
ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI
RENDICONTI

MICHELE CAPUTO

Pietro Caloi

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche,
Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 70 (1981), n.1, p. 37–46.*

Accademia Nazionale dei Lincei

<http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1981_8_70_1_37_0>

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)
SIMAI & UMI*

<http://www.bdim.eu/>

MICHELE CAPUTO

PIETRO CALOI

COMMEMORAZIONE TENUTA NELLA SEDUTA DEL 16 GENNAIO 1981



Pietro Caloi

MICHELE CAPUTO

PIETRO CALOI (*)

Pietro Caloi nasce a Monforte d'Alpone, sulle colline veronesi, il 22 febbraio 1907. Segue l'ordinamento scolastico sino alla laurea, con pieni voti, in Matematica nel 1929 presso l'Università di Padova, poi si perfeziona in Fisica ed ottiene una borsa di studio in Astronomia.

L'attività scientifica di Pietro Caloi comincia nel 1931, nel campo della sismologia con una collaborazione all'installazione della « nuova » stazione sismica nei locali dell'Istituto Geofisico, al Passeggio S. Andrea a Trieste, dove furono messi 3 strumenti Wiechert (2 orizzontali da una tonnellata, e uno verticale da 80 Kgr con rispettivamente 200 e 100 ingrandimenti) ed uno strumento Vicentini a tre componenti meno sensibile.

Penso che sia utile rifare brevemente la storia dell'installazione della « nuova » stazione sismica di Trieste, alla fase finale della quale partecipò anche Caloi, per mettere in luce le difficoltà di ogni tipo nelle quali allora si dibatteva in Italia la sismologia, per una generale e generica incomprendenza della sua importanza scientifica e sociale.

Infatti è interessante notare, come risulta da una pubblicazione del Caloi del 1931, che, dopo un *iter* fra vari Comitati Scientifici ed il Governatorato della Venezia Giulia, la costruzione dell'edificio fu iniziata ed ultimata nel 1922. I lavori furono poi interrotti per « improvvisi ostacoli » che (per carità di patria) il Caloi non volle specificare, e furono ripresi nel 1926, forse a causa del terremoto del 1° gennaio 1926 che suscitò viva commozione a Trieste e a seguito anche della premurosa attenzione del Prefetto della città.

Occorsero tuttavia altri due anni perchè fossero stabilite le intese, fra il Comitato Talassografico e l'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geofisica riguardo al personale e gli apparecchi da installare.

Nel 1929 ebbe inizio l'allestimento definitivo della stazione che nel 1930 cominciò a funzionare con il sismografo Vicentini ed infine nel 1931 vennero installati i Wiechert appunto con la collaborazione di Caloi.

Nell'intervallo di tempo intercorso da quando il Comitato per l'esame tecnico del sito della stazione sismica di Trieste (del quale facevano parte ben due Senatori del Regno, uno dei quali era Vito Volterra) aveva espresso il parere favorevole sul sito scelto fino all'installazione del primo strumento, Caloi aveva

(*) Discorso commemorativo letto nella seduta del 16 gennaio 1981.

fatto in tempo a fare gli studi al Liceo Scientifico di Verona, a conseguire la laurea in Matematica all'Università di Padova, a perfezionarsi poi in Fisica, per poi partecipare all'installazione della strumentazione.

Uno dei problemi più importanti della sismologia è la determinazione delle coordinate ipocentrali. Caloi cominciò le sue ricerche scientifiche affrontando questo problema, dapprima col calcolo relativo ad ipocentri dei territori Giapponesi ed Europei, e poi con la determinazione sia dello spessore della crosta nelle Prealpi Carniche (ed Europa Centrale) nonchè della velocità delle onde sismiche entrambe essenziali per una buona determinazione dell'ipocentro. Per alcuni terremoti egli trovava anche il piano della frattura e dello scorrimento che avevano dato luogo al terremoto.

Nel 1934 pubblicava il primo lavoro sulle fasi da lui chiamate SL ed SM delle onde superficiali che non erano previste nelle teorie di Lord Rayleigh. Una prima identificazione di queste fasi nei sismogrammi di Trieste veniva seguita da quella fatta nei 21 sismogrammi di sei stazioni europee calcolando la dromocrome di queste onde. Egli trovava che la loro velocità di propagazione, per distanze da 2400 a 11200 km varia linearmente col periodo fra 4,7 e 5,3 km/sec e che il periodo apparentemente cresce con la distanza. Questo risultato veniva poi tentativamente esteso a distanze fino a 16400 km dall'epicentro.

Egli trovava inoltre, col calcolo degli spostamenti orizzontale e verticale del suolo al passaggio delle onde, che esse hanno carattere longitudinale. È da notare che tutto questo fu rilevato da Caloi con strumenti Wiechert che, per la componente verticale avevano periodo di 5.2 sec ed ingrandimento di appena 184.

Egli chiamò dapprima queste onde SL ed SM.

In un successivo lavoro Caloi, partendo da valori delle velocità delle onde sismiche determinate da Gutenberg, calcolava con un metodo originale l'integrale che fornisce il tempo di tragitto delle onde P ed S. Il metodo consiste nell'esprimere r/v^2 (r distanza del punto dal centro della Terra, v velocità delle onde) in funzione di r/v ed esprimendo poi r per mezzo di una particolare funzione razionale di $(r/v)^2$ nella quale figurano 4 parametri da determinare col metodo dei minimi quadrati.

Con questo metodo nuovo Caloi calcolava poi i tempi di tragitto per due terremoti dell'Egeo del 1957 e trovava che la loro profondità non era normale come avevano calcolato alcuni Osservatori stranieri, ma circa 70 km.

In seguito Caloi si occupava delle onde sismiche a cortissimo periodo e trovava che, per periodi da 0.005 sec a 0.002, si hanno velocità molto più elevate (7-7.5 km/sec) di quelle che normalmente risultano nell'osservazione delle onde generate dai terremoti (meno di 5 km/sec). Egli spiega questo fenomeno con la teoria della firmoelasticità, che si ottiene sostituendo al parametro elastico λ l'operatore $\lambda + \lambda' \frac{\partial}{\partial t}$, nella quale si assume che la velocità delle onde è

$$V_p^2 = \frac{1}{\rho K_s} + \frac{4}{3} \frac{\mu}{\rho} \frac{\omega^2 \tau^2}{1 + \omega^2 \tau^2}$$

ove τ è il tempo di rilassamento per tensioni tangenziali, K_s è la compressibilità, μ la rigidità e ρ la densità.

Caloi spiega così le velocità elevate ad altre frequenze e conclude che, come nel dominio dell'ottica e dei raggi X, la dispersione osservata nelle onde elastiche è legata all'assorbimento.

Nel 1934 Gutenberg aveva messo in evidenza l'esistenza di un'onda superficiale a lungo periodo che viene registrata poco prima delle L e che si propaga con velocità di circa 4.5 km/sec che chiamò G. Quasi contemporaneamente Caloi aveva messo in evidenza l'esistenza di un'altra onda a lungo periodo, vibrante nel piano principale e propagantesi con velocità 6.2 km/sec che viene registrata subito dopo le PS e che Caloi chiamava C.

In una nota apparsa nel 1936 nei Rendiconti della nostra Accademia, Caloi riprende le teorie delle onde elastiche superficiali secondo la riformulazione fatta da Somigliana nella quale si arriva all'equazione di Rayleigh ricercando la vibrazione del mezzo elastico nel piano di propagazione risultante dalla sovrapposizione di due onde piane una longitudinale ed una trasversale. Egli cominciava da un punto di vista teorico con una revisione della teoria, per la quale Somigliana stesso espresse la sua gratitudine al Caloi con un'affettuosa lettera del 4 maggio 1942.

Infatti Somigliana aveva dimostrato l'esistenza teorica delle onde che dovevano prendere il suo nome, provando che se il modulo di Poisson σ prende valori nell'intervallo 0-0.26305 (cioè per mezzi con elevata rigidità) l'equazione caratteristica delle onde di Rayleigh ha tre radici reali, una delle quali minore di 1 e due maggiori di 1 che corrispondono rispettivamente alle onde di Rayleigh e ad altre 2 onde.

Caloi, assumendo dapprima per tale coefficiente il valore $\sigma = 0.17$, suggerito da Matusawa per lo strato superficiale terrestre, fornisce una prima interpretazione delle onde G e C dimostrando che il rapporto tra le velocità delle onde C e G è uguale al rapporto delle velocità delle due onde superficiali ulteriormente previste da Somigliana.

Somigliana aveva trovato che per σ nell'intervallo 0.26305-0.5 si ha una sola radice reale che corrisponde alle onde di Rayleigh e due altre radici complesse, per le quali la velocità di propagazione è maggiore di quella delle onde S. A quell'epoca non era possibile verificare l'esistenza di queste onde poiché la strumentazione non era sufficientemente raffinata. Caloi capì che nella crosta terrestre difficilmente σ assume valori minori di 0.25 per cui le radici interessanti riguardano effettivamente l'intervallo 0.25-0.26305; poi estese l'intervallo di interesse a 0.25-0.30543 dando un'interpretazione fisica anche alle radici complesse. Per σ nell'intervallo 0.305-0.5 infatti si avrebbe riflessione totale e quindi assenza di onde di Somigliana.

Caloi studiò quindi sperimentalmente le onde di Somigliana, specialmente quelle determinate dalle riflessioni di onde S sulla base delle stratificazioni della crosta. Egli notò che, soprattutto in seguito a forti terremoti o terremoti con ipocentro nell'astenosfera, le onde S, SS, SSS.... PS sono precedute da onde

superficiali (di ampiezza superiore a quella delle onde S) che egli chiamò C_{ij} (j numero delle riflessioni, i numero delle discontinuità della crosta (o quella di Mohorovich)). Caloi ha anche calcolato le dromocrome delle C_{11} , C_{12} e C_{01} verificando sperimentalmente che, come previsto dalla teoria di Somigliana da lui estesa, esse hanno velocità quasi doppia delle S.

Caloi aveva anche calcolato fino dal 1940 i tempi di propagazione delle onde P_n , P_g , S_g per l'Italia Centrale e per il Nord Italia. E a questo proposito si deve ricordare che le tabelle con queste velocità, calcolate con tanta lungimiranza sono tutt'ora in uso per il calcolo degli epicentri dei terremoti in Italia.

In un'altra interessante ricerca Caloi aveva spiegato l'osservazione che nelle onde superficiali il rapporto fra la componente verticale e quella orizzontale Z/H varia entro larghi limiti mentre la teoria per $\sigma = 0.25$ fissa $Z/H = 1.47$ per ogni valore della frequenza. Per fare ciò egli introduceva nelle equazioni della elastodinamica i parametri elastici firmoviscosi e verificava che con particolari valori di questi parametri si ottengono valori di Z/H che approssimano bene i valori osservati, e trovava inoltre che il coefficiente di assorbimento, per periodi di 20 secondi, è circa 0.0003 in ottimo accordo coi risultati sperimentali.

Caloi si è occupato di molti, quasi tutti i settori della sismologia, ha così studiato anche microsismi trovando che in una stessa località la frequenza dei microsismi può variare da 2 a più di 10 secondi. Egli ha anche dimostrato che certi microsismi in Italia sono provocati da perturbazioni cicloniche nel Mediterraneo e che la frequenza dei microsismi aumenta man mano che la perturbazione ciclonica che li provoca si avvicina alla stazione di Roma dal Mediterraneo occidentale. Egli ha mostrato poi che l'interazione fra mare e terra è una delle cause principali dei microsismi e che questi sono esaltati o smorzati in funzione della struttura geologica della costa ed inoltre che l'azione del vento, senza l'accoppiamento col mare, non è causa di rilevanti microsismi.

Nei suoi numerosi studi sulle microsismicità egli ha trovato una correlazione fra periodi molto lunghi (50 e 60 sec) e le tempeste sul mare di Barends e nei mari a nord ovest della Norvegia (15-20 sec). Fra le altre cause di microsismi trovava l'azione di variazioni microbariche sulla superficie dei laghi formati dalle dighe, che generano piccole onde e trovava anche che le onde elastiche dei microsismi hanno carattere longitudinale.

Egli trovava che anche le oscillazioni nel corpo di una diga possono essere causate dal moto delle acque del fiume che si immette nel suo bacino, queste oscillazioni sono quindi di tipo forzato e con periodo diverso da quello proprio della diga stessa.

Caloi ha poi mostrato che tutta la gamma dei microsismi trova origine anche in bacini chiusi (0,4-5 sec), mari interni (3-5 sec), ed oceani (5 e più sec).

Sulla base di ricerche condotte per alcuni anni sui fenomeni di abbassamento nel Delta Padano, nel 1959 Caloi portava un notevole contributo anche alla soluzione di quel problema. In una relazione egli provava che le migliaia di pozzi che estraevano acque metanifere in quelle zone erano le cause dell'abbassamento del suolo e suggeriva l'immediata chiusura dei pozzi stessi. Questa misura

doveva poi risultare efficacissima anche per arrestare l'abbassamento verificatosi nella zona di Mestre nello stesso periodo.

Nel 1954 Caloi raccoglieva il primo frutto di un paziente lavoro durato anni nei quali realizzava i primi pendoli orizzontali a lungo periodo, che usava con alcuni accorgimenti come clinografi, per registrare le variazioni della verticale apparente causata da moti lenti della crosta.

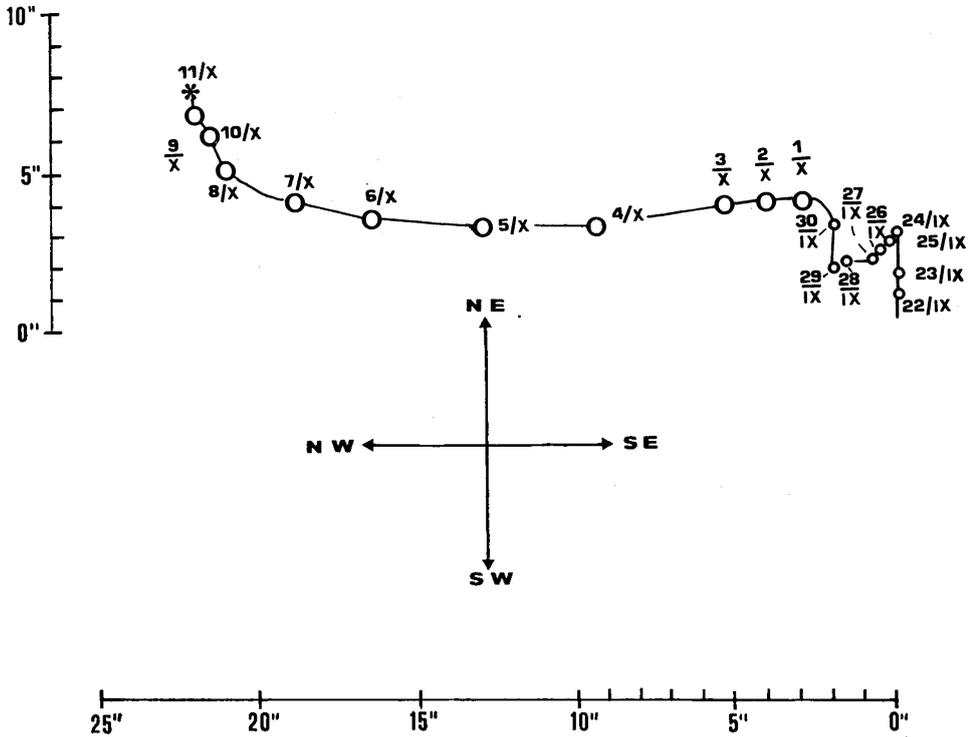


Fig. 1. - Variazione della verticale che ha preceduto il terremoto dell'11 ottobre 1954, con epicentro nei pressi di Bordano.

Già nell'aprile-maggio dello stesso anno, il Friuli era stato ripetutamente scosso da lievi movimenti sismici, preceduti da un lento movimento di mutuo scorrimento di strati, lungo una superficie di frattura, individuata di fianco alla Ambiesta (affluente del Tagliamento), presso uno sbarramento ivi in costruzione. Una coppia di clinografi funzionanti in grotta (una grotta superficiale e quindi atta a ricevere amplificati i movimenti dall'interno) nei pressi della diga, esauritosi quel periodo sismico, aveva continuato a funzionare, senza registrare nulla di anormale, fino alla fine del settembre 1954. A cominciare dal 22 di questo mese, i clinografi iniziavano la registrazione di una inclinazione graduale, dapprima in direzione NE, quindi decisamente verso NW. L'inclinazione in questa direzione si era manifestata particolarmente veloce dal 3 all'8 ottobre, per rivolgersi quindi nuovamente a NE. La fig. 1 dà una sintesi della deviazione registrata nel periodo

accennato. È in corrispondenza di questo nuovo cambiamento di inclinazione che si verifica la violenta scossa di terremoto, la sera dell'11 ottobre. Gli apparecchi della stazione sismica di Tolmezzo, ad una distanza ipocentrale di 10 km ca., furono messi fuori funzione dalla violenza della scossa.

Era il primo chiaro rilievo di segnali precursori di terremoti per il terremoto di magnitudo 4 a Tolmezzo dell'11 ottobre 1954 del quale dava comunicazione in una nota alla nostra Accademia.

Un'ulteriore testimonianza, a conferma dei fatti accennati, si ebbe nel secondo semestre del 1960. Già nel maggio la postazione clinografica funzionante sulla sponda sinistra dell'Ambiesta, dal lato della valle del Tagliamento cominciò ad accusare una sensibile deviazione della verticale apparente verso ENE. Tale deviazione andò accentuandosi nel successivo mese di giugno e proseguì - mediamente nella stessa direzione con alcuni contrasti - fino al 14 luglio, giorno in cui (alle 15^h 15^m ca.) una sensibile scossa di terremoto mise in allarme tutta la zona attorno a Tolmezzo.

Subito dopo il terremoto del Cile del 1960 che diede luogo alle prime registrazioni ed inequivocabili identificazioni delle oscillazioni libere della Terra, Caloi si occupa anche di questo argomento suggerendo l'interessante ipotesi che i periodi lunghissimi registrati e non spiegati dalle teorie correnti potevano essere interpretati come oscillazioni libere della crosta e di parte dell'astenosfera.

Nel 1961 egli porta la prima prova definitiva che il nucleo interno della Terra si comporta come un solido mediante l'osservazione delle onde PK *i* KP.

Caloi ha anche fatto numerosi importanti studi sul comportamento delle dighe e delle rocce dei bacini d'invaso ad esse connessi.

Fra questi lavori si deve ricordare quello nel quale egli nota che le velocità di propagazione delle onde elastiche P ed S intorno alla culla di una diga e nel piazzale a valle di essa, tendono a decrescere nel tempo a volte anche in modo rapido. Egli attribuisce la causa di tale diminuzione alla diffusa fratturazione provocata in vari modi, dai lavori di sbarramento, al gelo spinto che agisce sulle rocce e spinge il piede della diga verso monte.

Un altro filone di importanti ricerche condotte da Caloi riguarda le micro-variazioni della verticale sui bordi delle faglie del lago di Cavazzo che vengono con le variazioni della pressione barometrica trovando che queste, nonchè la caduta di pioggia, facilitano lo scorrimento della roccia sulle faccie della faglia. Per primo egli ha trovato che questi scorrimenti di tipo episodico causano microsismi che contribuiscono ad attenuare la sismicità locale soprattutto durante le grandi piogge.

In un altro lavoro, che possiamo ritenere di alto valore pionieristico, del 1949, servendosi della dispersione delle onde superficiali egli fornisce una determinazione dello spessore strato superficiale della Terra nel Nord Atlantico trovando valori tuttora validi.

Infine si devono ricordare le importanti ricerche condotte da Caloi sull'interazione fra atmosfera e idrosfera con gli studi delle sesse e delle onde termiche

nell'Alto Adriatico, nel Golfo di Civitavecchia e dei laghi di Bolsena, di Garda, Levico, Caldonazzo, Sauris, Albano, Como.

Molti di questi studi, come ad esempio quelli sulla previsione dei terremoti e sul comportamento delle dighe, venivano fatti con strumenti di propria progettazione e realizzazione come i pendoli orizzontali che nel 1951 per la prima volta venivano appunto usati per il controllo delle grandi strutture e per la previsione dei terremoti.

Caloi aveva le doti più importanti che uno studioso ricercatore possa avere, capiva quali fossero i problemi più importanti della scienza, capiva quali erano gli osservabili importanti del problema, e sapeva anche come misurarli con strumentazione originale che egli stesso progettava e realizzava. Andava allo scopo senza passi falsi.

Il suo carattere ed il suo profondo interesse per la scienza lo hanno portato verso una concezione unitaria della vita, egli sosteneva che la natura va coltivata e non manomessa, che agire senza conoscere completamente quali siano le conseguenze e senza sapere con certezza se si alterino degli equilibri esistenti, non è scienza ma affidarsi al caso.

Nato in campagna, circondato dai fenomeni naturali, formò lì il suo amore per la natura, durante l'infanzia. Egli si avvicinava alla scienza ed alla natura con scrupolosa e grata sollecitudine.

« Senza lume di trascendenza non c'è pace nel lavoro, non c'è lavoro in pace senza Dio »: queste parole erano scritte sulla lavagna del suo studio presso l'Istituto Nazionale di Geofisica ed in questo sentimento vanno inquadrati, la sua passione per le scienze e per la montagna.

Oltre la bellezza spettacolare Egli trovava nella montagna profondi valori spirituali. Il lavoro scientifico e l'interesse per la montagna forse erano anche il suo modo di realizzare la vocazione alla solitudine. Tuttavia Caloi si è spesso dedicato anche a problemi di interesse sociale come gli studi sulla sicurezza geodinamica di grandi dighe e manufatti, lo sprofondamento del delta padano, l'abbassamento di Venezia, la previsione dei terremoti, la sismicità delle regioni italiane.

Caloi aveva anche una vasta e approfondita cultura umanistica che gli permetteva di avere una visione unitaria della Scienza del mondo e della vita, di rivolgersi alla scienza con discrezione e rispetto, pur essendo conscio del proprio valore e delle proprie capacità.

La profonda dignità morale ed il fermo convincimento delle proprie idee lo hanno portato a procedere per la propria strada, noncurante di trovarsi da solo, talora senza il riconoscimento, sovente senza gli appoggi che meritava, a difendere un'idea sia morale sia scientifica, in un'epoca, di tristi mode intellettuali e penosi conformismi. Un isolamento che in Lui va inteso soprattutto come un modo per realizzarsi.

Egli vedeva nel sano attaccamento alle nostre tradizioni culturali e civili una delle forze necessarie alla vita del Paese. Fedele a questi principi pubblicava

la maggior parte dei suoi lavori scientifici in italiano: questo non costituiva un limite alla diffusione dei suoi importanti risultati che venivano letti ed apprezzati dai migliori sismologi del mondo.

Va inoltre sottolineato che Caloi, per quasi 50 anni è stato di gran lunga il sismologo più importante nella cultura scientifica italiana. La stima che aveva ed ha tuttora all'estero è testimoniata dal volume di *Annali di Geofisica* preparato per festeggiare i suoi 70 anni con la collaborazione dei più importanti sismologi del mondo. In questo volume vi è anche l'elenco delle sue 213 pubblicazioni.

Un'ulteriore testimonianza dell'importanza della sua opera è il volume « *La Terra e i terremoti* » edito dalla nostra Accademia nel quale, in più di 500 pagine con organicità, eleganza e completezza, si colma la gravissima lacuna della trattazione in lingua italiana degli argomenti di sismologia; inutile dire che il volume è all'altezza dei migliori trattati di sismologia del mondo.

Se non fosse stato per la Sua presenza, la scienza italiana avrebbe avuto un vuoto incolmabile e senza attenuanti.

La nota forse più importante della sua personalità umana è la splendida solitudine nella quale ha lavorato con i pochi collaboratori che aveva a disposizione all'Istituto Nazionale di Geofisica, una solitudine nella quale poteva vivere e produrre scientificamente lavori di altissimo livello solo perchè Egli aveva le doti più importanti di uno studioso ricercatore: sapeva riconoscere prima degli altri i veri problemi della scienza del suo tempo e sapeva come affrontarli e risolverli.