

VITTORIO CANTÙ

RAPPORTI TRA FENOMENI METEOROLOGICI E SISMICI E FENOMENI SISMICI PROVOCATI DALL'UOMO

Premessa. – Nel 1984, una persona che aveva voce in capitolo al Ministero della Protezione Civile, poco convinta dalle frettolose e superficiali risposte negative che riceveva abitualmente, mi fece invitare in via personale e riservata a esaminare la possibilità che alcuni fenomeni meteorologici agissero come detonatori di terremoti. Dopo qualche intervista e l'esame di alcune annate dell'«Abstract Journal in Earthquake Engineering» e di pubblicazioni ivi citate, presentai una breve relazione nella quale concludevo che l'argomento risultava completamente abbandonato dalla letteratura scientifica, prospettando però, al tempo stesso, un'insperata apertura: l'Istituto di Geofisica di una delle più illustri università italiane era disposto a guidare, in una ricerca sull'argomento, un laureando che potesse fruire di un'apposita borsa di studio. Non mi risulta peraltro che tale proposta abbia avuto seguito.

Nell'estate 1985 fui invitato a parlare dei rapporti tra fenomeni meteorologici e sismici al convegno *Prevedibilità dei terremoti*, che si tenne a Benevento il 23 e 24 novembre di quell'anno; convegno largamente aperto al pubblico, nel quale ritenni opportuno accennare anche ai microsismi (Cantù, 1985). Mi fu offerto ancora di trattare di questo tema il 1° dicembre 1993 al convegno *Proposte e contributi per la realizzazione del Museo di Sismologia dell'UCEA* (Ufficio Centrale di Ecologia Agraria, erede dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica). Né l'uno né l'altro convegno pubblicò i propri atti.

Mi sembra opportuno riferire notizie e riflessioni sui rapporti tra fenomeni meteorologici e sismici, più volte riproposti. Li ripropose, per esempio, J. Namias (1911-1997), meteorologo di primo piano, membro del gruppo cui si devono le prime previsioni numeriche, poi dedicatosi allo studio delle previsioni climatiche (previsioni degli indici di media delle grandezze meteorologiche riferite ad aree piuttosto vaste a distanza di parecchi mesi) e delle teleconnessioni (collegamenti tra cambiamenti di condizioni meteorologiche in regioni molto lontane tra loro, come, per esempio, la significativa correlazione scoperta tra la temperatura del Pacifico orientale e le piogge dell'Africa occidentale). Adottando la stessa tecnica, Namias (1988 e 1989) mise in luce una correlazione tra la frequenza dei terremoti in California e la configurazione del

campo della pressione atmosferica in un ambito piuttosto vasto avente al centro quella regione. Ne rimasi sorpreso, perché riemergevano relazioni prese in considerazione fin verso il 1920, ma poi praticamente abbandonate ⁽¹⁾. Namias cita un paio di articoli contenenti spunti analoghi (Nicholls, 1988; Walker, 1988); abbozza una proposta di spiegazione fisica dei fatti rilevati, fondata sull'azione di forze orizzontali generate da differenze di pressione atmosferica; e conclude che il problema può essere affrontato solo attraverso la collaborazione di parecchi studiosi.

I segni d'interesse manifestatisi per il problema che sto affrontando mi avevano spinto a ricercarne i motivi, che avevo creduto di individuare nell'ampia letteratura sui terremoti provocati da laghi artificiali e nei risultati dello studio sistematico dei fenomeni che si manifestano in prossimità delle dighe. Nella comunicazione presentata al citato convegno dell'UCEA accennai a questi studi, così come a quelli sui brontidi, condotti in buona parte da studiosi legati all'istituto ospitante.

In questa sede mi sembra opportuno sviluppare maggiormente gli argomenti «accessori», perché appaiono di interesse geografico, e anche perché non se n'è parlato molto.

Rapporti tra fenomeni meteorologici e sismici: idee tradizionali, loro crisi e segni di un nuovo interesse. – Per secoli fu diffusa, e probabilmente dominante, l'idea che i terremoti fossero provocati da sostanze, di fatto corrispondenti al nostro concetto di aeriformi, che avrebbero premuto variamente in cavità sotterranee. Mi esprimo volutamente in modo cauto e alquanto vago, cercando di tener conto della concezione, predominante fino all'età moderna, dei quattro «elementi» (fuoco, aria, acqua, terra), ciascuno tendente a raggiungere il luogo a lui proprio. Il radicarsi di tale impostazione mentale si deve, come in molti altri casi, ad Aristotele (e ancor più all'aristotelismo).

Secondo l'autorevole sismologo statunitense L. Don Leet (1953, p. 41), anche l'idea popolare che il tempo di una giornata afosa e senza vento sia «tempo da terremoti» risalirebbe ad Aristotele. In realtà, questi pensa che i terremoti siano causati dall'accumulo sotterraneo di un *pneuma* che il traduttore dell'edizione da me consultata intende come esalazione secca della Terra (o come soffio), qualcosa, insomma, in cui può riscontrarsi il carattere di aeriforme. Aristotele ritiene che i terremoti siano più frequenti e violenti quando l'atmosfera è più calma, e cioè di notte e verso mezzogiorno. Probabilmente queste opinioni si sono cristallizzate nella forma apodittica riferita da Don Leet, dotata di caratteri di chiarezza e suggestività atti a imprimerla nella mente degli ascoltatori per un processo di «scolasticizzazione» ⁽²⁾.

(1) Tanto che un biografo del Namias le qualificava come «impopular» (Cayan, 1998, p. 1093).

(2) Ho scritto «scolasticizzazione» usando il termine in senso generico, ma nella voce *Scolastica* dell'*Enciclopedia Italiana*, redatta da Francesco Pelster, si legge che tale indirizzo cerca per prima cosa «la trasmissione ed elaborazione del tesoro di verità già acquisito» (Fr. P., p. 192); parole che mi sembrano offrire la traccia per inserire la mia ipotesi in un contesto storico concreto.

Nel secolo XIX la concezione citata all'inizio di questo paragrafo era così diffusa che la «Corrispondenza Scientifica» edita a Roma da Erasmo Fabri Scarpellini dedica la prima pagina di un suo fascicolo alla proposta, formulata da Giuseppe Ponzi, di provocare un «para-terremoto», raggiungendo con pozzi le cavità dove si trovano i gas in pressione in modo da dar loro uno sfogo. E Michele Stefano De Rossi (1834-1898), uno dei padri riconosciuti della moderna sismologia, intitolava *Meteorologia endogena* il suo trattato pubblicato tra il 1879 e il 1882.

Anche più tardi, già nel XX secolo, il sismologo giapponese F. Omori volle controllare quanti dei diciotto principali terremoti registrati nel suo paese fra il 1361 e il 1891 fossero stati accompagnati da particolari condizioni meteorologiche. Il risultato fu: nemmeno uno.

Nell'ultimo decennio dell'Ottocento e nel primo quarto del Novecento gli studi che prendevano in esame fenomeni meteorologici come causa scatenante dei terremoti (peraltro utilizzando quasi sempre la dizione «causa secondaria») furono numerosi. Viktor Conrad (1876-1962), geofisico di prim'ordine fornito di una buona preparazione statistica, ne fa un'ampia rassegna nello *Handbuch der Geophysik*, coordinato da B. Gutenberg (1932): ne liquida gran parte con argomenti statistici (dimostrando, per esempio, che la maggior frequenza dei terremoti per un determinato andamento della pressione atmosferica dipende semplicemente dalla maggior frequenza di quell'andamento); ma ne giudica validi alcuni che riconoscono l'effetto scatenante a gradienti della pressione atmosferica normali alle faglie oppure alle precipitazioni (indicando in genere un ritardo di circa un mese tra i valori estremi dei totali mensili delle precipitazioni e quelli del numero mensile dei terremoti).

Da un punto di vista generico di storia della scienza è interessante osservare come dai lavori esaminati emerga che ancora negli anni Venti del Novecento molti studiosi di un certo prestigio ignoravano beatamente i concetti più elementari della statistica e che invece la concezione del terremoto come movimento di una faglia andava rapidamente affermandosi.

Il Conrad prese più tardi in seria considerazione l'opera di F. Nopcsa (1933), il quale aveva supposto che variazioni di pressione possono essere efficaci se si sommano alla tendenza di una regione a sollevarsi o abbassarsi: egli aveva raccolto molto altro materiale e abbozzato un secondo saggio, quando la morte lo sorprese, nello stesso anno 1933. L'articolo fu condotto a termine da Conrad (Nopcsa e Conrad, 1936), il quale lo fece seguire da un altro, suo personale, di critica, concludendo che i risultati ottenuti per le aree in corso di sollevamento e di abbassamento in Italia (71% dei terremoti con diminuzione e 78% con aumento della pressione) e in Norvegia (95% dei terremoti con aumento della pressione) erano validi.

Nopcsa si era occupato soltanto delle variazioni della pressione atmosferica nelle 24 ore, dividendole in tre gruppi: gruppo 0, variazioni comprese tra + 0,9 e - 0,9 mm Hg; gruppo +, aumenti superiori a 0,9 mm Hg; gruppo -, diminuzioni superiori a 0,9 mm Hg. Riprendere la sua impostazione potrebbe ancora aiutare a chiarire le idee. Mi sembrerebbe però opportuna un'elaborazione più

articolata, oggi assai più facile perché si dispone di mezzi di calcolo molto efficaci e di numerose ottime carte sinottiche quotidiane: per lo meno metterei in evidenza tutti i periodi di aumento e di diminuzione ininterrotta della pressione di almeno 1,5 hPa per durata fino a 3 ore, di 6 hPa per durata fino a 6 ore, di 10 hPa per durata fino a 24 ore e li suddividerei in funzione sia della durata sia dell'intensità. Nopcsa (1933) scrive di aver depositato molto materiale da lui non utilizzato presso la Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik di Vienna, «con la condizione che fosse sempre posto gratuitamente a disposizione di tutti i ricercatori seri». Nel 1986 ne richiesi la consultazione tramite il professor Friedrich Lauscher, ma mi fu risposto che non si riusciva a trovarlo.

Che si stesse abbandonando l'impostazione tradizionale emerge dalla voce *Terremoto* dell'*Enciclopedia Italiana* (1937), nella quale G.B. Alfano scriveva che è «infondato il ritenere che i terremoti possano essere provocati da alta temperatura dell'aria, da notevoli depressioni atmosferiche, quantunque possa essere preso in considerazione come causa concomitante un notevole gradiente barometrico sui margini di una frattura terrestre» (Alfano, 1937, p. 643). A quest'ultima ipotesi si ricollega M. Bossolasco (1903-1985), il quale, avendo notato che spesso l'avanzare verso oriente di un anticiclone è accompagnato da una serie di terremoti non molto intensi che si verificano tanto più tardi quanto maggiore è la loro longitudine, proponeva come meccanismo d'azione l'inclinarsi (*tilting*) della crosta terrestre in presenza di forti gradienti barici e l'intervento di sacche di aeriformi in precaria comunicazione con l'atmosfera (Bossolasco, 1962). Per quest'ultimo accenno, il Bossolasco potrebbe essere considerato come epigono della tradizione aristotelica. Dopo di lui, infatti, per almeno un ventennio i geofisici furono concordi nell'escludere recisamente ogni possibilità di rapporti tra fenomeni meteorologici e sismici.

Colsi un primo segno di ripensamento in occasione del II Convegno Nazionale di Geofisica della Terra solida, nei cui atti appare il riassunto di un articolo di G. Salemi e F. Mulargia (1984) su 8.930 microterremoti verificatisi nello Stretto di Messina a partire dagli anni Cinquanta. I due studiosi ritengono probabili correlazioni tra variabili atmosferiche e micrososse, correlazioni «la cui plausibilità fisica viene facilmente verificata». Il lavoro completo sarebbe dovuto apparire nel «Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata», ma non mi risulta che ciò sia avvenuto. Poco più tardi E. Boschi e M. Dragoni (1986) segnarono al grande pubblico che si va facendo strada l'ipotesi che terremoti anche importanti possano essere dovuti a fratture che si propagano lentamente da un innesco modestissimo, per il quale si prendono in considerazioni le variazioni della pressione atmosferica e dell'attrazione luni-solare.

A questo punto ritengo opportuno accennare a fatti che, a mio avviso, hanno propiziato quest'evoluzione della teoria sismologica: i fenomeni attribuiti ai grandi invasi artificiali, all'intenso sfruttamento dei campi geotermici e petroliferi, alla reiniezione di acqua in pozzi profondi, gli esperimenti di laboratorio su rocce sature (in particolare su rocce sottoposte a sollecitazioni da taglio), gli eventi registrati nei pressi delle dighe.

Terremoti provocati da laghi artificiali. – Il primo terremoto attribuito a un lago artificiale si verificò nel maggio 1939, con magnitudo 5,0 presso il Lago Mead, lungo il corso del Colorado, tra Arizona e Nevada e fu segnalato in uno scritto di Mead e Carder del 1941 (Bolt, 1982, p. 122). In seguito eventi del genere sono stati segnalati e studiati in tutto il mondo.

Nel 1963, una volta completato il riempimento, iniziato nel 1958, del lago generato dalla diga di Kariba (tra lo Zambia e la Rhodesia, oggi Zimbabwe), si registrarono più di 2.000 piccole scosse, che culminarono con una di magnitudo 6,1 il 23 settembre di quell'anno (Bolt, 1982, p. 122; Wood e King, 1977). In Cina, il Lago di Xinfengjiang, in passato translitterato Hsinfengkiang, poco a nord di Canton, tra il 1959 (anno di completamento della diga) e il 1972 provocò 250.000 piccole scosse, la più forte delle quali (19 marzo 1962) raggiunse la magnitudo 6,1 (Bolt, 1982, p. 123; Wood e King, 1977). In India, dopo che, nel 1963, era stato avviato il riempimento dell'invaso di una diga prossima alla città di Koyna, cominciarono a prodursi frequenti scosse con epicentro poco profondo sotto il lago, in un'area prima praticamente asismica. Le scosse proseguirono con una frequenza che risultò in correlazione con le precipitazioni atmosferiche; verso la fine del 1967 divennero ancor più frequenti, finché, il 10 dicembre, un terremoto di magnitudo 6,5 causò 177 morti. Nel 1982 fu comunicato che si era riusciti a ridurre il rischio sismico modulando opportunamente il livello dell'acqua (Murti, 1982; Wood e King, 1977; Gupta, 1985). In Grecia, nel luglio 1965 si cominciò a riempire il Lago di Cremasta. Le scosse che, sia pure raramente, si erano avvertite fin dall'agosto, divennero molto frequenti in dicembre; il 5 febbraio dell'anno seguente se n'ebbe una di magnitudo 6,2 che provocò sensibili danni (Wood e King, 1977). In California tre laghi artificiali – quelli di Mendocino, nell'omonima contea, di Cronley, nella contea di Mono, e di Oroville, nella contea di Butte – scatenarono terremoti che raggiunsero magnitudo tra 5 e 6. Sembra accertato che nel Lago di Oroville la sismicità sia in correlazione con le variazioni stagionali della massa d'acqua invasata (Bolt, 1982, pp. 125-130; Topozada e Morrison, 1982; Allen, 1982). In Thailandia, il 22 aprile 1983, si verificò un terremoto di magnitudo 5,9 la cui origine fu attribuita al lago artificiale di Srinakarind (Tanuwong, 1985).

I numerosi laghi artificiali italiani non sembrano avere scatenato terremoti importanti. L'evento principale dovrebbe essere quello generato dagli impianti costruiti nella Valle del Gesso, presso Entracque, che fanno capo al Lago del Chiotas: «il cosiddetto “terremoto di Entracque”, una serie di tremiti, boati e brontolii sotterranei e anche di vere e proprie scosse telluriche avvertite a periodi alterni dal 1966 al 1977; secondo l'ENEL, dovuti alla naturale sismicità della zona, secondo la popolazione locale, invece, all'insufficiente impermeabilizzazione e alle conseguenti forti perdite d'acqua che avrebbero provocato crolli sotterranei e movimenti di assestamento» (Segre, 1994, p. 828). Una nuova scossa di terremoto interessò i comuni di Entracque Valdieri e Limone Piemonte a tarda sera del 1° settembre (o 31 agosto) 2003 («Il Sole-24 ore», 2 settembre 2003).

Gli studi relativi a eventi sismici connessi con i laghi artificiali hanno generalmente messo in evidenza una correlazione con la profondità e il volume dell'invaso (Gao, 1984; Gupta e Rastogi, 1974; Lomnitz, 1974; Baecher e Keeney, 1982; Ishikawa e Oike, 1982; Murti, 1982). Tra i risultati degli studi ricordati, appaiono particolarmente interessanti le conclusioni di Ishikawa e Oike (1982: nei casi considerati si attivano faglie che s'indeboliscono se permeate d'acqua, diverse da quelle attivate da forze tettoniche) e di Gao (1984: entrano in gioco le deformazioni dovute al peso dell'acqua, l'alterazione del campo gravitazionale dovuto alla sua massa e la «dilatanza», cioè l'aumento di volume di una roccia satura soggetta a sollecitazioni di taglio, che talora si manifesta con rigonfiamenti del suolo).

Fenomeni sismici prodotti da immissione di fluidi in pozzi profondi e da campi geotermici e petroliferi. – Un incremento dell'attività sismica, con magnitudo fino a 4,3 fu segnalato nel 1962 dopo l'immissione di acque reflue in un pozzo profondo 3.760 m a Denver, nel Colorado. Il fenomeno fu confermato da esperimenti condotti sempre nel Colorado, a Rangely.

I campi geotermici (come pure quelli metaniferi e petroliferi) provocano in genere fenomeni sismici deboli, non superiori alla magnitudo 3,5. Tuttavia, eccezionalmente, i campi geotermici hanno scatenato terremoti rilevanti, come quelli verificatisi nel campo di Cerro Prieto, nel Messico, dove, in seguito a un incremento dell'estrazione di fluidi caldi, nel 1979, ebbero luogo un terremoto di magnitudo 6,6 a Valle Imperial, nell'ottobre dello stesso anno, e un altro, di magnitudo 6,1 a Victoria, nel giugno dell'anno successivo; a un ulteriore incremento dell'estrazione, nel 1986, seguì, nel febbraio 1987, un terremoto di magnitudo 5,4 a Cerro Prieto.

In Italia «i reflui liquidi delle centrali reimmessi sono controllati per accertare una loro eventuale influenza sull'evoluzione della sismicità» (R. Galli, 1994, p. 788). Il campo geotermico di Larderello di norma ha provocato eventi sismici di magnitudo inferiore a 3 (Batini, Console e Luongo, 1985).

Esperimenti in laboratorio e studio sistematico degli eventi registrati nei pressi delle dighe. – Basterà ricordare in proposito gli interessantissimi risultati ottenuti da Pietro Caloi (1907-1978), forse il massimo sismologo italiano delle generazioni ormai consegnate al giudizio della storia. La loro importanza è riconosciuta in campo internazionale.

Nella faglia del Lago di Cavazzo, che sorvegliava – oserei dire – con cura amorosa, Caloi misurò dei micromovimenti provocati dalle piogge, dal prolungato aumento della pressione e dalle rapide oscillazioni che accompagnano la prima fase di tale aumento (Caloi e Migani, 1972 e 1975; Caloi, 1975); e riconobbe microscosse conseguenti a microfratture verificatesi presso una diga per effetto di gelo spinto (Caloi, Migani e Spadea, 1972). Sorprende che gli eventi segnalati dal Caloi e le sue ricerche non abbiano suscitato più vasto interesse, almeno stando alla bibliografia corrente.

I microsismi. – I microsismi (che, a differenza dei terremoti, non hanno la loro origine in fratture della crosta terrestre) sono piccole oscillazioni della crosta stessa, dell'ampiezza di qualche micron e del periodo di pochi secondi, messe in luce nel 1870 dal barnabita bolognese Timoteo Bertelli (al secolo Leopoldo, 1826-1905) riflettendo sui moti «spontanei» di pendoli segnalati dall'alessandrino Pietro Parnisetti nel 1855.

Le prime osservazioni del Bertelli risalgono al 1868, subito dopo il suo trasferimento al collegio fiorentino «alla Querce», dove un altro barnabita sperimentava sulla risonanza dei pendoli. Nello stesso anno il Bertelli realizzò un primo apparecchio misuratore di microsismi, il «tromometro» (Bertelli, 1873a), cui nel 1872 seguirà il «tromosismometro» (Bertelli, 1873b), capace di rilevare sia i microsismi sia i terremoti. Uno studio compiuto senza indugio dimostrò che il fenomeno era stato osservato già nel XVII secolo da A. de Calignon Peirins e poi da altri, senza che si fosse raggiunta una qualche spiegazione (Bertelli, 1873a). Bertelli si rese conto del fatto che la maggior parte dei microsismi è dovuta a perturbazioni atmosferiche e specialmente a variazioni della pressione, tanto che coniò per essi il termine «barosismi» (Maffi, 1905; Melzi d'Eril, 1905b).

Sui microsismi si è scritto moltissimo: una bibliografia pubblicata nel 1940 dal California Institute of Technology contiene alcune centinaia di schede. È strano che si sia tanto stentato a concludere che la loro relazione con le perturbazioni barometriche passa attraverso il mare, e più propriamente attraverso il fondo del mare.

Nel 1900 J. Algué, direttore dell'osservatorio istituito a Manila dalla Compagnia di Gesù per individuare tempestivamente l'arrivo dei tifoni, segnalò il manifestarsi di microsismi in concomitanza di cicloni tropicali sull'Oceano Pacifico. E. Wiechert e B. Gutenberg chiamarono in causa l'urto dei marosi contro ripide coste rocciose. H. Benndorf concluse che condizione necessaria (ma non sufficiente) per il verificarsi di microsismi nell'Europa occidentale è la presenza di un marcato centro depressionario sull'Atlantico (Giorgi e Rosini, 1950). Nel dibattito intervenne anche E. Gherzi (1924 e 1925), direttore di un osservatorio simile a quello di Manila installato a Zikawei, presso Shanghai: con una delle sue felici intuizioni, derivata da una riflessione accurata su tutti i fatti osservabili (compresa la frequenza degli scrosci di pioggia che battono sui vetri), Gherzi si convinse che gran parte dei microsismi è generata da oscillazioni della pressione nell'ambito di cicloni, trasmesse al fondo oceanico dalla massa liquida sovrastante.

Idee più chiare si diffusero soltanto negli anni Trenta, come appare da voci dell'*Enciclopedia Italiana* redatte da Aldo Sestini, che cita tra le possibili cause frangenti marini e oscillazioni di temperatura, ma specialmente venti e variazioni di pressione (Sestini, 1934), e Giovanni Battista Alfano, che concentra già l'attenzione sulle depressioni cicloniche (Alfano, 1936, p. 920). A partire dal 1944 negli Stati Uniti i microsismi furono utilizzati con successo per individuare uragani sul mare e valutarne l'intensità (Gilmore, 1954), tanto che il fondamentale *Compendium of Meteorology* dedica a essi ben due articoli (Gutenberg, 1951; Macelwane, 1951).

Credo che tra le ricerche posteriori siano da segnalare quelle del Caloi, il quale se ne occupò per una quarantina d'anni. In una prima fase egli studiò numerosi casi di microsismi, scelti sia tra quelli più importanti, prodotti da perturbazioni atmosferiche su oceani e mari, sia tra quelli minori, dovuti a cause varie, ad esempio l'attività vulcanica. In una seconda fase riuscì a sperimentare in condizioni tali da riuscire a isolare le singole cause ipotizzate: particolarmente brillanti mi sembrano gli esperimenti condotti nel 1970, che dimostrarono come i microsismi si producano quando una perturbazione barica sovrasta la massa d'acqua e come a generarli sia proprio quest'ultima. In una terza fase Caloi abbozzò una teoria generale dei microsismi, che prende le mosse da quella della formazione e della trasformazione delle onde nei corpi idrici e, tenendo conto della morfometria dei vari bacini e della direzione e del verso del vento, spiega con chiarezza tutte le frequenze più note dei microsismi e include come casi particolari ipotesi intorno alle quali si era lungamente dibattuto, come quella di Longuet-Higgins (Caloi, 1971 e 1973; Caloi e Migani, 1971).

I brontidi. – I brontidi sono rumori di frequenza molto bassa, al limite dell'udibilità, che «cominciano deboli, poi rinforzano e poi scemano [...] avanti di finire» (Alippi, 1901, pp. 11-12).

Il primo a segnalarli fu il fisico Hugli, intorno al 1830, nei cantoni svizzeri di Friburgo, Berna, Solothurn e Argovia (Alippi, 1907). Destarono ben presto attenzione anche quelli che si odono a Barisal, nel delta del Gange (*Barisal guns*), tanto che l'Asian Society of Bengal, che all'epoca godeva di un notevole prestigio, già dalla fine del secolo XIX ne aveva promosso lo studio (Cancani, 1898).

A diffondere l'interesse per il fenomeno fu il belga Van der Broek che, con una serie di articoli, poi raccolti in un volume (1896), descrisse i boati percepiti lungo le coste belghe e olandesi e promosse un'inchiesta in proposito. L'appello di Van der Broek suscitò attenzione in Italia. Il noto sismologo Giovanni Agamennone (1858-1949) informò che il fenomeno era stato osservato in Sabina. Un altro sismologo, Alfredo Cancani, avviò ricerche in merito, di cui diedero notizia prima lo scolopio Giovanni Giovannozzi, direttore dell'Osservatorio Ximeniano, di Firenze (1897), e poi il Cancani stesso (1898). Negli anni successivi affrontarono il problema, fra gli altri, due studiosi di grande rilievo: il geografo Mario Baratta, noto in particolare per aver compilato il primo soddisfacente catalogo dei terremoti italiani; e il geofisico, con interessi prevalentemente meteorologici, Tito Alippi. I loro scritti consistono più che altro nei risultati dell'inchiesta che fu promossa dal Regio Ufficio di Meteorologia e Geodinamica e che coprì l'intero territorio nazionale e fu estesa ai tempi passati. I risultati finali sono esposti in due scritti conclusivi dell'Alippi (1907 e 1911).

I brontidi furono direttamente percepiti, in Italia, anche da studiosi qualificati, come risulta da diverse testimonianze. Nel citato Collegio alla Querce, a Firenze, li udirono più volte il Bertelli e il Melzi d'Eril, i quali dichiararono che si trattava di rumori inconfondibili che sembravano provenire dal mare. Questa della provenienza marina sembra una sensazione ricorrente, specialmente da parte

delle popolazioni delle aree interessate che spesso indicavano i brontidi come il «rombo o «ruglio» della marina». A Roma, il 16 febbraio 1900, li percepirono più volte alcune persone nell'Istituto di Fisica dell'Università, tra cui Quirino Maiorana, e lo stesso giorno, nel vicino Istituto di Botanica, il direttore Pietro Romualdo Pirotta, e all'aperto, poco distante, alcuni operai.

Secondo i risultati dell'inchiesta, i brontidi si percepiscono prevalentemente al mattino e verso sera, con cielo sereno e aria calma e sono diffusi in tutta Italia, ma con una frequenza maggiore nelle regioni appenniniche e decisamente minore in quelle alpine e in Sardegna. Le cronache più antiche li segnalano quasi esclusivamente nei periodi sismici, mentre nell'Ottocento ricorrono notizie di brontidi almeno apparentemente non correlabili con attività sismica.

L'argomento dei brontidi, che tanto interesse aveva suscitato tra gli studiosi italiani negli ultimi anni del secolo XIX e nel primo decennio del Novecento, risulta completamente abbandonato a partire dal 1911, come si ricava anche dalla consultazione delle bibliografie geografiche delle regioni italiane del CNR e dalla «Bibliografia Geografica della Regione Italiana» edita dalla Società Geografica Italiana.

La letteratura scientifica internazionale considerò a lungo i brontidi degni di menzione. Non mi è stato possibile compiere una ricerca bibliografica sistematica e debbo limitarmi a citare pochi esempi. W.J. Humphreys dedica un breve paragrafo del suo libro (1942, p. 264) ai *brontides*, considerandoli di probabile origine sismica. Nel prestigioso *Glossary of Meteorology* (1959, p. 8) si legge: «brontides – Low rumbling, thunder-like sounds of short duration, most frequently heard in active seismic regions. Since such sounds are heard in completely clear air, it is believed that they are of seismic origin. Throughout the world there are many local names applied to this phenomenon». L'edizione 1962 dell'*Encyclopaedia Britannica* ricorda il fenomeno alla voce *Barisal*, specificando che i boati sembrano provenire dal mare, che non sono stati spiegati in maniera soddisfacente e che «potrebbero essere sismici». In pubblicazioni posteriori non mi è riuscito di trovare menzione del fenomeno.

I brontidi sono percepiti anche ai giorni nostri, per esempio a Grotte Santo Stefano, presso Viterbo. Ne percepì tre – come rumori gradualmente crescenti che poi cessarono bruscamente e durarono una ventina di secondi – il 4 settembre 2002 intorno alle 17 tra l'Isola Lunga e la Grande Incoronata (posizione 43°44' N, 15°25' E) l'equipaggio di una barca a vela che aveva a bordo anche me. Successivamente a p. 207 della guida *Venezia Giulia e Dalmazia* (Bertarelli, 1934) mi avvenne di leggere «Sono anche note le cosiddette denotazioni di Méle-da [sempre in Dalmazia, ma più a S], boati che da alcuni si credono determinati da fatti sismici e da altri sono messi in rapporto con grotte».

Conclusioni e proposte. – Con tutte le riserve imposte dalle circostanze, credo di poter concludere che degli argomenti discussi in questa sede soltanto quello dei microsismi possa considerarsi «esaurito».

Per quanto riguarda i rapporti tra fenomeni meteorologici e sismici, auspicarei un primo passo verso idee più chiare. Ritengo che si potrebbe costituire un piccolo gruppo di lavoro che nel giro di un anno, o poco più, sia in grado di produrre una bibliografia critica sull'argomento e una sintetica relazione conclusiva. Il gruppo dovrebbe comprendere un meteorologo, un sismologo, un coadiutore tecnico tuttofare (del genere così ben rappresentato dai sottufficiali del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica) e una segretaria: persone che si potrebbero reperire nelle pieghe degli organismi già esistenti; avrebbe bisogno di fondi modesti e di agilità amministrativa.

Le ricerche sugli effetti sismici dei laghi artificiali e dell'estrazione di fluidi dal sottosuolo (o dell'immissione di fluidi in pozzi profondi) mi paiono importantissime: da un lato per il loro interesse sociale, visto che in più casi essi hanno provocato danni rilevanti e addirittura perdita di vite umane; dall'altro perché aiuterebbero a chiarire la genesi dei sismi a ipocentro poco profondo (nella quale è universalmente attribuito un ruolo all'acqua) e a definire meglio la probabilità che una data località sia colpita da un terremoto in un certo intervallo di tempo.

Gli eventi considerati possono gettare qualche ombra sulle fonti di energia rinnovabili e non inquinanti; ma la mia impressione è che ancora una volta la scienza e la tecnica siano in grado di controllare i fenomeni dannosi che esse stesse possono aver provocato.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ADAMS R.D., *Statistical Studies of Earthquakes Associated with Lake Bemmure, New Zealand*, in «Engineering Geology», Houghton, 1974, 1-2, pp. 155-169.
- ALFANO G.B. [G.B.A.], *Sismologia*, in *Enciclopedia Italiana di Scienze, Lettere ed Arti*, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana, XXXI, 1936, pp. 916-920.
- ALFANO G.B. [G.B.A.], *Terremoto*, in *Enciclopedia Italiana di Scienze, Lettere ed Arti*, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana, XXXIII, 1937, pp. 639-644.
- ALIPPI T., *I mistpoeffers calabresi*, in «Bollettino della Società Sismologica Italiana», Roma [d'ora in avanti: «BSSI»], 1901, pp. 9-22.
- ALIPPI T., *I «bonniti» del Monte Nerone*, in «BSSI», 1902, pp. 229-236.
- ALIPPI T., *Il «baturlio della marina» nelle campagne aretine e la «romba di Sassuolo» nelle campagne bolognesi e modenese*, in «BSSI», 1904 (a), pp. 114-118.
- ALIPPI T., *Bonniti e bombiti nell'alto Appennino marchigiano, in relazione ai fenomeni sismici della regione*, in «BSSI», 1904 (b), pp. 99-114.
- ALIPPI T., *Di un fenomeno acustico della terra e dell'atmosfera*, in «BSSI», 1907, pp. 9-42.
- ALIPPI T., *Nuovo contributo all'inchiesta sui brontidi*, in «BSSI», 1911, pp. 65-77.
- ALLEN C.R., *Reservoirs Induced Earthquakes and Engineering Policy*, in «California Geology», Sacramento, 1982, pp. 248-250.
- ANGLIN F.M. e G.G.R. BUCHBINDER, *Induced Seismicity at LG3 Reservoir, James Bay*,

- Quebec, Granada, in «Bulletin of Seismological Society of America», El Cerrito [d'ora in avanti: «BSSA»], 1985, pp. 1067-1076.
- ARISTOTELE, *Meteorologia*, traduzione di L. PEPE, Napoli, Guida, 1987.
- AVCHYAN G.M., N.A. BELYAEVSKIY e M.K. POLSHKOV, *A Single Mechanism for the Generation of Shallow Earthquakes and Their Precursors*, in «Physics of Solid Earth», Troitsk, 1977, pp. 763-768.
- BAECHER G.B. e R.L. KEENEY, *Statistical Examination of Reservoir-induced Seismicity*, in «BSSA», El Cerrito, 1982, pp. 553-569.
- BARATTA M., *A proposito dei «Mistpoeffers» italiani (il fenomeno del «tuono o mugglio della balza» e del «trabusso»)*, in «BSGI», 1901 (a), pp. 882-893.
- BARATTA M., *I terremoti d'Italia. Saggio di storia, geografia e bibliografia sismica italiana*, Torino, Bocca, 1901 (b).
- BARATTA M., *L'opera scientifica del P. Timoteo Bertelli*, in «RGI», 1905, pp. 193-203 e 340-350.
- BARONE G., *Les études et les découvertes de géodynamique en Italie*, in «Bulletin de la Société Belge d'Astronomie», Bruxelles, 1899, pp. 136-147, e 1900, pp. 42-47, 76-82, 101-108, 139-143, 172-181 e 189-203; in particolare, pp. 173-174.
- BÁTH M., *Introduction to Seismology*, Basilea, Birkhäuser, 1979 (II edizione).
- BATINI F., R. CONSOLE e G. LUONGO, *Seismological Study of Larderello-Travale Area*, in «Geothermics», Pisa, 1985, pp. 255-272.
- BERTARELLI L.V., *Venezia Giulia e Dalmazia*, Milano, TCI, 1934.
- BERTELLI T., *Osservazioni sismometriche fatte a Firenze al Collegio alla Querce dal P. D. Timoteo Bertelli dall'agosto 1871 all'ottobre 1872*, in «BMRCCAM», 1871 (a), 7 (certamente successivo al 1871), pp. 146-149.
- BERTELLI T., *Sismometrografo*, in «Bullettino Meteorologico del Real Collegio Carlo Alberto in Moncalieri», Moncalieri [d'ora in avanti: «BMRCCAM»], 1871 (b), 7, pp. 99-100.
- BERTELLI T., *Osservazioni microsismometriche fatte a Firenze*, in «BOCR», 1872 (a), 12, pp. 113-115.
- BERTELLI T., *Osservazioni sui piccoli movimenti dei pendoli in relazione ad alcuni fenomeni meteorologici*, in «Bullettino dell'Osservatorio del Collegio Romano», Roma [d'ora in avanti: «BOCR»], 1872 (b), 11, estratto di pp. 19.
- BERTELLI T., *Appunti storici intorno alle ricerche sui piccoli e spontanei moti dei pendoli, fatte dal sec. XVII in poi*, in «Bullettino di Bibliografia e Storia delle Scienze Matematiche e Fisiche», Roma, 1873 (a), gennaio, estratto di pp. 44.
- BERTELLI T., *Tromometro a prisma proposto per le osservazioni microsismiche*, in «BMRCCAM», 1873 (b), 10, pp. 145-148.
- BERTELLI T., *Tromosismometro*, in «Atti della Pontificia Accademia dei Nuovi Lincei», Roma, 1874, pp. 194-208.
- BOLT B.A., *I terremoti*, Bologna, Zanichelli, 1982.
- BOSCHI E. e M. DRAGONI, *Sono prevedibili i terremoti?*, in «Le Scienze», Milano, 1986, 212, pp. 46-52.
- BOSSOLASCO M., *Le cause meteorologiche dei terremoti*, in «Geofisica e Meteorologia», Genova, 1962, 5-6, pp. 131-137.
- BOZZO E., C. EVA e V. PASQUALE, *Stresses Induced by Loading of an Artificial Basin*, in

- «Tectonophysics», Amsterdam, 1985, 2, pp. 79-84.
- CALOI P., *Sismologia*, in *Enciclopedia Italiana*, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana, III appendice, II, 1961, pp. 755-756.
- CALOI P., *L'agitazione microsismica destata dalle perturbazioni meteorologiche*, in «Atti dell'Accademia Nazionale dei Lincei, Rendiconti della Classe di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali», Roma [d'ora in avanti: «Atti Lincei SMFN»], 1971, pp. 568-576 e 709-719.
- CALOI P., *I microsismi come onde di Lamb-Raleigh*, in «Annali di Geofisica», Roma [d'ora in avanti: «AG»], 1973, pp. 107-129.
- CALOI P., *I micromovimenti di una faglia come attenuazione della sismicità locale: variazioni della verticale a Somplago, associate al transito di variazioni bariche*, in «Atti Lincei SMFN», 1975, 3, pp. 1-6.
- CALOI P. e M. MIGANI, *Microsismi da piccoli bacini chiusi, da mari interni, da oceani*, in «AG», 1971, pp. 515-549.
- CALOI P. e M. MIGANI, *Movimenti della faglia del lago di Cavazzo, in relazione con la locale caduta di pioggia*, in «AG», 1972, pp. 1-14.
- CALOI P. e M. MIGANI, *Micromovimenti nella Centrale di Somplago, presso la faglia del lago di Cavazzo. I micromovimenti comunque legati all'attività della Centrale, alla pressione atmosferica o d'origine astronomica*, in «Atti Lincei SMFN», 1975, 6, pp. 911-918.
- CALOI P., M. MIGANI e M.C. SPADEA, *Il comportamento di una grande diga sotto il gelo spinto*, in «AG», 1972, pp. 506-525.
- CANCANI A., *Barisal-gun, Mistpoeffers, Marina*, in «BSSI», 1898, pp. 222-234.
- CANCANI A., *I rombi laziali del 16 febbraio 1900*, in «Atti Lincei SMFN», 1900, pp. 304-309.
- CANCANI A., *Rombi sismici*, in «BSSI», 1901, pp. 23-47.
- CANTÙ V., *Un convegno sulla prevedibilità dei terremoti*, in «BSGI», 1985, pp. 343-345.
- CAYAN D.R., *Tribute to Jerome Namias: The Scripps Era*, in «Bulletin of American Meteorological Society», Boston [d'ora in avanti: «BAMS»], 1998, pp. 1089-1095.
- CONRAD V., *Erdbeben und Luftdruckänderung*, in «Gerlands Beiträge zur Geophysik», Lipsia [d'ora in avanti: «GBG»], 1936, pp. 239-252.
- DAVISON C., *On Earthquakes Sounds*, in «Philosophical Magazine», Cambridge, gennaio 1900, pp. 31-70.
- DAVISON C., *The Founders of Seismology*, Cambridge, Cambridge University Press, 1926.
- DAVIS S.D. e C. FROHLICH, *Did (or will) Fluid Injection cause Earthquakes? Criteria for a Rational Assessment*, in «Seismological Research Letters», El Cerrito, 1993, pp. 207-224.
- DENLINGER R.P. e C.G. BUFE, *Reservoir Condition Related to Induced Seismicity at the Geysers Steam Reservoir, Northern California*, in «BSSA», 1982, pp. 1317-1327.
- DE ROSSI M.S., *Meteorologia endogena*, Milano, Dumolard, 1879-1882, 2 voll.
- DON LEET L., *Le grandi catastrofi naturali*, Torino, Einaudi, 1953.
- FERREIRA J. M. e altri, *Correlation of Reservoir and Water Level in the Acu Reservoir. An Example from Northeast Brazil*, in «BSSA», 1995, pp. 1483-1489.
- GALLI I., *Di alcuni rumori problematici nell'aria e nel suolo*, Roma, Tipografia della Pace, 1906.

- GALLI R., *Energia e ambiente*, in G. ZANETTI (a cura di), *Storia dell'industria elettrica in Italia*, Roma-Bari, Laterza, 1994, V, pp. 775-810 (opera edita per iniziativa dell'ENEL).
- GAO X., [L'effetto totale del carico idraulico sulla deformazione crostale e i terremoti nella regione del lago artificiale di Danjiang], in cinese, in «Acta Seismologica Sinica», Pechino, 1984, pp. 304-312.
- GHERZI E., *Études sur les microséismes*, Shanghai, Observatoire de Zi-ka-wei, 1924.
- GHERZI E., *Cyclons and Microseisms*, in «GBG», 1925, pp. 20-23.
- GILMORE M.H., *Microseisms Used in Hurricane Forecasting*, in «Travaux Scientifiques du Bureau Central Séismologique International», Tolosa, 1954, 19, pp. 203-215.
- GIORGI M. e ROSINI E., *Sulla natura delle cause che generano i microsismi*, in «AG», 1950, pp. 173-213.
- GIOVANNOZZI G., *Un misterioso fenomeno di fisica del globo*, in «Annuario Scientifico e Industriale», Milano, 1896, p. 41.
- GIOVANNOZZI G., *I mistpoeffers*, in «Annuario Scientifico e Industriale», Milano, 1897, pp. 36-37.
- GLOWACKA E. e F.A. NAVA, *Major Earthquakes in Mexicali Valley, Mexico, and Fluid Extraction at Cerro Prieto Geothermal Field*, in «BSSA», 1996, pp. 93-105.
- GUPTA H.K., *The Present Status of Reservoir Induced Seismicity Investigations with Special Emphasis on Koyana Earthquakes*, in «Tectonophysics», Amsterdam, 1985, pp. 79-84.
- GUPTA H.K., *Large Artificial Water Reservoirs in the Vicinity of Himalayan Foothills and Reservoir Induced Seismicity*, in «BSSA», 1986, pp. 205-215.
- GUPTA H.K. e B.K. RASTOGI, *Investigations of the Behaviour of Reservoir Associated Earthquakes*, in «Engineering Geology», Houghton, 1974, 1-2, pp. 29-38.
- GUTENBERG B. (a cura di), *Handbuch der Geophysik*, Berlino, Bornträger, 1932.
- GUTENBERG B., *Observations and Theory of Microseisms*, in E. MALONE (a cura di), *Compendium of Meteorology*, Boston, American Meteorological Society, 1951, pp. 1303-1311.
- HOBBS W.H., *The Geotectonic and Geodynamic Aspects of Calabria and Northeastern Sicily*, Lipsia, Engelmann, 1907.
- HU Y. e altri, *Estimation of the Potential Risk of the Reservoir Induced Earthquake for the Proposed Hydroelectric Project of the Yangtze Gorges*, in «Earthquake Research in China», Pittsburgh, 1995, pp. 403-412.
- HUANG L.-S. e altri, *Preliminary Study on the Relationship between Precipitation and Large Earthquakes in Southern California*, in «Pure and Applied Geophysics», Basilea, 1979, pp. 1286-1300.
- HUMPHREYS W.J., *Ways of the Weather. A Cultural Survey of Meteorology*, New York, Ronald, 1942.
- ISHIKAWA Y. e K. OIKE, [Sui terremoti provocati da laghi artificiali in Cina], in giapponese, in «Zisin. Journal of the Seismological Society of Japan», Tokyo, 1982, 2, pp. 171-181.
- ISSEL A., *Considerazioni supplementari al terremoto umbro-marchigiano del 18 dicembre 1897*, in «BSSI», 1898, pp. 59-71.
- KEITH C.M., D.W. SIMPSON e O.V. SOBOLEVA, *Induced Seismicity and Style of Deformation*

- tion at Nurek Reservoir Tadzhik SSR, in «Journal of Geophysical Research», Washington, 1982, pp. 4609-4624.
- LOMNITZ C., *Earthquake and Reservoir Impounding. State of the Art*, in «Engineering Geology», Houghton, 1974, 1-2, pp. 191-198.
- MACELWANE J.B., *Practical Applications of Microseisms to Forecasting*, in E. MALONE (a cura di), *Compendium of Meteorology*, Boston, American Meteorological Society, 1951, pp. 1312-1315.
- MAFFI P., *Commemorazione del P. Timoteo Bertelli B.a.*, Firenze, Editrice Fiorentina, 1905, pp. 23 (anche in «Rivista di Fisica, Matematica e Scienze Naturali», Pavia, 1905).
- MEADE R.B., *The Evidence for Reservoir Induced Macroeathquakes*, Vicksburg, US Engineering Waterways Experiments Station, 1982.
- MELZI D'ERIL C., *Il Padre Timoteo Bertelli iniziatore delle osservazioni microsismologiche*, in «BSSI», 1905 (a), pp. 179-196 (ristampato in «Pubblicazioni dell'Osservatorio del Collegio alla Querce in Firenze, serie in 4°», 9).
- MELZI D'ERIL C., *Il Padre Timoteo Bertelli*, in «Rivista di Fisica, Matematica e Scienze Naturali», Pavia, 1905 (b), 62, pp. 289-313.
- MELZI D'ERIL C., *Commemorazione del Prof. Timoteo Bertelli*, in «Memorie della Pontificia Accademia dei Nuovi Lincei», Roma, 1906, pp. 1-27 (ristampato in «Pubblicazioni dell'Osservatorio del Collegio alla Querce in Firenze, serie in 4°», 8).
- MELZI D'ERIL C. e D. BASSI, *Il P. Timoteo Bertelli Ch. Reg. Barnabita*, in «Pubblicazioni dell'Osservatorio del Collegio alla Querce in Firenze, serie in 4°», 8), 1906.
- MURTI N.G.K., *Induced Seismicity Hazard Mitigation through Water Level Manipulation at Koyna*, in «Bulletin of Indian Society of Earthquake Technology», Roorkee, 1982, 2, pp. 79-82.
- NAMIAS J., *Similarity of Anomalous Sea Level Pressure Fields during the July 1986 and September 1987 Southern California Quakes. Accidental or Indicative?*, in «Geophysical Research Letters», Washington, 1988, pp. 350-352.
- NAMIAS J., *Summer Earthquakes in Southern California Related to Pressure Pattern at Sea Level and aloft*, in «Journal of Geophysical Research», Washington, 1989, pp. 17671-17679.
- NICHOLLS N., *Low Latitude Volcanic Eruptions and the El Nino-Southern Oscillations*, in «Journal of Climatology», Reading, 1988, pp. 91-95.
- NIKOLAEV N.I., *Tectonic Conditions Favourable for causing Earthquakes in Connection with Reservoir Filling*, in «Engineering Geology», Houghton, 1974, pp. 171-189.
- NOPCSA F., *Beziehungen zwischen Luftdruckänderungen und Erdbeben in Südeuropäische, und zwar besonders italienischen Erbeben gebieten*, in «GBG», 1933, pp. 37-57.
- NOPCSA F. e V. CONRAD, *Connection existing between Earthquakes and Atmospheric Pressure*, in «GBG», 1936, pp. 229-238.
- PALAZZO L., *I brontidi del bacino bolsenese*, in «BSGI», 1907, pp. 738-745.
- PEDRO J.O. e altri, *Seismic Monitoring of Concretedams and Reservoirs: Portuguese Experience*, in *Proceedings 8th European Conference Earthquake Engineering*, Lisbona, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, 1986, V, pp. 13 e 37-43.
- PELSTER F. [Fr. P.], *Scolastica*, in *Enciclopedia Italiana di Scienze, Lettere ed Arti*, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana, XXXI, 1936, pp. 192-197.

- POZZATO E., Bertelli, Timoteo, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana, IX, 1971, pp. 501-503.
- RIGOR D.M. jr., *Seismic Monitoring in Philippine Geothermal Area*, in «Bulletin of International Institute of Seismology and Earthquake Engineering», Teheran, 1995, 29, pp. 161-173.
- ROTHÉ E., *Les tremblements de terre. Leur causes, leur effets*, Parigi, Flammarion, 1942.
- SALEMI G. e F. MULARGIA, *Periodicità e correlazione della serie temporale delle microscosse nello Stretto di Messina nel periodo 1 gen. 1975-31 dic. 1980* [riassunto], in CNR-Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Atti del II Convegno, Roma, 1984, II, p. 653.
- SEGALL P., *Stress and Subsidence Resulting from Subsurface Fluid withdrawal in the Epicentral Region of the 1983 Coalinga Earthquake*, in «Journal of Geophysical Research», Washington, 1985, pp. 6801-6816.
- SEGALL P., J.R. GRASSO e A. MOSSOP, *Poroelastic Stressing and Induced Seismicity near the Lacq Gas Field, Southwestern France*, in «Journal of Geophysical Research», Washington, 1994, pp. 15423-15438.
- SEGRE A., *Industria elettrica e paesaggio*, in G. ZANETTI (a cura di), *Storia dell'industria elettrica in Italia*, Roma-Bari, Laterza, 1994, V, pp. 811-838 (opera edita per iniziativa dell'ENEL).
- SESTINI A. [A. Ses.], *Microsismi*, in *Enciclopedia Italiana di Scienze, Lettere ed Arti*, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana, XXIII, 1934, p. 227.
- SIMONELLI V., *Il «ruglio della marina» nel Senese e i mistpoeffers del Mare del Nord*, in «La Cultura Geografica», Firenze, 1899, pp. 52-55 e 67-69.
- SPENCE W., *Review of the Denver Water Department Induced Seismicity Program at Strontia Springs, Colorado*, Denver, US Geological Survey, 1982.
- TABULEVICH V.N., *Microseismic and Infrasonic Waves*, Berlino, Springer, 1992.
- TANUWONG N., *On Hypocenter Relocation and Source Process of Srinakarind, Thailand, Reservoir Earthquake*, in «Individual Studies by Participants at the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering», Teheran, 1985, pp. 167-178.
- THERIANOS A.D., *Seismic Activity of the Kremasta Area – Greece – between 1967 and 1972*, in «Engineering Geology», Houghton, 1974, 1-2, pp. 29-38.
- TOPPOZADA T.R. e P.W. jr. MORRISON, *Earthquakes and Lake Levels at Oroville, California*, in «California Geology», Sacramento, 1982, pp. 115-118.
- UCER B. e altri, *Turkish Dilatancy Project TDP3, March to November 1984*, in «Bulletin of International Institute of Seismology and Earthquake Engineering», Teheran, 1985, pp. 93-114.
- VAN DER BROEK E., *Un phénomène mystérieux de la physique du globe*, Bruxelles, Weissenbuck, 1896.
- WALKER D.A., *Seismicity of the East Pacific Rise. Correlations with the Southern Oscillations Index*, in «Eos. Transactions of the American Geophysical Union», Washington, 1988, pp. 857 e 865-866.
- WOOD M.D. e N.E. KING, *Relation between Earthquakes, Weather and Soil Tilt*, in «Science», Washington, luglio 1977, 4299, pp. 154-156.
- YAMAHE T.H. e V.M. HAMZA, *Geothermal Investigations in an Area of Induced Seismic*

- Activity, Northern São Paulo State, Brazil*, in «Tectonophysics», Amsterdam, 1996, pp. 285-303.
- YAMAUCHI T., M. YAMADA e T. OKUDA, *Earthquake Occurrence and Abnormal Strain Response to Rainfall*, in «Zisin. Journal of the Seismological Society of Japan», Tokyo, 1981, pp. 46-52.
- YU T.L., Y.F. YANG e G.A. XIANG, [Studio preliminare sulla deformazione superficiale nell'area della diga Changjiang Gezhong e nei suoi dintorni prima e dopo il riempimento dell'invaso], in cinese, in «Acta Seismologica Sinica», Pechino, 1983, pp. 354-359.
- ZHU C.Z. e altri, *Modeling Focal Parameters for the Magnitude 5.3 Earthquake of the Xinfengjiang Reservoir Area, People's Republic of China*, in «BSSA», 1982, pp. 1085-1092.
- ZOBACK M.D. e S. HICKMAN, *In situ Study of the Physical Mechanism controlling Induced Seismicity at Monticello, South Carolina*, in «Journal of Geophysical Research», Washington, 1982, pp. 6959-6974.

THE RELATIONSHIPS BETWEEN METEOROLOGICAL AND SEISMIC PHENOMENA, AND EARTHQUAKES CAUSED BY HUMAN ACTIVITIES. – The article concerns phenomena which nowadays no longer excite interest: the relationship between meteorological and seismic phenomena; earthquakes caused by artificial reservoirs and by the introduction of fluids into deep wells and geothermal and oil fields; microseisms; brontides. During two thousands years, it was the general belief that these phenomena were caused by the «aeriforms» in natural cavities; however, since the 1930s opinion has been that rains can activate faults. The article discusses the state of the research in order to these problems. In anticipation of new studies, it is necessary to carry out critical and exhaustive bibliographical research, thus encouraging further interest.