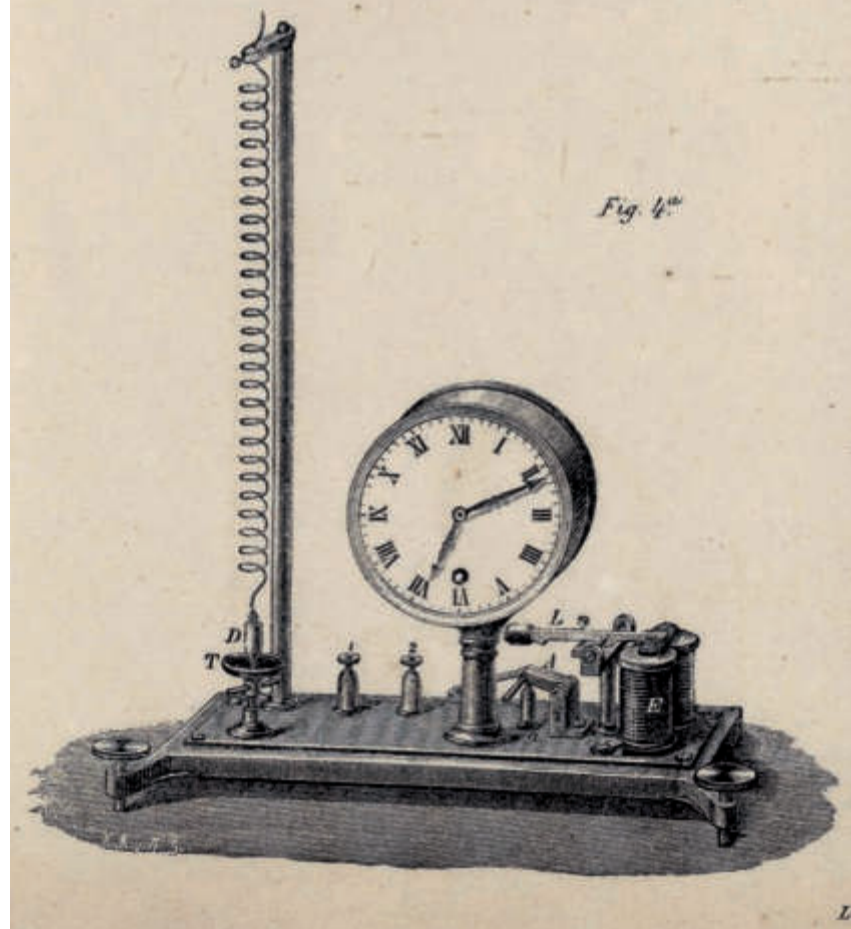
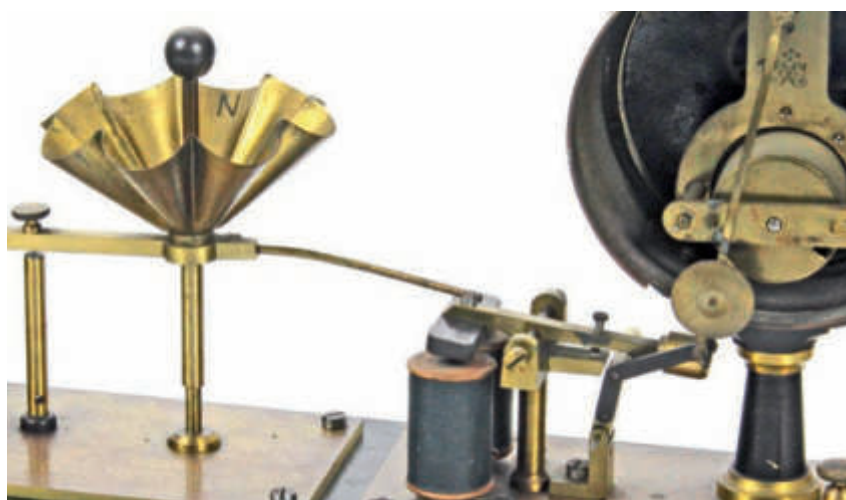
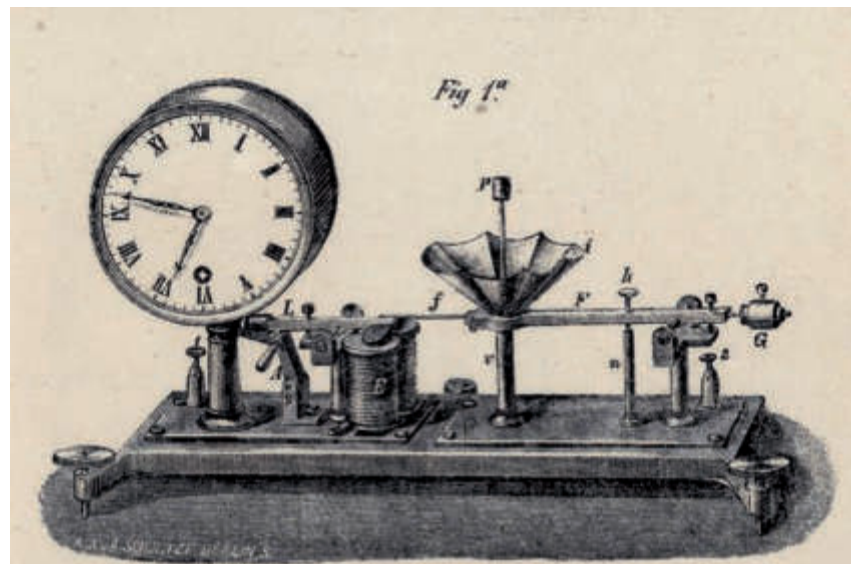
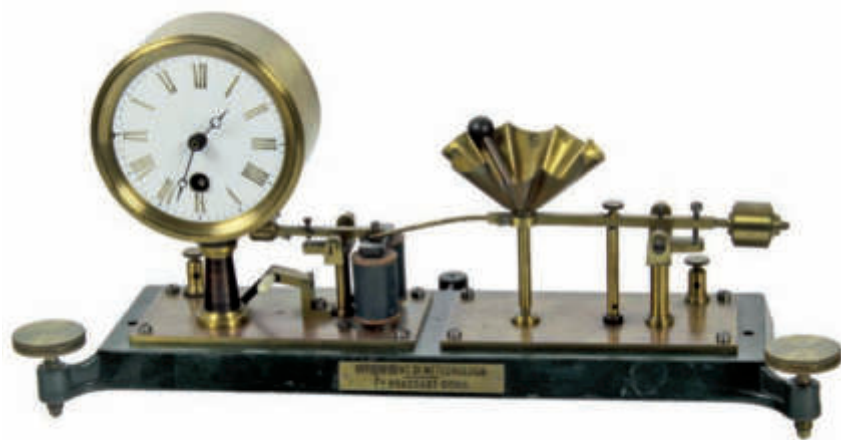
Avvisatore Galli-Brassart per le *scosse ondulatorie* e *sussultorie*: retro dell'orologio e sensore per i movimenti orizzontali. La leva sul retro dell'orologio permette di sollevare il pendolo per bloccarlo.



Particolare della massa del sensore verticale e dell'elettrocalamita responsabile dello sblocco del pendolo dell'orologio in caso di terremoto.



Avvisatore Galli-Brassart per le *scosse ondulatorie*: particolare del sensore attivato da un movimento orizzontale in direzione SE.



Avisatore Galli-Brassart per le scosse *ondulatorie* (in alto): lo strumento dopo l'occorrenza di un terremoto. Particolare del retro in condizione di riposo (al centro); si nota il pendolo dell'orologio bloccato. La leva sul retro dell'orologio che permette di sollevare il pendolo per bloccarlo (in basso).

Avisatori sismici Galli-Brassart per le scosse *ondulatorie* (in alto), e *sussultorie* (in basso), in disegni pubblicati in diversi articoli dei F.lli Brassart. In ambedue i casi, l'allestimento prevede un orologio sismoscopico che si attiva, nel primo caso, per via elettrica e meccanica.

alla sua estremità l'ancora dell'elettrocalamita. Un circuito elettrico, alimentato da una pila, comprende i sensori, il sistema di sblocco dell'orologio e un campanello. In condizione di riposo, i sensori costituiscono altrettanti interruttori elettrici aperti. In caso di evento sismico, se l'ago del sensore verticale tocca la superficie del mercurio e/o il pendolo del sistema Galli cade sul disco forato il circuito elettrico si chiude, suona il campanello e l'ancora viene attratta dall'elettrocalamita, sbloccando così il pendolo dell'orologio che entra in funzione. L'orologio indicherà così il tempo trascorso dalla sua attivazione e consentirà di conoscere l'ora della scossa. L'esemplare della figura in apertura è una variante costruttiva unica; è dotato anche di una rotella di trascinamento per la carta telegrafica, solidale al perno di rotazione delle lancette dell'orologio, e di un pennellino collegato al sistema di sblocco dell'orologio. Per ogni attivazione dell'elettrocalamita il pennellino, intriso di inchiostro, segna un punto sulla carta.

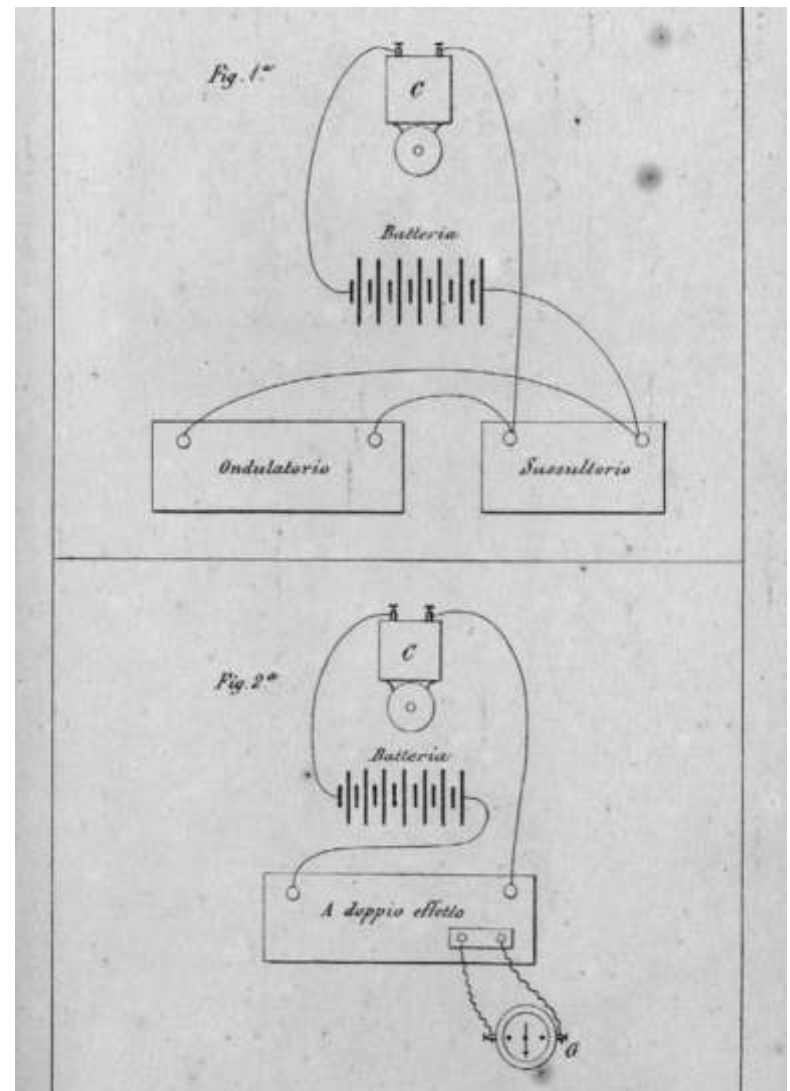
170 I primi esemplari di questo strumento furono collocati prevalentemente negli uffici telegrafici delle località che formavano la rete sismica etnea, mentre altri furono assegnati a stazioni ritenute importanti per la sorveglianza sismica e lo studio della sismicità della Sicilia e della regione calabro-peloritana. Il primo strumento di questa serie, presentato nella mostra allestita all'Esposizione generale italiana di Torino del 1884, ottenne un grande successo e fu richiesto da molti osservatori. Negli anni successivi, i fratelli Brassart realizzarono altre versioni dei primi



Sismoscopio Hiller, progettato dal sismologo tedesco con l'intento di determinare la direzione del primo impulso delle onde è composto da un'asticella di metallo posta al centro di un cilindro metallico che termina con una corona metallica a forma di stella con 16 punte (a destra). Lo strumento si rivelò nella pratica sensibile più alle onde (trasversali) che non alle come invece avrebbe voluto il suo ideatore.

avvisatori, successivamente utilizzati anche per attivare la registrazione su vetro affumicato o carta di strumenti più sofisticati, come i sismometrografi a massa stazionaria Brassart. Più recentemente, nel 1953, Wilhelm Hiller (1899 - 1980) progettò un sismoscopio simile per determinare la direzione del primo arrivo di un terremoto, così da poterne determinare il meccanismo focale. Egli realizzò e utilizzò alcuni esemplari dello strumento, senza i risultati sperati.

 p. 323

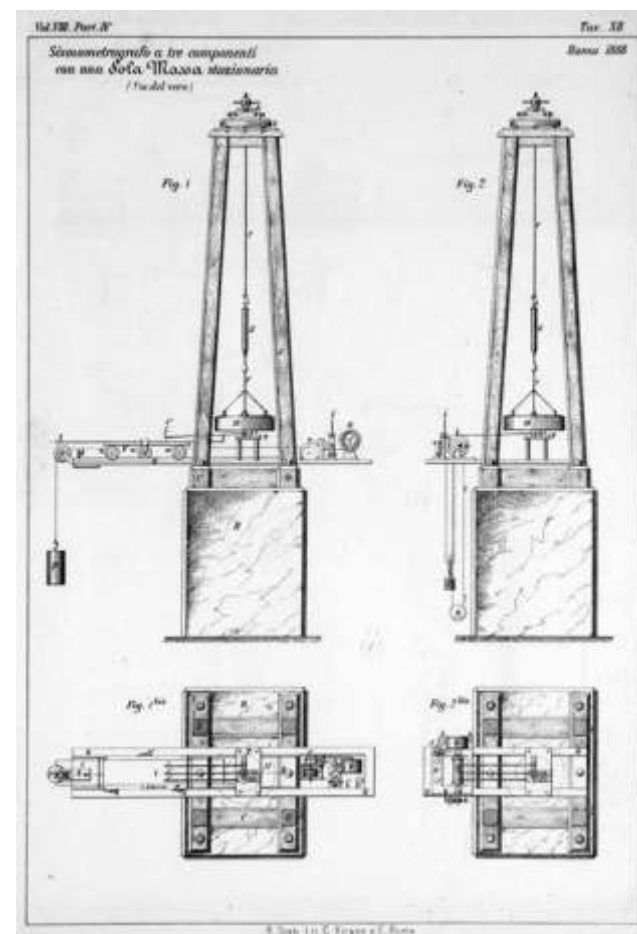


Circuiti elettrici di due diverse configurazioni di avvisatori sismici Galli-Brassart. Nella prima, in alto, i due avvisatori per i movimenti orizzontali e verticali sono messi in parallelo al circuito con la pila e il campanello. Nella seconda, in basso, i due strumenti sono riassunti in un avvisatore a doppio effetto.

SISMOLOGIA

Sismometrografo
Brassart a massa
stazionaria a vetro
affumicato.
F.lli Brassart,
Roma; (ferro,
ottone, legno;
60X35X120 cm).
CRA-CMA

Sismometrografo
Brassart a massa
stazionaria a vetro
affumicato.
F.lli Brassart;
disegno dello
strumento tratto
dagli



Sismometrografi a massa stazionaria Brassart a vetro affumicato e a registrazione continua

1886



Nell'articolo del 1886 che illustra la realizzazione del loro sismografo a tre componenti con due masse stazionarie, la ditta F.lli Brassart propose anche il progetto di uno strumento analogo, ma con una sola massa stazionaria. L'idea piacque al direttore dell'Ufficio Centrale di Meteorologia, P. Tacchini, che diede subito disposizioni per la realizzazione del nuovo tipo di sismografo. Nel 1888 lo strumento fu pronto a registrare su un vetro affumicato le tracce della componente verticale e delle due componenti orizzontali, tra loro perpendicolari, del moto del terreno.

Altra caratteristica del progetto è che lo strumento è a *soglia*, cioè l'attivazione dell'apparato registratore avviene grazie a un sensore esterno, per esempio un sismoscopio a verghetta, evoluzione dell'avvisatore Galli-Brassart, che fa sì che la registrazione inizi solo all'arrivo della scossa. Furono costruite due versioni dello strumento, che si distinguevano solo per il diverso supporto di registrazione, uno su lastra di vetro affumicata, l'altro su carta.

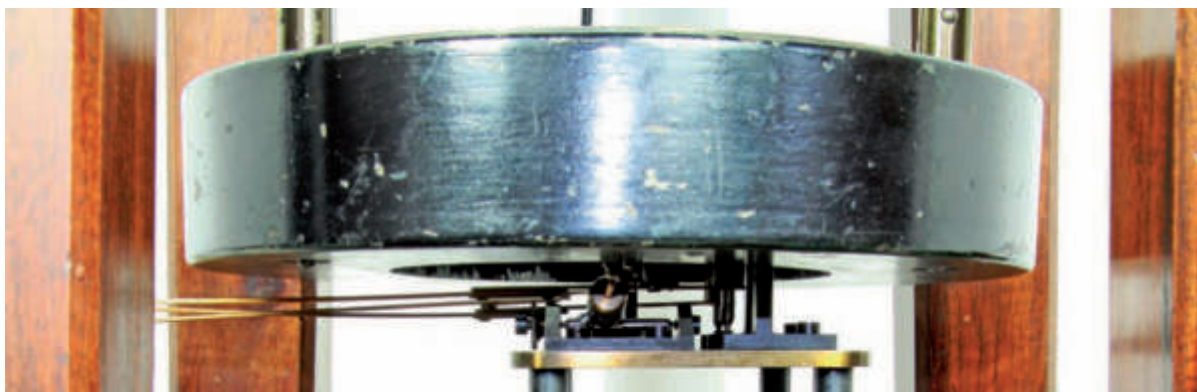


Un telaio a tronco di piramide di legno e base quadrata, fissata a un basamento di pietra o muratura, sostiene il sistema pendolare dello strumento: una massa di ferro, di forma toroidale a sezione rettangolare e del peso di 10 chilogrammi. La massa, sospesa con un

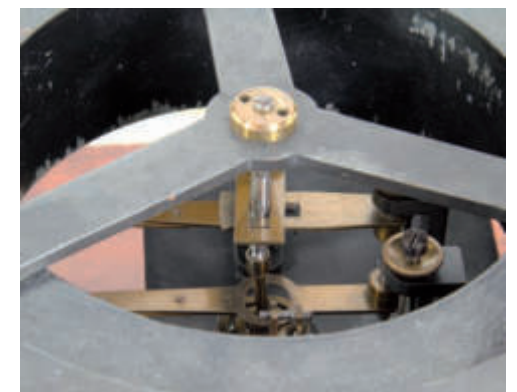
accoppiamento filo-molla alla sommità del telaio, porta al centro un perno di acciaio, sferico nella parte inferiore. Il telaio è munito di due rotaie su cui scorre un carrello a tre ruote che trasporta una lastra di vetro affumicata, trascinato da un peso.

Sopra la base del telaio di legno è avvitato un secondo telaio di ferro che regge un tavolino con i sistemi di trasmissione e di registrazione del moto, oltre all'orologio per la determinazione dell'orario di inizio della registrazione della scossa e a una bobina per l'attivazione dello strumento. All'arrivo di una scossa, la bobina, attivata da un avvisatore sismico, chiude un circuito elettrico che libera il carrello con la lastra permettendogli di muoversi sulle rotaie, avvia la registrazione e arresta l'orologio sul tempo di attivazione. Facevano parte del circuito elettrico anche avvisatori acustici che segnalavano l'evento agli addetti alla sorveglianza.

Per mezzo del perno di acciaio, la massa trasmette il moto relativo del terreno a un sistema di staffe e di leve, che lo scompongono nelle tre componenti, due orizzontali perpendicolari tra loro e una verticale. Le leve fanno capo ad altrettanti pennini di legno, lunghi 10 centimetri, recanti all'estremità tre aghi verticali; questi, muovendosi, segnano tre tracce sul vetro affumicato che scorre sotto di loro, trascinato dal carrello. La lunghezza dei pennini consente di ingrandire di 10 volte l'ampiezza del movimento del pendolo. Un foglio di carta cianurata (carta blu) sottoposto



Sismometrografo Brassart a lastra affumicata: particolare della massa toroidale e del sistema di scomposizione del moto nelle tre componenti orizzontali e verticale. A sinistra si vedono i tre pennini di legno che, attraverso altrettante punte di metallo, registrano sulla lastra di vetro affumicata.



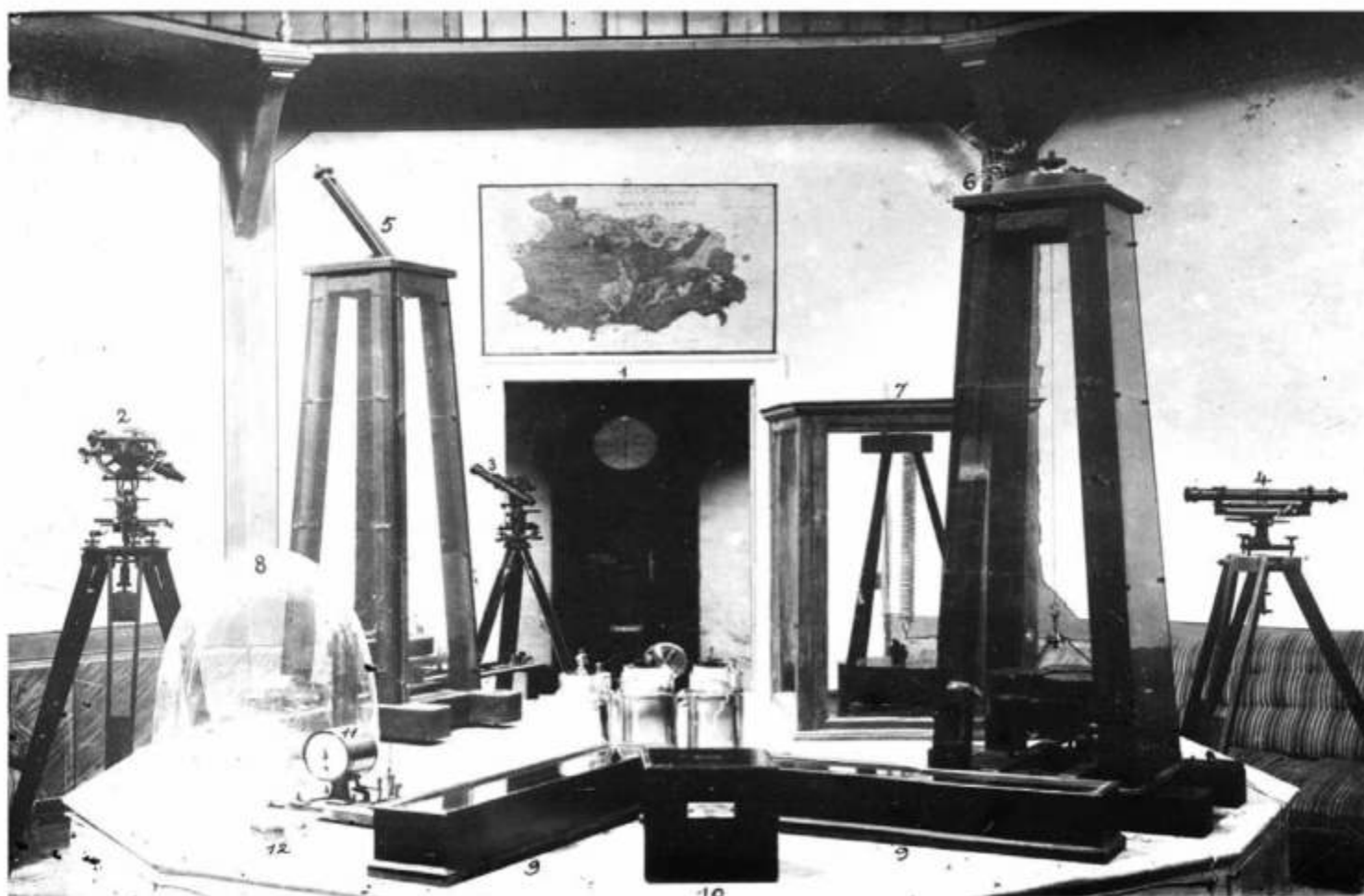
Particolare del sistema di scomposizione del moto nelle tre componenti orizzontali e verticale, visto dall'alto.

alla lastra permetteva, grazie all'esposizione alla luce, di fissare in modo duraturo i sismogrammi ottenuti.

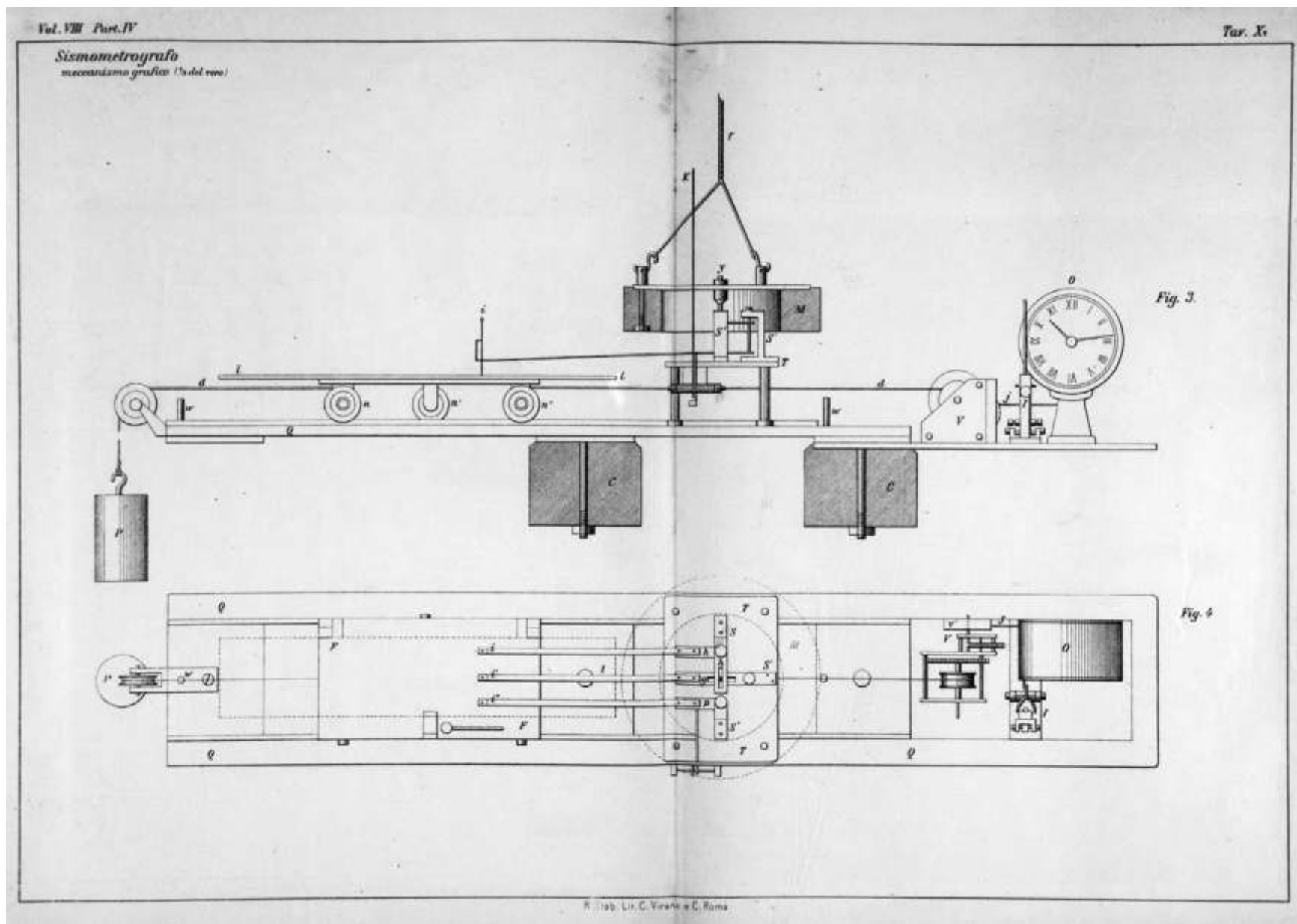
PA. Càncani osservò che, per ampie oscillazioni, i pennini spesso urtavano tra di loro e, per ovviare all'inconveniente, propose e fece realizzare un sistema nel quale i pennini non erano complanari come nella versione originale, ma posti a tre altezze diverse. L'unica coppia di sismometrografi Brassart, uno a vetro affumicato e l'altro a carta affumicata, tuttora esistenti e completi, funzionò nell'Osservatorio

Geodinamico della Grande Sentinella a Casamicciola dal 1895 al 1898 e forse oltre. Gli osservatori italiani di Caggiano, Catania, Casamicciola, Rocca di Papa, Roma usarono lo strumento a lastra affumicata tra il 1886 e il 1913, per periodi diversi. La versione a registrazione continua su carta funzionò a Benevento, Casamicciola, Mineo, Pavia, Portici, Rocca di Papa tra il 1886 e il 1914, per periodi diversi.

 p. 323



Sismometrografi a massa stazionaria Brassart a vetro affumicato (a sinistra in secondo piano) e a carta (a destra in primo piano) installati sul pilastro sismico dell'Osservatorio della Grande Sentinella a Casamicciola, nell'Isola d'Ischia, in una fotografia storica di fine Ottocento. I due strumenti sono gli unici esemplari completi sopravvissuti.



Disegno che mostra particolari dello schema costruttivo del Sismometrografo a massa stazionaria Brassart a lastra affumicata. In alto, la vista laterale della massa e del sistema di registrazione; in basso, vista dall'alto dello stesso particolare. A tratteggio è la massa sovrastante il carrello.

SISMOLOGIA

Sismografo
analizzatore a
doppio pendolo
Cecchi;
Off. Minzoni,
Firenze; (ferro,
ottone, marmo,
ceramica,
penna d'oca;
60x60x190 cm).

OX



Sismografo analizzatore a doppio pendolo Cecchi

1886



Lo strumento fu ideato e realizzato nel 1886 in diversi esemplari, sebbene F. Cecchi non ne abbia fornito alcuna descrizione. Trattandosi di uno strumento a tre componenti, l'accezione a doppio pendolo è da intendersi come doppia tipologia di pendoli per rilevare il movimento orizzontale e verticale del terreno.



Il sismografo è realizzato per registrare le tre componenti del moto del suolo separatamente e per determinarne la durata ed è diviso in due parti da un piano di marmo orizzontale fissato ai muri di sostegno. La parte superiore dello strumento è destinata alla rilevazione delle componenti orizzontali, grazie a due pendoli sospesi ad altrettanti bracci sporgenti, vincolati nel movimento nelle direzioni NS ed EO. I periodi propri di oscillazione dei pendoli possono essere variati modificando l'altezza delle masse sferiche di ottone. A ogni asta è collegato un tubo con un doppio gomito alla cui estremità si trova un pennino di avorio. Il sistema a doppio gomito è costruito in modo che il pennino lavori sulla verticale dell'asse del pendolo. L'apparato scrivente è composto di due cilindri metallici, avvolti da carta affumicata e mantenuti in rotazione da un sistema a orologeria. La parte inferiore dello strumento è dedicata alla rilevazione della componente verticale: una leva angolare a L ha il braccio lungo, articolato all'estremità superiore, mentre il braccio corto sostiene una massa e l'estremità libera è

collegata al fondo del piano di marmo tramite una molla. Il braccio lungo nella parte superiore dell'articolazione esce da un foro nel ripiano e registra con un pennino sul cilindro di destra. Per conoscere l'orario d'inizio della registrazione di un terremoto, un orologio posto nella parte superiore dello strumento viene attivato al momento dell'inizio del moto sismico da un avvisatore che aziona anche il meccanismo di registrazione. L'avvisatore è costituito da un pendolo rovescio con massa sferica di ottone la cui posizione è regolabile in altezza. All'estremità superiore dell'asta del pendolo è fissata una molla che termina con un dischetto metallico su cui è appoggiato un pesetto cilindrico munito di un'asticella legata con un filo a una leva di ottone che blocca il pendolo dell'orologio. In occasione di un terremoto, il pesetto cadendo fa ruotare verso il basso la leva, che sblocca l'orologio e il meccanismo che regola la rotazione dei rulli di registrazione.



Il primo esemplare di questo sismografo venne costruito per l'Osservatorio Geodinamico di Ischia (ancora esistente al CRA-CMA), uno per quello di Savona e il terzo per quello di Cerignola. Un quarto fu donato nel 1887 dall'Associazione Meteorologica Italiana a Papa Leone XIII, per il suo Giubileo sacerdotale. Il quinto è presso l'Osservatorio Ximeniano.



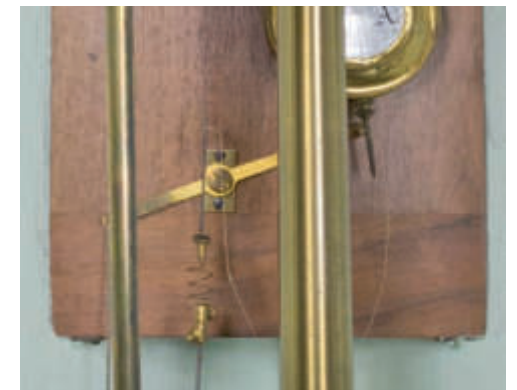
p. 323-324



Particolare dell'orologio per rilevare l'orario di avvio della registrazione. A sinistra l'orologio è in posizione di riposo sul mezzogiorno, a destra dopo l'avvio.



Particolare del blocco dell'orologeria dei rulli di registrazione. L'aletta di ottone è tenuta ferma da una forcilla legata al filo del peso dell'avvisatore. La caduta del peso solleva la forcilla e sblocca la registrazione.



Particolare della parte superiore dell'avvisatore per l'avvio della registrazione. Il pesetto sovrastante la molla cadendo fa ruotare la leva di blocco del pendolo

SISMOLOGIA

Sismografo
Gray-Milne
John White,
Glasgow; (ghisa,
ferro, acciaio,
vetro, ottone,
carta, corda;
58x55x60 cm).
CRA-CMA

Lo strumento
fu donato da
W. G. Forster,
capo del Servizio
Telegrafico
di Zakintos, al
Collegio Romano
(Ufficio Centrale
di Meteorologia
e Geodinamica),
nel 1894.

L'esemplare
riprodotto in foto
risulta mancante
del meccanismo
dell'orologio,
probabilmente
riutilizzato per un
altro strumento.



Sismografo Gray-Milne

1887



Lo strumento, ideato da T. Gray e J. Milne, consente la registrazione delle tre componenti del moto, due orizzontali e ortogonali fra loro e una verticale. E' uno dei primi strumenti che fa uso del pendolo orizzontale in sismologia.



Due pendoli conici installati ortogonalmente fra loro costituiscono i sensori per le componenti orizzontali, mentre il sensore per la componente verticale è costituito da un sistema a molle piatte; il tamburo che porta la carta per la registrazione scorre in continuo e con regolarità per mezzo di un meccanismo a orologeria. Ciascun pendolo conico è costituito da una massa cilindrica di ottone, riempita di piombo, attraversata da una barra di ferro a sezione rettangolare che rappresenta il braccio del pendolo. La massa è sospesa a una colonna di ghisa nel suo centro di gravità per mezzo di un robusto filo di seta. Una piastra metallica con una scanalatura a forma di V ospita un estremo del braccio del pendolo sagomato a forma di coltello. Le oscillazioni del pendolo vengono registrate sulla carta da un sottile pennino di vetro a sifone, solidale con il pendolo e che attinge l'inchiostro da un serbatoio. Per la componente verticale, due molle piatte sostengono una leva, mantenuta orizzontale da una massa metallica posta vicino all'estremità libera della leva. La leva è collegata a un pennino a sifone di vetro, scrivente sulla carta

di registrazione. Lo strumento ha due velocità di funzionamento: una bassa, regolabile da 6,35 a 25,4 mm/min, per lo scorrimento con lo strumento a riposo e una alta, da 635 a 1270 mm/min, all'occorrenza di un terremoto. Il meccanismo di controllo delle due diverse velocità è costituito da due piccole leve fra loro affacciate e fulcrate su due assi orizzontali. Le estremità affacciate sulle leve hanno due supporti, uno dei quali ospita a riposo una sfera di ferro, contrappesata da una sfera di ottone a posizione regolabile. In caso di terremoto questa leva viene sbloccata e la sfera cade sulla leva affacciata causandone la rotazione, che a sua volta sblocca il meccanismo regolatore della velocità più alta. Dopo un determinato tempo le due leve e la sfera tornano nella posizione di bassa velocità. Un quarto pennino registra sulla carta la traccia del tempo, con marcatempo di lunghezza diversa per i minuti e le ore.



Dopo il terremoto di Nobi del 1891, 40 esemplari di questo strumento vennero installati in altrettante stazioni meteorologiche giapponesi. In occasione del terremoto di Kanto, nel 1923, erano in funzione ancora 39 sismografi, poi gradualmente sostituiti entro la metà degli anni quaranta del Novecento, con strumenti più moderni.



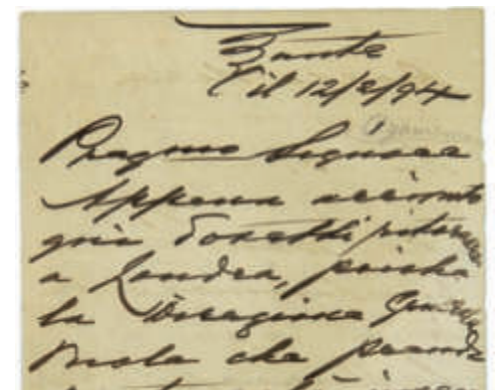
p. 324



Particolare del punto di rotazione del braccio di un pendolo conico. Il terminale del braccio, a forma di coltello, ruota in una scanalatura la cui forma a V riduce al minimo l'attrito.



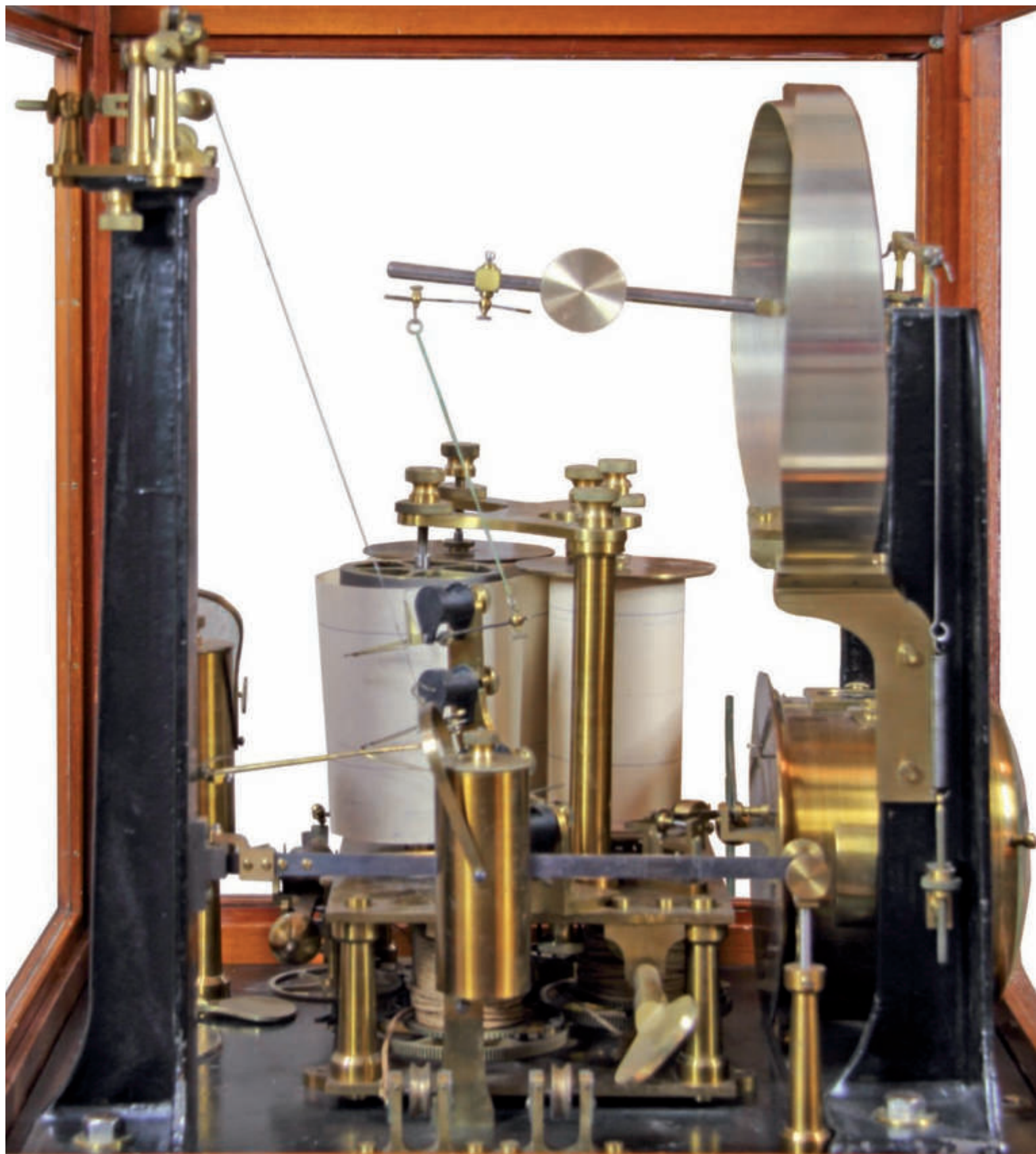
Meccanismo di attivazione del controllo delle due velocità di rotazione del tamburo di registrazione. In primo piano la sfera che, cadendo all'occorrenza di un terremoto, attiva la velocità più alta di registrazione.

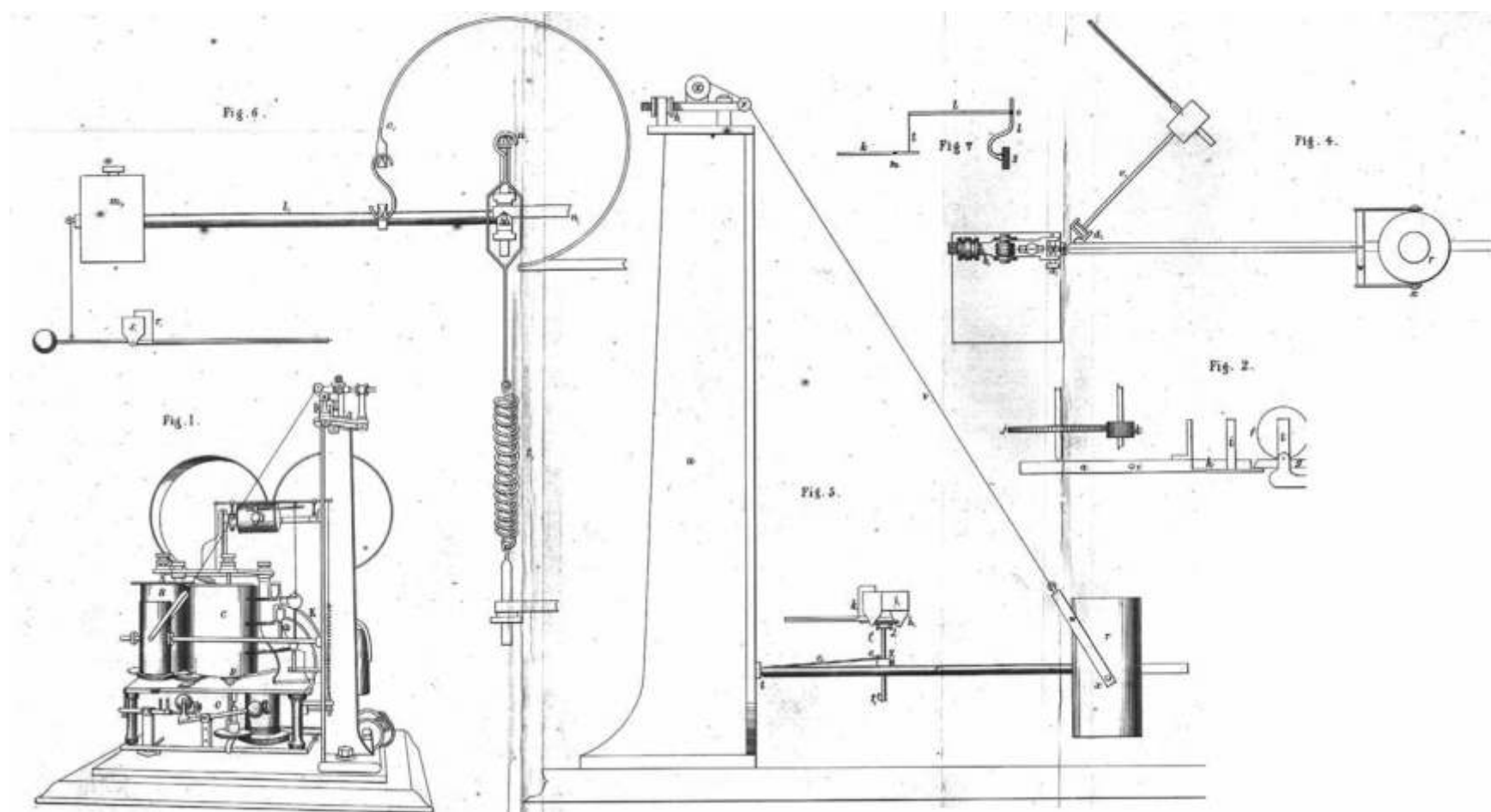


Lettera del 12/2/1894, nella quale W. G. Forster, capo del Servizio telegrafico di Zante, propone a G. Agamennone di donare al Collegio Romano il suo Gray-Milne.

SISMOLOGIA

Vista laterale del
Sismografo
Gray-Milne.
In primo piano
uno dei due
pendoli
orizzontali.



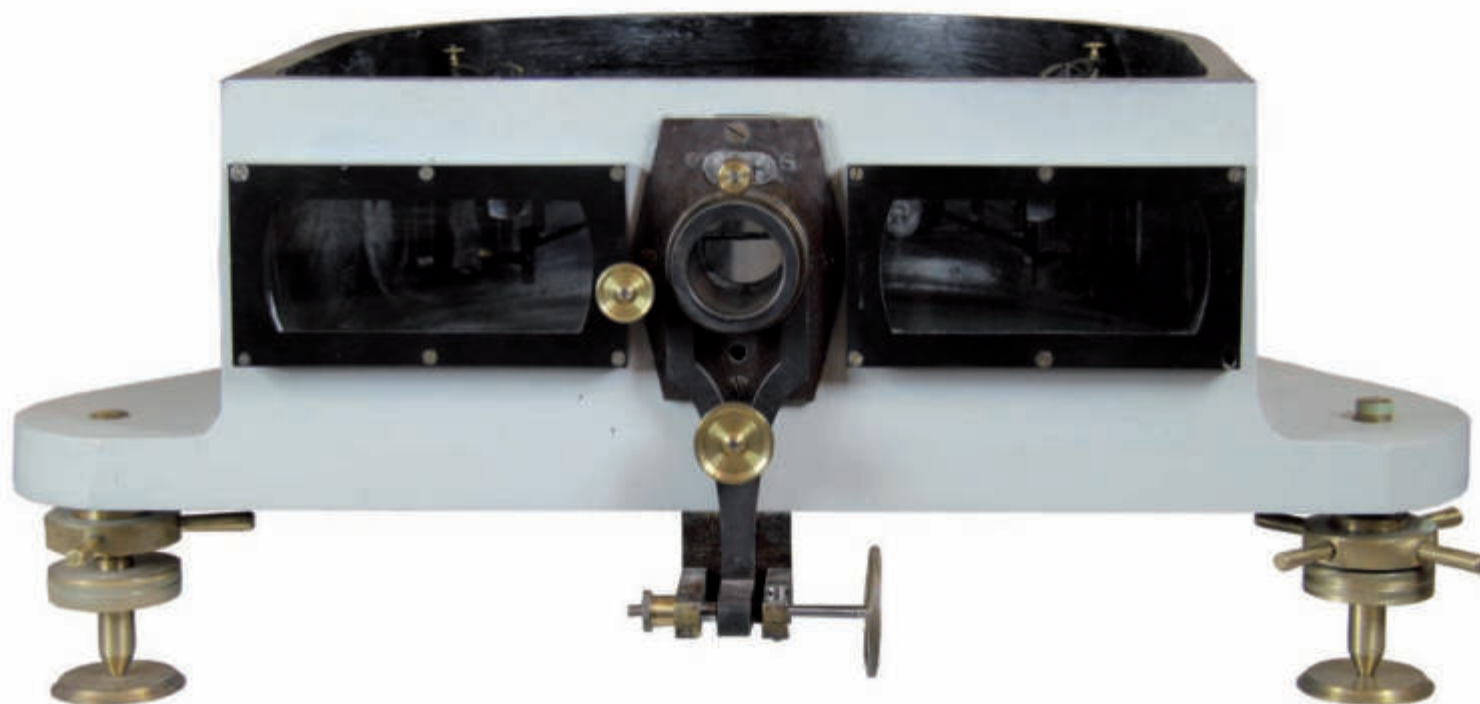


Disegni dello strumento, tratti dalla pubblicazione originale presentata da Milne, con una vista d'insieme dello strumento e gli schemi di dettaglio delle varie parti. La proiezione verticale del pendolo di

del disegno rappresenta la

SISMOLOGIA

Sismografo
Rebur-Ehlert;
(ferro, ottone,
vetro, vetro ottico,
argento;
68x56x28 cm).
IPGS



Sismografo Rebeur-Paschwitz e Rebeur-Ehlert

1889 - 1895



Il 17 aprile 1889 una coppia di strumenti, progettati dall'astronomo tedesco E. von Rebeur-Paschwitz per misure microgravimetriche, registrarono inspiegabili disturbi. Gli strumenti erano installati presso l'Osservatorio Astrofisico di Potsdam e presso l'Osservatorio della Marina Imperiale in Wilhelmshaven, a circa 350 km da Potsdam. Alla ricerca di una spiegazione delle anomalie registrate, solo qualche tempo dopo Rebeur-Paschwitz la trovò sulla rivista aveva registrato onde sismiche di un terremoto avvenuto in Giappone. Sulla stessa rivista pubblicò la sua esperienza scientifica, dando anche una prima stima della velocità media di propagazione del segnale sismico da Tokyo a Potsdam in Germania (2,142 km/s). Questa registrazione casuale aprì un nuovo e fondamentale capitolo della sismologia strumentale. Il lungo periodo proprio di oscillazione del pendolo dello strumento, compreso fra i 12 e i 17 secondi, favoriva la registrazione delle onde superficiali di più lungo periodo che si propagano alle maggiori distanze.



Lo strumento era costituito da un telaio rigido, leggerissimo e di piccole dimensioni, che ruotava attorno a due cuscinetti ciascuno costituito da un punto di pressione in una presa. Nel telaio era attaccato un specchio che, attraverso una lente cilindrica, rifletteva la luce di una

lampada su di un tamburo rotante ricoperto con carta fotografica. Il tamburo scorreva di 11 cm in un'ora. Il pendolo era lungo 10 cm con una massa di soli 42 g. Una luce fissa scriveva sulla stessa carta fotografica una seconda traccia che costituiva l'asse del tempo. Ogni ora la lampada veniva oscurata per cinque minuti, determinando una lacuna sulla traccia facilmente riconoscibile nel sismogramma.



Sismografo Rebeur-Ehlert

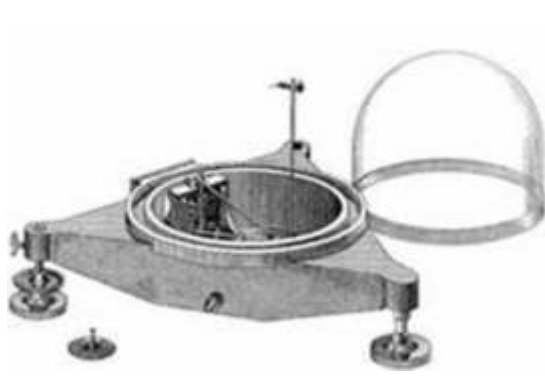
Nel 1895 R. Ehlert, continuando il lavoro di Von Rebeur-Paschwitz, ne modificò lo strumento trasformandolo a 3 componenti orizzontali. Si compone di tre pendoli orizzontali, a 120° l'uno dall'altro, non smorzati, con massa da 200 g ciascuno e un periodo proprio di oscillazione di 12 s. Lo strumento fu inizialmente installato nell'Osservatorio astronomico di Strasburgo, poi dal 1900 al 1906 funzionò in quello sismologico della stessa città.



Alcuni esemplari di questo sismografo, realizzati dalla ditta Bosch di Strasburgo, furono installati in tutto il mondo.



p. 324



Strumento ideato da Von Rebeur-Paschwitz per misure microgravimetriche, involontariamente rivelatosi utile per registrare terremoti lontani.



Sismografo installato da Rebeur-Paschwitz a Wilhelmshaven. Lo strumento, parzialmente integrato di parti perdute, è oggi conservato al Museo di sismologia e geomagnetismo dell'Università di Strasburgo.



Registrazione accidentale a Potsdam del terremoto di Tokio del 18 aprile 1889 da parte di uno dei due strumenti installati da Von Rebeur-Paschwitz.

SISMOLOGIA

Fotocronografo
sismico Càncani
nella sua prima
versione;
(ferro, ottone,
rame, legno,
porcellana;
camera oscura:
31x35x92 cm;
dispositivo a
bilancia:
70x16x45 cm);
bascula a canale
del 2° modello,
nelle pagine
successive
(legno, ferro,
rame, alluminio
34x12x9 cm).
CRA-CMA

Lo strumento è
stato integrato dei
pendoli e della
cassetta della pila
e risulta mancante
dell'orologio e
del sistema
di illuminazione
interna alla
camera oscura di
registrazione.



Fotocronografo Càncani

1890



Nel 1890 A. Càncani, all'epoca addetto alla sezione di meteorologia e climatologia dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica di Roma, pensò di fermare l'istante di arrivo di una scossa mediante l'immagine fotografica automatica di un orologio di precisione. Portò a termine il suo progetto ideando uno strumento abbastanza semplice: il fotocronografo sismico. Lo strumento era collegato a uno o più apparecchi sismici dal funzionamento elettrico. Incoraggiato da M. S. de Rossi lo sperimentò all'Osservatorio Geodinamico di Rocca di Papa del quale de Rossi era all'epoca direttore.



Lo strumento si compone di due parti: un parallelepipedo di legno con funzione di camera oscura entro il quale viene impressionata una lastra fotografica e un dispositivo destinato a provocare l'accensione di una lampadina contenuta nella camera oscura stessa. Quest'ultima contiene un cronometro di precisione, una lastra fotografica, una lampadina e una lente; il dispositivo è composto da una leva di prim'ordine con bracci di lunghezza diversa e fulcrata in cima a una colonna di legno sostenuta da una base anch'essa di legno. All'estremo del braccio minore è collegata una pila, mentre l'estremità del braccio lungo termina con una piastrina di ferro, bloccata dall'ancora di una elettrocalamita fissata a un'asse di legno solidale alla base del

dispositivo. Il braccio lungo sostiene inoltre un peso conico e due pesetti appesi a due catenelle. Di questi ultimi uno è sospeso nel vuoto e libero di scorrere lungo la piccola barra cilindrica di sostegno, mentre l'altro poggia sopra un'assicella di legno sottostante, scorrevole orizzontalmente per mezzo di un altro pesetto.

L'elettrocalamita viene collegata a un circuito elettrico composto dalla pila e uno o più avvisatori sismici disposti fra loro elettricamente in parallelo. Al sopraggiungere di una scossa, almeno uno degli avvisatori sismici chiuderà il circuito, attivando l'elettrocalamita. Il braccio lungo del dispositivo è così libero e, dal momento che la somma del peso conico e del pesetto libero è superiore a quello della pila, il braccio lungo si abbasserà, sollevando la pila e attivando l'accensione della lampadina nella camera oscura. Il pesetto libero cadrà e verrà meno il bilanciamento dei pesi. Allora sarà il braccio corto a scendere a questo ribaltamento della leva, liberando per un attimo l'assetto di legno orizzontale e facendola scorrere trascinata dal pesetto sottostante. A questo punto il pesetto che la sovrasta sarà libero, mentre il braccio lungo tornerà nella posizione iniziale, bloccato dall'ancora dell'elettrocalamita, tornata libera.

Tutto questo accadrà in una frazione di secondo e sarà il tempo nel quale rimarrà accesa la lampadina e la lastra fotografica sarà impressionata



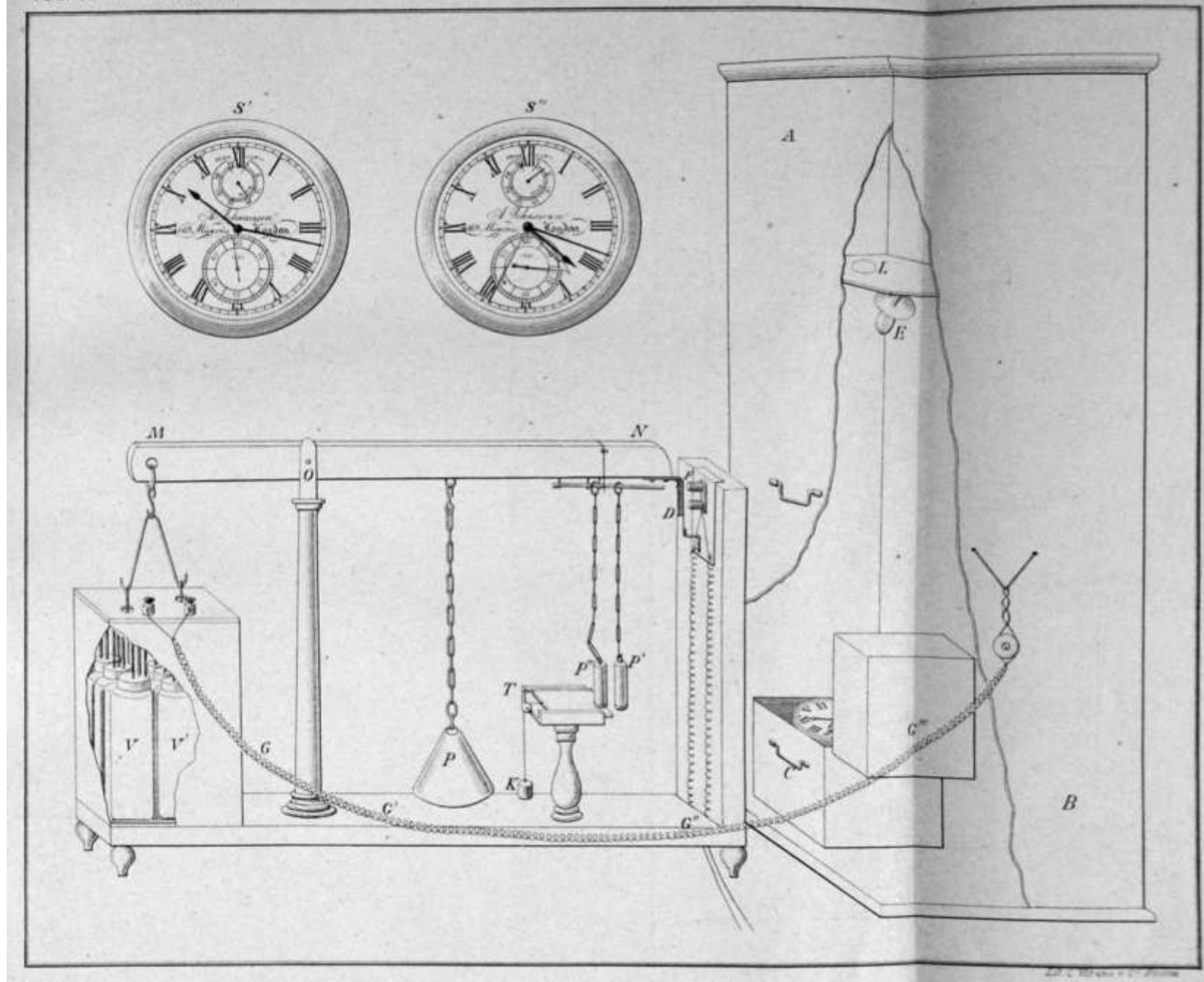
Fotocronografo Càncani, primo modello: particolare del sistema di sblocco del dispositivo di attivazione dello scatto della fotografia dell'orologio.



Fotocronografo Càncani, primo modello: particolare dei pesi responsabili dell'attivazione dello scatto della fotografia dell'orologio.



Registrazione dell'orario del terremoto dell'Adriatico del 9 agosto 1895, fatta a Rocca di Papa, con il secondo modello di fotocronografo Càncani.



Fotocronografo Cancani, primo modello: particolare del sistema di sblocco dell'elemento sensore, in un disegno pubblicato dall'ideatore.

con l'immagine dell'orologio al tempo dell'accensione. Il tempo dell'inizio del moto sismico sarà fissato, quindi, con la precisione del cronometro. A questo punto il dispositivo sarà tornato nella posizione di riposo, pronto ad attivarsi una seconda volta. Nel caso di una seconda attivazione, sulla lastra verrà fissato un altro tempo. I due tempi saranno riconoscibili, in quanto l'immagine del primo sarà sovraesposta dalla seconda illuminazione.

Nel 1895 Cànani perfezionò il dispositivo di attivazione della lampadina, semplificandolo. Il meccanismo per l'accensione della stessa nella camera oscura è collegato a una pila. Esso è formato da una base di legno su cui una bascula, a bracci disuguali - con sezione e forma di e contenente una sfera di metallo, può oscillare. A riposo il movimento di questo apparato è impedito, sul lato lungo, dall'ancora di un'elettrocalamita. L'apparato è sempre inserito in un circuito con uno o più avvisatori sismici, alla cui attivazione l'elettrocalamita attirerà l'ancora e sbloccherà la bascula. Quest'ultima a causa del peso della sfera metallica si inclinerà dal lato minore facendo rotolare la sfera. Sotto il braccio minore della bascula un contatto elettrico chiuderà il circuito che accenderà la lampadina all'interno della camera oscura. A fine discesa la sfera si fermerà in un incavo nel legno della base.

La caduta della sfera alleggerirà temporaneamente la bascula che si inclinerà nel verso opposto, rimanendo nuovamente bloccata dall'ancora dell'elettrocalamita di nuovo scarica. Con un ingegnoso sistema di ricarica, una nuova sfera metallica si posizionerà dov'era la precedente e il sistema sarà di nuovo pronto per una seconda attivazione.

Il tempo di rotolamento della sfera lungo il braccio corto della bascula definisce il tempo di durata di accensione della lampadina. Per regolarlo, il fondo del lato corto della bilancia ha due serie di fori nei quali si possono inserire altrettante spine; urtandole la sfera rallenta e la sua discesa può durare da un quarto di secondo a un secondo.

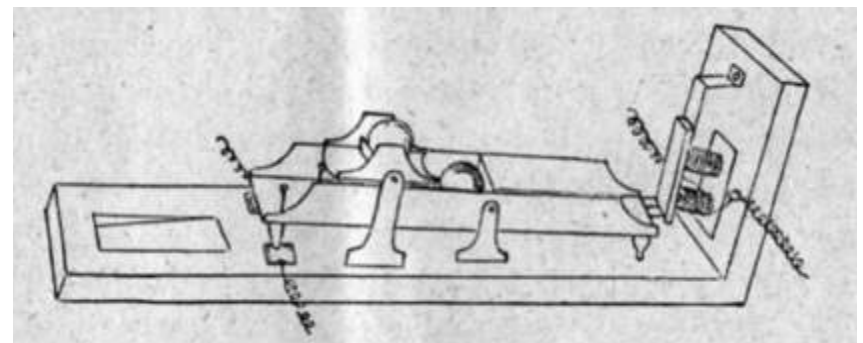
1890 Lo strumento veniva collegato a sismometrografi a registrazione a carta e, fra il primo modello e il secondo, furono fatti 18 mesi di sperimentazione presso l'Osservatorio Geodinamico di Rocca di Papa. Nel 1891 venne costruito l'Osservatorio Geodinamico di Catania nel sotterraneo dell'ex convento dei Benedettini, il cui corredo scientifico comprendeva anche un fotocronografo. Questo venne collocato accanto

al pilastro sismico sul quale si trovavano dieci diversi sismoscopi collegati tutti in uno stesso circuito, cosicché lo scattare di uno solo di essi era in grado di attivare l'elettrocalamita e mettere in funzione il fotocronografo.

 p. 324



Bascula a canale del secondo modello di fotocronografo Cànani, che costituisce il sistema di accensione della lampada all'interno della camera oscura contenente il cronometro di precisione per fissare l'ora di inizio della registrazione di un terremoto.



Disegno della bascula a canale del secondo modello di fotocronografo Cànani.

SISMOLOGIA

Microsismoscopio
a doppio pendolo
Guzzanti;
(ferro, ghisa,
ottone, alluminio,
bachelite;
Ø 38x98 cm).
CRA-CMA

Lo strumento è
stato integrato del
piccolo pendolo
centrale e della
mollettina con
secchiello
sottostante,
all'estremo
inferiore della
massa sferica di
destra, in quanto
andati perduti.

Registratore
sismico Guzzanti;
(ferro, ghisa,
ottone, rame,
legno, vetro,
zama;
45,2x18,5x21 cm).
OAP



Microsismografo a doppio pendolo e registratore sismico Guzzanti 1894



Fu lo stesso C. Guzzanti a dare un'accurata descrizione dello strumento nel *Bollettino della Società Sismologica Italiana*.



Lo strumento è costituito da una base di ghisa che sostiene, per mezzo di tre robuste aste di ferro, un telaio triangolare, sempre di ferro, al quale sono fissati due sistemi armonici, con masse sferiche di ferro da 6 kg: uno pendolare e uno a molla.

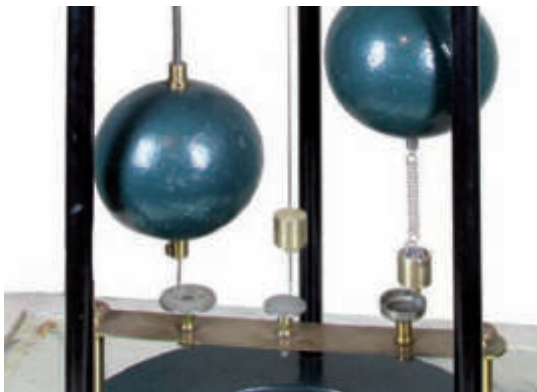
Il pendolo per la componente orizzontale è un'asta rigida di ferro alla cui estremità inferiore è fissata una delle masse. Questa termina verso il basso con un ago metallico inserito in uno dei 4 forellini di un sottostante dischetto. I forellini con orlo platinato hanno diametro di 1, 1.5, 2 e 2.5 mm e la sensibilità di questa componente orizzontale dello strumento può essere regolata scegliendo in quale dei quattro forellini del dischetto inserire l'ago. La seconda massa, per la componente verticale, è sospesa a una molla a spirale. Alla parte inferiore della massa è fissata una piccola molla a spirale che sostiene un secchiello pieno di pallini di piombo, la cui funzione è quella di regolare la tensione dell'ultima molla e la sensibilità di questa componente dello strumento. Il secchiello termina con un ago di metallo posto a piccolissima distanza dalla superficie di mercurio con cui viene riempita una coppetta di rame sottostante. Un secondo piccolo pendolo da 100 g, con le stesse modalità di funzionamento di quello più

grande, fu introdotto da Guzzanti per le oscillazioni orizzontali *rapide e vicine*. Gli aghi e le pareti dei forellini delle componenti orizzontali e l'ago e il mercurio sono coppie di contatti di un circuito elettrico comprendente una pila, un campanello elettrico come avvisatore acustico e un apparato registratore progettato dallo stesso Guzzanti. Il dischetto e la coppetta di rame sono fissati a un supporto di ottone solidale con la base dello strumento; inoltre due viti, ai lati di questo supporto, consentono di regolarne la distanza dai contatti elettrici. La parte frontale della base porta due serrafilari per l'apparato registratore. Quest'ultimo è costituito da una tavoletta di legno sui cui sono fissati: un orologio, per il trascinamento della carta telegrafica di registrazione, uno zoccolo di legno che sostiene una elettrocalamita e il rocchetto della carta. Un pennino inchiostro, collegato all'ancora dell'elettrocalamita, traccia normalmente una riga diritta. Ogni ora o quando si attiva il microsismoscopio l'elettrocalamita traccia linee perpendicolari alla direzione di scorrimento della carta.

Fra il 1895 e il 1908, per periodi diversi, lo strumento funzionò a Caltagirone, Catania, Ferrara, Fucecchio, Messina, Mineo, Napoli, Palermo, Reggio di Calabria, Roma e Bucarest.



p. 324



Particolare degli apparati sensibili del microsismoscopio Guzzanti, nella sua seconda versione, con l'aggiunta del piccolo pendolo centrale per le oscillazioni orizzontali *rapide e vicine*.



Vista posteriore del registratore Guzzanti: in primo piano la ruota di legno per il trascinamento della carta, di tipo telegrafico, mantenuto in rotazione dal meccanismo dell'orologio e su cui scrive un pennino inchiostro.



Vista laterale: in primo piano una delle due bobine dell'elettrocalamita di registrazione. In secondo piano la rotella di scorrimento della carta.

SISMOLOGIA

Livelle
geodinamiche
Grablovitz,
Salmoiraghi,
Milano; (ottone,
ghisa, ferro, vetro,
acqua distillata,
carta, mercurio,
legno;
60x6x9,7 cm,
con teca
66,5x12,7x10,9 cm).
CRA-CMA

Gli strumenti e le
relative custodie
di protezione sono
stati oggetto di un
accurato restauro
conservativo e
integrativo.

E' stato
necessario
ricostruire le bolle
di vetro andate
distrutte.



Livelle geodinamiche e livelli geodinamici ad acqua

Vasca sismica Grablovitz

1894

1895



Già gli astronomi Giuseppe Bianchi (1791 - 1866), a Modena nel 1834, e Philippe Plantamour (1818 - 1898), a Secheron presso Ginevra nel 1878 e 1879, avevano osservato relazioni fra l'agitazione delle livelle e piccoli moti del terreno ma, il 22 marzo 1894 G. Grablovitz, in occasione di un forte terremoto avvenuto in Giappone, osservò ampie oscillazioni nelle livelle astronomiche dell'Osservatorio Geodinamico della Grande Sentinella a Casamicciola, nell'isola d'Ischia. Intuendo la possibilità e l'utilità di registrare i terremoti lontani migliaia di chilometri (telesismi), Grablovitz fece modificare le due livelle a fini sismologici e, successivamente, le perfezionò realizzando, inoltre, i livelli geodinamici a registrazione continua e una vasca sismica.



Livelle geodinamiche

Ciascuna livella, prodotta dall'Officina Salmoiraghi di Milano, è costituita da una fiala di vetro contenente acqua e una bolla d'aria. La fiala è parzialmente rivestita da un tubo cilindrico di ottone fissato a un supporto di ghisa. Sul vetro sono incise 90 divisioni a distanza di 3 mm corrispondenti a un'inclinazione di 1.5 secondi di grado. All'estremità di ciascuna livella una vite micrometrica consente la regolazione della posizione della bolla d'aria. Una custodia in legno, chiusa in alto da una lastra di vetro, protegge la livella da eventuali correnti d'aria e contiene un termometro, a doppia

scala Réaumur e Celsius, per comparare le dilatazioni della bolla.



Livelli geodinamici

I livelli geodinamici ad acqua, versione perfezionata delle prime livelle, erano progettati sulla base del principio idrostatico per la registrazione dei movimenti sismici. Lo strumento era costituito da due livelli, ognuno dei quali formato da due vasi cilindrici collegati tra loro da un tubo orizzontale. I due livelli erano fra loro perpendicolari secondo le direzioni Nord-Sud ed Est-Ovest, in modo che i vasi registratori fossero vicini e registrassero sullo stesso rullo di carta.

I quattro vasi erano riempiti fin quasi all'orlo di acqua, sulla cui superficie galleggiavano altrettanti piatti di zinco, per evitare l'evaporazione dell'acqua. I due piatti più interni servivano per la registrazione delle oscillazioni dell'acqua. I due vasi più esterni avevano la funzione di regolare l'altezza del liquido all'interno dell'apparecchio. Al centro di ciascun piatto di registrazione c'era il fulcro di un sistema di leve di diversa lunghezza, che consentiva di ingrandire 50 volte il movimento del suolo. La leva più lunga terminava con un pennino pieno di inchiostro gelatinoso che tracciava la registrazione sopra un tamburo ad asse verticale, con meccanismo a orologeria della ditta F.lli Richard di Parigi. Il cilindro rotante compiva una rotazione completa in 53 minuti e la velocità di scorrimento della carta era



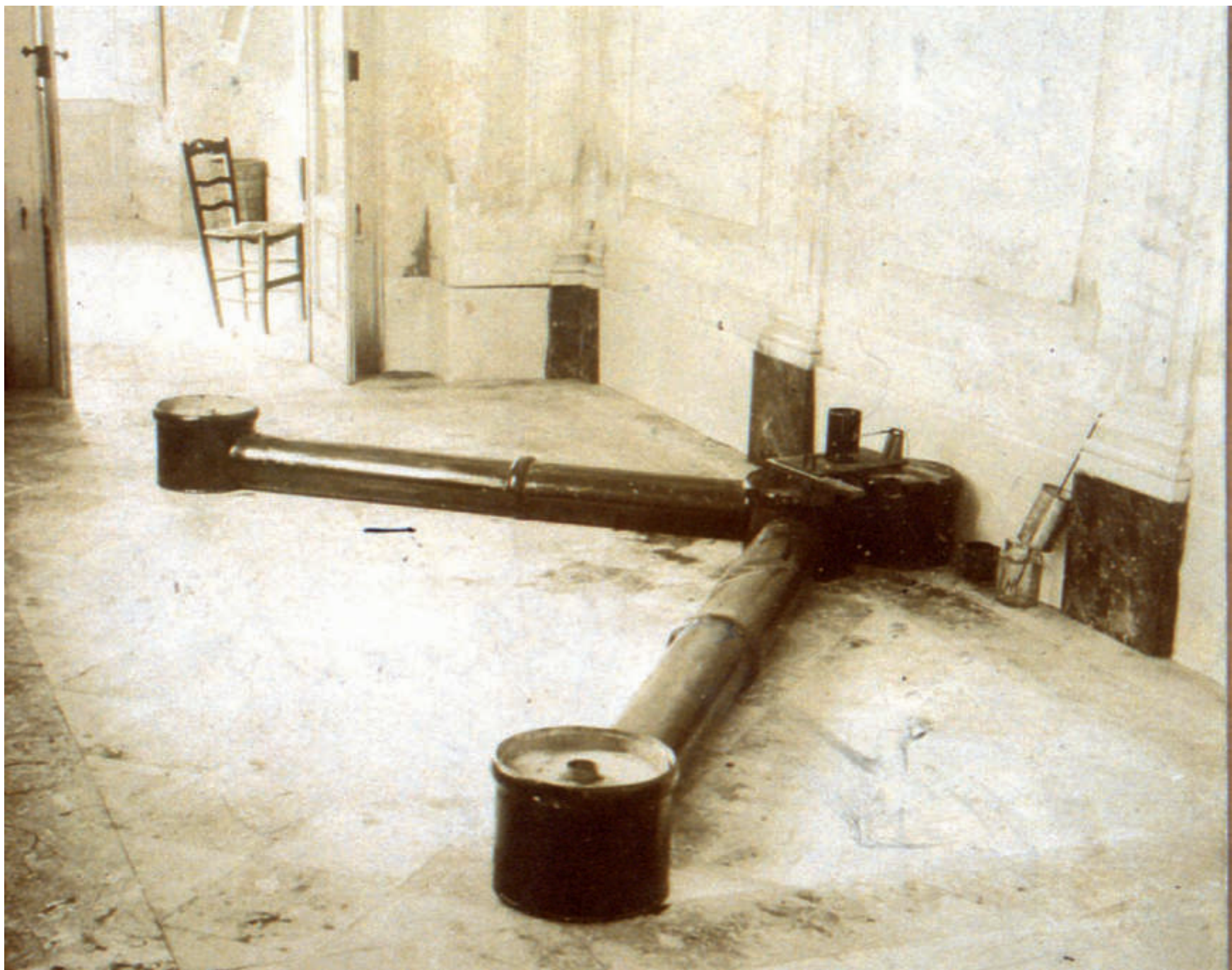
Livella geodinamica Grablovitz, particolare della cerniera che consente di regolare l'inclinazione verticale della livella. Le due livelle riportano incise Salmoiraghi - Milano e i numeri di serie.



Particolare della bolla e della graduazione. La fiala di vetro era andata distrutta in ambedue le livelle, ma dai frammenti è stato possibile ricostruirla fedelmente.



Particolare della vite micrometrica per la regolazione dell'inclinazione verticale della livella.



Livelli geodinamici Grablovitz installati nell'Osservatorio di Porto d'Ischia, in una rara fotografia della fine dell'Ottocento. In primo piano a destra, l'apparato di registrazione delle due componenti orizzontali del moto sismico ricavato da un registratore Richard.

di 55 mm al minuto. Due pesi cilindrici sospesi a un filo, calati nei vasi esterni per mezzo di un meccanismo a orologeria attraverso appositi fori nei dischi galleggianti, facevano gradualmente innalzare il livello dell'acqua per evitare la sovrapposizione delle tracce al compimento di un giro, cosicché sul tamburo venivano tracciate due spirali, con un passo di 1 mm, in un arco temporale di 24 ore.

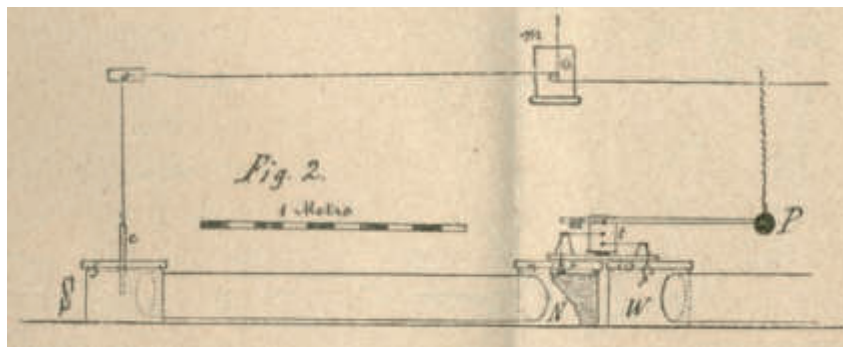


Vasca sismica Grablovitz

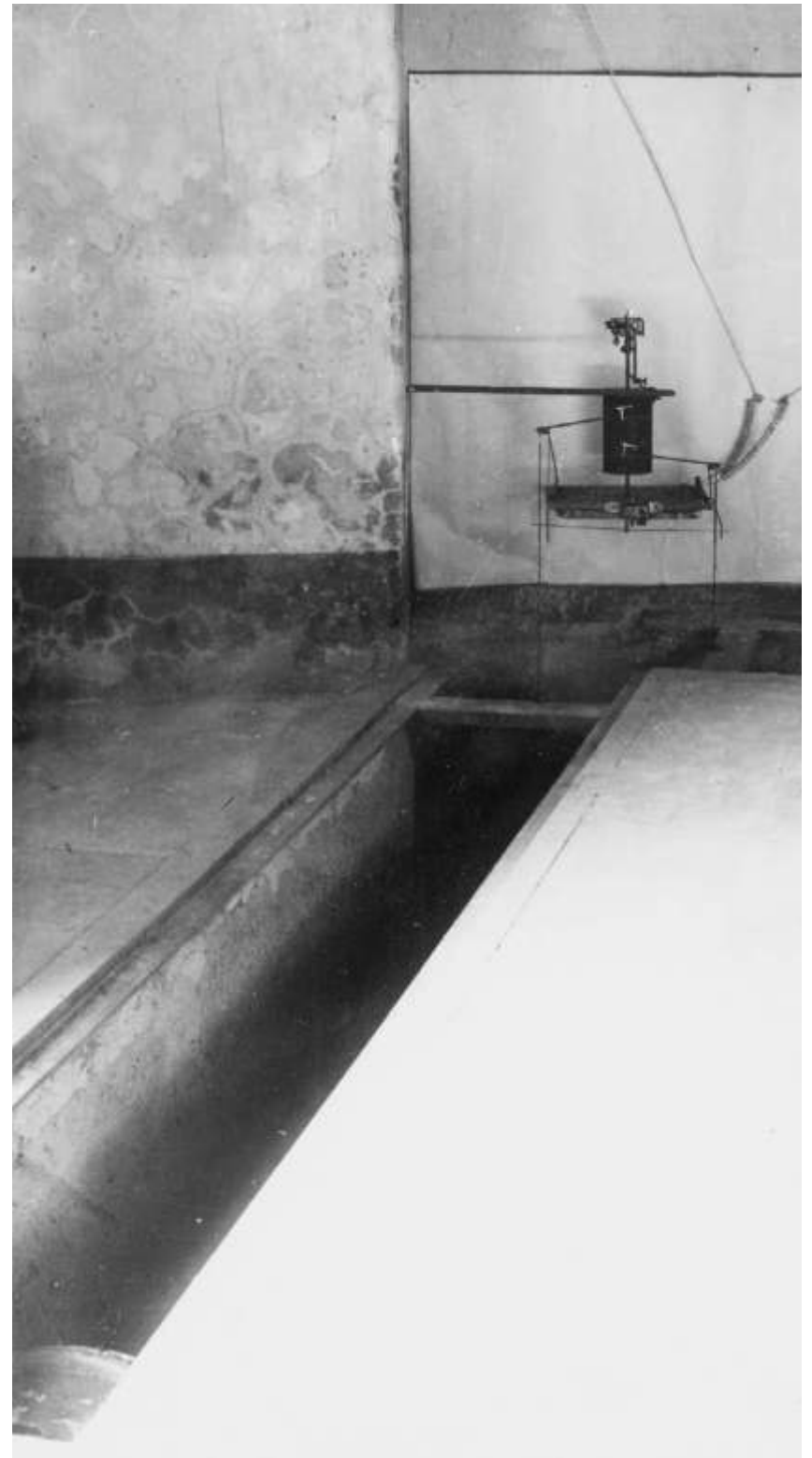
Nella registrazione di oscillazioni di piccola entità si rendeva necessario evitare ogni seppur minima causa di attrito come quella che si poteva avere al passaggio dell'acqua attraverso i tubi, anche se di grande diametro, nei livelli geodinamici a registrazione continua.



Livelli geodinamici Grablovitz poggiati, insieme ad altri strumenti, sul pilastro sismico ottagonale dell'Osservatorio di Casamicciola, nel particolare di una fotografia della fine dell'Ottocento.



Disegno schematico dei livelli geodinamici Grablovitz e della reciproca disposizione rispetto al sistema di registrazione, tratto dalla descrizione che l'ideatore ne ha dato nel del 1896.



Livelli geodinamici Grablovitz installati nell'Osservatorio di Casamicciola, in una rara fotografia della fine dell'Ottocento. I due strumenti sono alloggiati in altrettante fosse ricavate nel pavimento dell'Osservatorio. In basso a sinistra è il vaso più esterno con il foro per l'ingresso del peso per il graduale innalzamento del livello dell'acqua. A destra in alto si vede l'apparato di registrazione.

SISMOLOGIA

Vasca sismica
Grablovitz
nell'Osservatorio
Geodinamico della
Grande Sentinella
a Casamicciola;
(muratura,
catrame, ferro,
ottone;
Ø 220x150 cm).
Lo strumento,
tuttora esistente è
qui fotografato
come si trovava
nel 2003.



Grablovitz progettò quindi un nuovo strumento, la vasca sismica, che installò in un piccolo padiglione nel giardino dell'Osservatorio Geodinamico della Grande Sentinella di Casamicciola, prendendo ogni precauzione perché l'apparato fosse riparato da possibili influenze esterne. La superficie del liquido si manteneva così in quiete anche nelle giornate ventose, ma i pennini non risultavano mai completamente immobili.

La vasca, di forma cilindrica, ha diametro di 157 cm e profondità di 110 cm. E' riempita, fino a dieci centimetri dal bordo, di acqua sulla quale galleggia un grande piatto di ferro zincato del diametro di un metro e mezzo utilizzato per la registrazione. Ciascuna delle due leve amplificatrici porta a una estremità un pennino per la registrazione, mentre l'estremità opposta, più corta si collega al galleggiante mediante un piccolo peso. I supporti delle leve di differente altezza sono collocati sul lato ovest e sul lato nord della vasca, cosicché le punte scriventi vengono a trovarsi sulla stessa verticale su due porzioni diverse della carta. La registrazione avviene sopra un tamburo ad asse verticale della ditta F.lli Richard di Parigi, azionato da un motore che gli fa compiere un giro in 26 ore. I bracci delle leve stanno in un rapporto di 1 a 100 e il comportamento dinamico del sistema corrisponde a quello di un pendolo di 75 metri di lunghezza. Tanto l'interno della vasca quanto la faccia inferiore del piatto di zinco sono rivestiti di bitume per ostacolare eventuali perdite e l'evaporazione dell'acqua. Lo strumento è completamente chiuso da un coperchio di legno con solo due aperture che permettono il collegamento tra il galleggiante e le leve registratrici. Sperimentata la sensibilità di questo strumento e considerati gli ottimi

risultati, nel 1902 venne impiantata un'altra vasca da Grablovitz nell'altro Osservatorio al Porto d'Ischia con diverse modifiche soprattutto all'apparato registratore.



Il terremoto giapponese rilevato dalle livelle astronomiche di Casamicciola fu registrato contemporaneamente in altre tre stazioni sismiche italiane: Roma, Rocca di Papa e Siena.

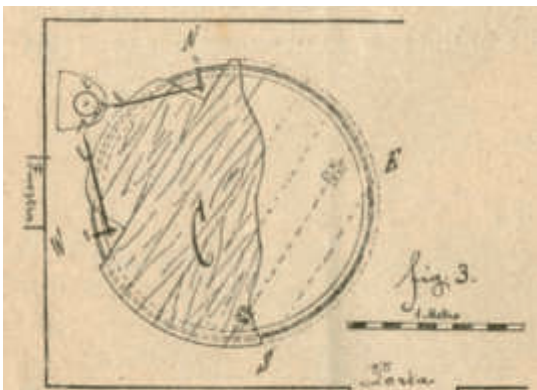
I livelli geodinamici furono installati alla fine del 1894 nella stazione geodinamica al Porto d'Ischia, sul pavimento della stanza al piano terra dell'ex Casina Reale. Intorno al 1901, G. Alfani installò dei livelli geodinamici di Grablovitz nel sotterraneo della sezione sismologica dell'Osservatorio Ximeniano di Firenze, oggi non più esistenti.

A tutt'oggi sopravvivono le due livelle geodinamiche e solo la vasca sismica dell'Osservatorio della Grande Sentinella a Casamicciola, mentre non vi è più traccia di nessuno dei livelli geodinamici costruiti e installati nell'Osservatorio del Porto d'Ischia e di Casamicciola.

Le parti mobili della vasca sismica (tamburo registratore, leve scriventi e galleggiante) vennero esposte nelle sale dell'Ateneo di Brescia, in occasione del Primo Congresso Nazionale di Sismologia, svoltosi in quella città nel 1902, insieme ai sismogrammi dei maggiori terremoti verificatisi nel periodo tra il 1900 e il 1902 ottenuti con la vasca sismica dell'Osservatorio di Casamicciola.



p. 324-325



Vasca sismica Grablovitz: disegno schematico dello strumento tratto dalla descrizione che lo stesso ideatore ne fece sul nel 1895.

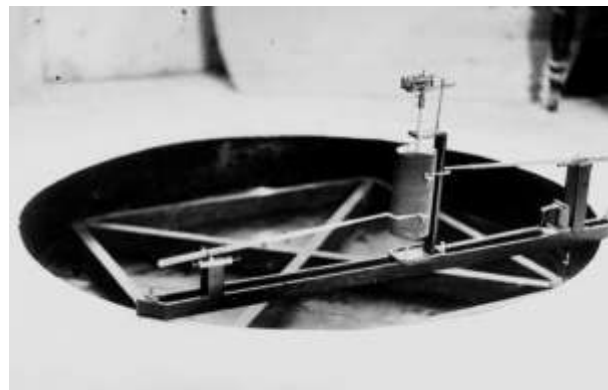
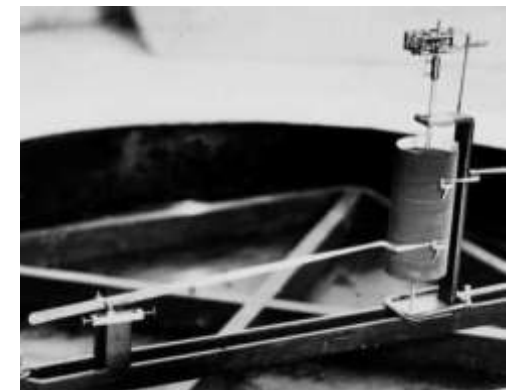


Foto storica della fine dell'Ottocento: dal confronto con la foto recente dalla pagina a fianco, sembra potersi dedurre che questa immagine si riferisca allo strumento dell'Osservatorio del Porto d'Ischia.



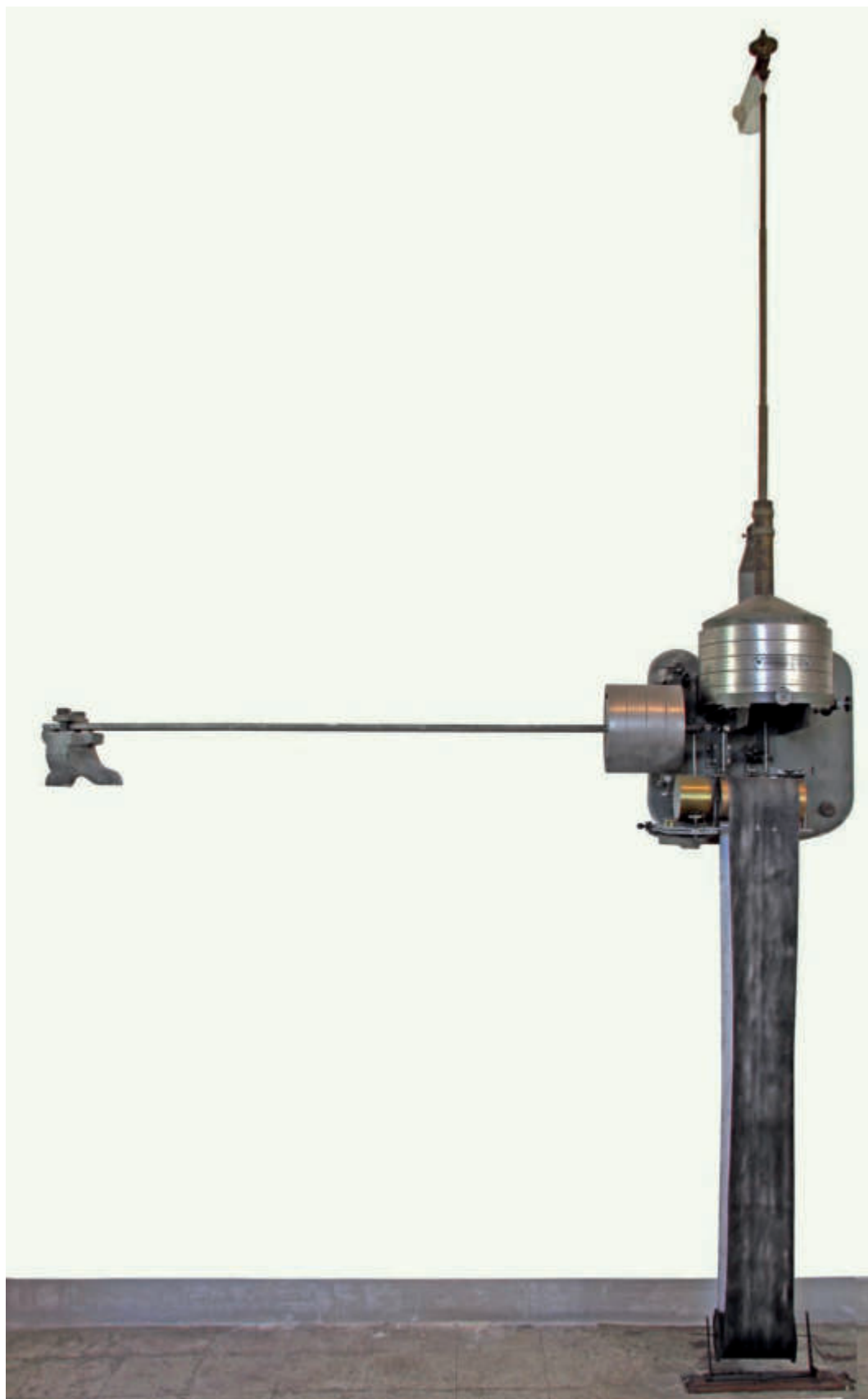
Particolare del sistema di scrittura da una foto storica della fine dell'Ottocento.

SISMOLOGIA

Sismografi
orizzontale e
verticale Vicentini;

A. Cagnato,
Padova; (ferro,
acciaio, ottone;
200x40x300 cm).

CPOV



Microsismografi orizzontale e verticale Vicentini

1895



Nel 1895 G. Vicentini e Giulio Pacher (1867 - 1900) realizzarono un microsismografo per le componenti orizzontali a registrazione meccanica con l'intento di ottenere un ingrandimento paragonabile a quello degli strumenti di Rebeur-Paschwitz e delle successive modificazioni. Lo strumento fu accolto con notevole interesse dalla comunità sismologica italiana e internazionale e Vicentini fu incoraggiato a sviluppare anche uno strumento per la componente verticale che realizzò un paio di anni dopo. E. Wiechert, in fase di progettazione dei suoi sismografi, venne in Italia nel 1899 e, visitando diversi sismologi italiani per studiare gli strumenti da loro ideati, si soffermò sul microsismografo di Vicentini che definì il più sensibile.



Microsismografo orizzontale

Lo strumento si compone di un pendolo verticale di 1,5 m e una massa di 100 kg. Il moto relativo della massa è amplificato da una leva verticale costituita da un tubo di sottile lamina di alluminio, fissato a un cerchietto dello stesso metallo. Un ago di acciaio attraversa superiormente il cerchietto; un secondo ago di acciaio è fissato alla estremità del tubo di alluminio. La punta dell'ago superiore, appoggia nella cavità conica di un cappelletto di vetro, fissato a un supporto ancorato rigidamente al muro su cui è installato lo strumento. Il moto

orizzontale di questa leva è scomposto, da altre due leve, in due componenti ortogonali: una parallela al muro di sostegno e l'altra perpendicolare.

Entrambe le leve sono girevoli intorno a due sottili aghi di acciaio, ognuno mantenuto verticale da una staffa. Anteriormente le leve terminano con due sottili strisce di vetro, fuse agli estremi in modo tale da assumere forma sferica; queste rappresentano i pennini scriventi sulla carta affumicata. Due piccoli tubi di ottone infilati sul braccio corto delle leve fungevano da contrappeso. L'ingrandimento fornito dal sistema di leve amplificatrici è di circa 80 volte.

Le registrazioni avvengono su nastro di carta affumicata; il nastro poggia superiormente sopra un cilindro mantenuto in rotazione da un meccanismo a orologeria. Un secondo cilindro posto nella parte inferiore del nastro di carta ha la funzione di mantenerla in tensione.

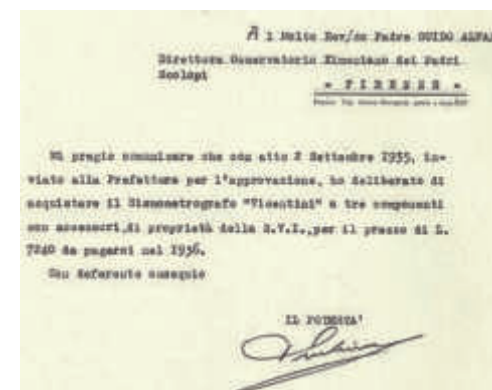
La registrazione del tempo viene effettuata sul nastro di carta affumicata da un terzo pennino scrivente, comandato dall'ancora di un elettromagnete inserita in un circuito elettrico comprendente anche un pendolo di precisione. La chiusura del circuito avviene a ogni minuto tranne una volta all'inizio di ogni ora, in modo tale da poter facilmente calcolare il tempo. Nei primi anni del Novecento, con l'introduzione dello smorzamento per i sismografi a registrazione meccanica, opera



Microsismografo Vicentini dell'Osservatorio di Pesaro: particolare del pendolo per le componenti orizzontali, con il contenitore della massa e dell'olio di smorzamento.



Particolare del sistema di registrazione; da sinistra i pennini delle componenti verticale e orizzontali.



Lettera del Podestà di Pesaro, del 14 settembre 1935, che autorizza l'acquisto, per l'Osservatorio di Pesaro, del sismografo Vicentini di proprietà dell'Osservatorio Ximeniano.



Microsismografo Vicentini per la componente orizzontale N-S dell'Osservatorio del Collegio Alberoni di Piacenza: particolare della massa, con il sistema di astatizzazione magnetica, e del sistema di registrazione

di E. Wiechert e di B. B. Galitzin, per quelli a registrazione ottica, anche Vicentini integrò i suoi strumenti con sistemi di smorzamento a olio o ad astatizzazione magnetica. Del primo tipo sopravvive un esemplare all'Osservatorio *Valerio* di Pesaro, in cui la massa è solidale con un contenitore di olio minerale all'interno del quale è immerso un cilindro di lamiera con un cappello metallico, quest'ultimo solidale al muro, che costituisce l'elemento smorzante.

In caso di terremoto, con l'oscillazione del muro oscillano il supporto della leva di registrazione e il cilindro di smorzamento, mentre la massa e con essa il contenitore dell'olio rimangono fermi. Questo movimento relativo provoca attrito fra il cilindro di lamiera e l'olio, causando lo smorzamento che si contrappone alla causa che l'ha generato.



Microsismografo verticale

Nello sviluppo di un microsismografo verticale, Vicentini e Pacher trovarono impraticabile l'uso delle tradizionali molle metalliche a spirale per sospendervi grandi masse. A questo si aggiungevano altri limiti, come l'essere soggette anche a oscillazioni orizzontali e l'essere molto sensibili alle variazioni di temperatura ambientale.

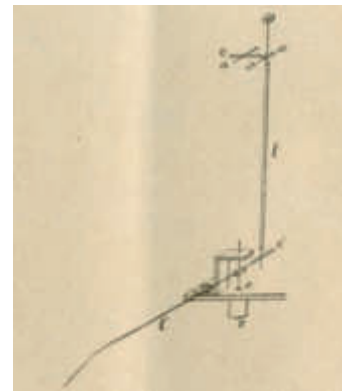
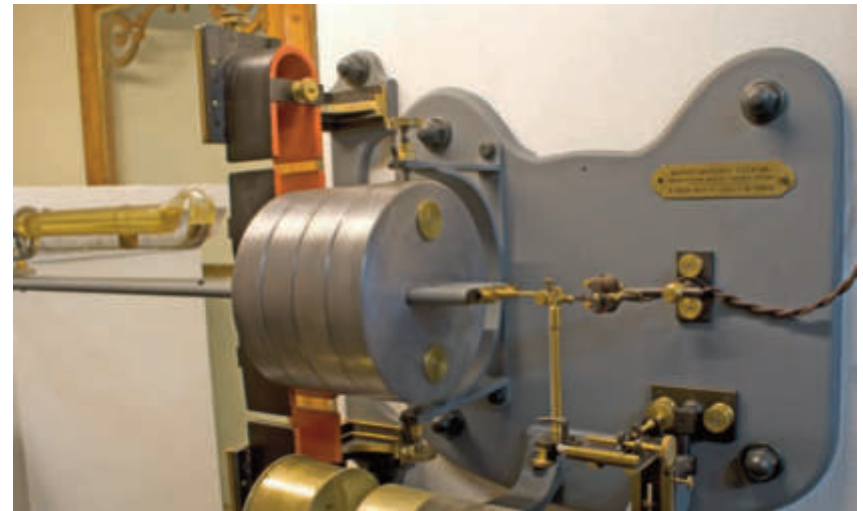
Vicentini scelse, quindi, una lunga molla piatta, consistente in una barra di acciaio di 1,5 m, larga 75 mm e di spessore variabile da 10 a 7 mm. La parte più spessa è fissata a una robusta mensola di ferro murata nella parete. L'altra estremità sostiene una massa di dischi di piombo, in genere 4, per un peso totale variabile, a seconda degli esemplari ancora esistenti, da 100 a 150 kg circa.

Nei primi anni venti del Novecento, Vicentini apportò significativi miglioramenti ai suoi strumenti, introducendo in particolare un'astatizzazione magnetica. Utilizzò le forze di campi magnetici per ridurre l'effetto della forza di gravità sul moto del pendolo e aumentare, a parità di altre grandezze, il periodo proprio di oscillazione dei sismografi orizzontali e verticali. Ottenne così di aumentare il suo sismografo per la componente orizzontale da quasi 3s di periodo proprio a 28s, mentre quello per la componente verticale da 0,7 a 8s. Poichè, tuttavia, rimaneva critica la sensibilità alla temperatura della

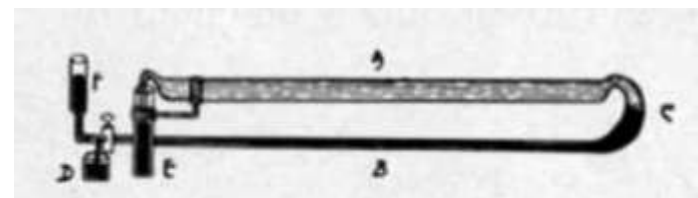
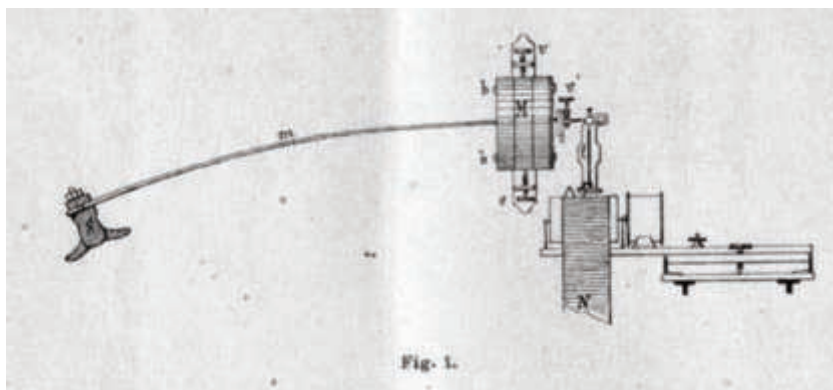
componente verticale, Vicentini ideò un tubo di vetro ripiegato a forma di Γ di 105 cm di lunghezza, avente i due rami a sezioni disuguali e molto ravvicinati e un rigonfiamento a forma di Γ nella parte curva. Il mercurio occupa il tubo inferiore, a sezione minore, e parte del rigonfiamento a Γ . Tutto il resto è pieno di una miscela di etere etilico e alcol. Così preparato, il termoregolatore viene posizionato sopra alla molla d'acciaio con il rigonfiamento a Γ in prossimità della massa. All'aumentare della temperatura, il liquido alcolico dilatandosi costringe il mercurio a defluire nel serbatoio, causando un alleggerimento dalla parte della massa che compensa l'allungamento della molla e la sua variazione di coefficiente di elasticità. Viceversa, al diminuire della temperatura il liquido alcolico diminuirà di volume causando il deflusso del mercurio a riempire parte del rigonfiamento. Questo comporta un aumento di peso in prossimità della massa che bilancia l'accorciamento della molla.

Fig. 1 Microsismografi Vicentini funzionarono in almeno 30 osservatori in Italia e all'estero. In particolare, dal 1895 al 1934 per periodi diversi, funzionarono in Italia a: Genova, Pavia, Piacenza, Verona, Padova, Venezia, Treviso, Livorno, Firenze, Pesaro, Siena, Sinalunga, Rocca di Papa, Napoli, Taranto, Catanzaro, Mileto, Messina, Catania; e nel mondo a: Lubiana, Mostar, Barcellona, Almeria, Tortosa, Malaga, Manila, Ambulong, Baguio nelle Filippine e La Plata in Argentina.

Fig. 2 p. 325



Microsismografo Vicentini per la componente verticale dell'Osservatorio del Collegio (foto sopra): particolare della massa, con il sistema di astatizzazione magnetica, e del sistema di registrazione. Sullo sfondo a sinistra è visibile l'apparato termoregolatore. Particolare del meccanismo di trasmissione del moto sismico al pennino (sotto a sinistra); leva verticale per la trasmissione del moto relativo della massa del Microsismografo Vicentini per le componenti orizzontali (sotto a destra). Entrambi i disegni sono tratti da una pubblicazione dell'autore.

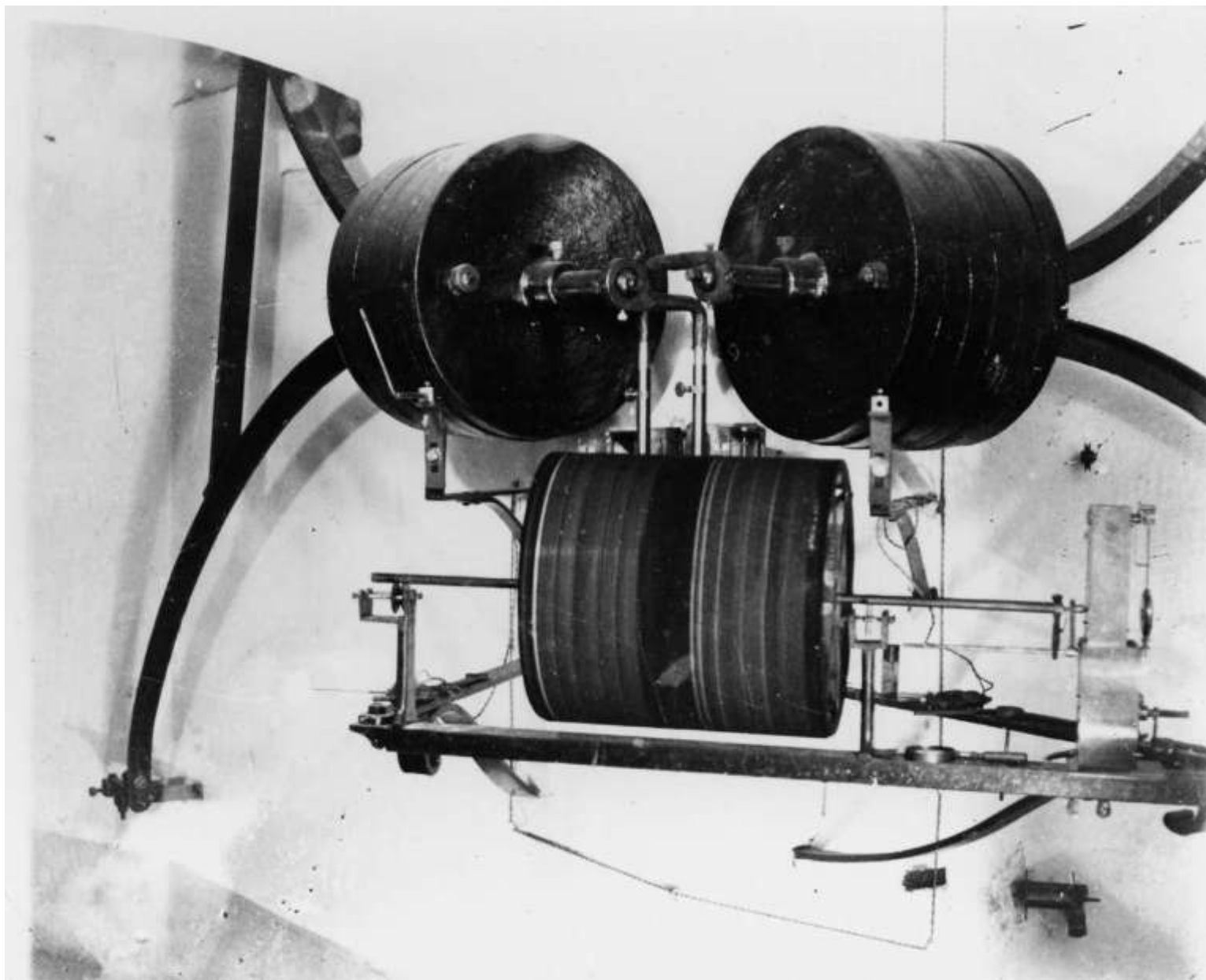


Disegno schematico del microsismografo Vicentini per la componente verticale (a sinistra) e particolare dell'apparato termoregolatore (a destra).

SISMOLOGIA

Pendoli orizzontali
Stiattesi
in una foto storica
relativa
all'Osservatorio

di Firenze;
(ghisa, ferro,
ottone, rame;
dimensioni di
ciascun pendolo:
150x50x350 cm).
HP



Pendoli orizzontali Stiattesi



Sul finire del XIX secolo anche gli studiosi italiani cominciarono a utilizzare pendoli orizzontali, che all'estero avevano già dato buoni risultati. Il pendolo orizzontale consentiva di ottenere, rispetto ai pendoli verticali, ingrandimenti molto superiori senza ricorrere all'aumento della lunghezza del pendolo che risultava, oltre un certo limite, poco pratico. Nei primi anni del Novecento Raffaello Stiattesi (1867 - 1963) costruì diversi modelli di pendoli orizzontali nel suo osservatorio di Quarto-Castello, nei pressi di Firenze.



Il pendolo orizzontale è costituito da un telaio triangolare in ferro con il lato lungo posizionato verticalmente, ancorato a un sostegno, che costituisce l'asse di rotazione del pendolo; al vertice opposto del lato verticale è montata la massa pendolare. Il telaio quindi può ruotare sul suo asse verticale e la massa si muoverà solo su di un piano orizzontale. Il sistema è in equilibrio indifferente.

Se il pendolo viene montato con l'asse di rotazione più o meno inclinato rispetto alla verticale dalla parte della massa, il pendolo non è più in equilibrio indifferente. Ruotando il telaio attorno al proprio asse, la massa oscillerà con un periodo proporzionale all'inclinazione: 5, 10, 20 e 30 s. La parte esterna della massa pendolare è collegata a un sistema di leve per amplificare le oscillazioni del pendolo.

Il primo modello dei pendoli Stiattesi aveva massa di 25 kg e ingrandimento di 100 volte. Nelle tre versioni successive il sismologo fiorentino aumentò la massa a 235 e 500 kg, con l'obiettivo di vincere l'attrito del sistema di ingrandimento esterno.

Nel 1906 Stiattesi descrisse, in una pubblicazione dell'Osservatorio di Quarto-Castello, il quarto modello dei suoi pendoli orizzontali, sottolineando le perplessità insorte nel corso degli studi fatti negli anni precedenti per la messa a punto dello strumento. Egli utilizzò anche due pendoli orizzontali sovrapposti nell'intento di migliorare ancora l'ingrandimento complessivo, che già nel terzo modello era di 5.000 volte, ma lo strumento presentava delle instabilità che lo rendevano inaffidabile. Con un solo pendolo non riuscì a superare ingrandimenti di 50 volte.



Lo strumento, nelle sue varie versioni, ebbe tra il 1900 e il 1929 una discreta diffusione nazionale e internazionale. Coppie di pendoli orizzontali Stiattesi hanno funzionato a: Moncalieri, Chiavari, Bologna, Firenze, Quarto-Castello, Giaccherino, Siena, Foggia e Granada.



p. 325



Coppia di pendoli orizzontali Stiattesi nel sotterraneo dell'Osservatorio Ximeniano di Firenze, in una foto dei primi del XX secolo. Oggi gli strumenti non esistono più.



Coppia di pendoli nel sotterraneo dell'Osservatorio del Collegio Carlo Alberto di Moncalieri.



Disegno dei pendoli orizzontali Stiattesi con massa pendolare di circa 250 kg, in funzione presso gli Osservatori Ximeniano e Quarto-Castello di Firenze.

SISMOLOGIA

Sismografo Milne
Robert Murno,
Londra;
(ghisa, ottone,
ferro, acciaio,
legno;
sensore:
40x40x50 cm;
registratore:
45x40x50 cm).
FMCC



Sismografo Milne

1895



Nel 1895, al suo ritorno in Inghilterra, J. Milne realizzò questo strumento, sintesi delle sue esperienze e di quelle di altri studiosi britannici operanti in Giappone dagli anni settanta dell'Ottocento. In pochi anni divenne uno strumento standard per il **monitoraggio della sismicità**, con cui fu realizzata la prima rete sismica mondiale.



Lo strumento è costituito da una colonna di ferro, solidamente ancorata a una base triangolare, livellabile per mezzo di tre viti calanti. Alla colonna è appeso un pendolo orizzontale, il cui braccio è costituito da una leggera asta di alluminio sospesa alla cima della colonna per mezzo di un cavo fissato al braccio a un settimo della sua lunghezza. All'estremità esterna di questo pennino è fissata una piccola piastra rettangolare con una fessura al centro. Per bilanciare il peso dell'estremità esterna del braccio, e per ottenere il **movimento di oscillazione** del sismografo, una massa è posta a cavallo del braccio tra l'attacco del cavo di sostegno e la punta, a circa un decimo della sua lunghezza. La piastrina terminale del pendolo penetra in una scatola di legno contenente il sistema di registrazione, costituito da una striscia, larga 50 mm, di carta fotografica trascinata da un meccanismo a orologeria. La piccola piastra rettangolare del pendolo si trova leggermente al di sopra della carta di

registrazione e sotto a una fenditura passante nel coperchio della scatola. Una lampada e uno specchio servono a illuminare, attraverso la fessura, la piastra del pendolo e la carta fotografica sottostante.

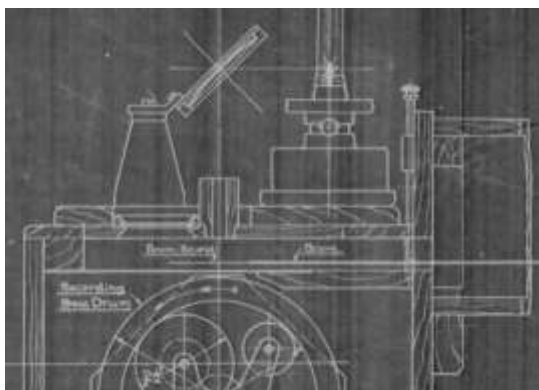
Quando il braccio del pendolo è fermo, la registrazione risultante sulla carta fotografica sarà quella di una banda bianca, di larghezza corrispondente a quella della piastra all'estremità del braccio. Con l'oscillare del pendolo, a destra e a sinistra la carta verrà annerita dalla luce entrata dalle due estremità della fessura fissa, mentre la fessura della piastrina collegata al braccio del pendolo tratterà con una riga nera, al centro delle carte, le oscillazioni del pendolo. Sul bordo di una di queste bande nere, a intervalli di 60 mm la lancetta dei secondi e quella dei minuti di un orologio, tracciano righe bianche rispettivamente ogni minuto, ogni mezz'ora e ogni ora.



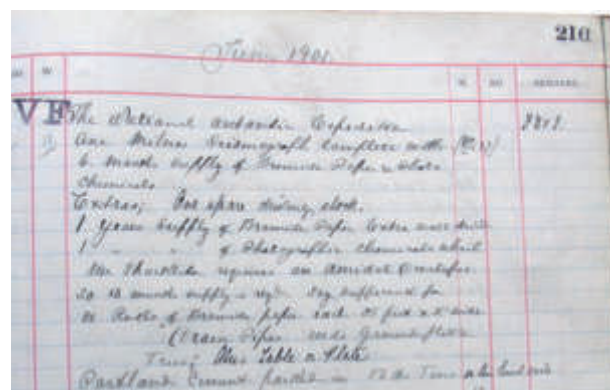
Gli strumenti furono realizzati dalla ditta Robert Munro di Londra, costruttore ufficiale di Milne e nel gennaio 1901 ben 37 sismografi Milne erano installati in tutti i continenti. Nello stesso anno, la **navata di St. Paul's** di Robert Falcon Scott, imbarcò sulla nave un sismografo Milne che fu installato in Antartide.



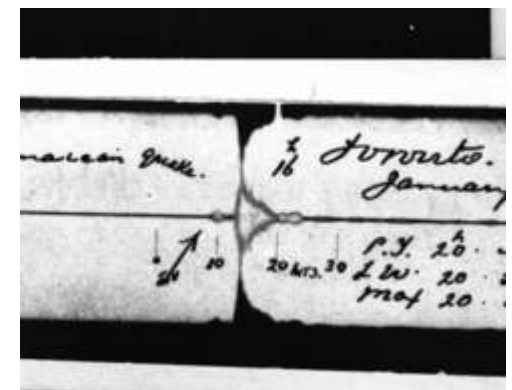
p. 325



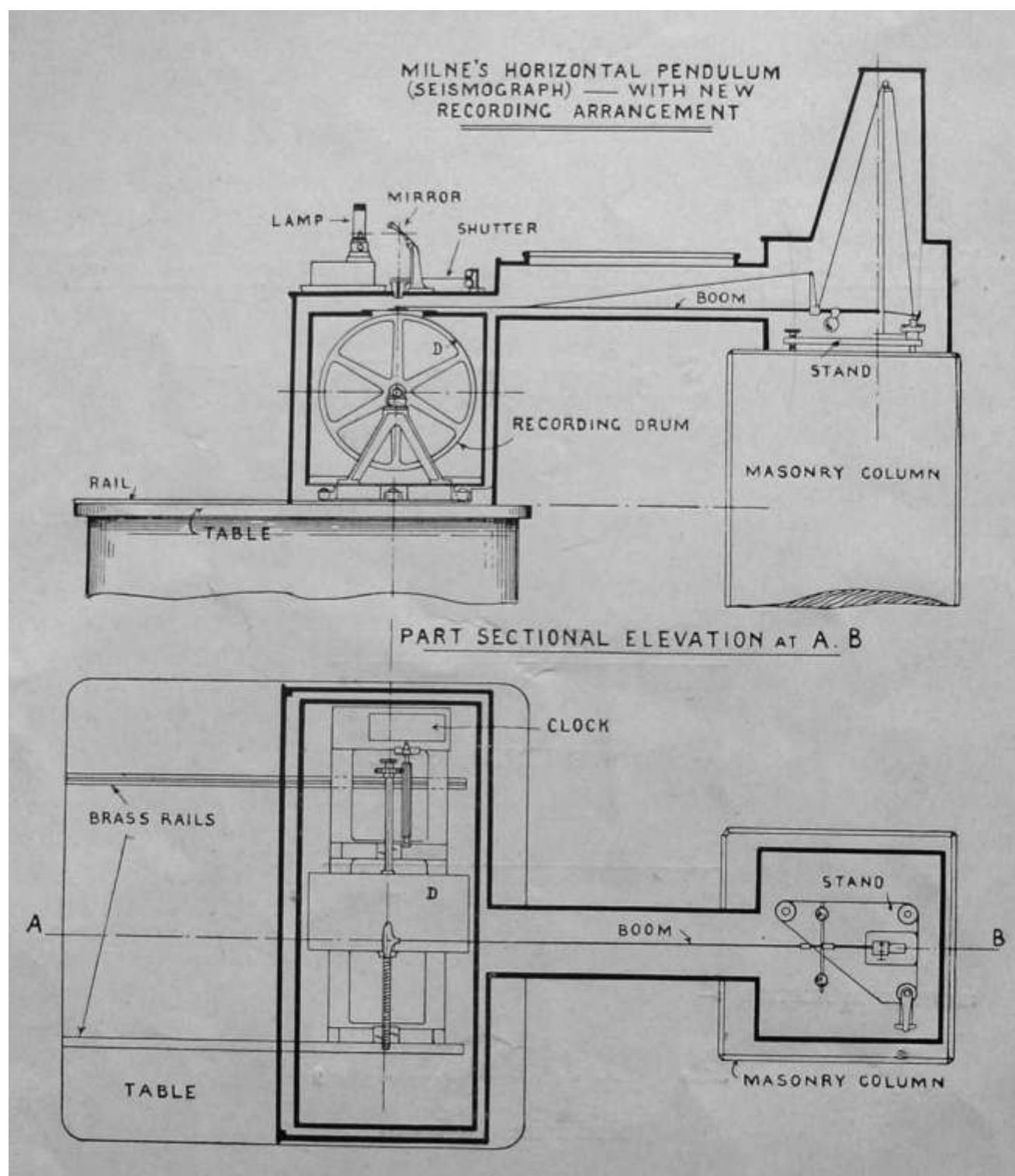
Particolare di un disegno tecnico del registratore del sismografo Milne: il rullo di registrazione (in basso), la piastrina terminale del braccio del pendolo (boom shield), la lampada e lo specchio.



Registro della ditta Munro, in cui è annotata la consegna, agli inizi di giugno 1901, di un sismografo Milne, per la spedizione antartica. Sono forniti anche carta fotografica e materiali chimici di sviluppo per 18 mesi.



Sismogramma del terremoto della Giamaica del 17 gennaio 1901, registrato a Toronto da un sismografo Milne.



Il sismografo Milne fu oggetto di numerosi perfezionamenti da parte del suo ideatore, con il contributo di un esperto costruttore come Munro. Una delle migliorie più importanti è costituita dalla registrazione sulla carta avvolta a un rullo, con scansione orizzontale, per mezzo di un'asta di rotazione a vite senza fine. Numerosi sismologi italiani avevano da tempo introdotto questo tipo di registrazione, primo fra tutti F. Cecchi.



Milne, seduto a sinistra, la moglie Tone a destra e B. B. Galitzin al centro, fotografati nei primissimi anni del Novecento con un grande pendolo orizzontale, installato nella residenza-laboratorio del sismologo inglese a Shide (Isola di Wight).

SISMOLOGIA

Microsismo-
metrografo
Agamennone a
due velocità
Luigi Fascianelli,
Roma; (ghisa,
ferro, piombo,
ottone, rame;
73x31x150 cm).
ACBF



Microsismometrografo Agamennone a due velocità

1899



All'inizio del 1899 G. Agamennone, volendo aumentare la sensibilità dei sismografi allora esistenti, ideò un nuovo tipo di sismometrografo per componenti orizzontali, dotato di un doppio sistema di leve in grado di ottenere un ingrandimento del moto del suolo pari a circa 65 volte, rispetto ai normali sismografi dotati di un ingrandimento di circa 10 volte.



Lo strumento era un pendolo di 10 m con una massa cilindrica di piombo di 500 kg, sospesa mediante tre tiranti, e oscillante al centro di un pilastro di mattoni solidale al terreno.

Al di sopra della massa, e a piccola distanza da essa, erano fissate lateralmente al pilastro due piccole travi in ferro sagomate, parallele tra loro e in posizione orizzontale, di supporto all'apparato registratore mediante due traverse in ferro.

Nel centro della massa pendolare era una cavità cilindrica alla quale era fissata una leva verticale in alluminio, il cui braccio corto era collegato al centro di gravità della massa, mentre il suo punto di rotazione, o fulcro, era fissato alla base dello strumento stesso. Il braccio lungo, rivolto verso l'alto, terminava in un ago che penetrava nel punto d'incrocio di due asole ad angolo retto tra loro e praticate, come in altri strumenti, nei bracci corti di due leve orizzontali anch'essi

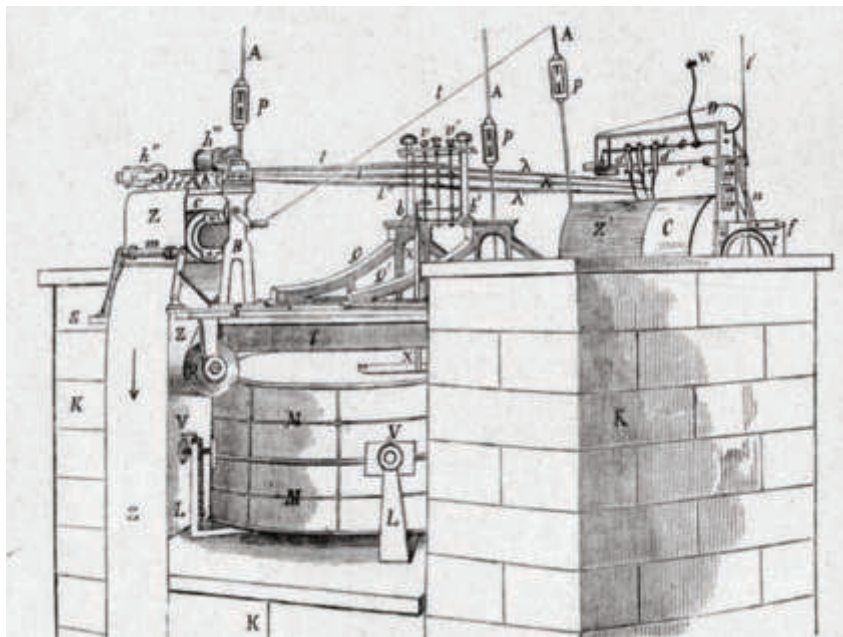
in alluminio. Le estremità delle leve, munite di pennine a inchiostro ben bilicate, registravano i movimenti del pendolo, con un ingrandimento di circa 65 volte.

Gli stili, oltre a sostenere i pennini per la registrazione sopra il nastro di carta bianca che si muoveva in continuo a velocità costante, avevano sui loro prolungamenti delle punte scriventi su una carta affumicata appoggiata a un cilindro, che si metteva in rapido movimento soltanto al sopraggiungere di una scossa. La prima infatti, mediante un meccanismo a orologeria ruotava a una velocità costante di 40 cm all'ora, ma al sopraggiungere di una scossa e per una certa durata della stessa, un motorino elettrico consentiva di accelerare notevolmente il moto di trascinamento della carta di registrazione fino a una velocità di 15-20 m/h. Successivamente, fu eliminato il rullo a carta affumicata e la marca del tempo veniva tracciata sulla stessa carta di registrazione del segnale sismico.

Per conoscere il momento preciso dell'attivazione della maggiore velocità era utilizzato un orologio sismoscopico, fermo sulle ore 12, che veniva messo in movimento grazie a una elettrocalamita. Successivamente, all'attivazione dell'orologio sismoscopico, venne introdotto un segnale acustico, per richiamare l'attenzione di un qualsiasi osservatore presso lo strumento.



Sismogramma del terremoto dello Stretto di Messina del 28 dicembre 1908 registrato all'Osservatorio di Rocca di Papa da un microsismometrografo Agamennone a due velocità. La registrazione scorre da sinistra a destra e la prima parte della traccia sismica è registrata alla maggiore velocità, mentre la parte all'estremità destra del sismogramma corrisponde a una velocità di scorrimento molto più bassa. Si può osservare la differente marcatura del tempo: in basso a sinistra, la marcatura del tempo è di circa 5mm/min (35 cm/ora) all'attivazione della maggiore velocità (in alto) si hanno 110 marce/min (circa 25 m/ora).



Disegno del Microsismometrografo Agamennone a due velocità, per le sole componenti orizzontali. In primo piano il meccanismo di trascinamento della carta di registrazione. Al centro, in secondo piano, il meccanismo di trasmissione del moto ai pennini di registrazione. I tre tiranti di sostegno della massa furono sostituiti da una sospensione centrale. A destra, in fondo, il rullo per la registrazione del tempo.

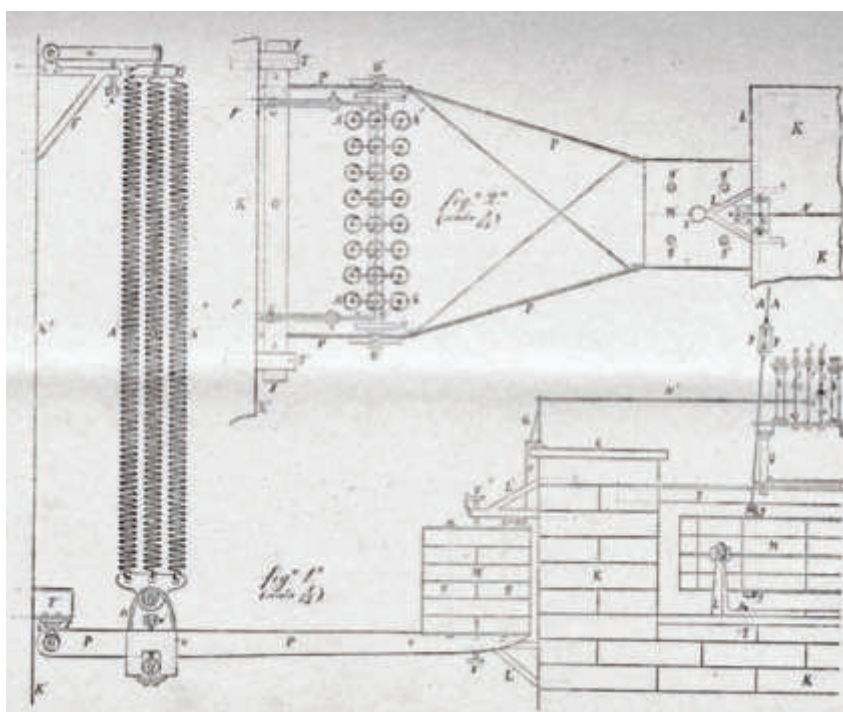
A questo microsismometrografo Agamennone aggiunse in seguito anche la componente verticale, ottenuta mediante la sospensione verticale astatica, secondo il principio di Ewing, di un'altra massa pendolare di circa 200 kg, al fine di renderla stazionaria in presenza di moti verticali e in modo del tutto analogo a quanto già realizzato nel suo macrosismometrografo.

Mediante opportune leve in alluminio, il moto della massa o del suolo in senso verticale era moltiplicato di circa 50 volte e veniva registrato, tramite una terza leva con il suo prolungamento, sopra gli stessi registratori utilizzati per le componenti orizzontali.

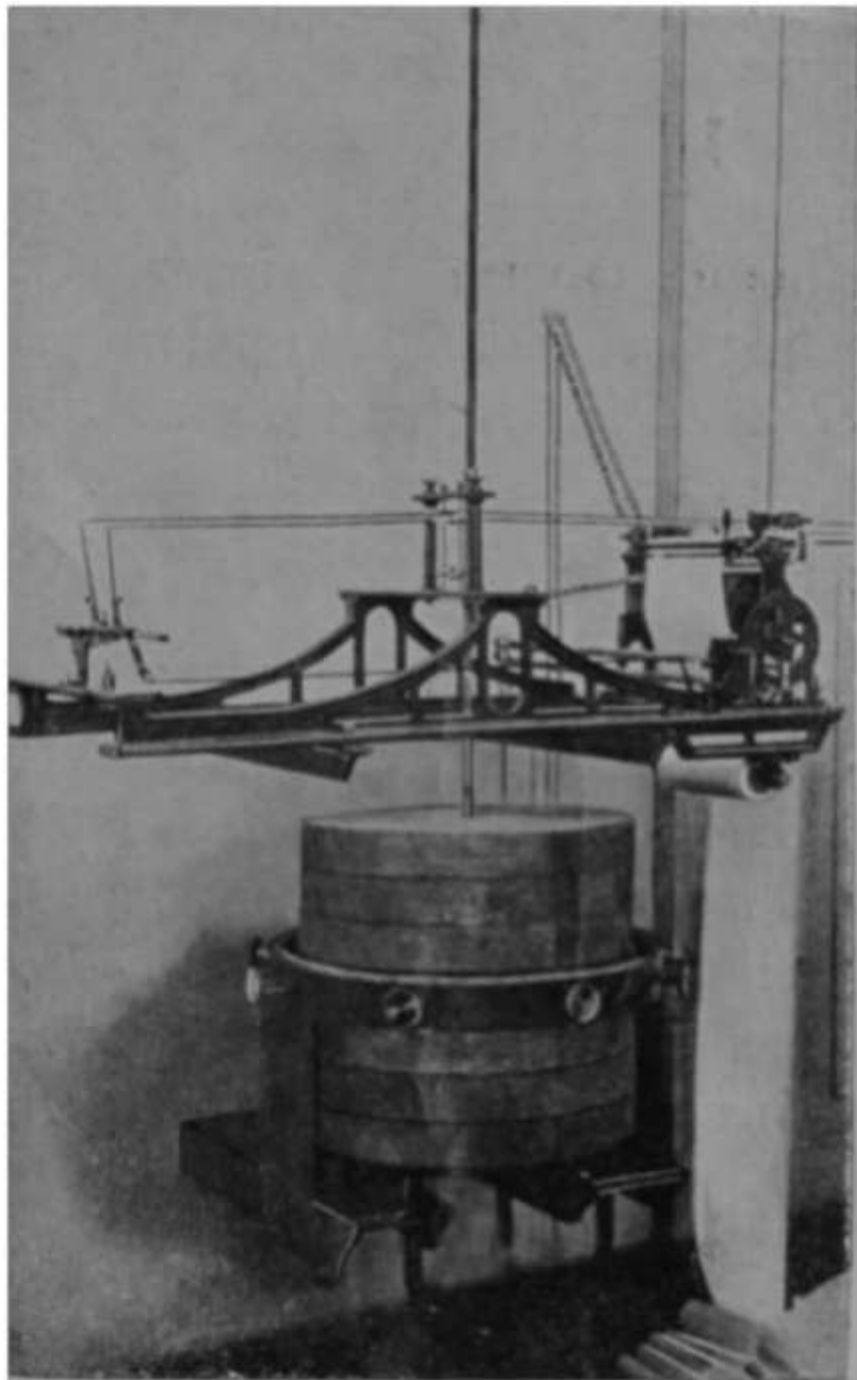
Il prototipo dello strumento funzionò al Collegio Romano fino al 5 marzo 1900, per essere smontato, ripulito e riparato dal costruttore L. Fascianelli, ed esposto all'Esposizione Universale di Parigi, dove vinse il *Grand Prix*.

Nell'agosto del 1903, il microsismometrografo riprese a funzionare, con le sole componenti orizzontali, presso l'Osservatorio di Rocca di Papa. Fra i numerosi terremoti registrati da quest'ultima configurazione dello strumento vi è anche quello disastroso dello Stretto di Messina del 28 dicembre 1908. Alcuni esemplari dello strumento furono installati in Italia: a Napoli, Salò e Milano e uno anche all'Osservatorio Fabra di Barcellona.

 p. 325-326



Vista laterale (fig. 1) e in pianta (fig. 2) del meccanismo sensore della componente verticale integrata da Agamennone al suo microsismometrografo. In entrambe le figure si intravede il pilastro in mattoni, sul quale è installato il meccanismo di registrazione delle componenti orizzontali.



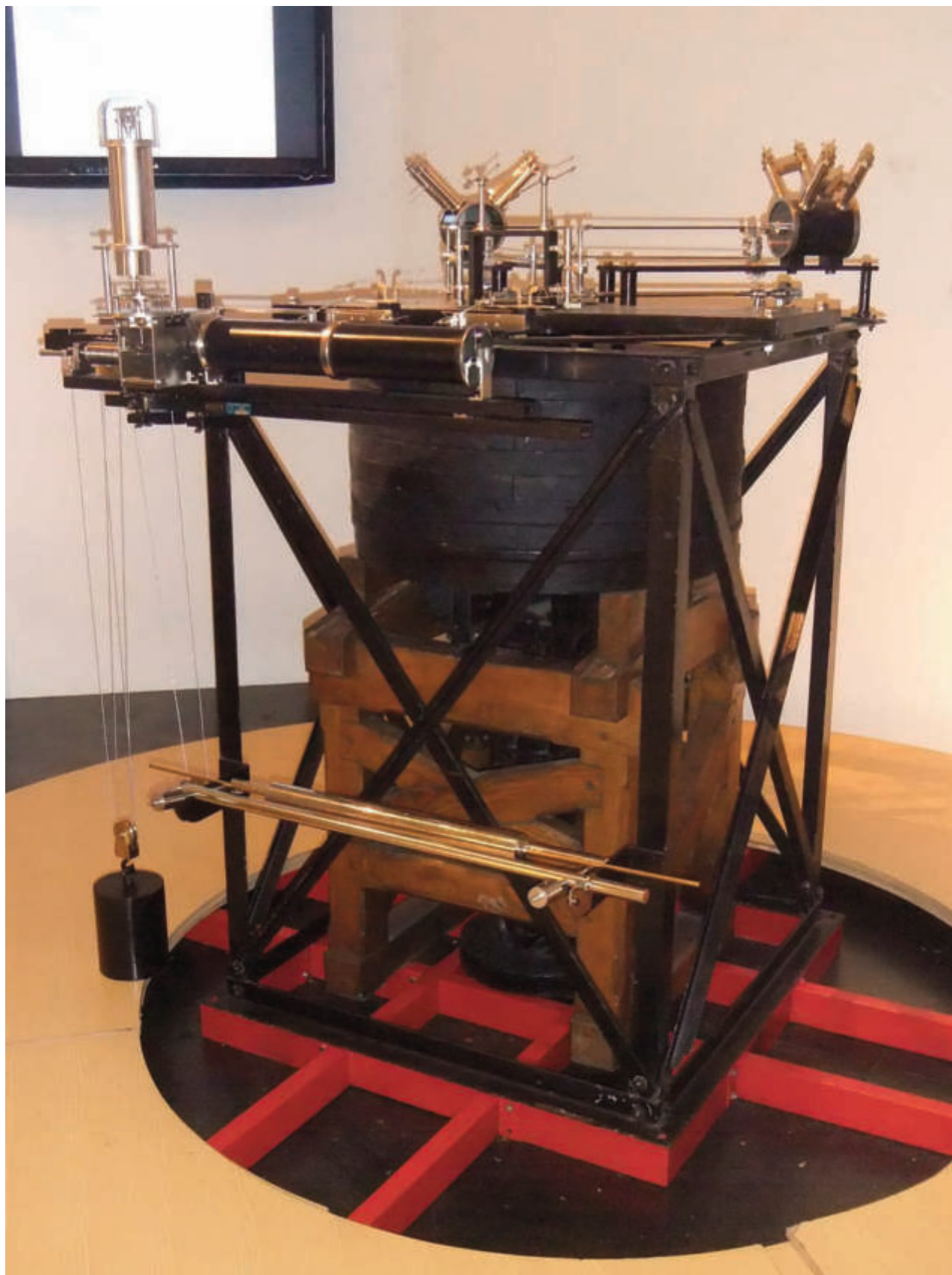
Microsismometrografo Agamemnone a due velocità installato nell'Osservatorio

Salò, in una fotografia dei primi del Novecento. Lo strumento, l'unico esemplare sopravvissuto in Italia, negli anni Cinquanta del secolo scorso fu fatto modificare da P. Caloi, per registrare i moti lenti della terra. Nell'ambito della musealizzazione della parte storica dell'osservatorio, lo strumento è stato restaurato.

SISMOLOGIA

Microsismografo
astatico orizzontale
Wiechert
da 1.000 kg;
Bertels, Jena;
(ferro, ghisa,
ottone, alluminio,
legno;
100x120x170 cm).
INGV

Lo strumento,
fotografato nel
2011 al Festival
della Scienza
di Genova,
funzionò nella
stazione sismica
centrale
dell'Istituto
Nazionale
di Geofisica,
presso la Città
Universitaria
di Roma.



Microsismografo astatico orizzontale Wiechert

1903



Dopo alcuni esperimenti con un lungo pendolo e la registrazione fotografica, nel 1899, E. Wiechert fece un viaggio in Italia, dove studiò gli strumenti progettati dai sismologi italiani e ne trasse ispirazione per la realizzazione dei suoi sismografi astatici, a partire da quello per le componenti orizzontali da 1.000 kg. Egli ritenne, inoltre, che il microsismografo orizzontale Vicentini fosse lo strumento più sensibile e che la registrazione su carta affumicata fosse migliore di quella fotografica, in quanto garantiva una maggiore finezza delle tracce sismiche. Immaginò quindi uno strumento con un ingrandimento intorno a 100-200 volte e periodo proprio di oscillazione di 10-20s. che però avrebbe comportato pendoli semplici da 20 a 40 m con masse di 500-1.000 kg. Si orientò quindi verso un pendolo invertito, astaticizzato naturalmente, stabilizzato da forze elastiche, che consentiva il raggiungimento di lunghi periodi di oscillazione, senza dover ricorrere a lunghissime sospensioni. Wiechert introdusse, inoltre, apparati di smorzamento ad aria del moto del pendolo: un'importantissima innovazione, per cui i sismogrammi potevano rappresentare in modo più fedele il moto del suolo e consentire una più precisa individuazione dell'inizio dei diversi tipi di onde sismiche. Vennero poi realizzati vari modelli di questo strumento, con masse di diverso peso: 1.000-1.200 kg, 200 kg e 17.000-19.000 kg, costruiti prevalentemente dalle due fabbriche tedesche: Bertels di Jena e Spindler & Hoyer di Göttingen.

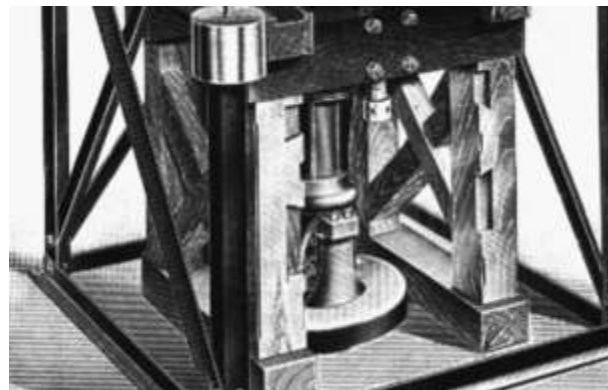


Sismografo Wiechert da 1000 kg

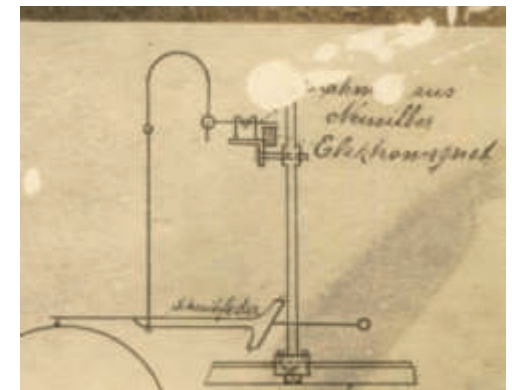
Questo modello (nel prototipo di Göttingen da 1.200 kg) ha un sistema pendolare formato da una massa di piastre circolari di ghisa riunite, mediante bulloni passanti, a formare un cilindro di 80 cm di diametro tenute in equilibrio labile su uno snodo cardanico con molle di sospensione a balestra, in modo che il pendolo possa ritornare in posizione verticale oscillando in tutte le direzioni orizzontali con il minimo attrito. Il centro di oscillazione del sistema pendolare si trova a circa 90 cm sotto il centro di massa e la trasmissione dei movimenti relativi fra la massa inerziale e il supporto (suolo) avviene tramite opportuni meccanismi di comando verso due bracci, perpendicolari tra loro, orientati in genere in direzione Est-Ovest e Nord-Sud, alloggiati su una tavola sovrastante la massa. Ogni braccio comanda, dopo un opportuno smorzamento, il corrispondente pennino scrivente, realizzato da una leggera struttura di filo di alluminio che termina con un sottile pennino, anch'esso di alluminio. All'estremità anteriore di ogni braccetto scrivente è montato uno stilo sulla cui punta è alloggiato un sottile filo di platino che scrive su una striscia di carta affumicata, chiusa ad anello. Quest'ultima è trascinata a velocità costante da rulli solidali messi in rotazione da un sistema a orologeria, azionato mediante un peso. La velocità di registrazione era originariamente di 15 mm/min, cosicché un giro di carta



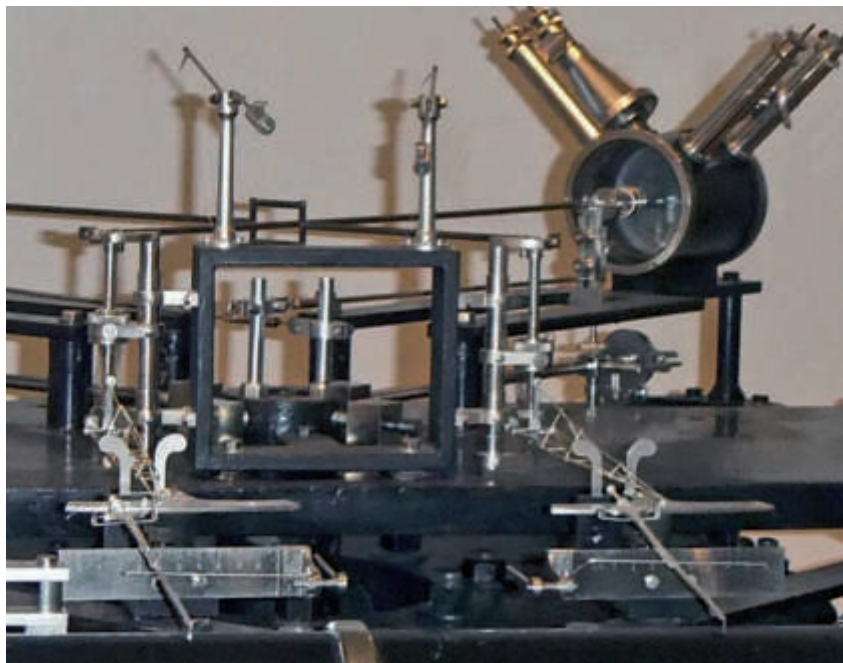
Microsismografo Wiechert da 1.000 kg: la massa, gli smorzatori e il meccanismo di registrazione in un disegno del catalogo della Spindler & Hoyer.



Base con lo snodo cardanico con molle di sospensione a balestra, in un disegno del catalogo della Spindler & Hoyer.



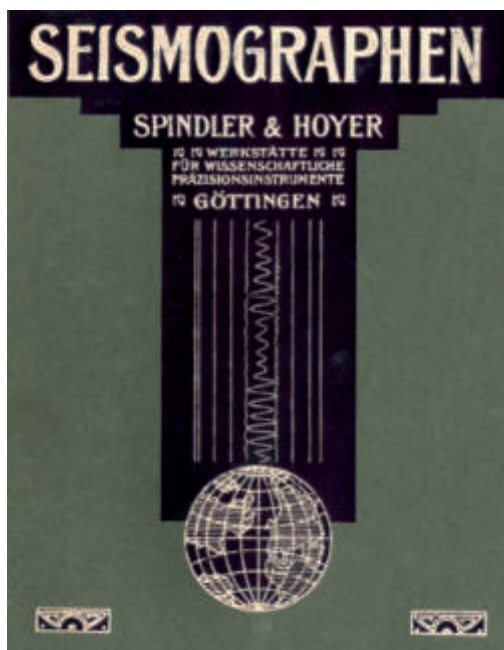
Pennino del sistema di registrazione con la sospensione per lo stacco dei minuti, in un disegno tratto dal manuale dello strumento.



Microsismografo astatico Wiechert da 1.000 kg: in primo piano il meccanismo di registrazione con i due pennini e sullo sfondo, a destra, uno degli smorzatori a pistone.



Targa del primo sismografo astatico Wiechert da 200 kg realizzato nelle officine dell'ING.



Copertina del catalogo della ditta Spindler&Hoyer, una delle due case costruttrici dei sismografi Wiechert di piccole e grandi masse.

impiega circa un'ora. Diversi osservatori, fra cui anche quello dell'Istituto Nazionale di Geofisica (ING), nel tempo modificarono la lunghezza della carta che, con una maggiore velocità di scorrimento, ha permesso migliori registrazioni. Il rullo di trascinamento delle carte di registrazione in ogni giro trasla di 5 mm verso sinistra, per mezzo di una vite senza fine coassiale al rullo stesso. La carta viene, quindi, scritta completamente in 24 ore con 24 tracce parallele. Ogni minuto un relè solleva, per 3s, i pennini, in modo che sulla traccia di registrazione compaiano brevi spazi come marche del tempo. Lo smorzamento ad aria nella registrazione sfrutta la differenza di pressione che si produce all'interno di un cilindro chiuso a tenuta, per il movimento di un pistone interno che delimita due camere. Il pistone è tenuto da 4 fili a una distanza di pochi decimi di millimetro dalla parete del cilindro. Le due camere piene d'aria sono collegate da un tubo nel quale può essere aperta e chiusa una valvola che serve ad inserire o disinserire lo smorzamento.



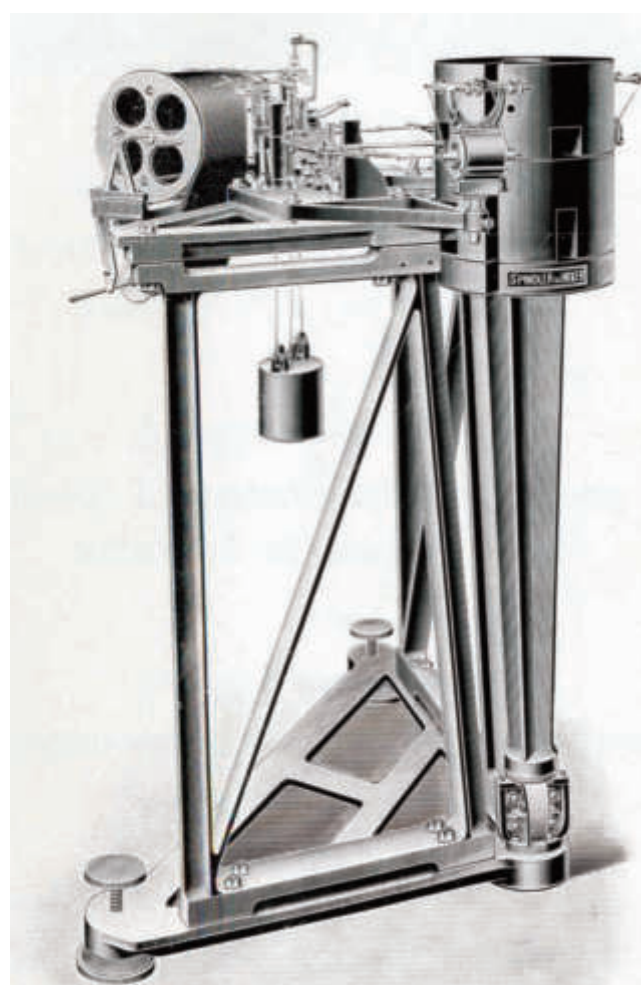
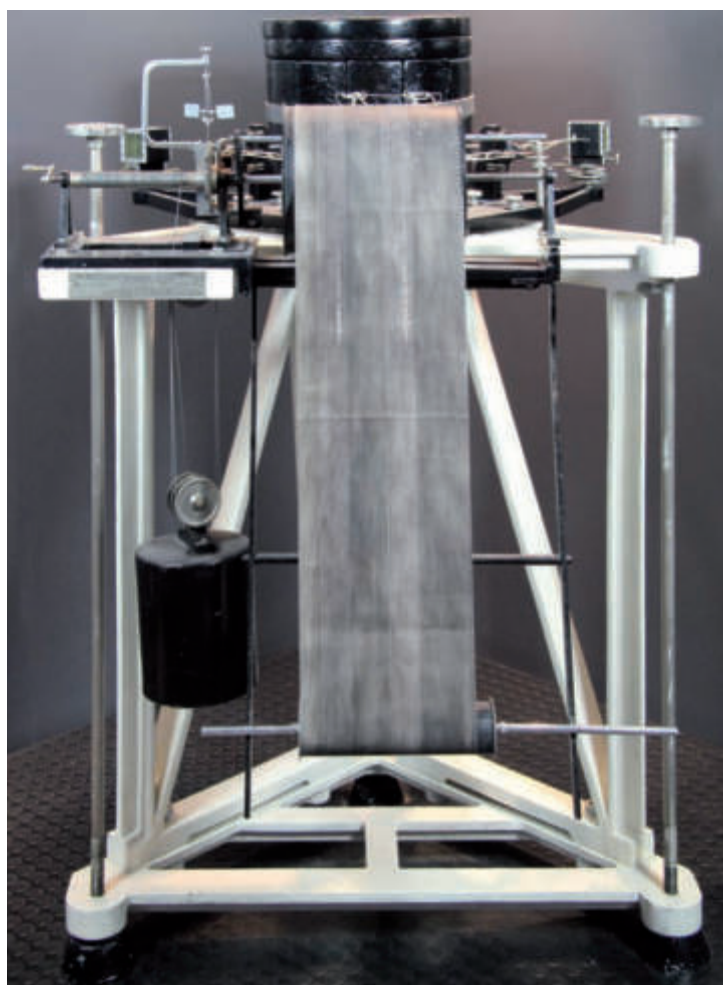
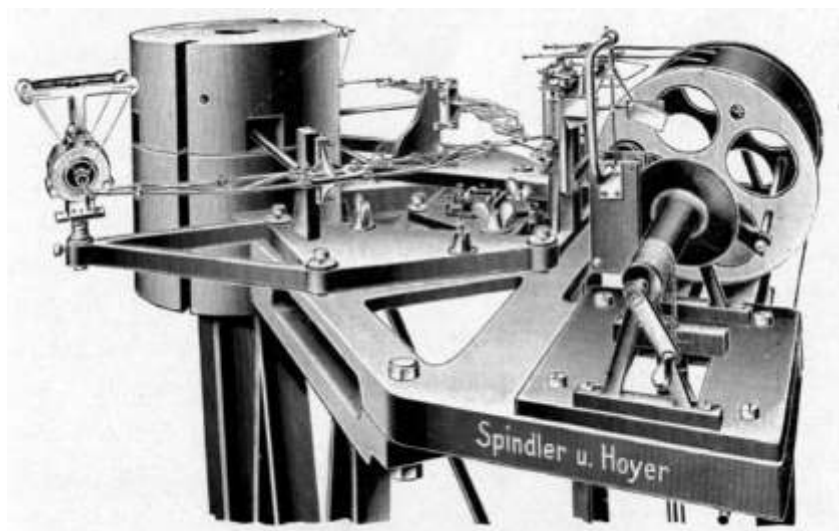
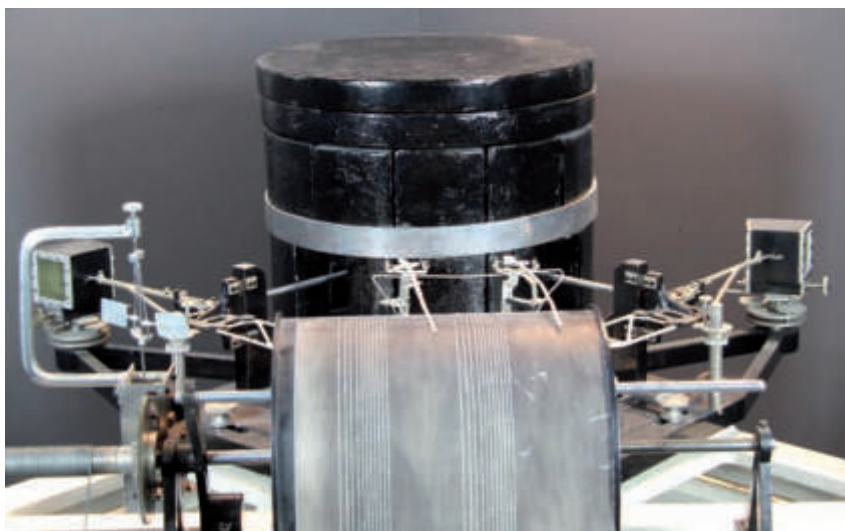
Sismografo orizzontale Wiechert da 200 kg

Il principio costruttivo del modello astatico da 200 kg è simile a quello da 1.000 kg, ma ha una sensibilità più bassa. L'ingrandimento statico può essere regolato tra 40 e 160 volte; il periodo proprio di oscillazione può essere variato da 4 a 12s. Lo smorzamento anche qui è ad aria, per ogni componente.

Ben presto i pendoli orizzontali Wiechert divennero strumenti standard in molti osservatori. Già nel 1906 erano installati sismografi Wiechert da 1.000 kg a Lipsia, Potsdam, Strasburgo, Jena, Amburgo, Vienna, Uppsala e sull'isola di Samoa. Negli anni seguenti furono impiegati in oltre 140 osservatori nel mondo. Quaranta di questi installarono quelli con massa da 1.000 a 1.200 kg, mentre in 3, Göttingen (Germania), Strasburgo (Francia) e Tacubaya (Messico), funzionarono strumenti di massa fra le 17 e le 19 tonnellate. In Italia ne furono installati almeno 22 di cui 3 da 1.000 kg e 19 da 200 kg. In particolare, nel secondo dopoguerra, l'ING avviò l'installazione di sismografi Wiechert orizzontali da 200 kg costruiti nelle proprie officine. La maggior parte di essi funzionò fino alla seconda metà degli anni Settanta del secolo scorso.



p. 326

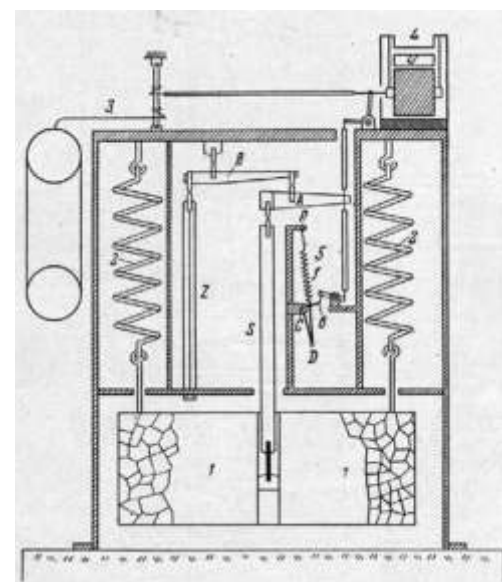
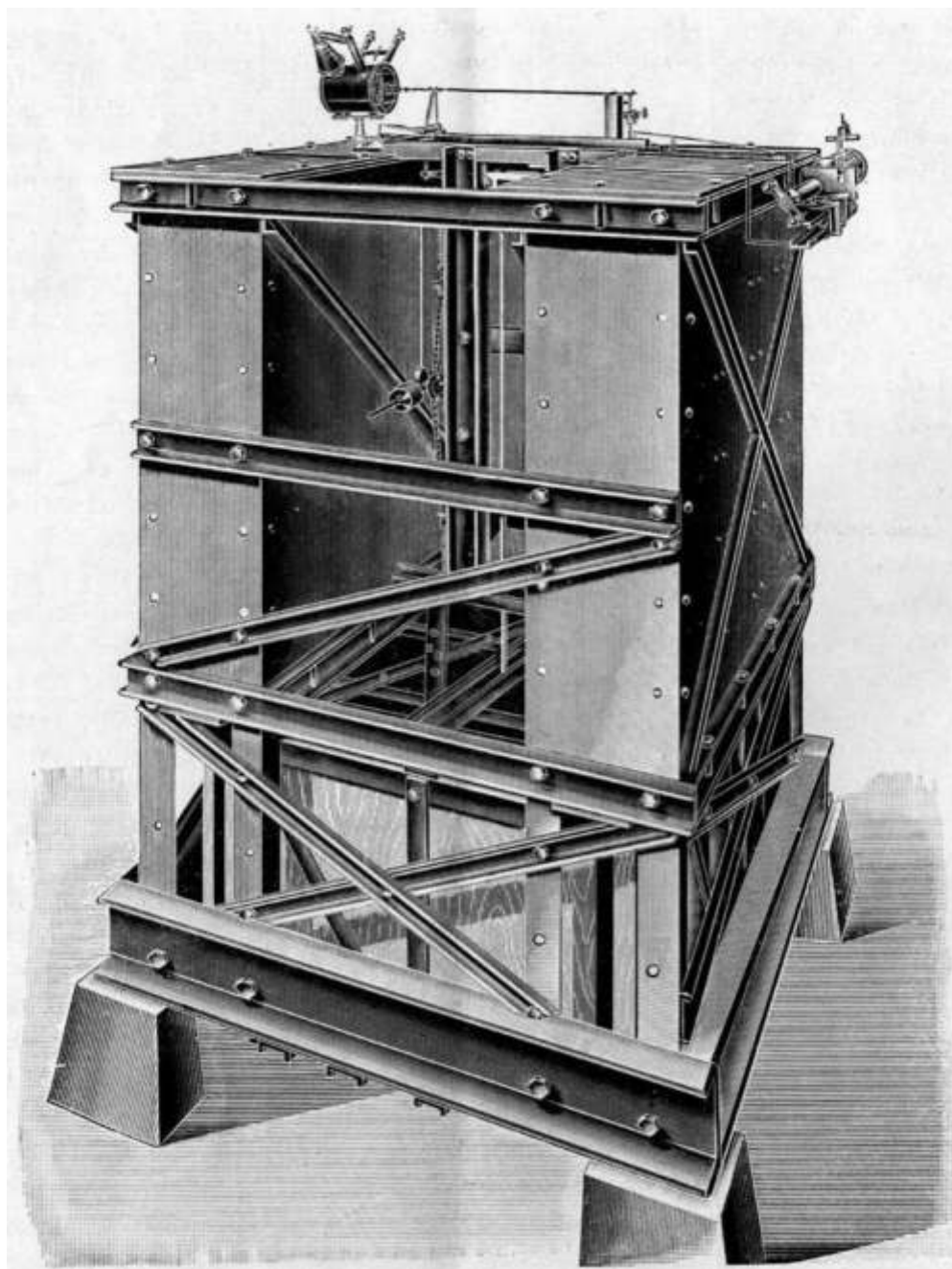


Microsismografo astatico Wiechert da 200 kg: vista di uno degli strumenti realizzati negli anni quaranta del Novecento dalle officine dell'ING (a sinistra in basso) e in un disegno dal catalogo della Spindler&Hoyer (a destra in basso). In alto, particolare della parte superiore dello strumento originale, con la massa, il meccanismo di registrazione e gli smorzatori (a sinistra) e in un disegno (a destra). L'esperienza dei meccanici dell'ING portò a modificare gli smorzatori sostituendo l'originale soluzione a pistone cilindrico con un settore toroidale a sezione trapezoidale, dimostratosi più efficace.

SISMOLOGIA

Microsismografo
astatico verticale
Wiechert
da 1.300 kg;
disegno tratto da
un catalogo di
Bertels, Jena;
l'INGV possiede
un esemplare di
questo strumento.

A lato uno schema
in sezione dello
strumento.



Microsismografi astatici verticali Wiechert

1900



A seguito dei risultati positivi ottenuti con lo strumento per le componenti orizzontali, E. Wiechert si cimentò nella progettazione di un microsismografo astatico per la componente verticale che mise in funzione nel 1904 e il cui prototipo fu realizzato da G. Bertels e dalla Spindler&Hoyer di Göttingen.



Sismografo astatico verticale Wiechert da 1.300 kg

Con periodo di 7s e ingrandimento di 160 volte, lo strumento è realizzato con una massa stazionaria di ferro riempita di barite, ferro e pesi di piombo. Questa è collegata sui bordi a due serie di 4 molle di acciaio a spirale. Per evitare sbalzi di temperatura ogni sistema di molle è racchiuso in un contenitore di ferro dalle pareti spesse e termicamente isolate. Ogni molla ha uno spessore di 14 mm e un diametro di 20 cm e, sottoposta al peso di 160 kg, si allunga di circa 36 cm. Il movimento verticale della massa viene trasmesso per mezzo di un braccio di spinta verso l'alto e attraverso una serie di leve al braccio di scrittura. Un semplice dispositivo permette alla molla di oscillare liberamente entro il suo limite elastico di 7 mm. Poiché la variazione di un grado di temperatura comporta una variazione di elasticità delle molle con un conseguente spostamento di 70 mm sul sistema scrivente, lo strumento è dotato di una cremagliera compensatrice di ferro e zinco.

Il meccanismo di registrazione su carta affumicata e il dispositivo di smorzamento sono simili a quelli del microsismografo astatico orizzontale.



Sismografo astatico verticale Wiechert da 80 kg

Lo strumento è simile al sismografo verticale da 1.300 kg, ma con una massa inerziale di soli 80 kg. L'ingrandimento può essere variato da 40 a 160 volte, mentre il periodo di oscillazione può essere aumentato fino a 6s.

Un braccio di leva orizzontale, il cui asse di rotazione verticale è formato da molle incrociate, porta la massa stazionaria all'estremità opposta dell'asse. Il punto di funzionamento per ottenere l'asticità è sotto il centro di gravità.

Al centro, la leva è sospesa da una potente molla in acciaio a spirale di 14 mm con un diametro di 20 cm e una tensione di 160 kg.

A causa dell'elevata sensibilità della molla ai cambiamenti di temperatura, l'intera parte superiore dell'apparecchiatura è racchiusa in una scatola, le cui doppie pareti sono riempite di materiale isolante, ed è collegata ad una cremagliera di zinco e ferro per compensare le variazioni di temperatura, poiché un solo decimo di grado provoca uno spostamento di 30 mm sulla registrazione. Un sistema di leve collegato alla massa trasferisce il moto al meccanismo di registrazione. Il dispositivo di



Microsismografo astatico verticale Wiechert da 1.300 kg di Göttingen: vista frontale con il meccanismo di registrazione.



Ingresso della stazione sismica antica di Wiechert a Göttingen, inaugurata nel 1902, in cui furono e sono tuttora installati i microsismografi astatici di grande massa orizzontale e verticale e il microsismografo orizzontale da 17 tonnellate.



Microsismografo astatico verticale Wiechert da 1.300 kg di Strasburgo: dettaglio del sistema di trasmissione del moto della massa e del sistema di compensazione termica.

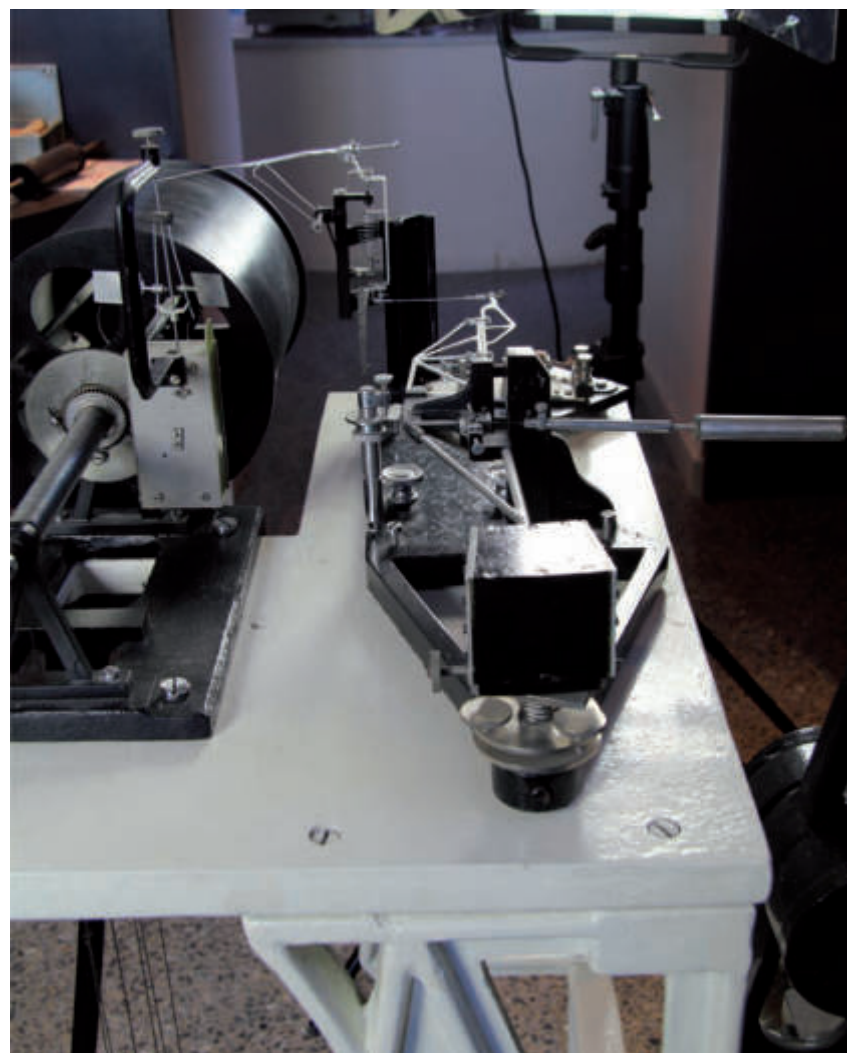
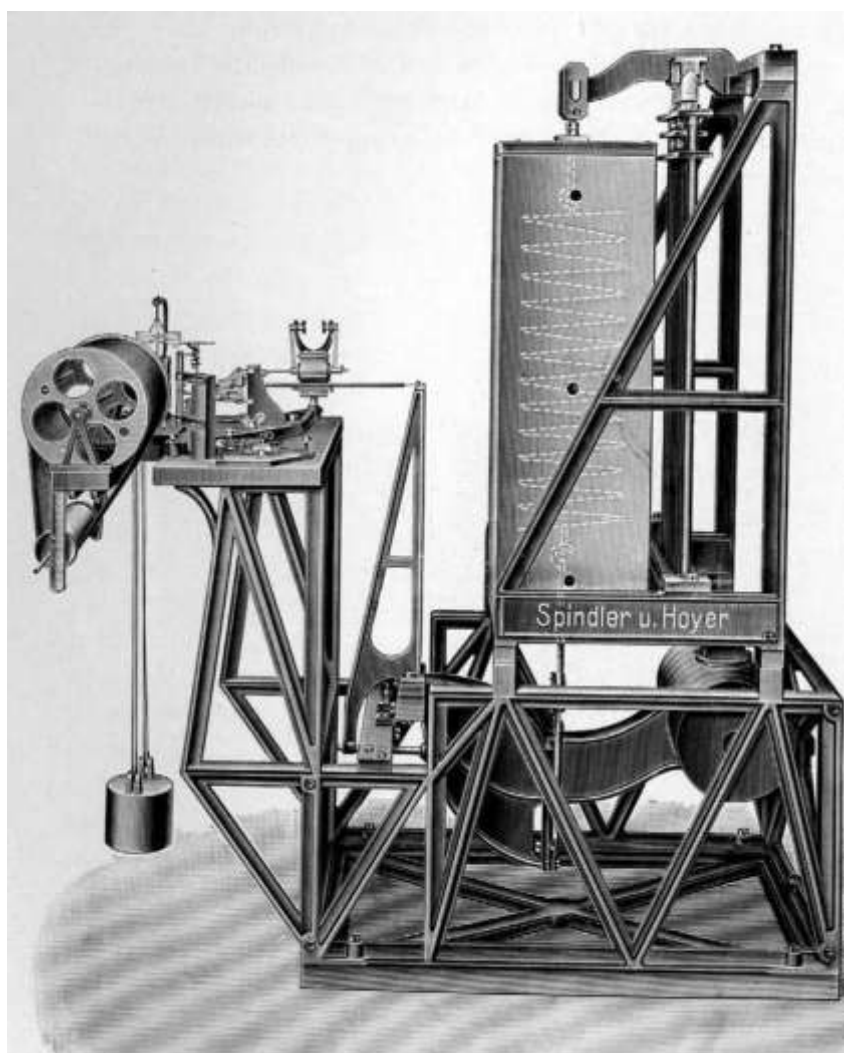
SISMOLOGIA

smorzamento e il meccanismo di registrazione sono simili a quelli del sismografo orizzontale.

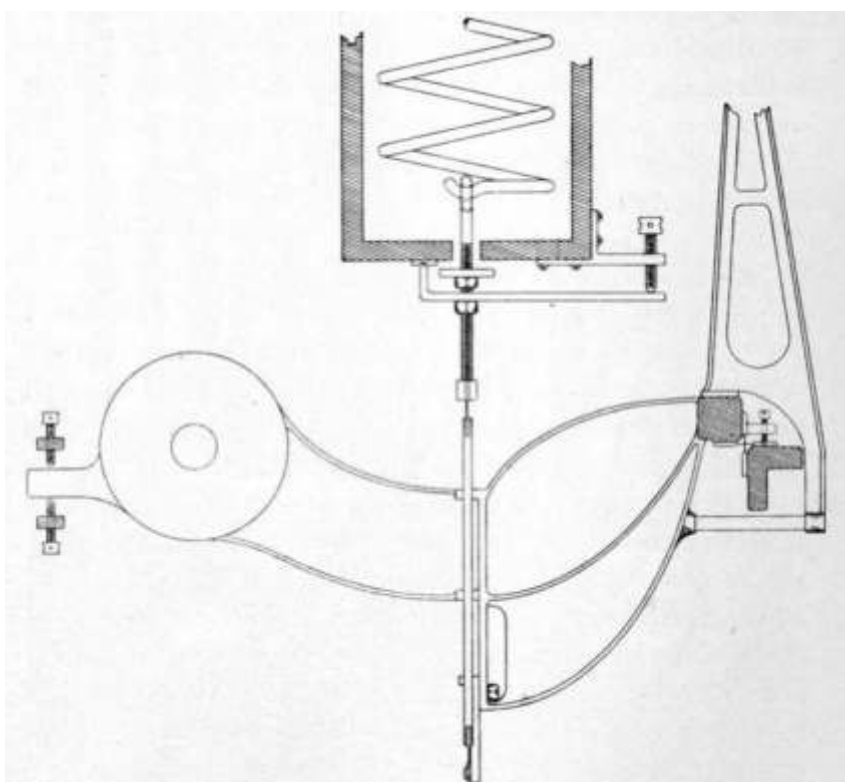
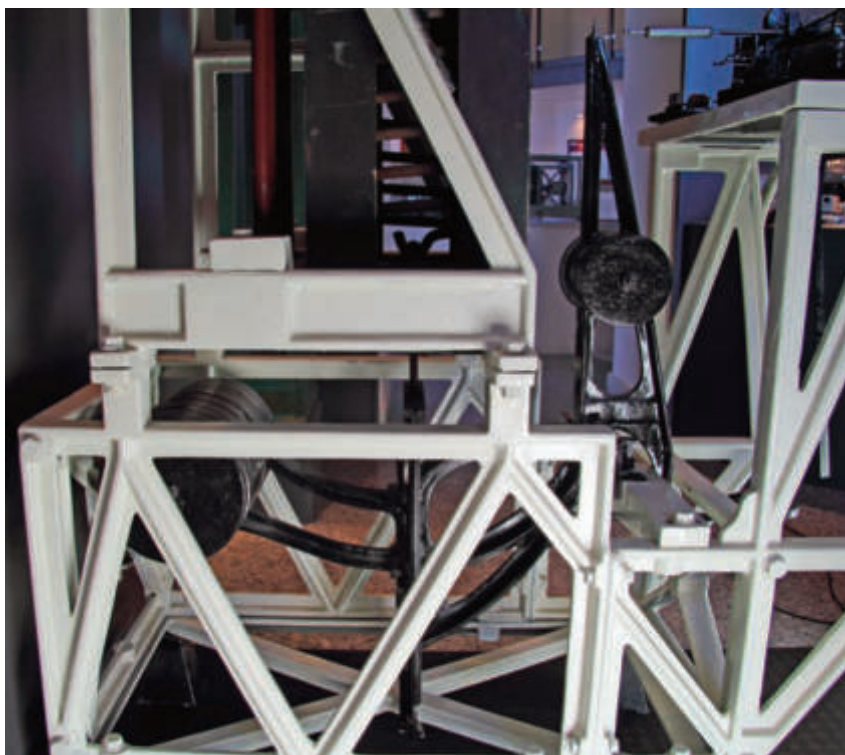
P Complessivamente furono installati nel mondo circa un centinaio di strumenti, di cui l'ottanta per cento di massa da 80 a 200 kg e i restanti di massa da 1.200 a 1.300 kg. In Italia ne funzionarono 19 con

massa di 80 kg, realizzati nelle officine dell'Istituto Nazionale di Geofisica (ING), e uno da 1300 kg, realizzato dalla Spindler&Hoyer di Jena.

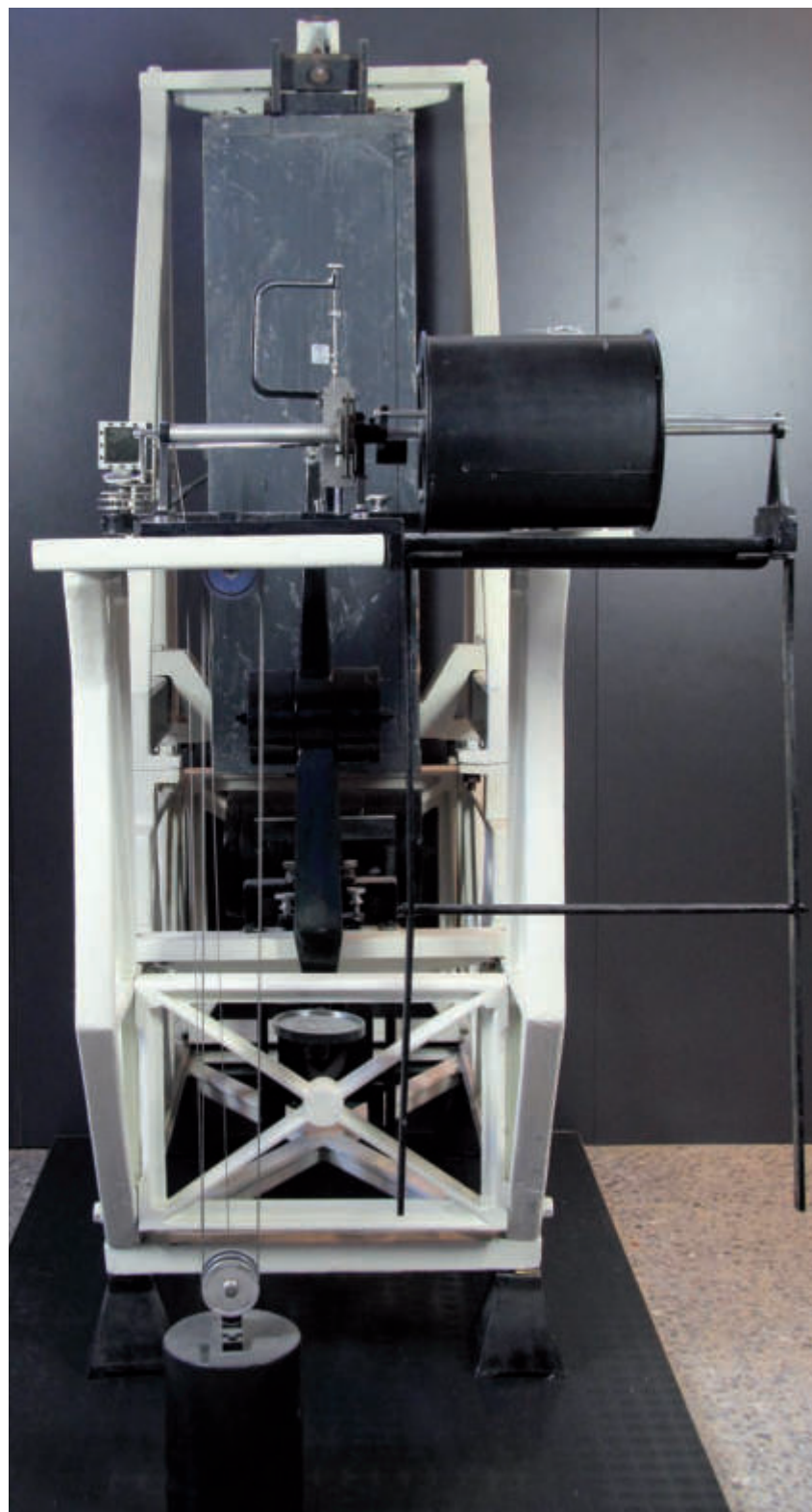
 p. 326



Microsismografo astatico verticale Wiechert da 80 kg: a sinistra vista laterale dello strumento in un disegno dal catalogo della Spindler&Hoyer, nella foto a destra il meccanismo di registrazione.



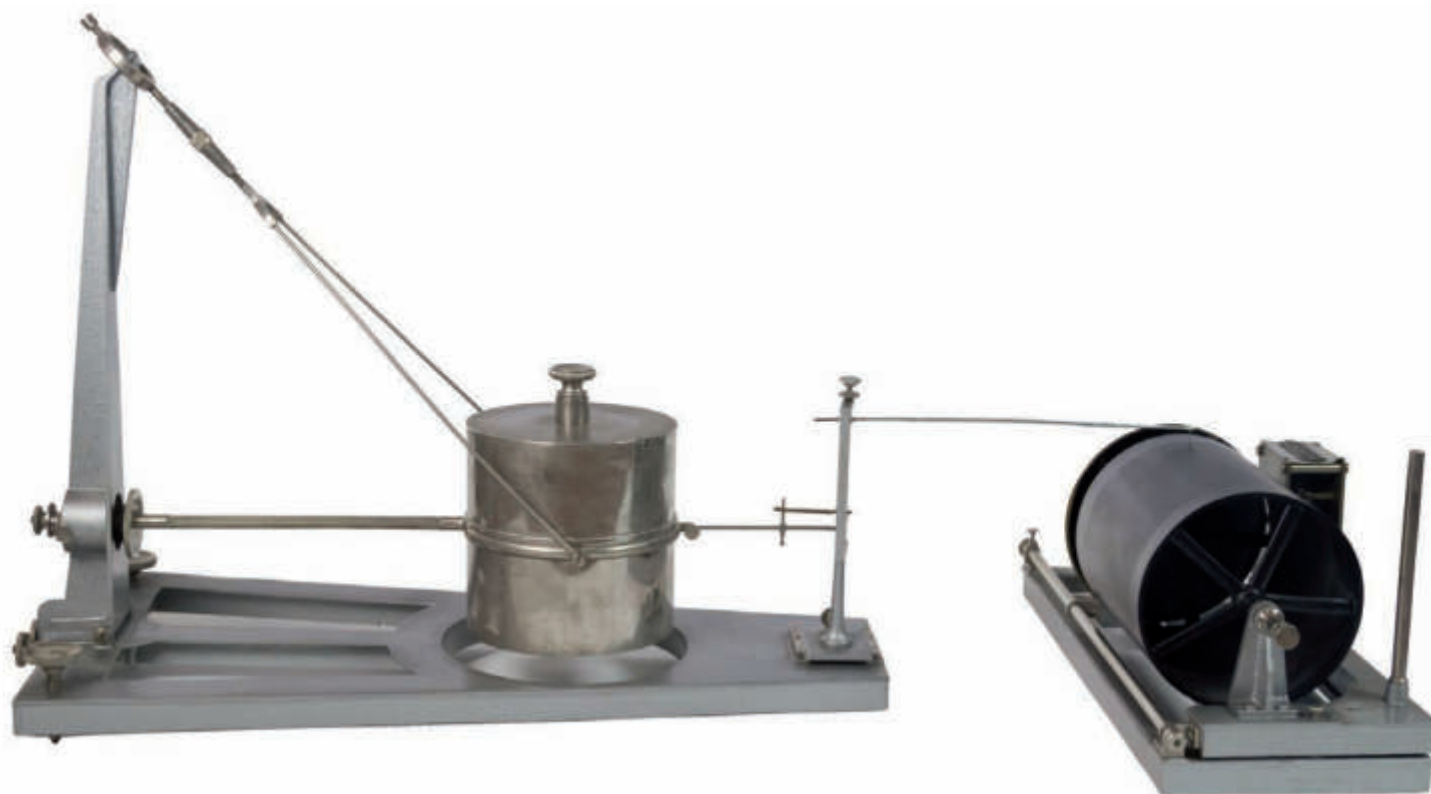
Microsismografo astatico verticale Wiechert da 80 kg realizzato dalle officine dell'ING: vista laterale della parte inferiore dello strumento, con la massa, il punto di attacco alla molla di sospensione e, sulla destra, il meccanismo di trasmissione all'accoppiamento pennino-smorzatore. Sotto, particolare delle stesse parti in un disegno tratto dal catalogo della Spindler&Hoyer.



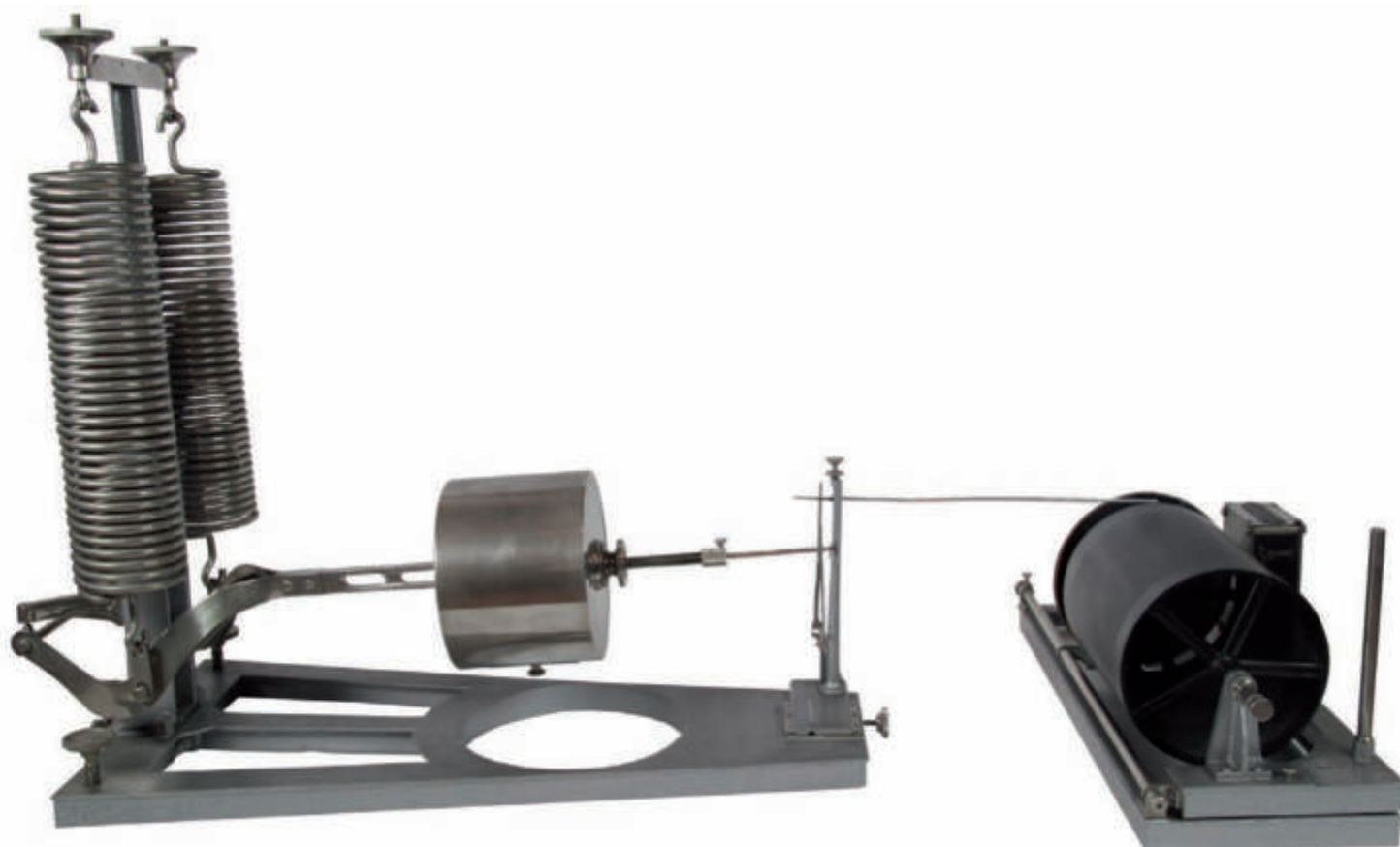
Vista frontale dello strumento con il rullo di registrazione, e nell'ordine da destra a sinistra le palette del regolatore della velocità di rotazione del rullo e lo smorzatore. In secondo piano è visibile la cassa di legno di protezione della molla.

SISMOLOGIA

Trepidometro
orizzontale Alfani;
(ferro, ottone
cromato, alluminio,
piombo;
80x30x48 cm);
registratore a
carta affumicata;
(ferro, ottone
cromato,
alluminio, piombo;
50x18x20 cm).
OX



Trepidometro
verticale Alfani;
(ferro, acciaio,
ottone cromato,
alluminio, piombo;
80x30x60 cm).
OX



Trepidometri orizzontale e verticale Alfani

1903-1914



Il 4 luglio 1902 il campanile di San Marco a Venezia crollò, lasciando al suo posto un cumulo di macerie. Questo evento causò una grande impressione in tutta l'Italia e suscitò grande preoccupazione in alcuni amministratori sotto la cui responsabilità erano importanti edifici storici di elevata estensione verticale, come la Torre di Arnolfo di Cambio di Palazzo Vecchio a Firenze e la Torre di Pisa. G. Alfani, allora direttore dell'Osservatorio Ximeniano, fu incaricato dal sindaco di Firenze di tenere sotto controllo le oscillazioni della Torre di Palazzo Vecchio.

Per l'occasione Alfani applicò le sue conoscenze sismologiche alla progettazione di due strumenti adatti allo studio delle oscillazioni degli edifici: i trepidometri per le componenti orizzontali e per quella verticale.



Trepidometro per la componente orizzontale

Lo strumento è derivato dai sismografi di maggiori dimensioni ed è idoneo a registrare le oscillazioni orizzontali degli edifici. E' basato sul principio del pendolo orizzontale, dove la massa pendolare, un cilindro di 4 kg, può ruotare descrivendo una circonferenza intorno all'asse verticale rimanendo in equilibrio indifferente. Una leggera inclinazione, regolabile a piacere, del sistema di sostegno della massa, consente di variare il periodo di oscillazione del pendolo e adattare lo strumento alle diverse esigenze di misura.

Trepidometro per la componente verticale

Il trepidometro verticale è costituito da un braccio orizzontale che sostiene a un'estremità la massa pendolare e all'altra un perno di rotazione sostenuto da un supporto verticale. Nella parte alta di quest'ultimo sono fissate due robuste molle verticali che sostengono il braccio del pendolo, in una posizione più bassa della linea che unisce il centro della massa e il perno di rotazione. Questa configurazione consente periodi di oscillazione relativamente brevi che possono essere moderatamente variati agendo sulla tensione delle molle.

I bracci che sostengono le masse dei due tipi di trepidometri sono collegati a sistemi di leve che ingrandiscono il movimento. La registrazione avveniva a inchiostro o su carta affumicata in ambedue gli strumenti.



Gli strumenti sono molto leggeri e smontabili. Lo stesso Alfani affermava di poterne montarne uno in 5 minuti. Egli presentò il trepidometro da lui progettato a una Conferenza tenuta alla Società degli Ingegneri, Architetti e Industriali in Napoli il 22 aprile 1914.



p. 326



Foto storica del campanile di San Marco a Venezia, dopo il crollo del 4 luglio 1902.



Trepidometro orizzontale Alfani: particolare della massa e del meccanismo di trasmissione del movimento al pennino di registrazione.



Trepidometro verticale Alfani: particolare della massa e del meccanismo di trasformazione del suo movimento verticale in un movimento orizzontale del pennino.

SISMOLOGIA

Sismografo
elettromagnetico
orizzontale
Galitzin.

Sismografo
Cambridge;
Instruments Co.;
(ghisa, ferro,
ottone, rame,
vetro, argento
Ø 70x76 cm).
INGV

Galvanometro;
(ferro, ottone,
rame,
Ø 19x24 cm).
IPGS

Registratore
a tamburo
Hugo Masing;
Tartu;
(ghisa, ferro,
ottone
76x48x50 cm).
INGV



Sismografi elettromagnetici orizzontale e verticale Galitzin 1905 - 1910



Quelli progettati dal principe russo B.B. Galitzin, nell'Osservatorio di Pulkovo a San Pietroburgo, furono i primi sismografi a trasduzione elettromagnetica del moto sismico e lo studioso forse fu il primo a utilizzare uno smorzamento elettromagnetico.



Sismografo elettromagnetico orizzontale Galitzin

Lo strumento, progettato per la rilevazione e la registrazione delle componenti orizzontali del moto sismico, è un pendolo orizzontale del tipo Zöllner. Il braccio del pendolo è composto da un'asta rigida di ottone, fissata a un telaio di ghisa per un estremo e in un punto mediano. La massa cilindrica del pendolo, del peso complessivo di 7 kg, è posizionata sull'asta in prossimità del punto mediano di fissaggio al telaio. All'estremo opposto dell'asta del pendolo sono fissate un telaio contenente quattro bobine collegate a un galvanometro e una piastra di rame. Le bobine e la piastra di rame sono immerse nei campi magnetici generati da due coppie di magneti permanenti.

In caso di terremoto, il moto relativo delle bobine all'interno della prima coppia di magneti genera una tensione elettrica che alimenta un circuito a cui è collegato un galvanometro.

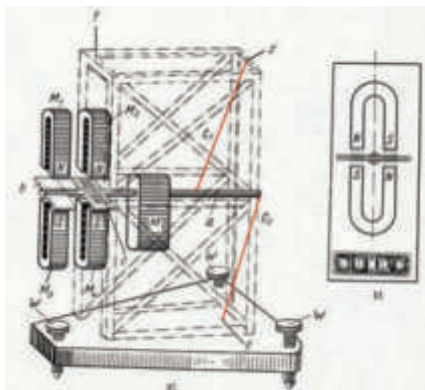
Il galvanometro, del tipo Deprez-D'Arsonval, si compone di un magnete permanente a forma di ferro di cavallo, con due espansioni polari

modellate in modo da creare linee di forza radiali. All'interno del magnete è immerso un equipaggio mobile formato da una bobina di sottile filo di rame, che continua sopra e sotto la bobina, con funzione di filo di sospensione. Il filo sostiene anche lo specchio per la registrazione fotografica. Quando il circuito è percorso da corrente, l'azione del campo magnetico genera una rotazione della bobina, che è proporzionale, per piccoli angoli, all'intensità della corrente ricevuta dal sensore.

Un sistema di illuminazione, dotato di due lastrine di metallo mobili ai bordi che consentono di regolare la larghezza del fascio luminoso in uscita, invia un raggio luminoso sullo specchietto e questo, riflettendolo, impressiona le escursioni del galvanometro sulla carta fotografica. Quest'ultima è avvolta a un rullo registratore, posto alla distanza di 1 m, che compie un giro completo in un'ora, per mezzo di un meccanismo a orologeria.

La seconda coppia di magneti ha invece la funzione di smorzamento. Infatti, il moto relativo della lastra di rame rispetto alla seconda coppia di magneti induce su di essa delle correnti parassite (o correnti di Foucault) che smorzano il movimento relativo del braccio.

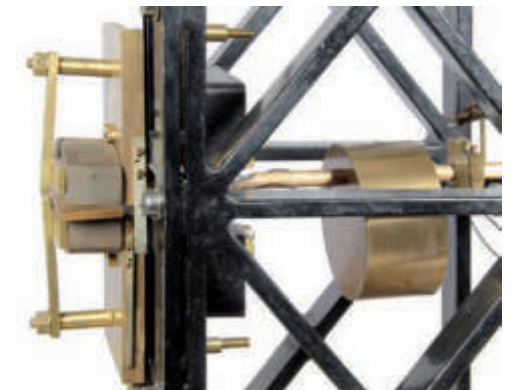
La segnalazione del tempo avviene con periodiche soppressioni del raggio luminoso che determinano delle lacune nella traccia del sismogramma.



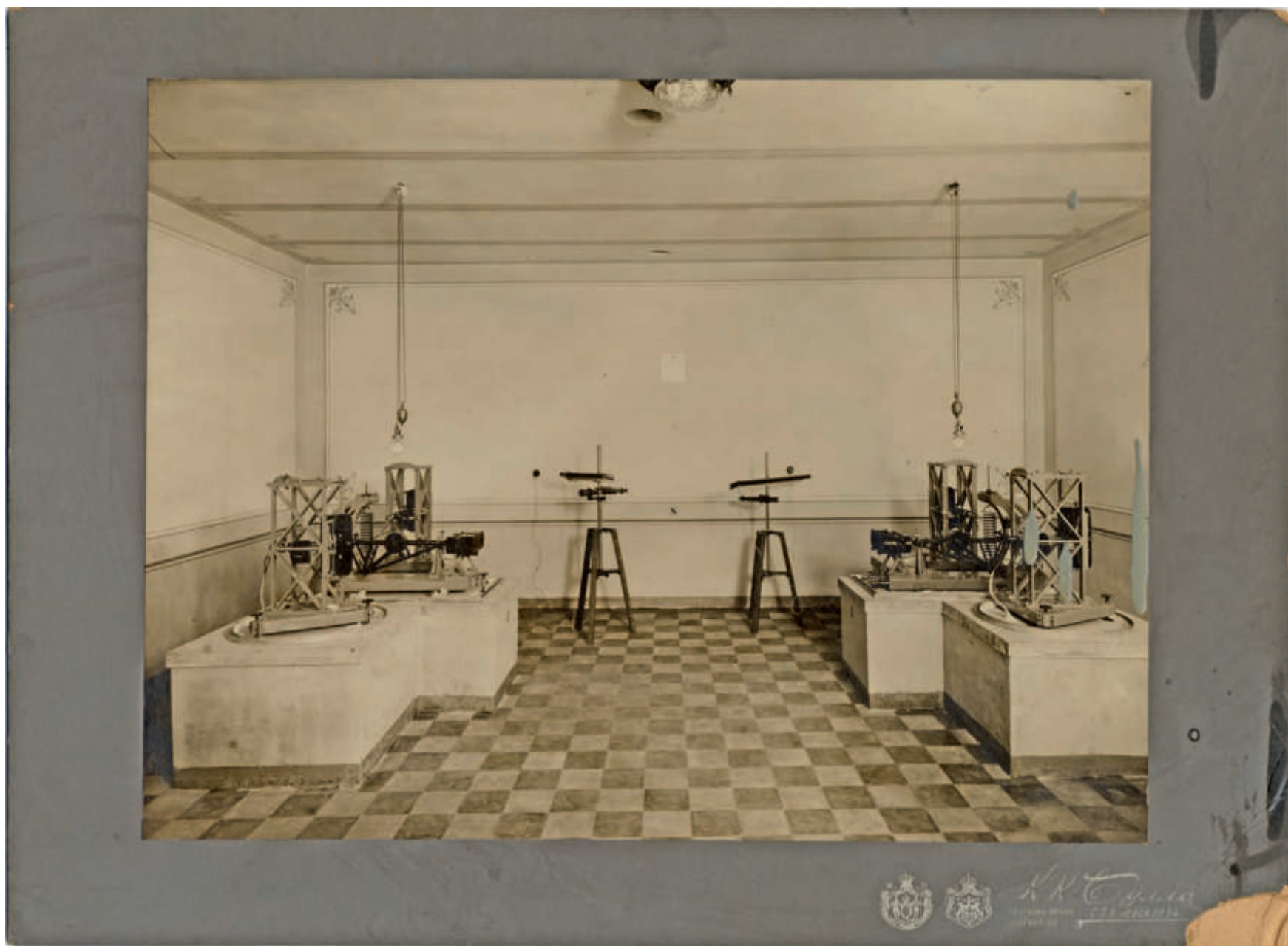
Schema semplificato della sospensione della massa (in rosso) e del sistema di trasduzione e smorzamento elettromagnetici del sismografo orizzontale Galitzin.



Sismografo orizzontale Galitzin: particolare della sospensione della massa pendolare e dello specchio di taratura. I fili in primo piano provengono dalle bobine poste sul lato opposto e sono collegati al galvanometro.



Vista laterale del pendolo. A sinistra sono visibili i magneti per la trasformazione elettrica del moto e quelli dello smorzatore.



Due terne di sismografi Galitzin nella sala sismica dell'Osservatorio di Pulkovo. Sia a sinistra che a destra sono installati, su opportuni pilastri isolati dal piano calpestabile, due sismografi orizzontali, ortogonalmente orientati, e una componente verticale. Al centro sono visibili gli apparati per la calibrazione. La fotografia risale probabilmente al primo decennio del Novecento. Le scanalature nelle basi di marmo dei pilastri, su cui poggiano i sismografi, lasciano immaginare delle coperture di protezione da fonti di disturbo come urti o correnti d'aria.

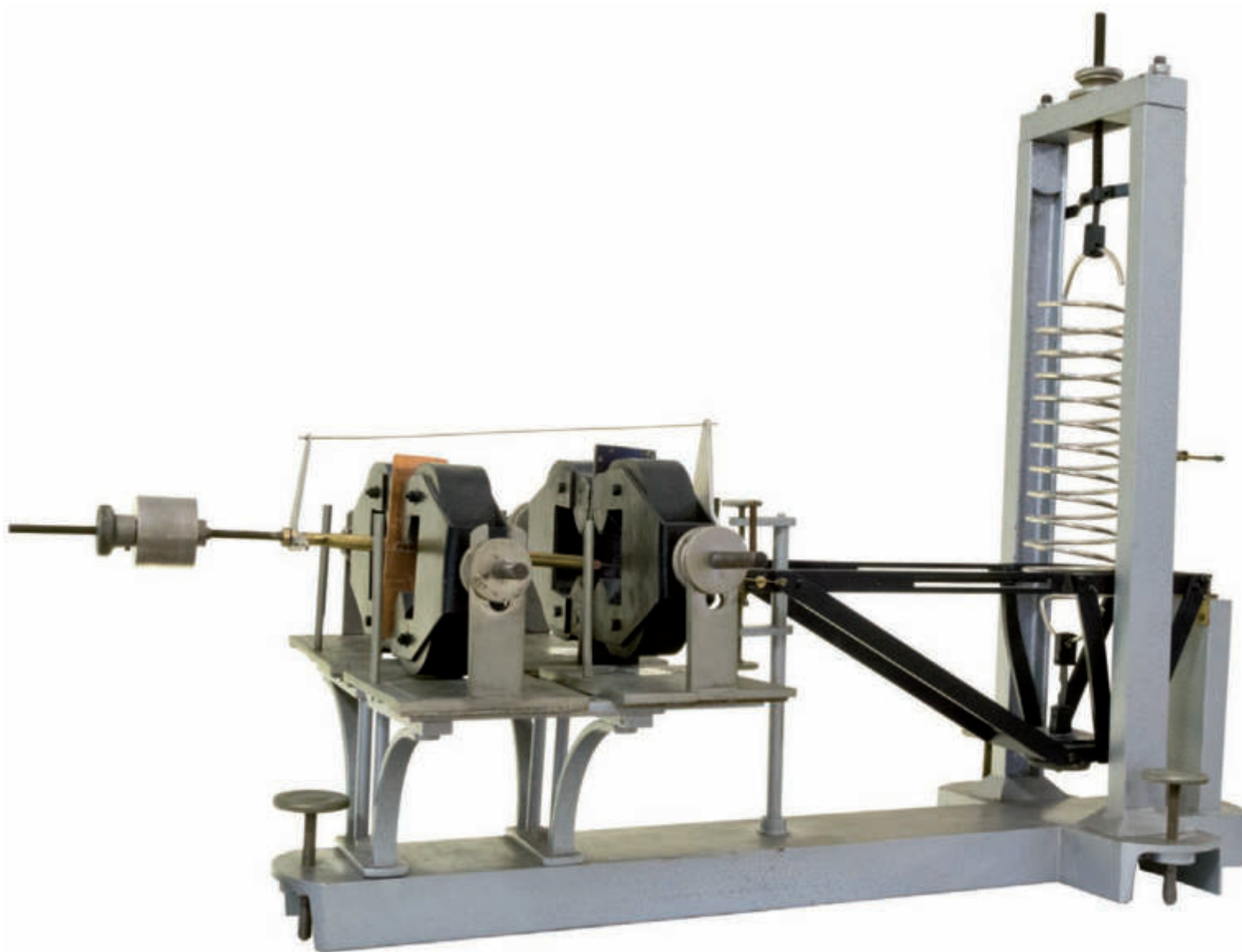


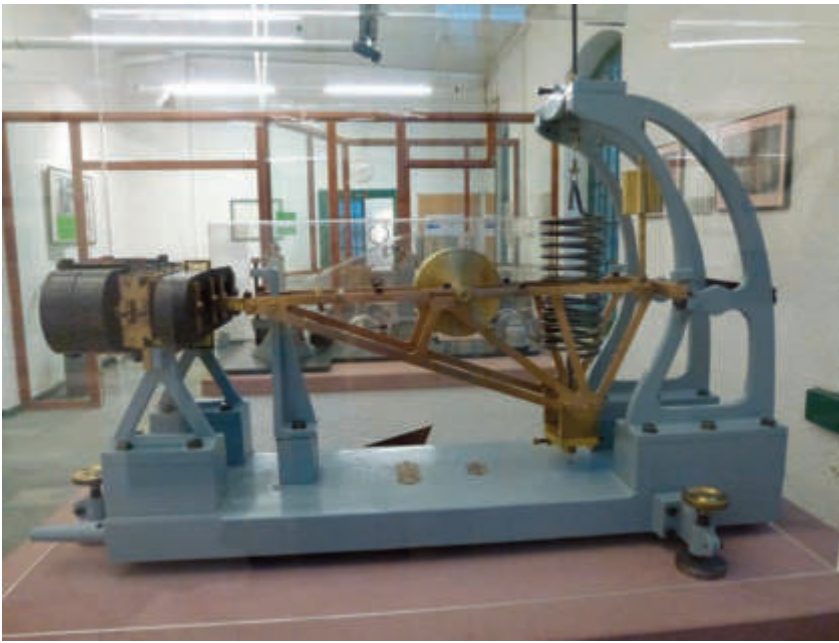
Sala dei registratori dei sismografi Galitzin all'Osservatorio di Pulkovo. In primo piano i registratori fotografici e sullo sfondo si intravedono due dei tre galvanometri. Il terzo è posizionato fuori dall'immagine dalla parte della ripresa fotografica. La fotografia risale probabilmente al primo decennio del Novecento.

SISMOLOGIA

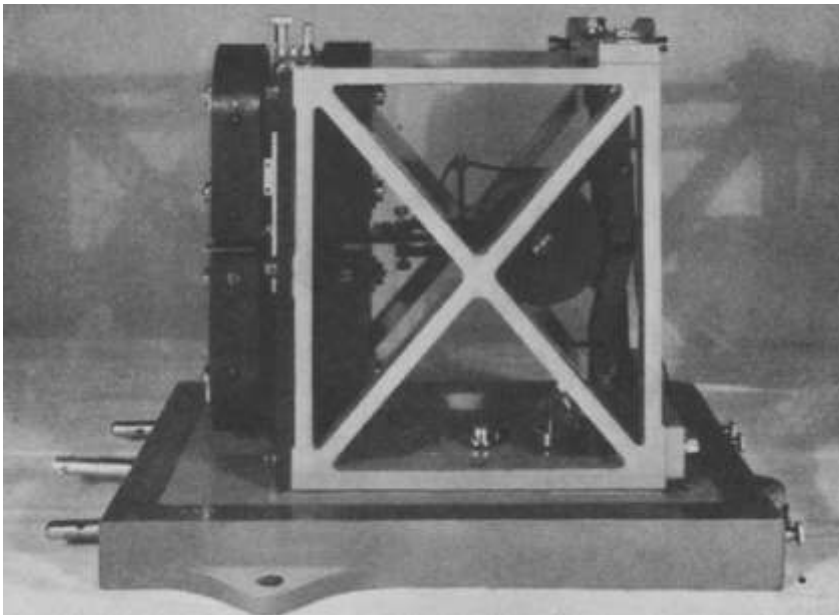
Sismografo
verticale Galitzin
nella versione
realizzata
dall'Osservatorio
Ximeniano di
Firenze;
Officine Galileo,
Firenze;
(ferro, ferro
magnetizzato,
ottone, ottone
nichelato, rame,
120x60x87 cm).
OX

Lo strumento è
mancante della
massa cilindrica,
originariamente
fissata fra le due
asole delle barre
orizzontali del
telaio, fra i
magneti e la
molla.





Sismografo per la componente verticale Galitzin nel Musée de Sismologie et du Magnétisme Terrestre dell'Università di Strasburgo, allestito nella storica stazione sismologica e geomagnetica dell'Università. Si nota il raddoppio dei magneti di smorzamento, all'estremità sinistra dello strumento.



Sismografo per la componente orizzontale Galitzin-Wilip, una variante dei Galitzin, realizzato dal costruttore Hugo Masing.



Sismografo elettromagnetico verticale Galitzin

Ad una robusta struttura a forma di Δ è appesa una potente molla che sostiene un telaio a forma di triangolo scaleno, nel vertice opposto al lato lungo, rivolto verso il basso. Sul lato più lungo è una massa cilindrica con l'asse scorrevole lungo due asole praticate nel telaio. Nel prolungamento del lato lungo del telaio sono, nell'ordine e analogamente alla sismografo orizzontale, il piccolo telaio con le bobine e la piastrina di rame per lo smorzamento, entrambi immersi in coppie di potenti magneti permanenti a forma di ferro di cavallo. La soluzione di porre il punto inferiore di attacco della molla al di sotto del braccio del pendolo (lato lungo del telaio) che sostiene la massa, consente di allungare notevolmente il periodo proprio dello strumento.

Il moto relativo delle bobine rispetto ai magneti produce una corrente indotta, proporzionale alla velocità del movimento. La corrente generata provoca l'oscillazione dell'equipaggio mobile di un galvanometro Deprez-D'Arsonval. Le registrazioni delle due componenti orizzontali e una verticale venivano realizzate da tre distinte coppie galvanometro-registratore installate in una camera oscura, in genere diversa da quella dove erano installati i sismometri.



Almeno due costruttori di strumenti realizzarono in Europa strumenti Galitzin: Hugo Masing a Tartu e la Cambridge Instruments.

Considerato troppo costoso l'acquisto della versione industriale dei sismografi Galitzin, Alfani ne fece realizzare una terna a Firenze per l'Osservatorio Ximeniano, dove tutt'ora sono conservati.

Almeno 30 stazioni sismiche mondiali hanno installato nei primi quarant'anni del Novecento, e per periodi diversi, la terna di strumenti Galitzin o le varianti proposte da Wilip. Nella stazione sismica centrale dell'Istituto Nazionale di Geofisica, prima all'Università [Pisa](#), poi dal negli anni settanta del Novecento all'Osservatorio di Monte Porzio Catone, funzionarono sismografi orizzontali Galitzin e una terna di sismografi Galitzin-Wilip.



p. 326

SISMOLOGIA

Tromometrografo

Omori-Alfani;

Officine Galileo,

Firenze;

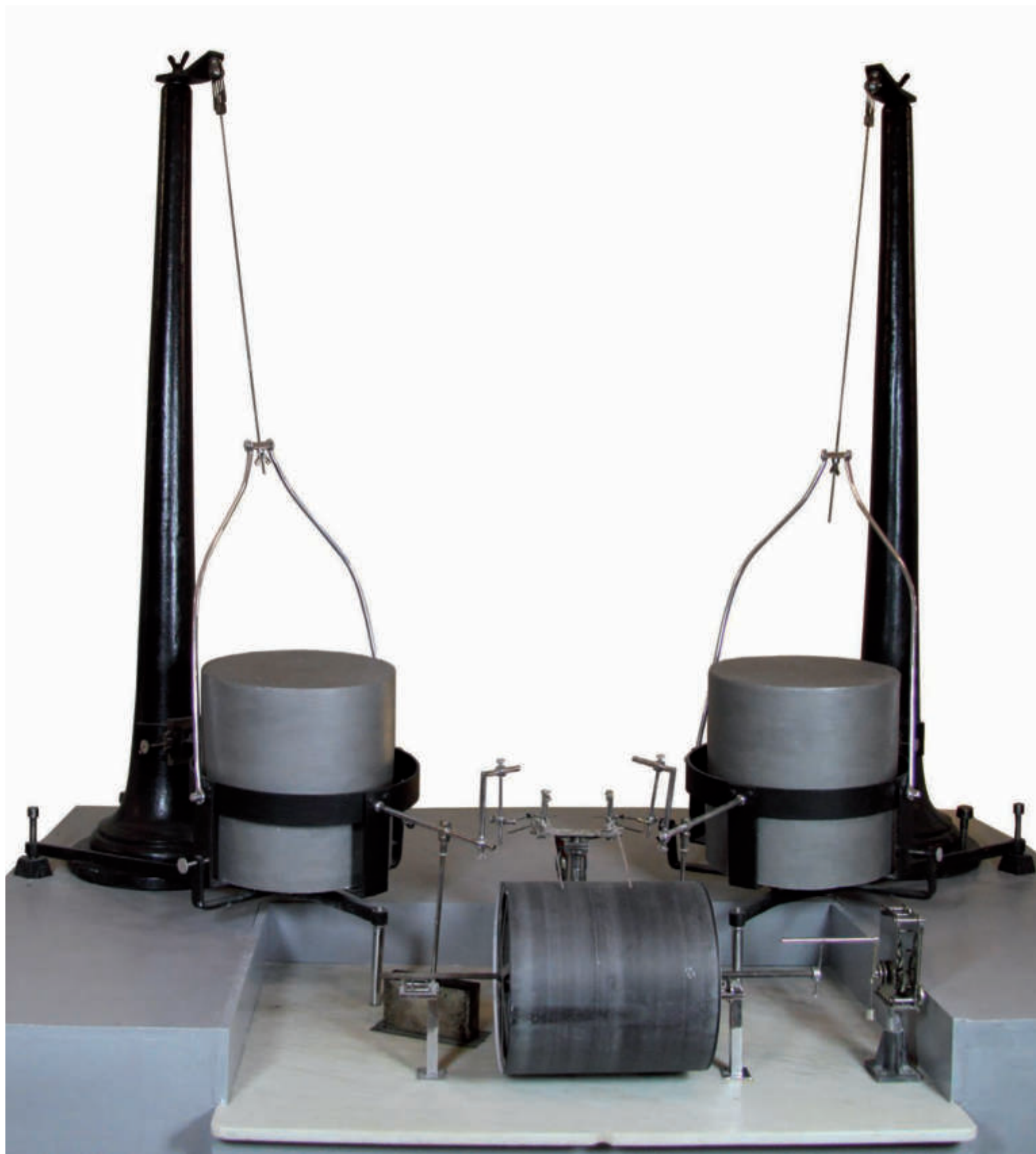
(ghisa, ferro, ferro

nichelato, ottone,

alluminio, pietra;

200x200x220 cm).

CLOS



Tromometrografi Omori-Alfani

1907



G. Alfani intorno al 1910, nell'intento di raggiungere sempre maggiore precisione e sensibilità nella registrazione dei segnali sismici, ideò e fece realizzare il tromometrografo, basato sul pendolo orizzontale introdotto dal sismologo giapponese F. Omori. Variando semplicemente la posizione delle punte d'appoggio sulle quali si impenna e ruota il telaio che sostiene la massa pendolare, si può variare il periodo proprio di oscillazione dello strumento.



Costruttivamente il tromometrografo Omori-Alfani è molto semplice: le due punte, una superiore e una inferiore, che individuano l'asse di rotazione del pendolo sono montate due robuste colonne di ghisa, solidali con un pilastro in muratura isolato dal terreno circostante e dai muri del fabbricato. La massa di ciascuna componente, variabile nei diversi esemplari realizzati da 250 e 350 Kg, è costituita da un blocco di pietra di forma cilindrica, il cui centro di gravità dista 50 cm dalla punta inferiore di rotazione. Il rapporto di ingrandimento strumentale è di circa 3 volte, oltre all'amplificazione delle leve che hanno un ingrandimento variabile a piacere. I cestelli metallici che sostengono le masse portano un'appendice rigidissima, che sostiene le punte di trasmissione del moto alle leve amplificatrici. Per un angolo lievissimo di inclinazione, l'ingrandimento risulta molto forte per quei tempi: dell'ordine di 40 volte con un periodo proprio di oscillazione di 10-12 s. Sistemi di viti micrometriche alla base delle colonne e dei telai delle leve amplificatrici

permettono di regolare con facilità, e relativa rapidità, i pennini scriventi. Lo strumento fu progettato e utilizzato all'Osservatorio Ximeniano di Firenze, da Alfani senza alcun sistema di smorzamento, al fine di confrontarlo con altri strumenti installati in altri osservatori. Solo successivamente alla cessione all'Osservatorio *Schiavazzi* di Livorno, i tromometrografi dello Ximeniano furono dotati di un sistema di smorzamento a olio minerale. A ciascun braccio dei pendoli orizzontali è fissato, fra la massa e le leve di registrazione, un'asta verticale che termina con una lamina rigida rettangolare immersa nell'olio minerale contenuto in una scatola metallica a forma di parallelepipedo. L'oscillazione della lamina viene smorzata dalla viscosità dell'olio.



Da ricerche negli archivi del comune di Livorno e dell'Osservatorio Ximeniano, risulta che gli strumenti installati in quest'ultimo dal suo ideatore furono venduti da C. Coppedé, succeduto nel 1940 alla morte di Alfani alla direzione dell'Osservatorio Ximeniano, al Comune di Livorno per l'Osservatorio *Schiavazzi*, tali strumenti insieme a un pendolo Stiattesi, vi funzionarono solo per pochi decenni. Allo Ximeniano erano già funzionanti nel 1912 e altri esemplari funzionarono in almeno altri 5 osservatori italiani: Domodossola, Prato, Benevento, Pompei e Mileto.



p. 326-327



Particolare della punta inferiore di rotazione del pendolo orizzontale. La posizione del punto di rotazione è regolabile orizzontalmente.



Vista superiore dei pennini scriventi sulla carta affumicata.



Particolare della vaschetta dell'olio dello smorzatore di una delle componenti dello strumento.



Coppia di Trometrografi Omori-Alfani nell'Osservatorio annesso al Santuario di Pompei, in una foto del primo decennio del Novecento.

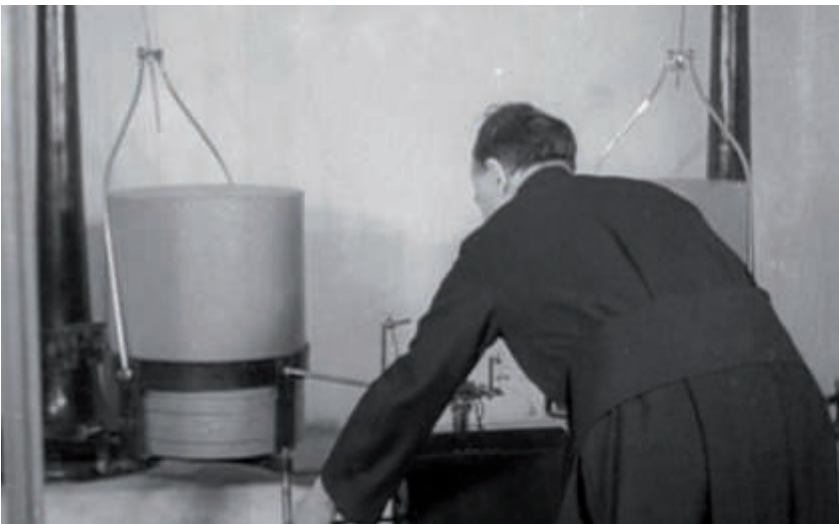
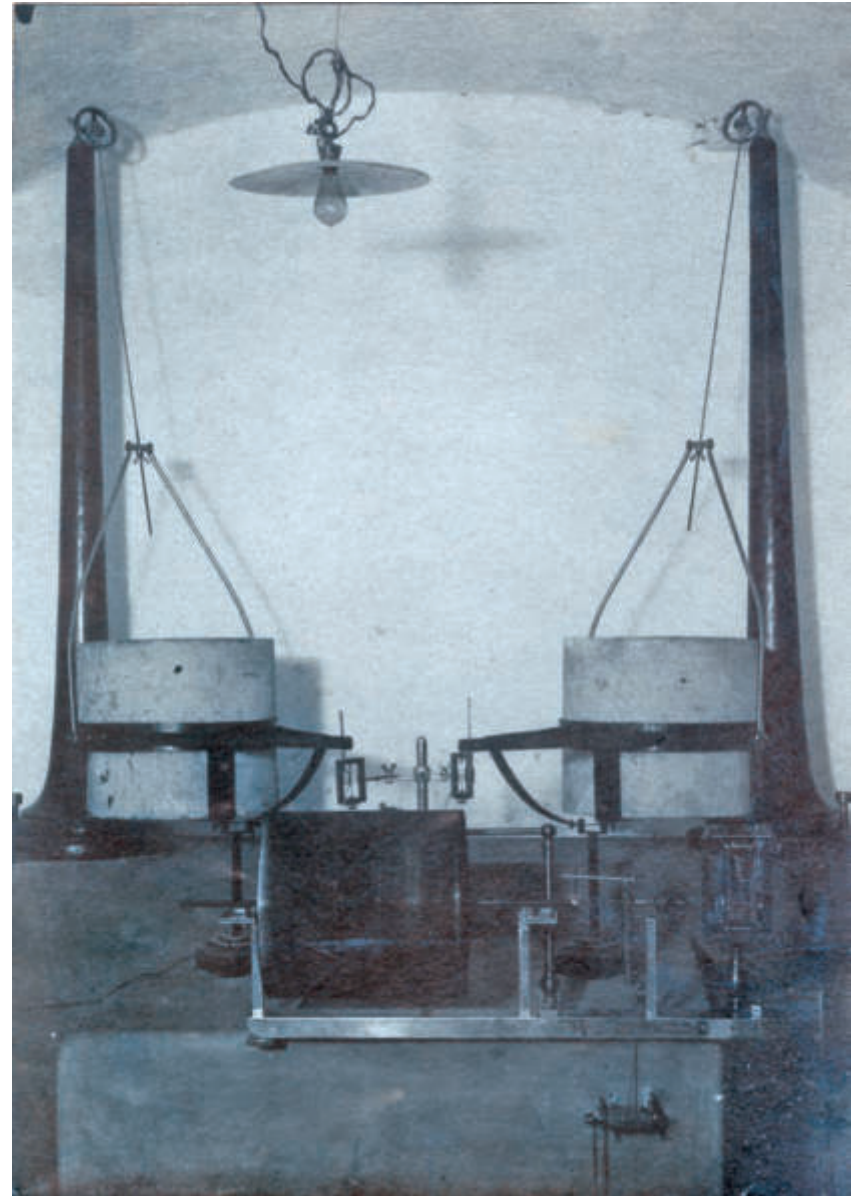


Foto di G. Alfani (sopra) mentre sostituisce la carta ai Tromometrografi nel sotterraneo dell'Osservatorio Ximeniano. La stessa operazione eseguita da C. Coppedé (sotto). Le immagini, tratte da due filmati dell'Istituto Luce, rispettivamente del 1934 e del 1943, evidenziano il significativo incremento di massa dello strumento.



Tromometrografo Omori-Alfani nel sotterraneo dell'Osservatorio Ximeniano. Si può osservare che le punte, in cima alle colonne, per l'oscillazione dei pendoli, presenti in quest prima versione dello strumento, furono poi sostituite da Alfani con molle lineari fisse, visibili nell'attuale configurazione.

Occorrerebbe oggi per la loro costruzione
oltre trecentomila lire (L. 300.000).

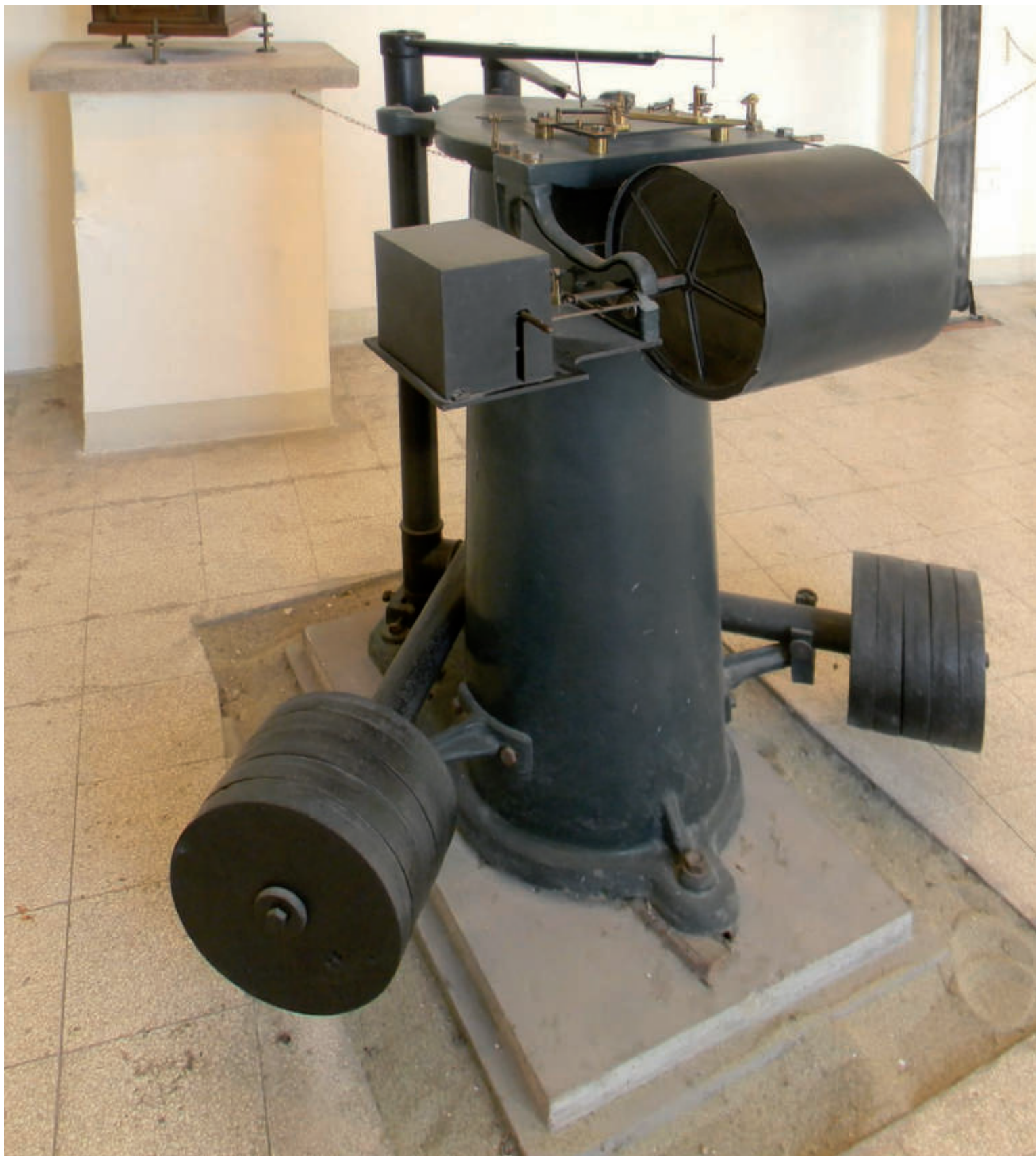
Per venire incontro al Suo desiderio e per concorso
alla ricostituzione del Suo Osservatorio, sono disposti
a cederle; due suddetti sismografi con tutti
i relativi accessori e, per di più, il sismografo
"oripiantato Shikher", per L. 100.000 (centomila).

Particolare di una lettera del 14 aprile 1950 di C. Coppedé a G. Schiavazzi, direttore dell'Osservatorio di Livorno, in cui il primo, direttore dell'Osservatorio Ximeniano di Firenze, propone la vendita dei tromometrografi Alfani per 100.000 lire.

SISMOLOGIA

Sismografo a pendoli orizzontali Agamennone Fascianelli, Roma; (ferro, ghisa, ottone, paglia, cordoncino; 100x120x115 cm).
CPOV

Lo strumento nel contesto dell'Osservatorio *Valerio* di Pesaro dove fu installato, senza però mai essere stato messo in opera, proveniente dall'Osservatorio di Fano.



Microsismografo a pendoli orizzontali Agamennone

1907



Nell'ottobre del 1906, durante la prima riunione della Commissione Permanente dell'Associazione Sismologica Internazionale, tenutasi a Roma, fu bandito un concorso per la progettazione di uno strumento sismico da adottare a livello internazionale come standard. I requisiti richiesti agli strumenti in gara erano: la capacità di registrare le componenti orizzontali e verticali del moto di terremoti vicini, la massima semplicità, un ingrandimento del movimento del suolo di almeno 40-50 volte e un prezzo di vendita contenuto entro i 300 marchi, quasi 370 lire del tempo. Nel 1907, G. Agamennone, progettò un sismografo a pendoli orizzontali con cui partecipare al concorso e incaricò L. Fascianelli, meccanico del Regio Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica di Roma, della realizzazione di due prototipi: uno per le sole componenti orizzontali e uno per le componenti orizzontali e verticale.



Il sismografo è costituito da una colonna cava di ghisa a forma di tronco di cono, alta 105 cm e del peso di circa un quintale, la cui base viene imbullonata a un pilastro isolato dall'edificio. Sulla sommità, la colonna è chiusa da una piattaforma di ghisa che sostiene tutto l'apparato di amplificazione e di registrazione: le punte superiori di sostegno dei pendoli orizzontali, il tamburo della carta di registrazione e l'apparato di scrittura. I due pendoli orizzontali sono formati ciascuno da

due tubi di ferro del diametro di 5 cm piegati a forma di L e fissati tra loro. Il braccio maggiore della è lungo circa 1 m ed è mantenuto in posizione quasi verticale per fungere da asse di rotazione, mentre il minore, di circa 80 cm di lunghezza, è fissato alla base del primo in posizione orizzontale e porta all'estremità libera la massa pendolare, composta da 5 dischi di ghisa del peso complessivo di 50 kg. I pendoli sono disposti ad angolo retto per registrare le due componenti orizzontali, preferibilmente lungo le direttrici NS ed EO.

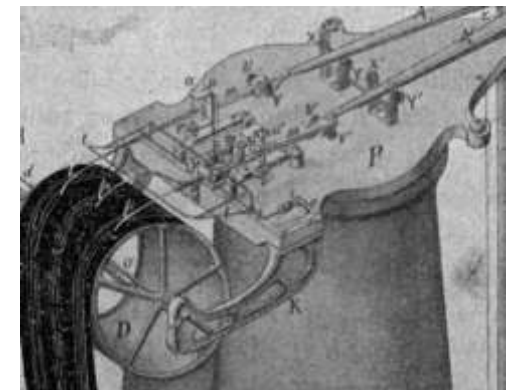
Alle estremità superiori dei bracci verticali dei pendoli sono fissate due sbarre orizzontali di ferro, fra loro parallele, che formano un angolo di 45° con i rispettivi tubi sottostanti. Le estremità libere di queste due sbarre terminano con un sistema di amplificazione, costituito da leve, molle e tiranti, che trasmette il movimento ai pennini, a loro volta montati su steli di grano essiccato lunghi circa 25 cm.

Per impedire che i pendoli possano oscillare eccessivamente, tanto da danneggiare il sistema di registrazione, lo strumento è provvisto di limitatori di ampiezza di oscillazione.

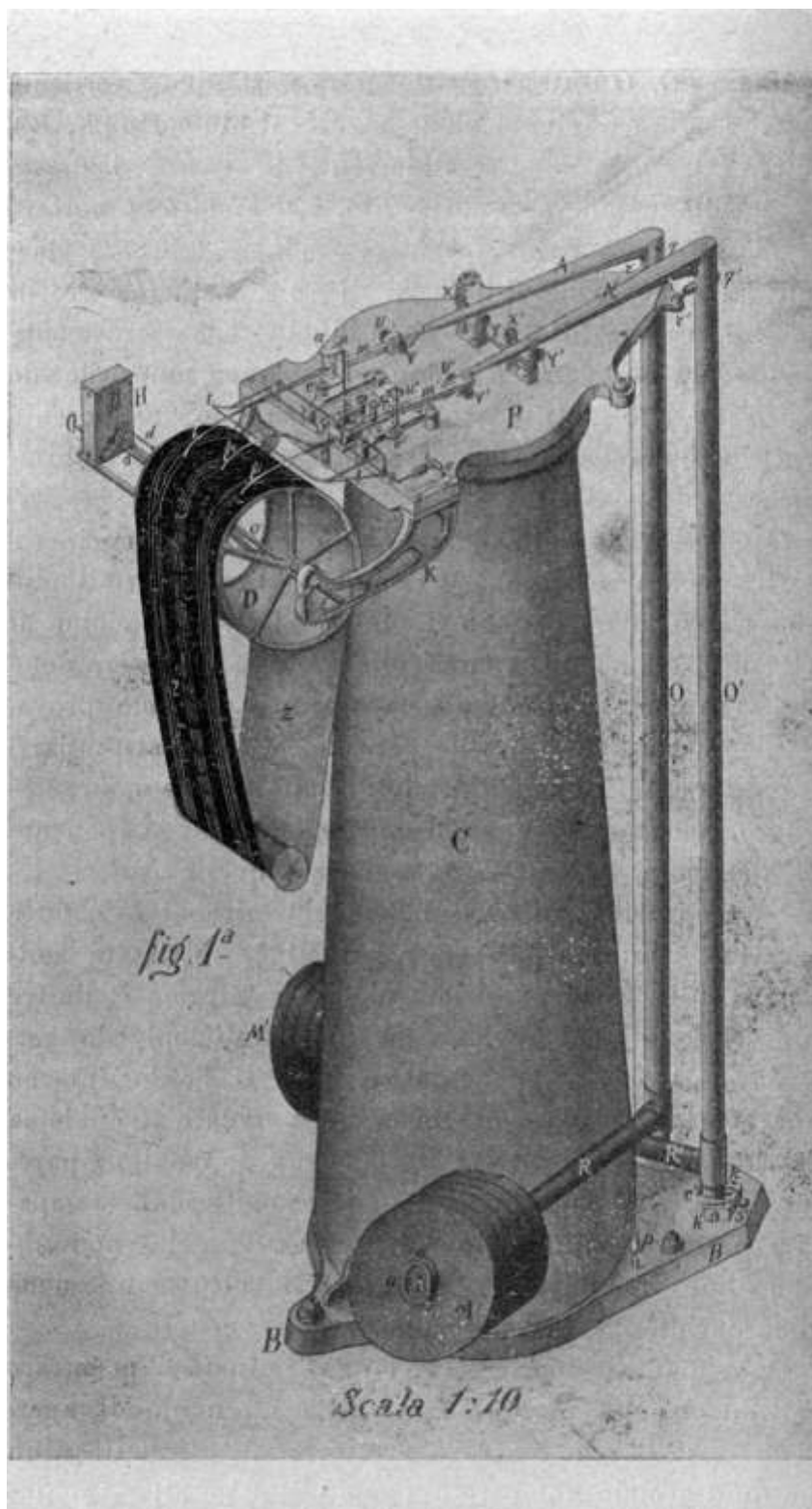
Entrambe le componenti registrano sullo stesso foglio di carta affumicata avvolto e fissato a un tamburo di metallo, mantenuto in rotazione da un meccanismo a orologeria. Il rullo compie 48 giri nell'arco di 24 ore, spostandosi verso destra di quasi 1,5 mm ogni giro, per evitare la



Particolare di una componente del sismogramma di un terremoto del 10 settembre 1925 registrato all'Osservatorio del Collegio di



Particolare del meccanismo di registrazione della versione a due componenti del Microsismografo a pendoli orizzontali Agamennone.



Disegno del Microsismografo a pendoli orizzontali Agamennone, tratto da una descrizione del suo ideatore.

sovrapposizione delle tracce. Per ogni componente, i rispettivi pennini tracciano sulla carta un segnale marcatempo ogni ora, con uno spostamento in senso perpendicolare alla direzione di rotazione del rullo. Nello strumento prototipo, invece, sul sismogramma si rilevavano tre tracce, due per i pendoli e una lasciata da un'apposita penna oraria.

Sismografo a tre componenti



Lo strumento unisce alla configurazione del Microsismografo per le componenti orizzontali, precedentemente descritto, una massa libera di oscillare verticalmente, composta da cinque dischi di ghisa per un peso totale di 50 kg. Tale massa è fissata all'estremità di un tubo di ferro orizzontale che, dopo aver attraversato da parte a parte la colonna di sostegno di ghisa, attraverso due larghi fori, si innesta solidalmente ad angolo retto nel punto mediano di un altro tubo orizzontale, posizionato nella parte anteriore dello strumento, al di sotto del tamburo di registrazione. L'amplificazione dei movimenti è ottenuta tramite una leva, analogamente al sistema di leve amplificatrici per la registrazione delle componenti orizzontali. Movimenti eccessivi della massa pendolare sono impediti da due viti di arresto fissate alla colonna di ghisa. Il tempo è segnato sul sismogramma direttamente dalla leva relativa alla componente verticale, che viene sollevata a intervalli di un minuto da un meccanismo comandato elettricamente da un orologio per circa 2-3 s.

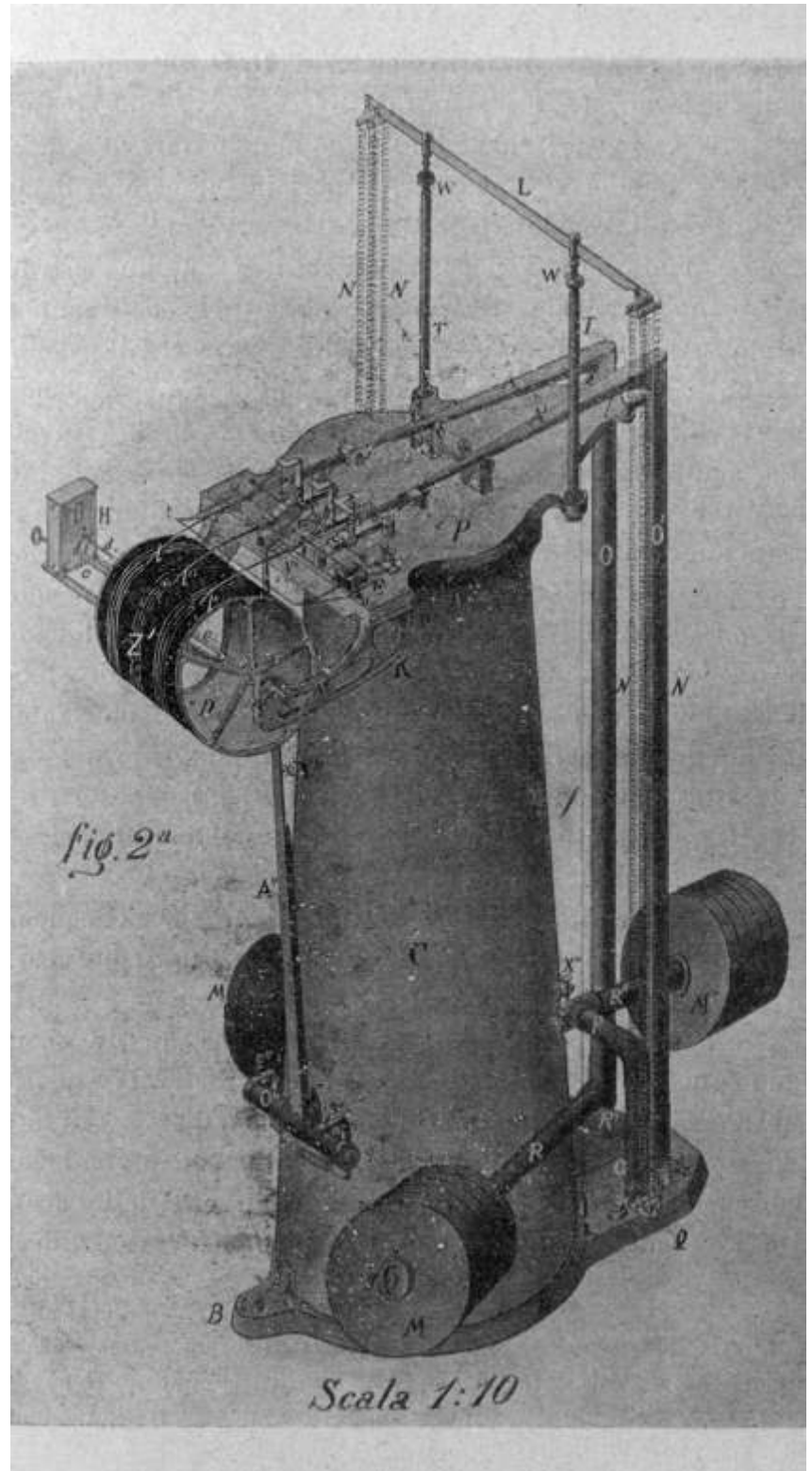


Tutti gli strumenti che parteciparono al concorso furono esposti in occasione dell'Assemblea Generale dell'Associazione Sismologica Internazionale, tenutasi all'Aia nel settembre del 1907, ma nessuno fu premiato. L'Assemblea decise di trasferirli a Strasburgo per un periodo di sperimentazione, che durò due anni. Nell'estate del 1909, Agamennone curò l'installazione del prototipo del suo strumento, rientrato dalla Germania dopo il concorso, nell'atrio del Collegio Romano, sede dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica. Nell'agosto del 1913 fu smontato per essere inviato all'Asmara, dove fu installato da L. Palazzo, durante una spedizione di studio in Eritrea. All'Osservatorio del Collegio Romano lo strumento venne sostituito da

un altro esemplare solo agli inizi di gennaio del 1915, giusto in tempo per registrare il catastrofico terremoto marsicano del 13 gennaio 1915 e le successive repliche.

Tra il 1906 e il 1934 il sismografo, nelle due versioni a due e a tre componenti, fu operativo negli osservatori di Chiavari, Oropa, Piacenza, Venezia, Fano, Osimo, Camerino, Larderello, Massa Marittima, Collurania, Roma, Montecassino, Benevento, Bari, Trenta, Mineo, Carloforte, Asmara in Eritrea, Oporto in Portogallo e Dyce in Scozia.

 p. 327



Versione a tre componenti del Microsismografo a pendoli orizzontali Agamennone, nell'atrio del Collegio Romano, sede dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica, installato agli inizi di gennaio 1915. Si tratta con ogni probabilità dello strumento che registrò il terremoto della Marsica del 13 gennaio 1915. Dello strumento rimangono solo alcuni pezzi.

Disegno della versione a tre componenti del Microsismografo a pendoli orizzontali Agamennone, tratto da una descrizione del suo ideatore.

SISMOLOGIA

Sismometro a
torsione
Wood-Anderson,
modello
Lehner-Griffith
TS 220,
Teledyne Geotech,
Texas, USA;
(ferro, ottone,
tungsteno, ferro
magnetizzato,
vetro, alluminio,
21x21x30 cm).
INGV



Sismografo a torsione Wood-Anderson

1921



Il sismografo Wood-Anderson è famosissimo in sismologia per essere stato scelto da C. Richter nel 1935 come strumento campione nella sua definizione di magnitudo di un terremoto.

Lo strumento fu sviluppato presso il Laboratorio Sismologico del California Institute of Technology (Caltech) all'inizio degli anni Venti del secolo scorso dai due sismologi americani H. O. Wood e J. A. Anderson.



Il sismografo Wood-Anderson è costituito da un sismometro a torsione che consentì ai suoi ideatori di ottenere un notevole ingrandimento da un dispositivo di piccolissime dimensioni e da un registratore fotografico. L'idea vincente fu quella di usare per il sensore, anziché un sistema di leve meccaniche, un sistema ottico nel quale la leva è costituita da un fascetto di luce. La leva ottica non presenta né inerzia né attrito: è quindi irrilevante il valore della massa inerziale usata nel sensore. I due sismologi ridussero quest'ultima a un cilindretto di rame di 2 mm di diametro del peso di circa 2 g, vincolato a ruotare attorno a un filo di tungsteno del diametro di 2 μm incollato lungo una sua generatrice e con inclinazione prossima alla verticale. In questo modo il sismometro è sensibile ai movimenti del suolo che avvengono sulla componente orizzontale perpendicolare alla direzione del segmento che unisce il baricentro della massa all'asse di rotazione. Il periodo proprio di questo tipo

di pendolo orizzontale è regolabile variando l'inclinazione dell'asse di rotazione ed è tipicamente portato al valore nominale di 0,8 s.

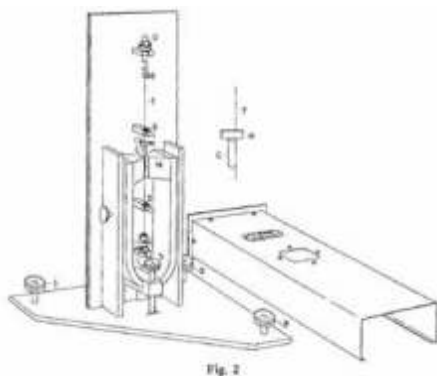
Lo smorzamento è ottenuto dall'effetto di un forte magnete permanente sul cilindretto mobile di rame (principio dell'autoinduzione di Foucault). Anche lo smorzamento può essere regolato sul valore tipico di 0.8 volte lo smorzamento critico. La registrazione del sismografo Wood-Anderson è ottica e avviene per doppia riflessione di un sottile pennello luminoso su uno specchietto solidale al cilindretto di rame. Se la distanza fra lo specchietto e la di registrazione è di 1 m, l'ingrandimento che si ottiene è pari a 2.800 volte.



Nel 1925 fu iniziata l'installazione dello strumento nelle stazioni sismiche della rete della California meridionale. Nel 1932 ne erano già stati installati 6 e il loro numero crebbe costantemente ad alcune centinaia, nei quarant'anni successivi. Nel 1935 Richter disponeva di un certo numero, sia pur limitato, di sismogrammi degli stessi eventi sismici registrati a diverse distanze epicentro-stazione. L'analisi di queste registrazioni gli consentì di stabilire una relazione empirica per cui l'ampiezza delle registrazioni diminuiva con l'aumento della distanza fra epicentro e stazioni sismiche fra 0 e 600 km.



p. 327



Disegno dell'interno del sismometro a torsione Wood-Anderson. È evidenziato il cilindretto che costituisce la massa e il grande magnete permanente per lo smorzamento.



Sismometro Wood-Anderson: vista frontale con la lente in corrispondenza dello specchio per la registrazione e a destra e sinistra le espansioni polari del magnete di smorzamento.



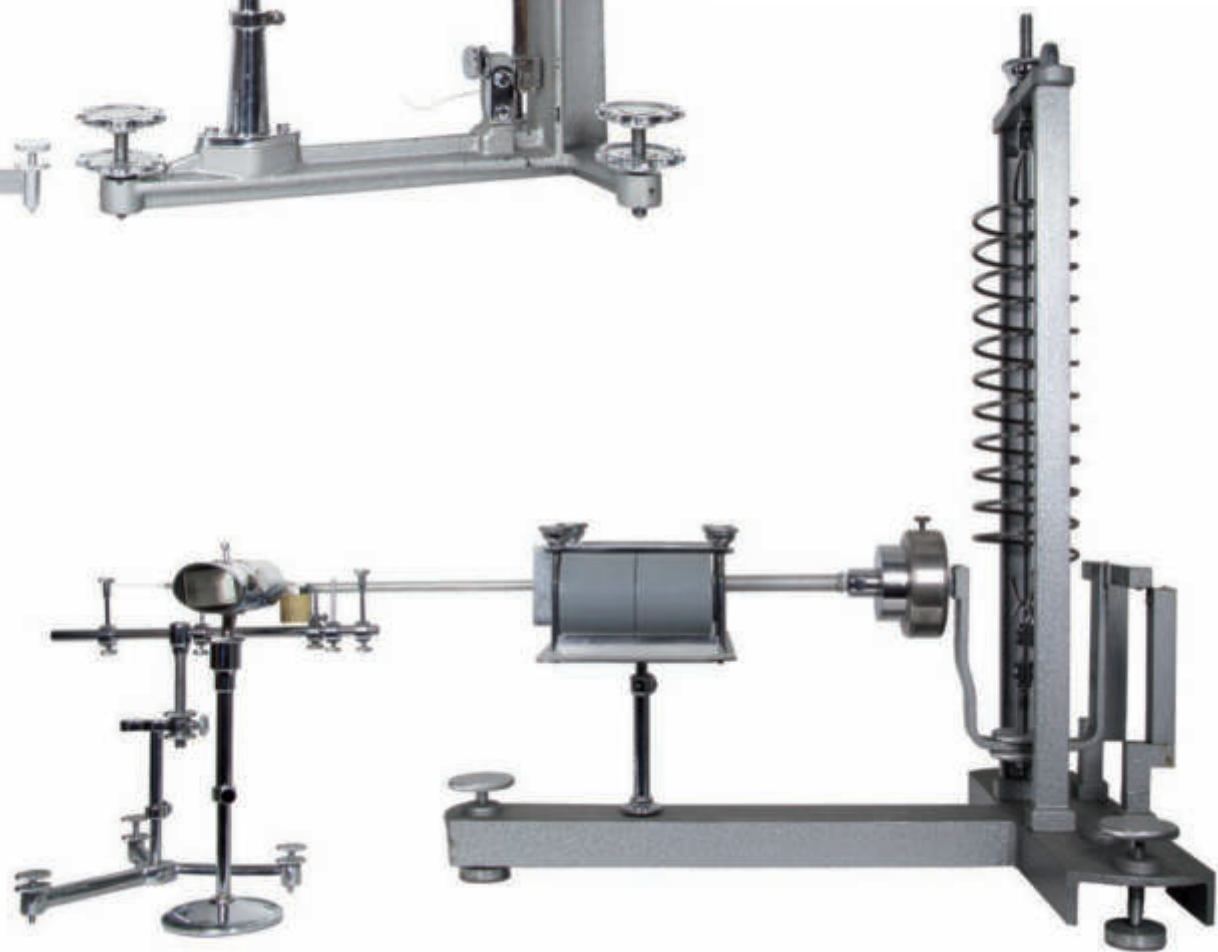
Vista posteriore con la cerniera per l'inserimento o disinserimento del magnete di smorzamento.

SISMOLOGIA

Fotosismografo
Alfani orizzontale,
Officine
dell'Osservatorio
Ximeniano,
Firenze; (ferro,
acciaio, ferro
magnetizzato,
ottone, alluminio;
pendolo:
44x27x72cm;
sostegno dello
specchietto:
Ø 16x62 cm).
OX



Fotosismografo
Alfani verticale,
Officine
dell'Osservatorio
Ximeniano,
Firenze; (ferro,
acciaio, ferro
magnetizzato,
ottone, alluminio,
vetro ottico;
pendolo:
67x52x86 cm;
sostegno dello
specchietto
31x22x29 cm;
sostegno
del prisma:
14x10x30 cm).
OX



Fotosismografi orizzontale e verticale Alfani

1930



Gli strumenti furono ideati e fatti costruire nel 1929 da G. Alfani, con l'obiettivo di ottenere le prestazioni dei sismografi Galitzin, tra gli strumenti migliori dell'epoca per precisione e sensibilità, ma che fossero più economici e di facile manutenzione e utilizzo. Egli riuscì a ottenere con questi strumenti amplificazioni fino a 2.000 volte il moto del terreno.



Fotosismografo per la componente orizzontale Alfani

Un piccolo pendolo orizzontale, con massa di circa 3 kg, porta alla sua estremità libera un piccolo magnete con le espansioni polari appuntite, in modo che il flusso magnetico sia condensato in uno spazio limitatissimo. Un supporto diverso, munito di viti calanti, sostiene un filo di seta alla cui metà è fissato un leggerissimo specchietto. Un sottile braccio orizzontale di ferro che fa parte della piastrina porta-specchio, è immerso, senza toccarne le punte, fra le espansioni del magnete. Quest'ultimo, nelle sue oscillazioni, trascina il sottile braccio di ferro, per effetto dell'induzione magnetica che esercita su di esso. A seconda della distanza alla quale si fisserà il piccolo braccio di ferro rispetto all'asse di rotazione del sistema (filo di seta) si avrà una diversa amplificazione. Un fascio di luce concentrato sullo specchietto consente la registrazione del moto del pendolo su una carta fotografica fissata a un rullo rotante.



Fotosismografo per la componente verticale Alfani

Lo strumento si presenta molto simile al sismografo verticale Galitzin, tranne il sistema di trasduzione del moto del suolo che è uguale a quello del fotosismografo orizzontale. Poiché in questo caso la rotazione dello specchietto avviene intorno a un asse orizzontale, un sistema a prisma consente di ruotare di 90° il fascio di luce riflesso dallo specchietto. Entrambi i tipi di strumenti sono smorzati attraverso una lamina di alluminio, solidale al braccio del pendolo, immersa nel campo magnetico di due magneti permanenti affacciati. Le correnti di Foucault che si generano nella lamina di alluminio, quando in moto, generano un campo magnetico che smorza il movimento del pendolo. Il moto dello specchietto è invece smorzato attraverso una sottile lamina sagomata fissata allo specchietto e immersa in un contenitore cilindrico riempito di olio minerale.



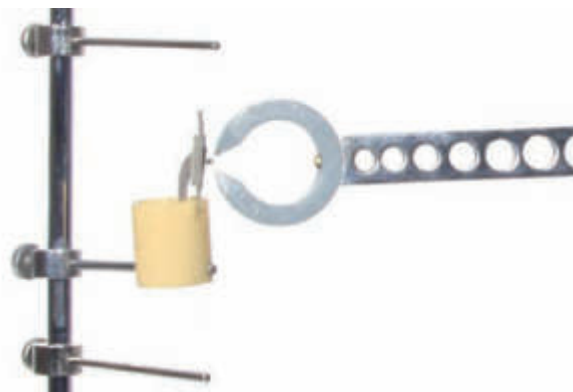
Nel 1933 alcuni fotosismografi furono installati nella stazione sismica di Trieste e nelle grotte di Postumia per registrare le deformazioni della crosta terrestre in un ambiente a temperatura costante, in completa oscurità e in assenza di vento. Dal 1934 al 1945 una terna di strumenti funzionò anche nella stazione sismica di San Fernando in Spagna.



p. 327



Fotosismografo orizzontale: attacco della sospensione dell'asse verticale di oscillazione del pendolo e del sistema di modifica del periodo proprio di oscillazione.



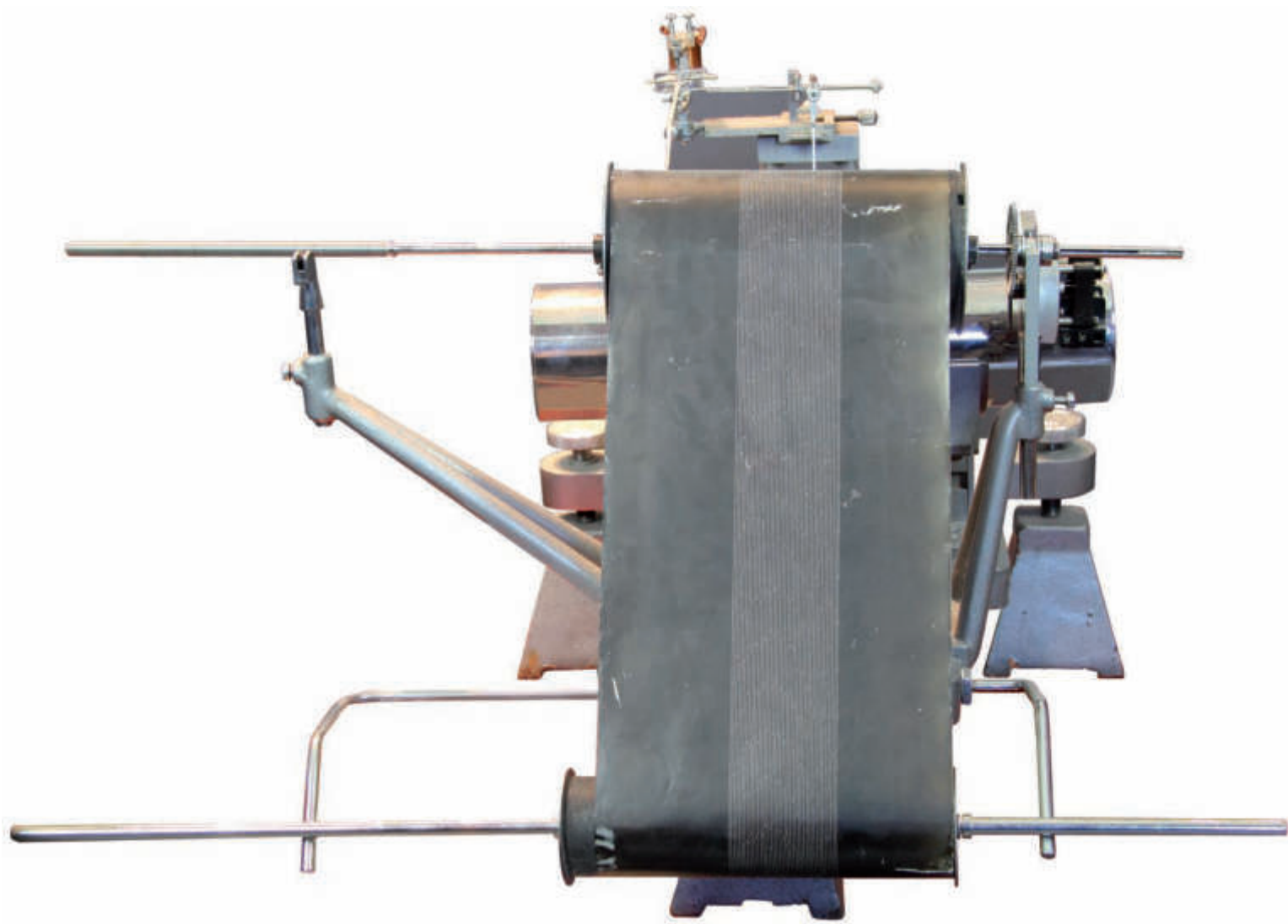
Fotosismografo orizzontale: sistema di trasduzione e di smorzamento. A destra la lamina di alluminio immersa nei magneti. A sinistra il magnete e lo specchietto con il suo smorzamento a olio.



Fotosismografo verticale: particolare del sistema a prisma per la rotazione di 90° del raggio riflesso dallo specchietto messo in moto dal sismometro.

SISMOLOGIA

Accelerografo
Ishimoto per la
componente
orizzontale;
Officine ING,
Roma;
(ottone, ferro,
bronzo, piombo,
rame, alluminio;
99x106x60 cm).
INGV



Accelerografo Ishimoto

1931



I sismografi progettati da M. Ishimoto in uso in numerose stazioni nella rete sismica nazionale giapponese erano ad amplificazione meccanica e registrazione su carta affumicata. Lo smorzamento era ottenuto mediante il passaggio dell'aria nello spazio compreso fra un pistone e un cilindro fra loro concentrici. In questo senso i sismografi di Ishimoto avevano molte analogie con quelli ideati da Wiechert all'inizio del secolo, differenziandosi da questi ultimi per le più piccole dimensioni. Tra questi ricordiamo il modello per componente orizzontale e quello per componente verticale, nel quale la massa aveva un periodo libero di un secondo e l'ingrandimento intorno alle 300-350 volte del moto reale del suolo per le onde di pari periodo.



Ancora più diffuso è stato l'accelerografo, progettato da Ishimoto nel 1931. Si trattava di uno strumento semplice e compatto. Per queste caratteristiche era agevole trasportarlo e utilizzarlo per campagne di osservazione in zone di particolare interesse, come quelle colpite da sequenze sismiche. Anche in questo caso, esisteva sia il modello per componente orizzontale che quello per componente verticale. La loro massa era di una decina di chilogrammi. Le caratteristiche strumentali dell'accelerografo Ishimoto erano: periodo proprio $T_0 = 0.10$ s, ingrandimento statico $V = 220$ (al periodo $T=T_0$) per la componente orizzontale; periodo

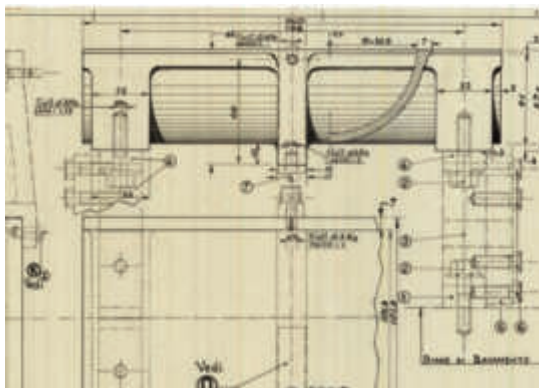
proprio $T_0 = 0.08$ s, ingrandimento $V = 170$ (al periodo $T=T_0$) per la componente verticale. Anche per questo modello lo smorzamento era ad aria. La velocità di scorrimento della carta di registrazione era di 60 mm/min. L'accelerografo Ishimoto ha precorso gli accelerografi sviluppati e messi in commercio negli anni '70, che si basavano su sistemi di registrazione ottici su carta o film fotografici. Fornendo una registrazione proporzionale all'accelerazione, anziché allo spostamento reale del suolo, gli accelerografi hanno contribuito in maniera determinante allo studio degli effetti dei terremoti, con uno stretto collegamento all'ingegneria sismica.



Questo modello è divenuto popolare anche al di fuori del Giappone. Per esempio, l'Istituto Nazionale di Geofisica ne ha riprodotti alcuni esemplari, intendendo usarli come strumentazione mobile per le sue caratteristiche di leggerezza e robustezza. Un esemplare di tali accelerografi fu impiegato anche a per seguire la sequenza sismica della Sicilia occidentale nel gennaio-febbraio del 1968. L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia è ancora in possesso di alcuni esemplari di accelerografo Ishimoto in ottime condizioni di conservazione.



p. 327



Particolare del disegno tecnico dell'accelerografo orizzontale Ishimoto, prodotto in alcuni esemplari dall'Istituto Nazionale di Geofisica (ING), alla fine degli anni '40, datato 2 marzo 1949.



Vista laterale del meccanismo di registrazione a carta affumicata di uno degli esemplari di accelerometro Ishimoto orizzontale realizzati dall'ING. Lo strumento è esposto al Museo Geofisico di Rocca di Papa.

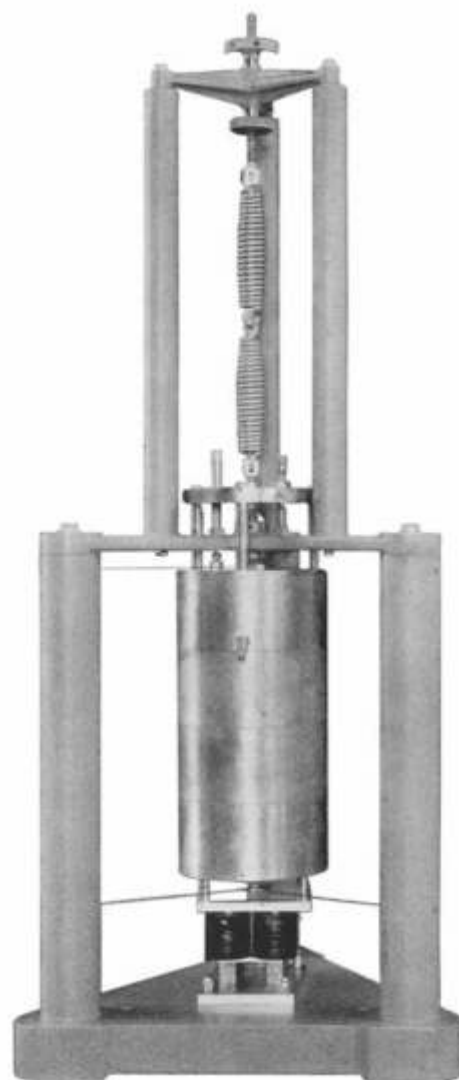


Vista frontale del meccanismo di registrazione a carta affumicata di uno degli esemplari di accelerometro Ishimoto orizzontale realizzati dall'ING.

SISMOLOGIA

Sismografo
verticale a corto
periodo Benioff;
(ferro, ferro
magnetizzato,
43x50x74 cm).
INGV

Nelle pagine
successive lo
strumento è
riprodotto nella
stazione
dell'Aquila della
rete WWSSN.



Sismografi orizzontale e verticale Benioff

1950



A differenza dei precedenti sismometri elettromagnetici introdotti da B. B. Galitzin nel 1905, i vari modelli di sismometri realizzati da H. Benioff sono tutti dotati di un trasduttore elettromagnetico basato sul principio della riluttanza variabile.



La massa inerziale è costituita da due nuclei di ferro dolce avvolti da due bobine di numerose spire di filo di rame. Le estremità polari di un forte magnete permanente, solidale al contenitore del sismometro, si trovano a distanza ravvicinata ai due nuclei di ferro dolce. In questo modo, i movimenti relativi fra massa inerziale e contenitore inducono una variazione contraria di flusso magnetico nei due nuclei di ferro dolce, che a loro volta inducono tensioni elettriche sui terminali delle bobine. Le bobine sono poste in serie con le loro polarità disposte in modo che i segnali vengano sommati, e quindi utilizzati dal sistema di registrazione. Quest'ultimo è tradizionalmente di tipo galvanometrico.

Benioff continuò lo sviluppo dei suoi sensori sismometrici anche nei decenni seguenti alla seconda guerra mondiale.

All'inizio degli anni sessanta del Novecento il governo statunitense decise di finanziare l'allestimento della rete sismografica mondiale WWSSN (World Wide Standardized Seismic Network) costituita da 180

stazioni distribuite in oltre 60 differenti stati per fini di controllo delle esplosioni nucleari sotterranee. Tali stazioni furono dotate da due terne a breve periodo e due terne a lungo periodo di sismometri con registrazione galvanometrica. I sensori a breve periodo prescelti per la rete WWSSN furono i Benioff.

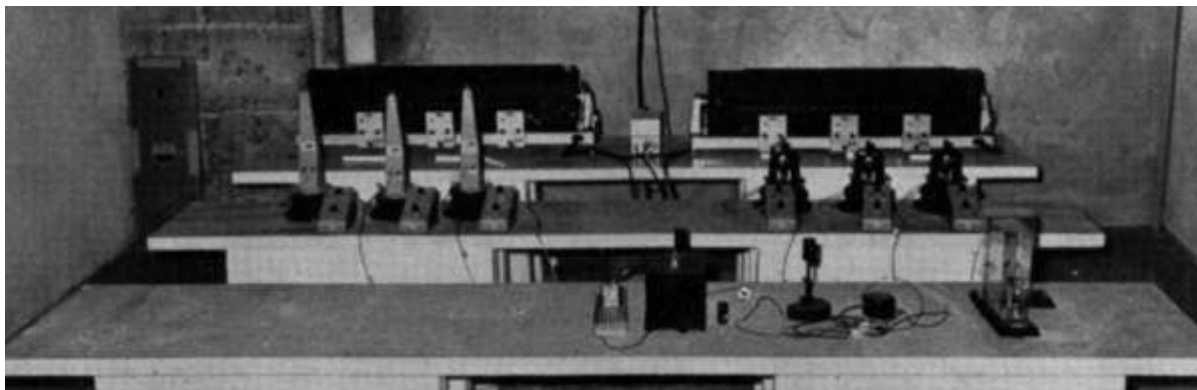
All'inizio degli anni Ottanta del secolo scorso alcune stazioni della rete WWSSN furono convertite in stazioni digitali tramite l'aggiunta di sistemi di conversione analogico-digitale operanti sui segnali sismici e la registrazione su nastro magnetico utilizzabile tramite computer. Tali stazioni costituirono la più moderna rete DWWSSN (Digital World Wide Standardized Seismic Network), nella quale veniva ancora impiegato il sismometro Benioff a breve periodo per componente verticale.



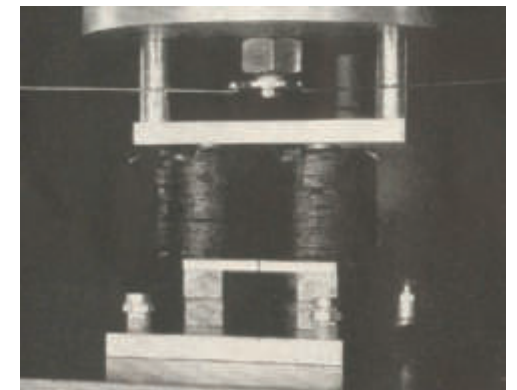
In Italia le stazioni sismiche che ospitarono gli strumenti della rete WWSSN furono due, quella dell'Aquila (AQU), appartenente all'ING, e quella di Trieste (TRI), appartenente all'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste.



p. 327



Sala di registrazione della stazione WWSSN dell'Aquila, in una fotografia dei primi anni sessanta del Novecento, al tempo dell'installazione. In primo piano i sei galvanometri, tre collegati ai sismografi Benioff (destra) e tre agli Sprengnether (sinistra). Sullo sfondo i due rulli di registrazione fotografica, che portavano ciascuno 3 carte fotografiche. La registrazione avveniva al buio.



Sismografo verticale a corto periodo Benioff: particolare del trasduttore elettromagnetico, con le bobine in cui avviene la trasformazione del moto del suolo in tensione elettrica.

SISMOLOGIA

Stazione sismica della WWSSN dell'Aquila, nel 2012 poco prima del suo smantellamento. In secondo piano, a sinistra e a destra con coperture di protezione termica, sismometri a lungo periodo orizzontale Sprengnether. Al centro il sismometro per la componente verticale Sprengnether, USA; (ferro, ferro magnetico, acciaio, rame, plexiglass; orizzontale: 67x65x54 cm; verticale: 68x40x60 cm). In primo piano i sismografi a corto periodo Benioff, descritti in precedenza, per la componente orizzontale (al centro) e la componente verticale (a sinistra).



Sismografi orizzontale e verticale Sprengnether

1950



Le stazioni della rete WWSSN furono dotate di una terna a breve periodo e una terna a lungo periodo di sismometri con registrazione galvanometrica. Le caratteristiche progettuali degli strumenti furono scelte in base alla considerazione che il rumore sismico di fondo, costantemente presente in tutte le stazioni sismiche del globo, presenta un tipico valore massimo nell'intervallo dei periodi di oscillazione compreso tra i 6 e i 12 secondi (dovuto al moto delle onde negli oceani). Gli strumenti della rete WWSSN furono pertanto progettati per avere una massima amplificazione a periodi più brevi (intorno a un secondo) o più lunghi (intorno ai 15-30 secondi).

I sensori a lungo periodo prescelti per la rete WWSSN furono quelli della Sprengnether Inc., ditta statunitense molto nota nella produzione di strumenti sismologici.



La classica terna di questi sismometri, due componenti orizzontali e una verticale, furono progettati per avere un periodo proprio di oscillazione libera regolabile fra 6 e 60 secondi, tipicamente fissato a 15 o a 30 secondi, e per la registrazione erano accoppiati a galvanometri di 90 secondi di periodo proprio. La massa in ottone verniciato dei sismometri è di circa 11 kg, e il trasduttore è costituito da una o due bobine di filo di rame solidali alla massa, e libere di traslare nel campo magnetico

 p. 327

generato da un forte magnete cilindrico. L'ingrandimento ottenibile sulla registrazione a carta fotografica poteva giungere a un valore massimo di 12.000 volte.

I sismometri orizzontali Sprengnether a lungo periodo si basano sul principio del pendolo orizzontale. La posizione di riposo della massa e il periodo proprio di oscillazione possono essere regolati attraverso le tre viti di livello sulle quali è poggiato il telaio.

Il sismometro verticale, invece, si basa sul principio della sospensione a molla obliqua con lunghezza virtuale zero: una molla elicoidale pre-tensionata, che necessita di una forza pari alla sua lunghezza iniziale moltiplicata per la sua costante elastica per iniziare ad allungarsi. La posizione di riposo della massa e il periodo proprio di oscillazione possono essere regolati attraverso due viti micrometriche che agiscono sul punto di attacco superiore della molla.



Sismometro Sprengnether per la componente orizzontale. Il magnete di sinistra serve per la rilevazione e l'amplificazione del moto sismico, mentre quello di destra per lo smorzamento.



Sismometro Sprengnether per la componente verticale. Il magnete di sinistra serve per la rilevazione e l'amplificazione del moto sismico, mentre quello di destra per lo smorzamento.



Pannello dei comandi e dei controlli della stazione WWSSN dell'Aquila, in una fotografia dei primi anni sessanta del Novecento.