

## Evoluzione delle conoscenze sui terremoti a partire dalle fonti storiche

### *Evolution of knowledge about earthquakes from historical sources*

PICCARDI Luigi(\*), BLUMETTI Anna Maria(\*\*), COMERCI Valerio(\*\*),  
DI MANNA Pio(\*\*), VITTORI Eutizio(\*\*)

**RIASSUNTO** - I terremoti, insieme al vulcanismo, sono tra quegli eventi naturali, talvolta catastrofici, che più hanno stimolato la fantasia, la riflessione religiosa e filosofica, alla ricerca della spiegazione dei fenomeni. I meccanismi causali sono stati compresi solo in tempi molto recenti. Presentiamo qui una breve rassegna dell'evoluzione delle conoscenze sugli effetti che i terremoti hanno prodotto nell'ambiente naturale dall'antichità ai tempi attuali. Ripercorreremo le principali tappe del progredire delle conoscenze fisiche sul fenomeno terremoto, seguendone le tracce dapprima nei miti e poi nelle rare e lacunose citazioni che ci hanno lasciato gli storici antichi e medievali, fino ai tempi moderni.

**PAROLE CHIAVE:** storia della geologia, sismologia, terremoti storici, sismotettonica, sorgenti sismiche, faglie attive.

**ABSTRACT** - Earthquakes, together with volcanism, are among the natural, sometimes catastrophic, events that most stimulated the imagination, religious and philosophical reflection, in search of the explanation of the phenomena. The causative mechanisms have been understood only in very recent times. Here we present a brief review of the evolution of knowledge on earthquakes and on the effects that earthquakes have produced in the natural environment from ancient times to present times. We will retrace the main stages of the progress of physical knowledge on the earthquake phenomenon, following its traces first in the myths and then in the rare and incomplete quotations that the ancient and medieval historians have left us, up to modern times.

**KEY WORDS:** history of geology, seismology, historical earthquakes, seismotectonics, seismic sources, active faults.

### 1. - INTRODUZIONE

I terremoti, insieme al vulcanismo, sono tra gli eventi naturali, talvolta catastrofici, quelli che più hanno stimolato la fantasia, la riflessione religiosa e filosofica, alla ricerca della spiegazione dei fenomeni, per essere finalmente compreso nei suoi meccanismi causali solo in tempi molto recenti. “*Commota est terra, et contremuit, fundamenta montium conturbata sunt, et commota sunt, quoniam iratus est eis*” (Libro dei Salmi, David, Salmo 17) è una motivazione del terremoto ancora valida per i religiosi alla fine del 1600. Il versetto successivo conferma il supposto legame con il vulcanismo e l'uso di questi fenomeni come paradigmi della potenza divina: “*Ascendit fumus in ira eius: ignis a facie eius exarsit: carbones succensi sunt ab eo*”<sup>1</sup>. Qualche decennio dopo, nel 1756, Kant prima di scrivere le sue “Critiche” si vestì da scienziato, come era uso a quei tempi dove fisica e filosofia viaggiavano spesso insieme. Spiegò il terremoto di Lisbona del 1755 come dovuto alla combustione di gas sprigionato dalla reazione dello zolfo con il ferro in profonde e immense caverne. Queste dovevano costituire un reticolo sparso in profondità da una terra all'altra per poter propagare in mezza Europa gli impressionanti scuotimenti e altri fenomeni naturali osservati. Di fatto, è la teoria dei fuochi sotter-

(1) La terra tremò e si scosse; vacillarono le fondamenta dei monti, si scossero perché egli era adirato. Dalle sue narici saliva fumo, dalla sua bocca un fuoco divorante; da lui sprizzavano carboni ardenti.

(\*) CNR, Istituto di Geoscienze e Georisorse, Firenze. luigi.piccardi@cnr.it

(\*\*) ISPRA, Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia, Roma.

ranei di Lémery (REINHARDT & OLDROYD, 1983). Tali caverne in fondo non sembrano essere molto diverse da quelle abitate un tempo dalle antiche divinità ctonie, come Ade e Persefone. Insomma, mentre la scienza aveva fatto passi da gigante, basti pensare a Galileo e Newton, questi fenomeni geologici dovevano rimanere ancora per secoli una materia oscura, sotterranea appunto.

Presentiamo qui una breve rassegna dell'evoluzione delle conoscenze sugli effetti che i terremoti hanno prodotto nell'ambiente naturale dall'antichità ai tempi attuali. Ripercorreremo le principali tappe del progredire delle conoscenze fisiche sul fenomeno terremoto, seguendone le tracce dapprima nei miti e poi nelle rare e lacunose citazioni che ci hanno lasciato gli storici antichi e medievali.

Purtroppo, nulla di simile alla precisa ed emozionante descrizione dell'eruzione del Vesuvio del 79 AD di Plinio è giunta fino a noi. Dovremo giungere all'Età Moderna, in particolare all'Età dei Lumi, per incontrare finalmente delle descrizioni con pretese "scientifiche", ovvero sufficientemente puntuali ed accurate.

L'attenzione sarà concentrata sulle successioni di fonti e documentazioni riguardanti il contesto mediterraneo ed Europeo, non considerando contesti storici e culturali orientali s.l., che tramandano teorie e conoscenze spesso originali e talvolta convergenti con le conoscenze e le idee occidentali.

Per una trattazione più dettagliata di alcuni aspetti della rassegna qui presentata, rimandiamo alle opere citate in bibliografia, spesso di grande respiro e precisa indagine archivistica.

## 2. - LE FONTI DOCUMENTARIE

La disponibilità di fonti documentarie è un elemento primario per la comprensione dei fenomeni naturali come i terremoti. Essa è, fortemente, variata nel tempo in relazione alla disponibilità e all'accesso

agli strumenti di documentazione, all'evoluzione degli stessi strumenti e tecniche documentarie, in relazione alla conservazione della fonte e del ricordo nella memoria collettiva. In genere, i terremoti sono ricordati per gli effetti che producono e per il loro impatto sui beni, sulla vita e sull'immaginazione dei contemporanei all'evento. Con il trascorrere del tempo, l'interesse anche per gli eventi più catastrofici tende a perdersi rapidamente e il ricordo tende a sparire dalla memoria comune. Il ricordo dell'evento, quindi, può essere recuperato solo se documentato, conservato e tramandato nelle fonti documentali. Un esempio recentissimo della rapidità con cui la disponibilità di documenti possa variare drasticamente nel tempo è dato da due eventi che hanno richiamato l'attenzione mondiale, come i terremoti e maremoti avvenuti a meno di 10 anni di distanza in Giappone nel 2011 e nell'Oceano Indiano nel 2004.

**Tohoku (Giappone), 11 marzo 2011 (M 9.0, 16-20.000 vittime).** Il terremoto più potente mai sentito in Giappone. La rottura sismica, con 6-8 m di spostamento per una lunghezza di oltre 500 km, ha creato uno tsunami con onde che, viaggiando a oltre 700 km/h, hanno colpito 670 km di costa, con altezza massima di *run-up* fino a 39 m, penetrate per 10 km nell'entroterra. Una semplice ricerca su Google mostra la disponibilità di circa 70 milioni di siti, molti dei quali contengono video del fenomeno in atto.

**Sumatra (Indonesia), 26 dicembre 2004 (M 9.2, > 240.000 vittime).** Lo tsunami più distruttivo di sempre. Avvenuto 16 anni prima del precedente, da una ricerca speditiva sul motore di ricerca Google sono disponibili circa 600.000 siti di informazione (molti meno rispetto all'evento di Tohoku del 2011). La drammaticità dell'evento è ormai lontana e alcuni fenomeni particolari, come le barche depositate sui tetti delle case, sono diventate note attrazioni turistiche <sup>2</sup>.

Chiaramente, in questi casi la memoria scientifica rimane e, essendo distribuita globalmente non si per-

(2) Se ne possono vedere conservate come memoriali in vari siti, in particolare a Banda Aceh, Indonesia, la località più colpita dallo tsunami del 2004, incluse dalle agenzie di viaggio in specifici giri turistici tematici.

derà, a meno di sconvolgimenti sociali di estensione globale e portata tale da renderla quasi irrilevante. Nel passato, la memoria era spesso solo locale, depositata in volumi unici o copiati in un numero limitato di esemplari, facilmente persi per sempre a causa di eventi fortuiti, come il semplice abbandono per disinteresse o gli incendi, o per cataclismi sociali come guerre ed epidemie.

Così, andando indietro nel tempo le fonti diminuiscono progressivamente e molto rapidamente. Eventi sismici avvenuti tra il Settecento e l'Ottocento sono descritti in pochissime fonti. Facendo un salto di mille anni, per un terremoto che produsse effetti rilevanti e spettacolari si hanno solo 3 citazioni, dalle quali non si riesce ad evincere, in modo attendibile, non solo l'intensità ed il numero approssimato delle vittime, ma neppure l'epicentro.

**Media valle dell'Adige, 9 novembre 1046** (M forte ?, molte vittime ?). È documentato in tre annali benedettini custoditi in Germania (XI-XII sec.). La fonte più completa è costituita da una breve annotazione a margine di una pagina negli *Annales Corbeienses* dell'abbazia di Corvey (Fig. 2a): «1046. Terremoto [avvenuto] il quinto giorno prima delle idi di novembre nella valle tridentina così grande, che crollarono oltre 30 castelli, alcuni anche sopra le persone, e le montagne si abbassarono per il terremoto. Inoltre, il fiume Tar rimase sbarrato dalle montagne cadute per più di 10 giorni oppure deviò verso l'alveo. Lo stesso [anno] molti altri terremoti provocarono eventi orrendi nelle regioni marittime.» Gli altri due annali, entrambi da Ratisbona, citano solo la data dell'evento, ma retrocedendolo erroneamente all'anno 1045. La fonte descrive la creazione di un lago di sbarramento originato da una frana sismoindotta, fenomeno ben visibile anche oggi nei pressi di Rovereto (e.g.

IVY-OCHS *et alii*, 2017).

Nonostante la scarsità di fonti scritte, il terremoto rimase nella memoria orale per almeno tre secoli, quando venne di nuovo citato da Dante (*Inferno*, Canto XII): “Era lo loco ov’a scender la riva / venimmo, alpestro e, per quel che v’er’anco, / tal, ch’ogne vista ne sarebbe schiva. / Qual è quella ruina che nel fianco / di qua da Trento l’Adice percosse, / o per tremoto o per sostegno manco / che da cima del monte, onde si mosse, / al piano è sì la roccia discesa, / ch’alcuna via darebbe a chi sù fosse.”

Andando ancora indietro nel tempo, nel periodo Romano si ritrovano descrizioni di qualche dettaglio, benché molto sporadiche. La disponibilità delle fonti, infatti, non è solo condizionata da quanto gli eventi siano remoti, ma anche dalle condizioni sociali ed economiche dell'epoca.

**Pompei, 62 d.C. (Imax V-VI).** Di questo terremoto ci sono pervenute varie relazioni. Un'estesa descrizione è contenuta nelle *Questioni Naturali* di SENECA (VI, 1-31), dalla quale l'autore prese spunto per la sua trattazione sui terremoti. Questa fornisce, con un discreto dettaglio, notizie sulla durata, su alcune delle località colpite e su alcuni effetti locali osservati sia sull'ambiente, che su edifici, statue e animali, fornendone inoltre le possibili spiegazioni<sup>3</sup>. Proprio in funzione della prosperità sociale ed economica dell'epoca e del luogo, questo evento ci ha fornito anche la prima rappresentazione iconografica di un terremoto, un bassorilievo raffigurante gli effetti del terremoto del 62 d.C. sugli edifici del Foro Larario. I ritrovamenti archeologici mostrano che a Pompei fossero ancora in corso restauri dei danni di quel terremoto all'epoca dell'eruzione del 79 d.C.

(3) “O Lucilio, che sei il migliore fra gli uomini, abbiamo sentito dire che Pompei, frequentata città della Campania [...] è sprofondata a causa di un terremoto che ha devastato tutte le regioni adiacenti, e che ciò è avvenuto proprio nei giorni invernali, che i nostri antenati garantivano essere al sicuro da un pericolo del genere. Questo terremoto si è verificato alle None di febbraio, durante il consolato di Regolo e di Virginio, e ha devastato con gravi distruzioni la Campania [...]: infatti, anche una parte della città di Ercolano è crollata e anche ciò che è rimasto in piedi è pericolante, e la colonia di Nocera, pur non avendo subito gravi danni, ha comunque motivo di lamentarsi; anche Napoli ha subito perdite, molte fra le proprietà private, nessuna fra quelle pubbliche, essendo stata toccata leggermente dall'enorme disgrazia: in effetti, alcune ville sono crollate, altre qua e là hanno tremato senza essere danneggiate. A questi danni se ne aggiungono altri: è morto un gregge di seicento pecore, alcune statue si sono rotte [...] La Campania, infatti, non smise di tremare ripetutamente, con scosse sì relativamente deboli, ma molto dannose, perché scuotevano edifici già scossi, che, reggendosi in piedi in modo precario, per cadere non avevano bisogno di essere spinti, ma solo di essere mossi: [...] un uomo molto colto e serio: egli afferma di aver visto che in bagno (per caso, infatti, si stava lavando, quando ciò avvenne) le tessere da mosaico di cui era rivestito il pavimento si separavano l'una dall'altra e poi si ricongiungevano, e che l'acqua ora si raccoglieva nelle fessure, quando il pavimento si ritirava, ora usciva gorgogliando, quando si ricomponeva. L'ho sentito raccontare anche d'aver visto dei muri a secco in preda a scosse più dolci e più frequenti di quanto non lo consenta la loro naturale durezza.”

### 3. - DAL MONDO ANTICO AL RINASCIMENTO

Per la religione greca antica, Poseidone era il dio dei terremoti, ma era anche dio del mare e delle acque, proprio per le relazioni che esistevano fra terremoti, maremoti e cambiamenti di regime idrogeologico. Per questa sua associazione lo troviamo tanto spesso raffigurato sulle fontane monumentali (fig. 1a). I suoi cavalli marini erano la rappresentazione dell'energia delle onde di maremoto. Era noto anche come «*Ennosichthon*», «do scuotiterra»: «*Egli percosse la terra col suo tridente, ed essa tremò, e, così mossa, dischiuse le vie delle acque.*» (OVIDIO, *Metamorfosi*, II). Questo non impedì ai filosofi di pensare che i sismi avessero un'origine naturale.

### 4. - MAREMOTI MITOLOGICI: L'IRA DI POSEIDONE

Le prime testimonianze di eventi di maremoto ci provengono in forma mitologica, di epoca ben precedente a quella greca, descritti nel mondo greco-romano come mostri mandati dalla collera di Poseidone (e.g. GUIDOBONI & POIRIER, 2019). Vari miti riportano di eventi riferibili a maremoti, ne citiamo due per la loro chiarezza e similitudine.

**Troia (Turchia), ca. 1250 a.C. (M ?).** Uno di questi eventi descritti in forma mitologica lo si trova nel ciclo delle storie di Eracle, ubicato in Turchia nei pressi di Troia. La sua datazione è proposta a circa il 1250 a.C. da PICCARDI *et alii* (2017).



Fig. 1 - (A) Fontana di Nettuno, Cheltenham (UK). (B) Eracle salva Esione dal mostro marino Ceto, incisione anonima. (C) Piero di Cosimo, *Liberazione di Andromeda* (1510-1515). (D) Lo scheletro di cetaceo gettato a riva in Scozia nel Febbraio 2020 (Fubar News, <https://www.facebook.com/FubarNews/>, accesso 12/02/2020).  
 - (A) *Fountain of Neptune, Cheltenham (UK)*. (B) *Heracles rescues Hesione from the sea monster Cetus, anonymous engraving*. (C) *Piero di Cosimo, Liberation of Andromeda (1510-1515)*. (D) *The cetacean skeleton thrown ashore in Scotland in February 2020 (Fubar News, https://www.facebook.com/FubarNews/, access 12/02/2020)*.

La città di Troia controllava i Dardanelli, porta del Mar Nero, ed era situata sulla faglia Nord Anatolica. Negli strati archeologici sovrapposti (almeno nove principali) succedutesi nei 4000 anni di vita della città, si trovano tracce di vari episodi di distruzione, sia bellica che sismica. La sua fine definitiva fu segnata nel 500 d.C. proprio da un terremoto (e.g. NUR, 2000, KÜRÇER *et alii*, 2012), e ci sono evidenze di distruzioni sismiche anche nella prima metà del XIII secolo a.C. Agamennone non fu il primo a distruggere la città (Troia VII, ca. 1180 a.C.), anche Eracle l'avrebbe conquistata (Troia VI, ca. 1250 a.C., PICCARDI *et alii*, 2017).

Eracle attaccò Troia perché il re Laomedonte (padre di Priamo) non aveva corrisposto il premio promesso per aver salvato sua figlia Esione dall'essere divorata dal gigantesco mostro marino mandato dalla collera di Poseidone, dio del mare e dei terremoti, al quale era stata offerta in sacrificio (fig. 1b). Apollodoro e Diodoro descrivono che il mostro invadeva le coste in un'enorme alluvione, trascinando via gli uomini. Ovidio narra che Poseidone adirato rovesciò le acque del mare sulle coste, sommergendo la terra sotto le onde e devastandola.

«*Nettuno [...] dal fondo del mare spinse sul paese un enorme cetaceo, che tutti quelli che stessero sul lido, e gli agricoltori dei campi stesi lungo il mare spietatamente ruinasse.*» (DIODORO, *Biblioteca storica*, 4.18)

«*Apollo inviò una pestilenza e Poseidone un mostro marino che, trasportato da un'alluvione, trascinava la gente della pianura via con sé.*» (APOLLODORO, *Biblioteca*, 2.5.9)

**Jaffa (Palestina), ? a.C.** (M ?). Anche la storia di Andromeda salvata da Perseo è simile. Anche in questo caso era un mostro mandato da Poseidone, sdegnato con la regina Cassiopea, moglie del re dell'Etiopia e madre di Andromeda, che si era vantata di essere la più bella delle Nereidi a dispetto del fatto che anche la moglie di Poseidone, Anfitrite, fosse una Nereide. Poseidone aveva quindi inondato il paese e mandato un drago marino a devastare il paese, e Andromeda doveva essere sacrificata per placare il mostro (fig. 1c):

«*... Poseidone, unitosi al loro sdegno, aveva mandato contro quella regione un'inondazione e un mostro marino.*» (APOLLODORO, *Biblioteca*, 2.4.3)

Gli autori antichi ubicavano il luogo dell'avvenimento presso Jaffa in Palestina (PAUSANIA, *Periegesi*, 4.35.9; PLINIO, *Storia Naturale*, 5.128). Qui si mostrava la sorgente rossa che si diceva avesse preso la sua colorazione dopo che Perseo vi si era lavato le mani dal sangue dell'uccisione del drago marino. A sostegno della narrazione si mostrava anche lo scheletro (lungo 40 piedi) di quel mostro, che fu poi portato a Roma da Marco Scauro. Da Ceto, divinità greca dei pericoli del mare e dei mostri marini, hanno preso nome i cetacei; il mito di Jaffa può essersi basato sul rinvenimento di uno scheletro di cetaceo, considerato come resto di un mostro marino, dopo forti tempeste o un maremoto.

Non abbiamo informazioni per formulare ipotesi di datazione o magnitudo dell'evento, e non possiamo neanche escludere, date le somiglianze del racconto e la contemporaneità degli eroi implicati, che si tratti dello stesso maremoto avvenuto in Turchia, o in quella stessa epoca.

Come esempio della ricorrente attribuzione a esseri mitologici di scheletri di cetacei rinvenuti sulla spiaggia dopo burrasche importanti, possiamo citare il ritrovamento di uno scheletro spiaggiato avvenuto in Scozia il 15 Febbraio 2020 (fig. 1d). La notizia del rinvenimento è stata diffusa in rete e anche da vari quotidiani, accostandola al mostro di Loch Ness: "È il mostro di Loch Ness: la tempesta Ciara fa riemergere un misterioso scheletro in Scozia."

## 5. - LE TEORIE DEI PRIMI FILOSOFI

Il pensiero dei primi filosofi sui terremoti ci è pervenuto come notizie riportate e discusse nelle opere di autori posteriori, che si occuparono di questioni naturali, quali ARISTOTELE (*Meteorologia*, libro II), LUCREZIO (*De rerum natura*, libro VI), SENECA (*Questioni naturali*, libro VI) e PLINIO IL VECCHIO (*Storia naturale*, libro II). I filosofi greci tendevano a riferire la causa dei terremoti a uno degli elementi primari, terra, acqua, fuoco, aria, oppure da una combinazione di questi. Ci limiteremo qui a citare alcuni dei principali esempi per dare un quadro dell'epoca.

Il primo di cui possediamo una riflessione teorica sui terremoti è comunemente ritenuto anche il primo filosofo, Talete di Mileto (ca. 630-545 a.C.). Talete considerava la terra come galleggiante sopra l'acqua; il terremoto corrispondeva allo scuotimento della terra a causa di movimenti dell'acqua, sia in periodi di troppa piovosità che di troppa siccità. A sostegno della sua teoria, sottolineava l'emergere di nuove sorgenti dopo ogni sisma. Anassagora di Clazomene (580-428 a.C.) propose una teoria in qualche modo simile a quella delle caverne sotterranee, ritenendo che causa dei terremoti fossero l'etere e il fuoco interno della terra. L'etere, compresso, avrebbe scosso la terra e il fuoco, consumando i sostegni interni, avrebbe provocato il crollo delle parti superiori. Anassimene di Mileto (550-480 a.C.) propose una teoria che invocava crolli di caverne sotterranee, mettendole anche lui in relazione con periodi di siccità e poi di grandi piogge, affermando che la terra, inumidendosi e disseccandosi, si sarebbe spaccata, e quindi venisse scossa dalla caduta delle falde interne che si staccavano. Democrito di Abdera (460-370 a.C.) riprese la teoria di Talete, sostenendo però che la terra fosse invece piena d'acqua. I terremoti si sarebbero originati sia a causa di forti precipitazioni, che avrebbero determinato una quantità d'acqua superiore alle possibilità di ricezione delle cavità, o al contrario in caso di siccità quando avrebbero fatto riversare l'acqua dai luoghi pieni a quelli vuoti. In entrambi i casi, il movimento dell'acqua in pressione nel cambiar luogo avrebbe provocato i movimenti.

Aristotele (384-322 a.C.) riprese teorie proposte per primo da Archelao nel V secolo e perfezionò la teoria che vedeva l'aria come elemento all'origine dei terremoti. Egli riteneva che esistessero due tipi di esalazioni una umida (vapore) e una secca, che costituiva il vento, che chiamò *pneuma* (*Meteorologica*, II,

365b - 366a): «... è necessario che i terremoti siano un effetto di queste due esalazioni. La terra è in sé secca, ma poiché contiene, a causa delle piogge, una grande quantità di umido, quando è riscaldata dal sole o dal calore in essa contenuto produce una grande quantità di soffio (*pneuma*) sia all'interno che all'esterno; ed esso o penetra interamente all'interno, o si effonde all'esterno, o si distribuisce in entrambe le direzioni.» Quando il soffio va fuori produce i venti, se va all'interno si accumula e produce i terremoti «quando non trova più spazio per espandersi» e dovendo sforzarsi di «passare per una stretta uscita». A causa della relazione fra *pneuma* e venti, la sua teoria metteva in relazione i sismi con le condizioni climatiche. Anche i fenomeni vulcanici sarebbero esplosioni dovute all'infiammarsi di aria secca. Il terremoto del 373 a.C., che distrusse e sprofondò le città di Elice e Bura, l'evento sismico più catastrofico ricordati dagli antichi greci, servì probabilmente a stimolare l'attenzione di Aristotele verso questi fenomeni.

A parte altri filosofi che proposero combinazioni degli elementi primari come causa, merita di essere citato Epicuro (314-270 a.C.), che criticò le teorie che vedevano la causa dei terremoti in un solo elemento, sostenendo che questi potevano verificarsi in più di un modo e che non si potevano conoscere con esattezza fenomeni che andassero al di là della nostra osservazione diretta, dimostrando così un atteggiamento più scientifico.

Benché le origini dei terremoti rimanessero ancora poco comprese, la scienza ellenistica aveva però raggiunto livelli che rimasero insuperati per più di un millennio<sup>4</sup>. Con la caduta dell'Impero Romano, la distruzione della biblioteca di Alessandria e l'avvento della teocrazia paleo-cristiana, si ebbe poi un'enorme involuzione culturale, con perdita di molte delle conoscenze acquisite.

I principali studiosi romani, come Lucrezio (94-50/55 a.C.), Strabone (64 a.C.-19 d.C.) Seneca (4 a.C.-65 d.C.) o Plinio il Vecchio (23-79 d.C.), si rife-

(4) Aristarco di Samo (310-230 a.C.) aveva infatti compreso l'eliocentrismo - che fu però rifiutato nel II secolo d.C. da Tolomeo (ca. 100-175 d.C.). Eratostene di Cirene (ca. 276-194 a.C.) terzo bibliotecario della Biblioteca di Alessandria aveva calcolato con grande precisione sia la circonferenza della Terra che l'inclinazione dell'asse terrestre. Formulò anche la prima proiezione globale del mondo, incorporandovi i paralleli e i meridiani, e studiando i fossili marini in località lontane dal mare, ne aveva dedotto il lentissimo movimento della linea di costa, un'idea spesso attribuita a Leonardo da Vinci. Archimede (287-212 a.C.) intuì le leggi che regolano il galleggiamento dei corpi, scoprì e sfruttò i principi di funzionamento delle leve, e ideò numerose macchine e dispositivi in uso ancora oggi (es. la vite di Archimede).

cero in modi diversi ai pensatori greci <sup>5</sup>.

La teoria aristotelica dei terremoti dovuti a venti sotterranei rimase comunque quella accreditata per circa duemila anni, almeno fino al XIX secolo. Parallelamente, fino a circa lo stesso periodo rimase presente anche l'idea dei terremoti come segno dell'ira divina.

Va ricordato infine il lavoro di Giulio Ossequente, storico romano del IV secolo che raccolse nel suo Libro dei prodigi (*Prodigiorum liber*) i vari fenomeni naturali anomali ritenuti prodigi, fra i quali include anche terremoti, descritti dal 190 all'11 a.C. nei libri di Tito Livio (e.g. VITTORI *et alii*, 2007), costituendo così la prima raccolta catalogata di questi fenomeni. Questa impostazione fu ripresa quasi mille anni dopo dalla cronaca (*Prodigiorum ac ostentorum chronicon, quae praeter naturae ordinem, et in superioribus et his inferioribus mundi regionibus, ab exordio mundi usque ad haec nostra tempora acciderunt.*) di Corrado Licostene, pseudonimo di Conrad Wolffhart (1518-1561), che si ispirò direttamente al libro di Ossequente intendendo proporre una continuazione. La sua opera ebbe grande successo all'epoca, e varie edizioni a stampa. Iniziavano in quest'epoca i disegni a corredo dei testi che raffiguravano gli eventi descritti, come i terremoti. Nel libro di Licostene si tratta di rappresentazioni più o meno standardizzate per ogni tipologia di evento.

## 5. - MAREMOTI STORICI: CRETA, 21 LUGLIO 365 D.C. (M 8.3 - 8.5, 45.000 VITTIME)

In epoca Romana, abbiamo descrizioni realistiche di maremoti, e fra queste va ricordato il maremoto di Creta del 365 d.C. Quello del 365 d.C. è stato lo

tsunami più esteso, legato al più forte terremoto nel mar Mediterraneo, ed è citato da molte fonti (e.g. GUIDOBONI & EBEL, 2009). Una narrazione dettagliata è riportata, sulla base di fonti originali precedenti, da Ammiano Marcellino (ca. 330-400 d.C.), che scriveva da Alessandria d'Egitto <sup>6</sup>.

Le scosse furono avvertite in tutto il Mediterraneo orientale. A Creta il movimento tellurico provocò sollevamenti cosismici di 9-10 m, tanto che alcuni porti furono sollevati e resi inutilizzabili. Molte città dell'isola furono distrutte e non più ricostruite, compresa Cnosso. Lo tsunami avrebbe provocato onde di 9 m sulla costa sud di Creta, arrivate fino in Palestina (6 m), provocando grandi danni nel Peloponneso, sulle coste della Calabria e della Sicilia (7 m), in Tunisia, Tripolitania e Cirenaica, ad Apollonia in Libia (con onde di 15 m) e ad Alessandria d'Egitto (la più grande città d'Egitto, granaio dell'impero romano), con onde di 12 m, che penetrarono nell'interno per 3 km, lasciando anche barche su alcuni tetti. L'anniversario del disastro era ancora commemorato ad Alessandria alla fine del VI secolo come "giorno dell'orrore".

Secondo vari storici questo evento avrebbe portato al declino dell'Impero Romano ed alla sua separazione in due, con la nascita dell'Impero Bizantino nel 395 d.C. Sembra però più verosimile che siano stati vari terremoti ad aver contribuito al declino dell'Impero Romano. Tra il 358 e il 363 d.C., nel Mediterraneo orientale ci fu infatti un periodo di elevata sismicità, crisi nota come il "parossismo tettonico dell'inizio dell'età bizantina" (e.g. PIRAZZOLI, 1986; EVELPIDOU & PIRAZZOLI, 2017, con riferimenti).

L'8 agosto 1303 si verificò un terremoto presso Creta con una magnitudo di circa 8.0 che devastò la città di Heraklion, descritto negli archivi della Re-

(5) Come aveva anche già indicato Strabone, Plinio comprese che i terremoti tendevano a ripetersi in uno stesso luogo, concetto cardine della sismologia che sintetizzò nella famosa frase "Dove la terra ha tremato tremerà ancora" (PLINIO, *Nat. Hist.*, II; GUIDOBONI & POIRIER, 2019).

(6) "... nel giorno ventuno di luglio si sparsero d'improvviso per tutto l'orbe orrendi terrori, quali non ci sono descritti né dalle favole né dalle veridiche antichità. Imperciocché poco dopo il sorgere del sole, essendo preceduto gran numero di fulmini fortemente scagliati fu scossa e ne tremò tutta la mole terrena; e il mare respinto a dietro si divise per modo che discoperse il profondo suo letto, e si videro multiformi specie di pesci nel fango: e grandi spazi di valli e di monti, confinati dalla natura sotto immensi flutti, [...] per la prima volta videro i raggi del sole. Molte navi rimasero come confitte nell'arido terreno; e molti aggirandosi sicuramente qua e là pei resti delle acque pigliavano colle mani i pesci e quant'altro vi aveva. D'altra parte i flutti marini, fremendo come sdegnati della violenza sofferta, sollevaronsi alla loro volta, e cacciandosi ampiamente e con furore fra le isole e fra terra, rovesciarono innumerevoli edifici nelle città od altrove, dovunque n'ebbero trovati: oltretutto poi, come se gli elementi inferocissero per discordia, tutta la faccia del mondo sossopra era piena di prodigi. Perocché la piena del mare ritraendosi allorché meno aspettavasi, uccise e strascinò seco molte migliaia d'uomini: e cessata l'inondazione, quando si appianò la gonfiezza del fango portato fuori, si videro molte navi sommerse, e molti cadaveri di persone naufragate trovaronsi qua e là variamente gittati. Alcune altre navi di gran mole rapite dal furioso soffiare dei venti andarono a fermarsi sulla sommità dei tetti come avvenne in Alessandria: ed altre furono aggirate per ben due miglia lontano dal lido ..." (AMMIANO MARCELLINO, *Historiae*, 26).



Fig. 2 - (A) Pagina dell'*Annales Corbeiensis*, manoscritto, con annotazione del terremoto (riquadro in alto a destra). (B) GIANNOZZO MANETTI, *De terremotu*, manoscritto, 1457. (C) S. ANTONINO DA FIRENZE, *Chronicon*, o *Summa historialis*, storia dalla creazione alla metà del XV sec., edizione del 1491, incunabolo. (D) M. BONITO, *Terra tremante*, Napoli, 1691, stampa. (E) CFTI5Med, *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia e nell'area Mediterranea*, sito web interattivo (GUIDOBONI et alii, 2018, 2019; <http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/>).

- (A) Page of the *Annales Corbeiensis*, manuscript, with annotation of the earthquake (box at the top right). (B) GIANNOZZO MANETTI, *De terremotu*, manuscript, 1457. (C) S. ANTONINO DA FIRENZE, *Chronicon*, o *Summa historialis*, history from creation to the mid-fifteenth century, edition 1491, incunabulum. (D) M. BONITO, *Terra tremante*, Napoli, 1691, printed. (E) CFTI5Med, the new release of the catalogue of strong earthquakes in Italy and in the Mediterranean area, interactive website (GUIDOBONI et alii, 2018, 2019; <http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/>).

pubblica di Venezia che allora controllava l'isola. L'epicentro è incerto ma si pensa che sia avvenuto tra l'est di Creta e l'isola di Rodi. Il terremoto innescò uno tsunami con onde alte sino a 9 metri, causando la morte di oltre 4.000 persone a Creta e investendo la costa di Alessandria, dove ebbe un *run-up* massimo di 9 metri.

## 6. - EPOCA MEDIEVALE E RINASCIMENTALE

La concezione dominante, dalla cristianizzazione dell'Impero Romano, fino a tempi relativamente recenti, vedeva la divinità come causa prima del terremoto, benché quella biblica avesse sostituito Poseidone. Sebbene molti autori, spesso uomini di chiesa, ammettessero l'origine naturale di almeno alcuni terremoti, un atteggiamento di tipo scientifico nella ricerca delle loro origini riemerse solo verso il XVII secolo. I terremoti erano considerati segni della potenza divina, mandati come ammonimento o come punizione <sup>7</sup>.

Prima del 1456, i terremoti sono citati e descritti solo in documenti amministrativi o come descrizioni all'interno di opere con finalità diverse, quali cronache storiche o elenchi di prodigi naturali, o all'interno di lettere private, tipo quella del Petrarca da Napoli nel 1343 (vedi GUIDOBONI, 2014).

## 7. - ITALIA CENTRO-MERIDIONALE, 5 DICEMBRE 1456 (Mw 7.2, CA. 60.000 VITTIME)

E' il terremoto più vasto, e il secondo più forte, ricordato in Italia. Dopo la prima scossa del 5 dicembre, si ebbero molte forti repliche, quella del 30 dicembre di violenza pari alla prima, e continuarono fino a gennaio 1457. Fu un evento complesso dal punto di vista sismotettonico: la vastissima area interessata sembra essere derivata dalla successione di più terremoti, almeno 4, le cui sorgenti sono ancora non ben definite (e.g. GUIDOBONI & COMASTRI, 2005; FRACASSI & VALENSISE, 2007). Il terremoto

(7) «E il Signore ruggirà [...] e il cielo e la terra tremeranno» (Gioele, 3.16).

dette l'impulso alla compilazione di un catalogo storico dei terremoti. Il manoscritto venne realizzato da Giannozzo MANETTI, ambasciatore fiorentino a Napoli, che compilò una dettagliata relazione degli effetti di questo terremoto <sup>8</sup>, includendola come terza sezione in una raccolta manoscritta di tre libri (*De Terremotu*, 1457). Il primo libro era dedicato ad una rassegna delle varie opinioni sulle origini dei sismi, mentre il secondo era un catalogo storico dei terremoti, dalla creazione del mondo ad oggi, che rappresenta il più antico catalogo sismico nel mondo occidentale (fig. 2b).

Altre due dettagliate relazioni di quel terremoto sono quella dell'Abate del monastero di Santo Spirito a Sulmona (DELL'AQUILA, 1456) <sup>9</sup>, e quella pubblicata verso il 1440 dal vescovo S. Antonino di Firenze, contenuta nel *Chronicon*, o *Summa historialis*, storia dalla creazione alla metà del XV sec. (seconda parte della *Summa moralis*) (fig. 2c).

L'introduzione della stampa a caratteri mobili da parte di Gutenberg (la famosa Bibbia) facilitò dopo il 1454 la diffusione di relazioni e cataloghi sui terremoti. Anche l'opera di S. Antonino di Firenze vide varie edizioni. Dopo il catalogo del Manetti, altri cataloghi sono stati pubblicati, generalmente a seguito di forti eventi sismici, ma anche di eventi sismici locali o focalizzati su specifiche aree (es. DA SECINARA, 1652, dopo il terremoto de L'Aquila del 1646, o CAPOCCI (1859) per la parte continentale del Regno di Napoli). Fra i più famosi citiamo i cataloghi di MAGNATI (1688) e BONITO (1691; fig. 2d) dopo il terremoto del **Sannio del 5 giugno 1688 (Mw 7.0)**, che fece circa 10.000 vittime, un evento epocale che distrusse due terzi della città di Benevento e rase al suolo molti centri abitati in un vasto raggio, con numerosi effetti geologici cosismici associati.

8. - FERRARA, 16-17 NOVEMBRE 1570 (Imax VII-VIII, Mw 5.4)

*“Al 17 [novembre] a 19h del mattino [ore 11:10 GMT], in Ferrara si sentì una prima scossa della durata di oltre un <<pater>> ed assai violenta, avendo fatto cadere un centinaio comignoli, rovinare molti merli e terrazzini, in numero di circa cinque o seicento e scompaginare moltissimi edifici: fu seguita da molte repliche, fra le quali specialmente furono intense quelle avvenute sull'imbrunire della giornata. A 3h della notte [19:10 GMT] una nuova scossa, la maggiore e la più lunga, fece nel vecchio palazzo del castello precipitare un tetto, sotto cui rimasero morte tre persone. I danni in città furono inestimabili: caddero i torrioni ed i merli delle antiche mura [...] Nel castello precipitarono le sommità delle quattro torri con parecchie balastrate e qualche muro interno; andarono parimenti a terra le due torricelle del duomo, [...] Non vi fu insomma edificio pubblico e privato che non avesse risentito danni: ciò che rimase in piedi si dovette però puntellare. Tutte le strade erano ingombrate dalle macerie, sotto le quali rimasero morte un centinaio (130-150) di persone. Fra gli effetti prodotti da questo terremoto dev'essere notate i rombi sotterranei, i bagliori repentini nell'atmosfera, il gonfiamento improvviso delle acque del Po, certe elevazioni ed avvallamenti del suolo [...] pure emissioni violente di acqua nerastra e di arena.”* (BARATTA, 1901, *I terremoti d'Italia*, p. 105-107).

Questo del 1570, riportato dal Baratta, è stato il primo episodio documentato di liquefazione del suolo nella Pianura padana. La notte prima del terremoto, si videro sopra la città vari fenomeni luminosi, e si vide l'uscita dal suolo di fiamme che si sollevarono nell'aria.

Negli ultimi 2800 anni il Po è migrato verso nord di circa 20 km. Con 10-15 cm di sollevamento della dorsale ferrarese (SIROVICH & PETTENATI, 2015), il terremoto del 1570 ha contribuito a creare le condizioni topografiche per la Grande Bonificazione Estense, con la definitiva diversione del corso princi-

(8) Un evento particolare che merita di essere citato è la distruzione di Boiano con creazione di un lago, riportato in tutte le relazioni. Lo stesso fenomeno è indicato anche per un terremoto del 853 nel successivo catalogo del CAPOCCI (1859).

(9) Nella sua relazione, l'Abate del Monastero di Santo Spirito, ubicato sulla faglia di Sulmona, ammette di aver operato a posteriori una codificazione in termini religiosi di fenomeni da lui ritenuti naturali. Descrivendo alcuni suoni insoliti uditi da due monaci «Di sera, circa la prima ora della notte di quel sabato che precedette il terremoto ...», l'Abate racconta: «La mattina, avendo essi raccontato il miracolo pieni di stupore, non demmo importanza alla cosa. Ma dopo il terremoto, sebbene non ignorassi che spesso un vento sotterraneo, passando attraverso le fenditure della terra come attraverso una canna emette voci inarticolate ma melodiose, tuttavia non esitai a riferire pubblicamente che questo prodigio era stato compiuto dai santi angeli.» (DELL'AQUILA, 1456).

pale del Po, che prima del 1570 passava a sud di Ferrara, verso il delta attuale. Due rappresentazioni cartografiche, una conservata negli archivi “Crispi” della libreria municipale di Ferrara riferita al 1568, e una che fa parte della Galleria vaticana delle carte geografiche (1580-1585), voluta da papa Gregorio XIII, riferita al 1579, mostrano questa drastica deviazione.

Alfonso II, Duca d’Este, invitò a Ferrara molti studiosi a indagare sulle cause del disastro, fondando così di fatto il primo osservatorio sismologico e gruppo di studio sui terremoti nel mondo, i cui trattati rimasero di riferimento per due secoli. L’osservatorio sismologico portò anche ai primi progetti di edifici antisismici su basi scientifiche («*Trattato de’ diversi terremoti*» di Pirro Ligorio).

Alfonso chiese aiuto a papa Pio V, ma questi lo negò sostenendo che la città era meritevole dell’ira di Dio per aver dato rifugio a profughi ebrei. Alfonso sostenne invece la causa naturale del terremoto, ma quando, nel 1571, il Duca si allontanò per combattere nella battaglia di Lepanto, il Papa eseguì un’epurazione degli ebrei dallo Stato Pontificio (a cui Ferrara apparteneva) creando due ghetti, a Roma e Ancona.

9. - SAN SEVERO, 30 LUGLIO 1627 (Imax X, Mw 6.7, 4.500 VITTIME)

Questo terremoto, per quanto forte, è storicamente importante perché in questa occasione vengono realizzate le prime cartografie sismiche, cioè con una indicazione quantitativa del danneggiamento per località. La più esatta come rappresentazione geografica è quella di GREUTER (1627; fig. 3a), dove viene attuata una differenziazione con simboli grafici in quattro classi di danneggiamenti, descritti in una specifica legenda, indicando nel testo la città più danneggiata in San Severo e contenendo così anche un’informazione sull’epicentro. L’altra è quella realizzata da DE POARDI & MARINARI (1627; fig. 3b),

che distingue anch’essa quattro classi di danneggiamento in base a simboli, ma su una rappresentazione cartografica decisamente più approssimativa. Per la prima volta vengono anche riportati disegni delle voragini apertesi nel terreno, con le relative localizzazioni, a contorno di un’altra carta fatta dal DE POARDI (1627a,b) che però non include i danneggiamenti. L’unica mappa che possiamo considerare come predecessore di questa, riferita al terremoto di Nizza del 1564 (MOGIOL, 1564), che potremmo ritenere la prima carta sismica al mondo se non fosse per una rappresentazione prospettica più che cartografica, riportava solo la differenziazione delle città “*rovinatè*” rispetto alle altre (e.g. GAUDIOSI *et alii*, 2014; VALENSISE *et alii*, 2020). Tutte queste attenzioni alla descrizione precisa mostra un emergente atteggiamento culturale più scientifico in quest’epoca.

A questo riguardo va ricordato Niccolò LONGOBARDO (1626, con il nome cinese di Long Huamin), gesuita siciliano e missionario, che proprio in questi anni, dopo un violento sisma nei pressi di Pechino, scrisse in cinese un trattato sui terremoti dal taglio totalmente pragmatico. Egli si proponeva di trovare una motivazione scientifica ai movimenti tellurici, accantonando le leggende che fino ad allora attribuivano i terremoti ad un drago che viveva nelle acque. Inoltre, i cataclismi naturali erano in larga parte attribuiti all’incapacità dell’Imperatore nel comunicare con le divinità, mettendo così costantemente in pericolo l’autorità politica<sup>10</sup>.

A seguito del terremoto di San Severo, si verificò anche uno dei più violenti maremoti italiani. Viene anche narrato che il lago di Lesina rimase a secco per un lungo periodo (ore) durante il terremoto: l’intero Lago di Lesina, «*disseccato affatto, che hoggi apparisce la spiaggia arida, e asciutta*» e «*si erano trovati molti pesci lontano dal Lago*» (DE POARDI, 1627a); allo stesso tempo il tratto di mare dalla foce del Fortore a Torre Mileto si ritirò per qualche ora prima di ritornare con un’onda che avanzò di due miglia nell’entroterra. Lo studio stratigrafico dell’area di Lesina ha evidenziato

(10) Longobardo scrisse il trattato ripensando al sisma che il 12 dicembre 1542 aveva colpito la Val di Noto e raso al suolo la sua Caltagirone (M 6.8). L’evento ebbe epicentro a Lentini, nei pressi della quale, sul colle “Yrapolis” (Hieropolis, presso l’attuale sito archeologico), si aprì una spaccatura nel terreno lunga circa 1,5 km.

la presenza di ben sei depositi potenzialmente riconducibili a tsunami, fra cui quello del 1627, e la datazione al radiocarbonio suggerisce un intervallo medio di ricorrenza di circa 1700 anni (DE MARTINI *et alii*, 2003). Notevoli variazioni si notarono anche nelle falde acquifere nei giorni precedenti il terremoto, con esalazioni da pozzi e sorgenti, dove l'acqua assunse un sapore sulfureo e, in alcuni casi, una colorazione ferruginosa. Nella carta di DE POARDI (1627b) troviamo anche per la prima volta delle rappresentazioni di quelle voragini descritte aprirsi durante il terremoto (fig. 3c, 3d).

10. - NOTO E SICILIA SUD-ORIENTALE, 11 GENNAIO 1693 (Imax X-XI, Mw 7.3, 54.000 VITTIME)

Il più forte evento sismico conosciuto in Italia. Due violentissime scosse avvenute a distanza di due giorni. La prima fu il 9 gennaio 1693, la seconda l'11 gennaio ed ebbe effetti veramente catastrofici, anche perché i danni andarono in parte a sovrapporsi a quelli della prima <sup>11</sup>. Le repliche, anche forti, furono avvertite per oltre 3 anni. Ci furono effetti d'intensità e dimensioni notevoli su un'area molto vasta. Tra



Fig. 3 - Le prime carte geografiche con classificazione dei danni sofferti dalle varie località, e relativa legenda (inset): (A) GREUTER (1627), (B) DE POARDI & MARINARI (1627). (C e D) Le prime rappresentazioni con localizzazione di voragini cosismiche nel terreno a Roseto (C) e Civitate (D) da DE POARDI (1627 b).  
- The first geographical maps with classification of the damages suffered by the various locations: and relative legend (inset): (A) GREUTER (1627); (B) DE POARDI & MARINARI (1627). (C e D) The first representations with the location of cosmic chasms in the ground in Roseto (C) and Civitate (D).

(11) La ripresa economica risultò incentivata dalla vasta attività edilizia in tutta l'area colpita, attraverso imponenti progetti di ricostruzione e spesso di rifondazione di intere città. Il fiorire dello stile barocco siciliano si manifestò pienamente solo in seguito a questi interventi di ricostruzione.

Messina e l'area iblea, si aprirono fenditure nel terreno, in molti casi con fuoriuscite di gas o di acque calde e altri materiali fluidi. Ci furono frane, che in alcuni casi sbarrarono e ostruirono corsi d'acqua, portando alla formazione di nuovi laghi. Tutto il periodo sismico fu, inoltre, accompagnato da un'intensa attività dell'Etna.

Gli effetti più rilevanti, però, furono quelli di maremoto. La scossa dell'11 gennaio generò ondate di tsunami da Messina a Siracusa. Raggiungendo l'altezza massima di circa 15 metri ad Augusta. A Catania il mare dapprima si ritirò dalla spiaggia per alcune decine di metri, poi a più riprese si riversò violentemente sulla costa con onde alte oltre 2 metri, che entrarono in città fino alla piazza San Filippo. Le ricerche geologiche (BARBANO *et alii*, 2013) hanno riconosciuto 38 depositi da tsunami negli ultimi 5200 anni, con intervallo di ricorrenza medio fra 320 e 840 anni. Vari sono riferiti a eventi storici noti. Unendo i dati storici e geologici, il tempo di ricorrenza medio per forti maremoti in Sicilia orientale risulta di ~ 400 anni negli ultimi 2000 anni.

#### 11. - BAGNOREGIO, 11 GIUGNO 1695 (Imax X, Mw 6.2, ALCUNE DECINE DI VITTIME)

La scossa principale di questa sequenza sismica, iniziata il 7 giugno, avvenne il primo mattino dell'11 giugno (MARGOTTINI *et alii*, 1985; ROVIDA *et alii*, 2019). Lo scuotimento, durato un *miserere* (ca. 60 secondi), causò molti crolli nei paesi della Tuscia, soprattutto a Bagnorea (l'attuale Bagnoregio), individuata come epicentro macrosismico, Montefiascone, Orvieto, Bolsena, provocando però per fortuna solo poche decine di vittime. Forti scosse poche ore prima avevano infatti indotto i cittadini ad abbandonare di nuovo le loro case dopo che ne erano già fuggiti all'inizio della sequenza. Il terremoto fu seguito da molte altre scosse, ricordate fino al 15 luglio nelle relazioni coeve, tra cui quelle di ANONIMO (1695) e del vescovo di Viterbo (DEGLI ATTI, 1695).

Tra gli effetti del terremoto sull'ambiente vi furono fratture nel terreno e molte frane di crollo, spe-

cialmente dai bordi della rupe tufacea di Civita, poggiante sulle argille plioceniche, tanto che l'abitato da quel momento perse rilevanza a favore della contrada di Roda, l'attuale Bagnoregio, fondata su terreno più stabile. Il fenomeno però più appariscente, e controverso, fu la brusca risalita dell'acqua del lago di Bolsena per due picche (4-5 metri) e la sua propagazione per tre miglia (quasi 5 chilometri) nei campi circostanti (MURATORI, 1749). In realtà la sessa riportata dal Muratori è verosimilmente fortemente esagerata. L'analisi morfologica di dettaglio della caldera lacustre (PICCARDI *et alii*, 2017) dimostra l'impossibilità per le acque di propagarsi per più di qualche centinaio di metri, anche ammettendo che l'altezza delle acque abbia effettivamente raggiunto i 4-5 metri. Non si trova però nel perimetro del lago o sul suo fondo alcuna evidenza di una frana in grado di produrre un'onda di tali dimensioni. Leggendo ad esempio METRÀ (1793), si scopre poi che ai tempi la *picca* era usata anche come sinonimo di *braccio* (50-65 cm), per cui l'onda potrebbe essere ridimensionata ad un'altezza molto più credibile di 1-1,3 metri. Le 3 miglia potrebbero indicare allora la distanza lungo la riva del lago dove sarebbe stato osservato il fenomeno, probabilmente nei pressi di Bolsena. È questo un esempio tipico della cautela con cui devono essere letti i documenti storici e della necessità di verifiche puntuali ove ciò sia possibile.

#### 12. - NORCIA-L'AQUILA, 14, 16 GENNAIO, 2 FEBBRAIO 1703 (Me 6.8, 6.7, 9.700 VITTIME)

Una sequenza sismica interessò l'Italia Centrale nel 1703, con tre eventi principali il 14 (Me 6.8) ed il 16 gennaio, localizzati rispettivamente a Norcia ed a Monteleone, ed il 2 Febbraio (Me 6.7) a L'Aquila. Le due scosse principali furono accompagnate da molti effetti ambientali, descritti in diverse cronache contemporanee. Quella di URIA DE LLANOS (1703) descrive tra gli effetti geologici legati alla scossa del 2 febbraio la formazione di una voragine lunga 2 miglia (circa 3 chilometri) nel territorio di Colle: “*e la Terra si aprì circa due miglia, e alla vista de' Pastori inghiottì e trangugiò alcune Pecore.*” Il sito è stato localizzato sul

terreno e studi paleosismologici hanno permesso di riconoscere quel fenomeno come la rottura sismica lungo la Faglia di Monte Marine, nella Conca Aquilana, durante il sisma del 1703 (BLUMETTI, 1995; MORO *et alii*, 2002).

Riportando dalle cronache storiche, BARATTA, nel suo volume *“I terremoti d’Italia”* (1901), descrive la formazione di un’altra voragine formatasi in occasione del terremoto del 1703 e ne riporta un disegno dettagliato. *“Fra i fenomeni di indole geologica [...] è sopra di ogni altro degna di esser ricordata la voragine apertasi nei pressi di Monte Ornaro vicino a Sigillo. [...] Si racconta che al momento della formazione di tale squarciatura uscirono ‘vampe di fuoco’ e che per altri tre giorni vennero emessi dei vapori.”* Dal confronto del disegno con il paesaggio attuale, è stato possibile riconoscere in quella voragine il Pozzo dell’Ornaro, un *sinkhole* (dolina di crollo) localizzato nei pressi dell’abitato di Sigillo, lungo la via Salaria (BLUMETTI, 1995).

### 13. - L’INIZIO DELLA RICERCA SCIENTIFICA

Le teorie naturalistiche sui terremoti non si discostarono molto dai dettami aristotelici, almeno fino al XVIII secolo. La possibilità di esplorare nuove visioni e nuovi concetti fu stimolata anche stavolta da un evento eccezionale, il terremoto di Lisbona del 1755.

#### 13.1. - LISBONA (PORTOGALLO), 1 NOVEMBRE 1755 (M > 8.7, CIRCA 50-80.000)

E’ stato il più potente terremoto occorso in Europa. Lisbona era una grande capitale europea, cuore ricco di un impero commerciale, che si estendeva dal Brasile all’Africa al lontano Oriente. Il terremoto fu devastante, la scossa principale durò sei interminabili

minuti e fu seguita dopo circa mezz’ora da un enorme maremoto (fig. 4). Il numero esatto delle decine di migliaia di morti rimane imprecisato. Dopo il terremoto iniziò un incendio che richiese giorni per spengerlo, e le repliche continuarono per oltre un mese. Le scosse furono sentite dalle Antille alla Scozia, e portarono distruzione anche in Marocco e Andalusia. La distruzione subita non fece crollare l’impero ma inflisse un duro colpo alla sua prosperità futura, nonostante l’impegno profuso dal primo ministro portoghese per ricostruire la città in splendore. Proprio per il fatto di aver colpito così duramente e completamente distrutto una delle maggiori capitali europee, l’evento ebbe una grande risonanza, impressionando la cultura di tutto il mondo e stimolando la ricerca sui terremoti e le loro cause. Voltaire, inserì l’evento nel libro *Candido o l’ottimismo* e scrisse anche un *«Poema sul disastro di Lisbona»*<sup>12</sup>, scatenando una violenta controversia con Rousseau sul problema del male sulla Terra.

Charles LYELL (1830), nel suo esame dei terremoti dei 150 anni precedenti, riportò un’accurata descrizione dell’evento: *«Dapprima s’udì provenire dalle viscere della terra un rombo come di tuono, subito dopo una violenta scossa abbatté gran parte della città. Durante sei spaventosi minuti, morirono 60.000 persone. Il mare prima si ritirò, lasciando il molo e la riva a secco, con tutte le navi e le barche che vi erano ormeggiate, quindi tornò rombando, sollevandosi di quindici metri oltre il suo solito livello. I monti Rabida, Estrella, Julio, Marao e Cintra tremarono selvaggiamente, come suol dirsi, fino alle fondamenta; alcuni subirono delle fratture sulla cima, in altri si formarono paurosi crepacci. Sulle vallate sottostanti caddero enormi massi. Alcuni affermano che da questi monti, fra i più importanti del Portogallo, uscì del fumo e che fu visto il balenio delle fiamme, che si suppone fosse d’origine elettrica; si dice anche che fumarono, ma alte nuvole di polvere possono aver dato quest’illusione. [...] tremò quasi tutta l’Europa, e, in quel giorno,*

(12) «O infelici mortali! O terra di pietà!  
O cumulo spaventoso di tutti i flagelli!  
Successione eterna di inutili dolori!  
Filosofi illusi, che gridate “Tutto è bene”,  
accorrete, contemplate queste orrende rovine,  
queste macerie, questi detriti, queste ceneri miserande,  
queste donne, questi bambini ammucchiati l’uno sull’altro,

queste membra disperse sotto i marmi infranti;  
centomila sventurati divorati dalla terra,  
che terminano i loro giorni miserevoli sanguinanti, straziati  
e ancora palpitanti,  
sepolti sotto le loro case, senza soccorso, fra orribili tormenti!  
Direte vedendo questi orribili mucchi di vittime  
“Dio si è vendicato, la loro morte è il prezzo dei loro delitti?”

Quale errore, quale delitto hanno commesso questi fanciulli  
sbiacciati, sanguinanti, sul seno materno?  
Lisbona, che più non esiste, ebbe forse vizi maggiori  
di Londra, di Parigi, immerse nei loro piaceri?  
Lisbona è distrutta e a Parigi si danza».  
(Voltaire, *Poema sul disastro di Lisbona*, 1756)

tremarono anche le Antille. Un porto chiamato Setubal, a 30 km da Lisbona, s'inabissò. Ad Algeri (Algeria) e a Fez, in Marocco, la scossa fu così violenta, che un paese di ottomila abitanti, situato ad otto leghe da Marrakech, fu inghiottito dalla terra con tutto il suo bestiame; poi il suolo si richiuse sugli sventurati. Il sisma si sentì anche in mare. In Gran Bretagna l'agitazione di laghi, fiumi e sorgenti fu notevole. A Loch Lomond, in Scozia, l'acqua, senza la minima causa apparente, prima salì oltre gli argini, e poi scese sotto il normale livello, tale dislivello fu di circa 70 cm. Una grande onda si abbatté sulle coste spagnole e, si dice, che a Cadice, abbia raggiunto i 18 metri d'altezza. A Funchal e a Madera, si alzò di 5 metri oltre il limite della marea, benché in quel momento la stessa fosse in fase calante. L'onda anomala, oltre ad aver invaso le città, causando danni ingenti, inondò altri porti dell'isola. A Kinsale, in Irlanda, un'ondata s'abbatté sul porto e dopo aver capovolto alcune navi e imbarcazioni, inondò e travolse la piazza del mercato.» Le descrizioni riportano di profonde voragini apertesi anche in Irlanda a Killomorán, Caherglissane e Kinvara.

Il primo ministro, Marquis de Pombal, diramò un

questionario sul terremoto con domande specifiche quali l'ora d'inizio, la durata, la direttività delle scosse, la direzione preferenziale dei crolli, il numero dei morti, gli effetti sul mare, e altro, che fu il primo tentativo di una raccolta sistematica di dati sul terremoto.

Immanuel Kant si appassionò molto all'evento, e raccolse moltissime informazioni per dimostrare che i terremoti sono fenomeni naturali e non una punizione divina. Nei suoi studi ipotizzò l'esistenza di caverne sotterranee riempite di gas caldi essere all'origine dei terremoti. Riportò anche numerose notizie di luci abbaglianti e cieli colorati prima del terremoto. Fra gli studi su questo terremoto fu di particolare importanza quello fatto dall'inglese John MICHELL (1761), eclettico professore di Cambridge, che fu il primo a introdurre l'idea che i terremoti viaggiassero per onde che si propagavano dall'ipocentro andando poi a sfumare con la distanza. Ritenne tuttavia che le scosse fossero prodotte da fuochi interni alla terra, simili a quelli che generavano i vulcani, che in contatto con l'acqua generavano



Fig. 4 - Terremoto e maremoto di Lisbona, 1755, incisione dell'epoca, anonima.  
- Lisbon, 1755, earthquake and tsunami, anonymous engraving of the time.

istantaneamente vapori in pressione. Compresse l'associazione delle aree vulcaniche con le zone sismicamente attive, anche se riteneva che il fuoco interno fosse dovuto alla combustione di letti di carbone, lignite o scisti bituminosi. Distinse diversi tipi di onde e arrivò anche a stimare, benché grossolanamente, la velocità delle onde ritenendola non inferiore a quella del suono. Considerando come elementi utili la direzione di arrivo delle onde sismiche, il diverso tempo di arrivo delle scosse e la differenza di arrivo di diversi tipi di onde, pur disponendo di dati ancora troppo grossolani, tentò anche di stimare l'epicentro di questo terremoto.

### 13.2. - CALABRIA, 5 FEBBRAIO-28 MARZO 1783 (Mw CA. 7.1, 6.5, 6.0, 6.0, 7.0, >30.000 VITTIME)

Fu una sequenza sismica complessa, con cinque scosse principali. Impressionanti effetti cosismici, numerose frane, formazione di laghi, montagne spaccate, il corso di fiumi e torrenti cambiato, abbassamento della valle di Messina, e molti fenomeni di liquefazione e zampilli d'acqua (fino a 20 m), descritti in vari lavori (e.g. BLUMETTI *et alii*, 2015, con riferimenti).

Nel nostro *escursus* sottolineiamo qui le condizioni sociali in cui avvenne questa catastrofe. Il mondo viveva ancora un'epoca di realtà locali molto isolate. Le notizie dei primi 3 terremoti impiegarono circa dieci giorni per arrivare a Napoli, capitale del Regno. Fu però in quest'occasione che si organizzò per la prima volta una vera e propria spedizione scientifica per investigare sul posto il fenomeno sismico occorso. Il governo borbonico inviò una spedizione della Reale Accademia delle Scienze e Belle Lettere di Napoli, con numerosi scienziati, letterati, architetti e ingegneri, sia italiani che stranieri, incaricati di eseguire indagini e osservazioni scientifiche sui fenomeni sismici e i loro effetti (monografia di Michele Sarconi, 1784, con atlante iconografico).

La ricostruzione di intere città e paesi fu pensata secondo regole e piani urbanistici nuovi, che possono essere visti come uno dei primi tentativi europei di introduzione di una normativa antisismica (BOSCHI *et alii*, 2000).

### 13.3. - BASILICATA, 16 DICEMBRE 1857 (Mw 7.1, 19.000 VITTIME)

Nonostante fosse passato quasi un secolo dagli eventi del 1755 e del 1783, i paesi più lontani dalla capitale, Napoli, erano ancora molto isolati. Solo a fine marzo del 1858 si poté provvedere a seppellire i morti. Ancora una volta fu un forte terremoto a determinare una svolta fondamentale nelle conoscenze sul terremoto, che in qualche modo segnò la nascita della moderna sismologia.

Robert Mallet, nel suo studio sul terremoto del 1857 (MALLETT, 1862), senza discostarsi di molto da Aristotele, riteneva che i terremoti derivassero da esplosioni in cavità sotterranee, principalmente legate al vulcanismo. Tentando di determinare la profondità della cavità, introdusse termini che sono rimasti nella sismologia, come focus, epicentro, area mesosismica e curve mesosismiche per indicare aree con lo stesso danneggiamento. Mallet definì sismologia la scienza che studiava i terremoti. Determinò l'epicentro individuando il punto di incontro di una serie di linee ideali tracciate lungo il prolungamento della direzione di caduta di manufatti, e questo metodo fu utilizzato da allora fino al terremoto del Fucino del 1915, per essere poi soppiantato da metodi puramente strumentali.

Fra dicembre e gennaio Alphonse Bernoud documentò i paesi colpiti, realizzando il primo reportage fotografico di un terremoto.

Dalle fonti storiche, risulta che la scossa principale era stata preceduta di circa due minuti da un'altra scossa significativa. Il terremoto sembra quindi essere stato un evento composto da più eventi individuali vicini nello spazio e nel tempo. La prima scossa colpì la parte nord dell'area mesosismica. Si trattò quindi di una fortissima premonitrice, un terremoto di magnitudo tra 5.5. e 6.0.

## 14. - LA SISMOLOGIA MODERNA

L'idea che i terremoti rappresentassero una reazione elastica a fenomeni geologici, proposta per la prima volta in maniera intuitiva da Robert HOOKE

(*Discourse of earthquakes*, 1668)<sup>(13)</sup>, come abbiamo visto fu espressa in modo più sistematico da John MICHELL (1761) per il terremoto di Lisbona. Ma fu solo alla fine del 1800 che si comprese il meccanismo primario della genesi delle onde sismiche, cioè il rilascio della deformazione per lo scorrimento istantaneo su una faglia. La scienza dei terremoti si è quindi poi sviluppata durante il XX secolo, attraverso l'interdisciplinarietà fra la geologia, la fisica e l'ingegneria.

## 15. - COMPrensione DELLA SORGENTE SISMICA

Il geologo scozzese Charles LYELL (1830) descrisse gli effetti naturali di vari terremoti, fra i quali dislocazioni e cambiamenti di livello del suolo, ma benché ritenesse i terremoti agenti importanti nel dinamismo terrestre e nel dare forma alla sua superficie, attribuiva però la causa di questi eventi al termalismo, sia come vulcanismo che come dilatazioni e contrazioni termiche. L'austriaco Eduard SUESS, nel 1872 formulò per primo un'ipotesi diversa da quella di una sorgente puntuale. Studiando alcuni terremoti della Calabria aveva notato che tendevano a ripetersi nello stesso punto o a migrare lungo una linea che corrispondeva a una faglia geologica, dando così inizio alla comprensione che i terremoti fossero legati alle faglie.

Nello stesso periodo, la seconda metà del 1800, si vide il perfezionamento dei primi sismografi, in particolare quello di Filippo Cecchi del 1875 dell'Osservatorio Ximeniano di Firenze, che aprirono la strada alla moderna sismologia strumentale.

La prima chiara connessione causale fra terremoti, fagliazione e processi tettonici fu compresa da G.K. GILBERT (1884), a seguito del suo sopralluogo nella Owens Valley (CA) colpita dal terremoto del 26 marzo 1872 (Mw 7.4-7.9), uno dei più forti terremoti nella storia degli Stati Uniti, che produsse la rottura superficiale di una faglia per una lunghezza di

più di 100 km:

*“Una montagna non viene tirata su tutta in una volta con un grande sforzo ma si forma piano piano. Quando avviene un terremoto una parte della base del versante va su con tutta la montagna, e l'altra parte va giù (relativamente) con la valle. Uno scalino marca la linea di separazione tra le due parti. Questo piccolo scalino, in gergo geologico, si chiama ‘Scarpata di Faglia’ e la frattura della terra che ha permesso alla montagna di essere sollevata si chiama ‘Faglia’.”* (GILBERT, 1884).

Negli stessi anni, una serie di altri autori dimostrò che è il movimento delle faglie a generare i terremoti, MCKAY (1890) a seguito del terremoto in Nuova Zelanda del 1888, e in particolare KOTO (1893) in Giappone.

Su questi importanti impulsi strumentali e concettuali, nacquero fra il 1895 e il 1907 le prime Commissioni Sismologiche in Inghilterra, Austria, Giappone e America.

## 16. - NOBI (GIAPPONE), 28 OTTOBRE 1891 (M 7.5-8, 7.500 VITTIME)

Il giapponese Bunjiro Koto (1893) dimostrò esplicitamente il legame genetico fra faglie e terremoti, e documentò con precisione il fenomeno della fagliazione superficiale. Gli effetti ambientali di questo terremoto furono impressionanti. Grandi frane vennero giù dai versanti, riempiendo le valli di detriti. Innumerevoli fessure tagliarono le pianure, *“come se un aratro gigante avesse arato le sponde dei fiumi, ciascun solco profondo da 3 a 12 piedi.”* Ma il fenomeno più rilevante del terremoto fu una grande spaccatura o faglia che, a differenza delle fessure sopra citate, continuava il suo corso senza curarsi di valle, pianura o montagna. Koto ritenne che questa dovesse essere l'espressione superficiale della faglia associata al terremoto, e la mappò per esteso, riconoscendone una lunghezza di almeno 80 km (fig. 5a-5d). In base ai risultati delle sue osservazioni geologiche, KOTO (1893) concluse che

(13) Il volume fu pubblicato postumo nel 1705, ma ci sono evidenze che fanno datare il nucleo del *Discourse* al 1668.

*“The sudden elevations, depressions, or lateral shifting of large tracts of country that take place at the time of destructive earthquakes are usually considered as the effects rather than the cause of subterranean commotion; but in my opinion it can be confidently asserted that the sudden formation of the ‘great fault of Neo’ was the actual cause of the great earthquake.”*

## 17. - SCALE DI INTENSITÀ E DI MAGNITUDO

Le scale di intensità macrosismiche rappresentano lo sviluppo dei primi tentativi di classificare i danneggiamenti di un terremoto che abbiamo visto svilupparsi nelle cartografie sismiche a seguito del terremoto del 1627. Il primo approccio fu quello di Domenico Pignataro, che nel 1788, a seguito dei grandi terremoti del 1783, provò a classificare 1186 terremoti avvenuti in Calabria fra il 1783 e il 1786 assegnandoli a 4 classi in funzione dei danni e del numero delle vittime. Altri tentativi furono fatti da P.N.G. Egen nel 1828, con una scala di 6 gradi. Altre due scale furono messe a punto da Mallet nel 1859 e 1862. Nel 1874 il sismologo Michele Stefano De Rossi mise a punto una scala divisa in 10 gradi, che in seguito unificò nel 1883 con una analoga del collega svizzero F.A. Forel, creando quella chiamata Scala De Rossi-Forel.

La messa a punto di una scala macrosismica avanzò di pari passo con la compilazione di cataloghi dei terremoti storici. Nello stesso anno Giuseppe Mercalli pubblicò un Catalogo Generale dei Terremoti Italiani (MERCALLI, 1883), nel quale suddivise i terremoti in 6 classi di intensità. Nel 1901, Mario Baratta, uno dei padri della sismologia storica italiana, compilò un approfondito catalogo che rappresentò il punto di partenza per i cataloghi futuri: elencò ben 250 centri sismici in Italia, localizzando i terremoti

storici con accuratezza <sup>(14)</sup>, e riportò dettagliatamente i particolari sugli effetti determinati sui centri abitati e sull’ambiente descritti storicamente per i singoli eventi <sup>(15)</sup>.

Nel 1902 Mercalli pubblicò poi una modifica della scala adottata nel suo catalogo portandola a 10 gradi (I-X), che prese il nome di Scala Mercalli e venne ufficialmente accettata come scala di riferimento nazionale. Dopo il terremoto di Messina del 1908, e con gli apporti di Adolfo Cancani e August Sieberg, la scala fu modificata e portata a 12 gradi, ma il nome Mercalli fu mantenuto. La nuova scala fu pubblicata nel 1923 col nome di Scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS). Una nuova variante, adattata a nuove tipologie costruttive, fu pubblicata dagli americani WOOD & NEUMANN (1931) e prese il nome di scala Mercalli Modificata (MM) ancora utilizzata in gran parte del mondo. L’evoluzione della scala macrosismica ha visto nuove varianti nel 1964, con la Scala Medvedev-Sponheuer-Karnik (MSK), e nel 1992 e 1998 con la European Macroseismic Scale (EMS e EMS-98) che integrano classi di tipologie costruttive e classi di danneggiamento (vedi COMERCI, 2013; GAUDIOSI *et alii*, 2014; VALENSISE *et alii*, 2020).

Oltre che con la ricerca sui terremoti storici, il perfezionamento delle scale macrosismiche si accompagnò con il perfezionamento degli strumenti di registrazione e le conoscenze geofisiche dei terremoti, che forniva l’elemento base per il possibile confronto fra le misurazioni strumentali dei terremoti, limitate al XX secolo, e le relazioni storiche sui danneggiamenti. Per esprimere in forma quantitativa e non soggettiva la “forza” di un terremoto si andarono infatti sviluppando parallelamente scale basate sull’energia rilasciata dal terremoto, che facevano riferimento quindi non agli effetti indotti dal sisma ma dalle sue caratteristiche strumentali, quali la magni-

(14) *“Le ricerche sui terremoti antichi, insieme allo studio monografico di ogni singola scossa che viene ai nostri di a colpire una data regione, servono alla identificazione dei vari centri o radianti di scuotimento, da cui risulta, in modo evidente l’intimo nesso che lega i fenomeni di ordine sismico con la speciale costituzione geologica e tettonica della regione stessa”* (BARATTA, 1901).

(15) *“Le antiche memorie parlano di città state inghiottite, di montagne spaccate, di laghi formatisi, di squarciature aperte nel terreno esalanti pestilenziali gas e vapori: fenomeni che, spogliati di quanto vi ha aggiunta la fantasia e la paura, si riducono all’ordine ed alla proporzione di quelli che accaddero in altri tempi e che avvengono tuttora in occasione di qualche violento parossismo e dei quali il lettore troverà molteplici esempi nel corso di questo lavoro.”* (BARATTA, 1901).

tudo. Questo metodo per la classificazione dei terremoti in base alla potenza fu ideato da Charles F. RICHTER (1935), come relazione dell'ampiezza della scossa registrata dal sismografo. La magnitudo così misurata, che si limitava a distanze inferiori a 600 km, prese il nome di Magnitudo locale (ML) e la scala che a questa faceva riferimento fu chiamata Scala di magnitudo locale (o scala Richter). Misurando l'energia rilasciata dall'evento, si possono avere crescite incrementali, per fare un esempio il più forte terremoto noto al mondo ha avuto una magnitudo pari a 9.5, e si può stimare una magnitudo pari a 13 gradi per l'impatto dell'asteroide nella penisola dello Yucatan che causò la scomparsa dei dinosauri circa 65 milioni di anni fa. Anche in questo caso varie modalità di stima di magnitudo sono state introdotte col tempo. Hiroo KANAMORI (1977) propose una scala di magnitudo basata sul momento sismico, concetto introdotto nel 1966 da Keiiti Aki e che metteva in relazione l'energia rilasciata dal sisma con l'effettiva l'area di rottura della faglia sismica. La magnitudo così stimata è detta Magnitudo momento (Mw) e la relativa scala ha il nome di Scala di magnitudo del momento sismico (MMS), che è attualmente diventata il riferimento standard.

## 18. - I TERREMOTI DELL'INIZIO DEL 1900

L'inizio del 1900 fu segnato in Italia da fortissimi terremoti che colpirono l'area dello Stretto di Messina nel 1905 e nel 1908. Nello stesso periodo anche San Francisco, in California, venne devastata dal terremoto del 1906 (M 8.3) e dal conseguente incendio. Dato il periodo di fervore che attraversava il mondo scientifico con la scoperta delle cause dei terremoti, l'avvento delle registrazioni strumentali e la nascita delle prime Commissioni Sismologiche, questi eventi contribuirono a dare ulteriore slancio alle ricerche. Il terremoto di San Francisco, che produsse una fagliazione superficiale di oltre 400 km, portò alla formulazione della teoria del rimbalzo elastico (elastic rebound theory; REID, 1910) che ancora oggi è valida per spiegare la dinamica dei terremoti. Il terremoto di Messina del 1908, così catastrofico da eguagliare le vittime di

quello di Lisbona, portò invece a nuove comprensioni sulla dinamica di propagazione dei terremoti.

### 18.1. - CALABRIA, 8 SETTEMBRE 1905 (Mw 6.95, 560 VITTIME)

L'evento interessò un'area molto vasta della Calabria, causando distruzioni e diffusi effetti ambientali, quali liquefazioni, frane e crollo di massi, perturbazioni del regime idrogeologico e un locale tsunami (GALLI & MOLIN, 2009). Il terremoto fu inoltre preceduto e seguito da numerosi fenomeni acustici e luminosi. Per la vastità dell'area e le sue caratteristiche disomogenee, è stato riferito a un ipocentro profondo legato alla placca in subduzione (e.g. GALLI, 2009; TIBERTI *et alii*, 2017). Difficile pensare che non abbia rappresentato una causa predisponente per il successivo sisma del 1908. Le osservazioni misero in evidenza il diverso grado di danneggiamento delle case in relazione al tipo di suolo su cui erano costruite: erano i primi passi verso la comprensione dell'amplificazione delle onde sismiche sui diversi terreni, che ha poi portato alla microzonazione sismica del territorio.

### 18.2. - MESSINA E REGGIO CALABRIA, 28 DICEMBRE 1908 (Mw 7.1, 80.000 VITTIME)

Il terremoto produsse grandi sconvolgimenti nel territorio, che sono stati descritti da vari autori (e.g. VALENSISE & PANTOSTI, 1992; GALADINI & GALLI, 1999; GUIDOBONI & MARIOTTI, 2008; GUIDOBONI *et alii*, 2008; COMERCI *et alii*, 2015). Il grande numero di vittime fu dovuto sia al terremoto che allo tsunami (5-10 minuti dopo, con onde di 6-13 m) in quanto i superstiti si erano diretti sulla spiaggia in cerca di salvezza dal terremoto. Esiste una vasta documentazione fotografica, il volume della Società Fotografica Italiana (1909) raccoglie oltre 600 fotografie, sul "prima" e il "dopo" delle città. Esistono anche alcuni rarissimi filmati cinematografici, oltre a pregevoli rapporti tecnici (per ulteriori dettagli consultare COMERCI *et alii*, in questo volume). Fusakichi Omori, collega di Koto, studiando i terremoti italiani, in occasione di quello del 1908, ipotizzò l'esistenza di una

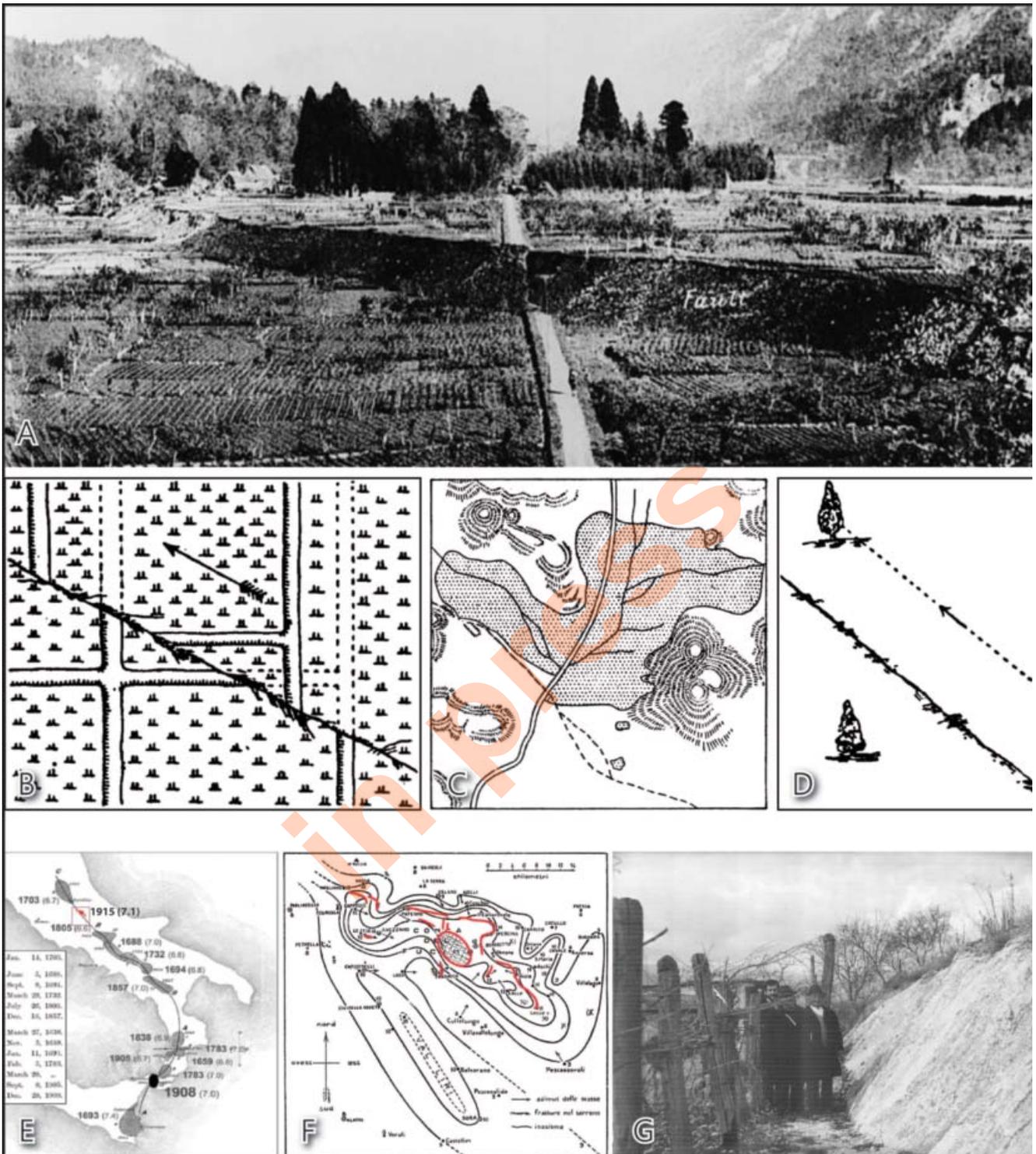


Fig. 5 - La prima fotografia di una fagliazione superficiale e le prime mappe di dettaglio degli effetti cosismici della fagliazione (KOTO, 1893): (B) Dislocazione sinistra dei canali nei campi coltivati; (C) Impaludamento da sbarramento dovuto alla scarpata di faglia; (D) Spostamento sinistro di un filare di alberi. (E) La carta di OMORI (1909), con indicazione dei gap sismici lungo la dorsale appenninica centro-meridionale (modificata da VALENSISE *et alii*, 2020). (F) ODDONE (1915): mappa delle isosiste del terremoto del 1915, con indicazione delle rotture cosismiche (evidenziate in rosso). (G) Testimoni oculari indicano la fagliazione cosismica verificatasi nel 1915, ancora oggi visibile (SERVA, 1986).

- The first photograph of a surface faulting scarp and the first detailed maps of the seismic effects of faulting (KOTO, 1893): (B) Left-lateral displacement of canals in cultivated fields; (C) Swamp formed due to the fault escarpment; (D) Left-lateral displacement of a row of trees. (E) The OMORI (1909) map, with indication of seismic gaps along the central-southern Apennine ridge (modified from VALENSISE *et alii*, 2020). (F) ODDONE (1915): map of the isoseismal lines of the 1915 earthquake, with indication of seismic ruptures (highlighted in red). (G) Eyewitnesses indicate the coseismic faulting of 1915, still visible today (SERVA, 1986).

‘faglia’ appenninica, individuando anche due aree di *gap* sismici importanti rispetto ai forti terremoti degli ultimi secoli, dei quali uno nell’area del Fucino (OMORI, 1909) (fig. 5e). Questo *gap* fu colmato solo 6 anni dopo, col terremoto del 1915.

### 18.3. - FUCINO, 13 GENNAIO 1915 (M 7.1, >30.000 VITTIME)

Si tratta del primo terremoto per il quale sia stata redatta una cartografia specifica sulle rotture superficiali cosismiche (ODDONE, 1915) (fig. 5f). Più di 70 anni dopo il terremoto si è potuto ancora intervistare testimoni oculari di questo terribile disastro, che hanno potuto localizzare sul terreno la fagliazione superficiale prodotta dal sisma (SERVA, 1986; SERVA *et alii*, 1986) (fig. 5g). In base a quanto riferito dai testimoni diretti dell’evento, è stato possibile identificare tra l’altro, lungo una lieve rottura di pendio all’interno della piana del Fucino, vicino all’abitato di San Benedetto, dove a seguito del sisma si era prodotta una profonda voragine mostrata in una foto nel volume di ODDONE (1915), il sito dove effettuare studi paleosismologici (MICHETTI *et alii*, 1996).

### 18.4. - IRPINIA, 23 NOVEMBRE 1980 (Mw 6.8, 3000 VITTIME)

Il terremoto dell’Irpinia del 1980 ha segnato una svolta nella ricerca italiana e nell’approccio allo studio della sorgente sismica. Per la prima volta è stato possibile infatti avere una registrazione strumentale completa, di alta qualità e coerente di tutti i dati del terremoto, dal meccanismo focale alla sequenza completa degli aftershoks, dalle forma d’onda della sorgente sismica alla propagazione in profondità del piano di rottura, dalle misurazioni geodetiche della deformazione superficiale alla registrazione accurata dei fari fenomeni cosismici<sup>16</sup>. Tutti i dati hanno in-

dicato coerentemente l’attivazione di una faglia distensiva con andamento NW-SE. La magnitudo del terremoto e le caratteristiche della sorgente profonda permettevano di capire che la rottura sismica avesse dovuto raggiungere la superficie, tuttavia l’identificazione di questa fagliazione superficiale rimase sconosciuta per anni.

Abbiamo visto come in passato le relazioni sismiche riportassero fra gli elementi di particolare rilievo l’apertura delle grandi voragini nella terra, e come spesso sia stato possibile, grazie alle conoscenze acquisite in seguito e al riesame dei dati, riconoscere in queste voragini proprio la fagliazione superficiale che era la diretta espressione del movimento della faglia sismica. In questo caso invece tutta l’attenzione fu rivolta alle registrazioni strumentali. Solo quattro anni dopo il terremoto fu data la notizia del riconoscimento di un primo tratto di questa rottura superficiale (circa 8 km), e tale individuazione fu possibile grazie alle indicazioni di pastori che erano stati testimoni diretti dell’evento (WESTAWAY & YACKSON, 1984). Passarono ancora molti anni prima che la rottura cosismica fosse riconosciuta nella sua interezza (PANTOSTI & VALENSISE, 1988, 1990; PANTOSTI *et alii*, 1993) e anche questa volta l’individuazione fu agevolata dagli abitanti che, frequentando la montagna quotidianamente per le loro attività, si erano accorti da subito degli effetti sul territorio. La completezza del quadro geologico e geofisico di quel terremoto rappresentò la prima documentazione certa in Italia dell’attivazione di una sorgente sismica per scorrimento su una faglia profonda che raggiunge la superficie. L’impulso dato alla ricerca da questo sisma ha permesso quindi di sviluppare un’analisi comparativa dei terremoti strumentali e storici che in pochi decenni ha portato a conoscenze sulla dinamica dei terremoti in Italia, sul rischio sismico, nonché e alla loro disponibilità diffusa, inimmaginabili solo qualche decennio prima<sup>17</sup>.

(16) Per una sommario delle molte pubblicazioni al riguardo si veda VALENSISE (1993).

(17) Va ricordato che un terremoto quasi altrettanto violento colpì la stessa area, poco più a est (23 luglio 1930, Mw 6.7, 1400 vittime). Dato il periodo storico, le autorità tesero a minimizzare l’evento e le attività furono rivolte al soccorso delle popolazioni e ad una rapida ricostruzione. Pochi anni dopo (1936) venne comunque creato da Guglielmo Marconi, allora Presidente del Consiglio Nazionale delle Ricerche, l’Istituto Nazionale di Geofisica, evolutosi poi nel 1999 nell’attuale Istituto di Geofisica e Vulcanologia.

## 19. - DAI CATALOGHI MODERNI AI SITI WEB INTERATTIVI E ALLA SCALA ESI2007

Con il Progetto Finalizzato Geodinamica (1976-1984) l'Italia, attraverso il CNR, ha finanziato il primo grande progetto nazionale di ricerca sul rischio sismico. In quegli anni le conoscenze sulla sismicità, la neotettonica e la paleosismologia fecero un notevole balzo in avanti. Tra le importanti eredità lasciate da quegli anni, sono certamente di rilievo i primi cataloghi moderni, quali il *Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980* (POSTPISCHL, 1985) e l'*Atlas of Isoseismal Maps of Italian Earthquakes* (POSTPISCHL, 1985). A questi fecero seguito, negli anni successivi, altri importanti cataloghi, come *I terremoti prima del Mille in Italia e nell'area mediterranea: Storia, archeologia, sismologia* (GUIDOBONI, 1989), il *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980* (BOSCHI *et alii* 1995), il *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990* (BOSCHI *et alii*, 1997) e il *Catalogue of Strong Italian Earthquakes* (BOSCHI *et alii*, 2000), pubblicato anche su CD-ROM.

A partire dal 1997, cominciò la pubblicazione da parte del CNR-GNDT (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti) e di ING-SGA Storia Geofisica Ambiente dei Cataloghi parametrici di terremoti italiani al di sopra della soglia del danno e dei Database di osservazioni macrosismiche. I primi Cataloghi furono il NT4.1 e il CPTI1 omogeneizzati nel tempo ed evoluti fino al contemporaneo CPTI15 v2.0 pubblicato da INGV (ROVIDA *et alii*, 2019; <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>); il primo Database fu il DOM4.1, progressivamente aggiornato fino all'ultima attuale versione, il DBMI15 v2.0, anch'essa pubblicata da INGV e reperibile allo stesso link (fig. 6a, 6b). La novità non indifferente fu che tali cataloghi, a partire dal 1997, potevano essere consultati via InterNet, al contrario dei precedenti pubblicati solo in formato cartaceo (alcuni anche su CD-ROM).

A seguito della collezione di dati sulla sismicità nell'area mediterranea fino all'anno 1000 (GUIDOBONI *et alii*, 1994) e tra l'XI e il XV secolo nel *Catalogue of earthquakes and tsunamis in the Mediterranean area from the 11th to the 15th century* (GUIDOBONI & COMA-

STRI, 2005), l'area di pertinenza del Catalogo dei Forti terremoti fu estesa a tutto il bacino del Mediterraneo, con la pubblicazione del CFTI4Med, del 2007, sotto forma di una banca-dati informatizzata gestita attraverso un sistema web-GIS (GUIDOBONI *et alii*, 2007). Nel 2018 è stata, infine, pubblicata l'ultima versione del catalogo, denominata CFTI5Med (GUIDOBONI *et alii*, 2018) poi aggiornata nel 2019 (GUIDOBONI *et alii*, 2019; <http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/>) (fig. 2e).

Relativo a tutta l'area mediterranea è anche l'Euro-Mediterranean Tsunami Catalogue ([http://roma2.rm.ingv.it/en/facilities/data\\_bases/52/euro-mediterranean\\_tsunami\\_catalogue](http://roma2.rm.ingv.it/en/facilities/data_bases/52/euro-mediterranean_tsunami_catalogue)) pubblicato da INGV, che contiene informazioni su 290 maremoti avvenuti dal 6150 B.C. ad oggi.

Nel 2000 è stata rilasciata anche la prima versione del Catalogo ITHACA (ITaly Hazard from Capable faults), che colleziona informazioni sulle faglie attive, potenzialmente capaci e capaci del territorio italiano, la cui versione aggiornata è consultabile al link: <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>.

Nel 2001 viene rilasciata, su CD-ROM, anche la prima versione pubblica del DISS (Database of Individual Seismogenic Sources), curato da INGV, con l'obiettivo di definire la sorgenti sismogeniche del territorio italiano. L'ultima versione è raggiungibile al link <http://diss.rm.ingv.it/diss/> (fig. 6c). Nell'ambito di una collaborazione INGV-ISPRA, è attualmente in fase di realizzazione una interfaccia che integri e renda interoperabili i due database ITHACA e DISS.

Sulla scorta delle conoscenze acquisite a livello mondiale sugli effetti dei terremoti sull'ambiente, un gruppo di lavoro internazionale a guida italiana, nel 2007, ha pubblicato, sotto l'egida dell'INQUA (International Union for Quaternary Research), la Scala ESI (Environmental Seismic Intensity scale; MICETTI *et alii*, 2007; SERVA *et alii*, 2016). Tale scala macrosismica è basata esclusivamente sugli effetti indotti dai terremoti sull'ambiente naturale (fagliazione superficiale, deformazioni topografiche, liquefazioni, frane, variazioni idrologiche, ecc.). Essa va utilizzata in combinazione con le altre scale macrosismiche, ma in particolari condizioni è l'unica che può fornire

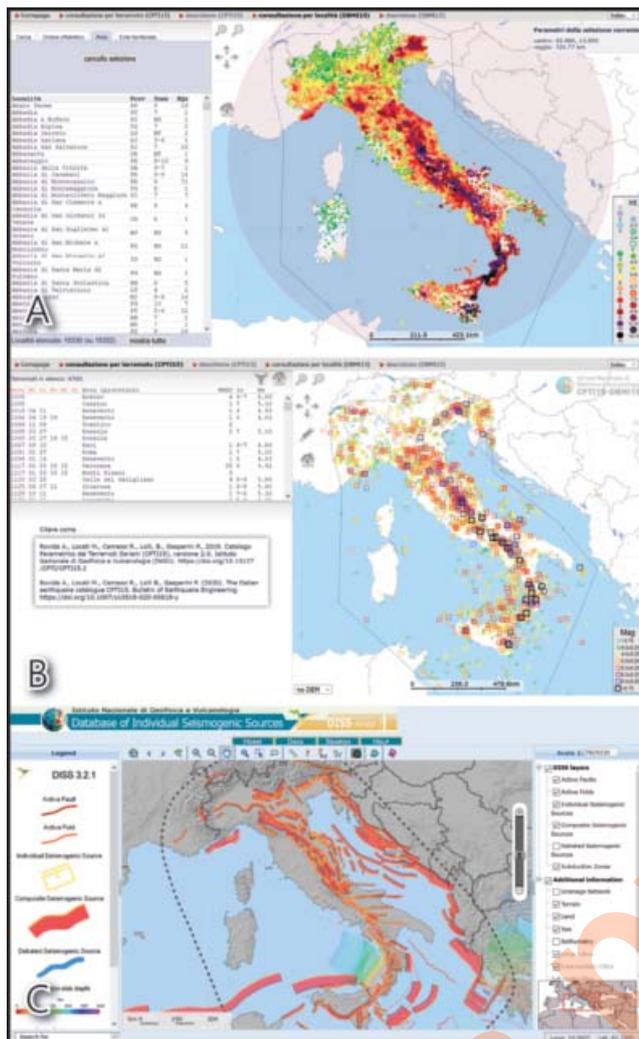


Fig. 6 - (A) DBMI15 (Database Macrosismico Italiano) e (B) CPTI15 (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani) (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>, ROVIDA *et alii*, 2019). (C) DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) (<http://diss.rm.ingv.it/diss/>, DISS WORKING GROUP, 2018). - (A) DBMI15 (Italian Macroseismic Database) and (B) CPTI15 (Parametric Catalogue of Italian Earthquakes) (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>) (ROVIDA *et alii*, 2019). (C) DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) (<http://diss.rm.ingv.it/diss/>, DISS WORKING GROUP, 2018).

stime dell'Intensità affidabili, come nelle aree scarsamente popolate o per i gradi più alti (dal X in poi), quando le costruzioni sono completamente distrutte e solo gli effetti sull'ambiente possono essere diagnostici. La Scala ESI2007 presenta 12 gradi ed è tarata sulle scale MM (Mercalli Modificata) e MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik). Nella figura che segue viene proposta la rappresentazione grafica della ESI2007

Per concludere, nel 2011 viene pubblicato da

ISPRA sul web (<http://ecccatalogue.isprambiente.it/viewer.php>) l'EEE (Earthquake Environmental Effects) Catalogue, il Catalogo degli effetti indotti sull'ambiente da terremoti (sia storici che paleoeventi) avvenuti nel mondo. Tale catalogo consente di comparare gli effetti verificatisi in diverse parti del globo e mette in evidenza quanto questi contribuiscano al danneggiamento procurato dai terremoti (AUDEMARD *et alii*, 2015).

## 20. - CONCLUSIONI

La rassegna storica evidenzia come la conoscenza del fenomeno terremoto, la spiegazione dei meccanismi di generazione e la comprensione degli effetti diretti e correlati abbiano avuto una chiara evoluzione, passando dal campo teologico a quello puramente filosofico, per approdare nel campo speculativo scientifico. Le conoscenze scientifiche, acquisite soprattutto nell'ultimo secolo, consentono anche la rilettura degli eventi storici, l'analisi più mirata e sistematica degli effetti e la loro caratterizzazione, contribuendo alla definizione delle sorgenti sismiche e del loro potenziale. Tutto questo consente di ampliare notevolmente la finestra temporale di osservazione, rispetto al solo dato sismologico strumentale, e unito al dato geologico strutturale e morfotettonico, concorre ad una migliore valutazione della pericolosità sismica del territorio, sia su base probabilistica che deterministica. Ciò risulta particolarmente vero per l'Italia, dove lo sviluppo delle conoscenze tettoniche e sismologiche, favorito anche dalla disponibilità di dati ed osservazioni tramandate dall'enorme patrimonio storico-culturale e architettonico, consente di conoscere quali siano le aree a maggiore pericolosità sismica.

Anche le conoscenze nel campo delle tecniche di costruzione antisismica e degli interventi di adeguamento e restauro antisismico hanno compiuto grandi passi in avanti, consentendo la realizzazione d'infrastrutture in grado di resistere agevolmente alle accelerazioni sismiche e garantire sicurezza anche in aree ad altissima pericolosità sismica.

Tuttavia, spesso in Italia alle maggiori condizioni

di pericolosità si associano condizioni critiche di vulnerabilità degli edifici, delle strutture, del tessuto urbanistico e sociale, determinando condizioni di rischio elevato. I tanti paesi che caratterizzano il territorio appenninico e sono parte integrante dell'identità storica, paesaggistica e sociale del nostro Paese, rappresentano anche un patrimonio di conoscenze rispetto alla storia sismica del territorio, ma devono essere adeguatamente custoditi affinché non si trasformino da risorsa storico-culturale e turistica ad elemento di estrema vulnerabilità e di morte in caso di evento sismico.

Nelle aree ad elevata pericolosità sismica, infatti, il patrimonio edilizio risulta antico e spesso costruito con materiali e tecniche inadatti a sostenere gli scuotimenti sismici attesi, come evidenziato dalla sequenza sismica del 2016. Pertanto, è chiaro che è sulle tematiche di prevenzione e di mitigazione del rischio, attraverso l'adeguamento strutturale ed urbanistico in chiave antisismica che deve essere focalizzata la nostra attenzione. Le scelte politiche devono essere orientate verso l'attuazione di piani di riduzione del rischio sismico, politiche di conservazione e miglioramento antisismico del patrimonio architettonico ed urbanistico. Occorre promuovere la capacità di programmare tali scelte e tali piani antisismici su periodi più lunghi della durata dei singoli governi, perché solo in tal modo si riesce a vedere la loro effettiva sostenibilità economica, oltre che i grandi risultati in termini di riduzione dei danni e delle vittime nei confronti terremoti futuri.

Certamente, nuovi contributi verranno dal campo scientifico e consentiranno di programmare e realizzare gli interventi in modo più adeguato ed efficiente, ma gli strumenti di prevenzione sono e rimarranno comunque imprescindibili. Per esempio, sono in sviluppo tecniche promettenti che tutti speriamo ci consentiranno un giorno di prevedere gli eventi sismici maggiori con un certo preavviso. Questo ci renderà capaci di salvare delle vite umane, ma non sarà sufficiente ad evitare che i terremoti abbiano ugualmente un notevole impatto economico sulla società. La memoria collettiva, e la consapevolezza del rischio che ne deve conseguire, rimarrà sempre il principale strumento di protezione civile e

sociale. Nel frattempo, la ricerca va avanti, che sia archeologica, paleosismologica, storica o iconografica, continuando ad aggiungere talvolta magari piccole, ma sempre essenziali, tessere al grande puzzle della nostra storia naturale, che si fa qui, ancora più che in altri ambiti, strumento di difesa del bene comune.

## BIBLIOGRAFIA

- ADAMS F.D. (1938) - *The birth and development of the geological sciences*. Baltimore, Williams & Wilkins Co., 506 pp.
- ANONIMO (1695) - *Relatione del danno cagionato dal Terremoto successo à dì 7 Giugno 1695 nelle Città di Bagnarea, Orvieto, e Luoghi convicini*. G. F. Buagni editore, Roma, 4 pp.
- AUDEMARD F., AZUMA T., BAIOTTO F., BAIZE S., BLUMETTI, A., BRUSTIA E., CLAGUE J., COMERCI V., ESPOSITO E., GUERRIERI L. (ED.), GURPINAR A., GRÜTZNER C., JIN K., KIM Y.S., KOPSACHILIS V., LUCARINI M., MCCALPIN J., MICHETTI A.M., MOHAMMADIOUN S., MORNER N.A., OKUMURA K., OTA Y., PAPPATHANASSIOU G., PAVLIDES S., PEREZ LOPEZ R., PORFIDO S., REICHERTER K., RODRIGUEZ PASQUA M.A., ROGHUZIN E., SCARAMELLA A., SERVA L., SILVA P.G., SINTUBIN M., TATEVOSSIAN R. & VITTORI E. (2015) - *Earthquake Environmental Effect for seismic hazard assessment: the ESI intensity scale and the EEE Catalogue*. Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, ISPRA, Vol. **XCVII**, pp. 181.10.13140/RG.2.1.3629.3202.
- BARATTA M. (1901) - *I Terremoti d'Italia. Saggio di Storia, Geografia e Bibliografia Sismica Italiana, con 136 sismocartogrammi*. Torino, 950 pp.
- BLUMETTI A.M. (1995) - *Neotectonic investigations and evidence of paleoseismicity in the epicentral area of the January–February 1703, Central Italy, earthquakes*. Perspectives in paleoseismology, **6**, 83-100.
- BLUMETTI A.M., GUERRIERI L. & PORFIDO S. (2015) - *Cataloguing the EEEs induced by the 1783 5<sup>th</sup> February Calabrian earthquake: implications for an improved seismic hazard*. Mem. Descr. Carta Geol. D'It. **XCVII**, 153-164.
- BONITO M. (1691) - *Della terra tremante, ovvero continuazione de' terremoti dalla creazione del mondo sino al tempo presente*. Napoli, 1691. (rist. anast. Forni Ed., dicembre 1980, 834 pp., ISBN: 882712134X).
- BOSCHI E., FERRARI G., GASPERINI P., GUIDOBONI E., SMRIGLIO G. & VALENSISE G. (EDS.) (1995) - *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*. ING-SGA, Bologna, 970pp.
- BOSCHI E., GUIDOBONI E., FERRARI G., VALENSISE G. & GASPERINI P. (EDS.) (1997) - *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990, vol. 2*. ING-SGA, Bologna, 644 pp.
- BOSCHI E., GUIDOBONI E., FERRARI G., MARIOTTI D., VALENSISE G. & GASPERINI P. (EDS.) (2000) - *Catalogue of Strong Italian Earthquakes*. Annali di Geofisica, 43(4), pp. 268, con database su CD-

- ROM, <https://www.annalsofgeophysics.eu/index.php/annals/issue/view/268>.
- CAPOCCI E. (1859) - *Catalogo de' tremuoti avvenuti nella parte continentale del Regno delle due Sicilie posti in raffronto con le eruzioni vulcaniche ed altri fenomeni cosmici, tellurici e meteorici*. Atti del Reale Istituto d' incoraggiamento alle Scienze Naturali di Napoli, 1861, IX, 335-421.
- COMERCI V. (2013) - *Modified Mercalli (MM) Scale*. In Bobrowsky P.T. (Ed.) *Encyclopedia of Natural Hazards*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, 683-686.
- COMERCI V., VITTORI E., BLUMETTI A.M., BRUSTIA E., DI MANNA P., GUERRIERI L., LUCARINI M. & SERVA L. (2015) - *Environmental effects of the December 28, 1908, Southern Calabria–Messina (Southern Italy) earthquake*. *Natural Hazards* (2015) 76:1849–1891. DOI 10.1007/s11069-014-1573-x.
- DE POARDI G.V. (1627a) - *Nuova relatione del grande e spaventoso terremoto successo nel Regno di Napoli, nella provincia di Puglia, il venerdì alli 30 luglio 1627*. Roma, 1627.
- DE POARDI G.V. (1627b) - *Terrae Ruinate Dal Terremoto Nella Provincia Di Puglia*. Augspurg, Kilian ed., 1 pag.
- DE POARDI G.V. & MARINARI O. (1627). *Terre rovinate dal terremoto nella Provincia di Puglia*. In Baratta M., (1894). *Il terremoto Garganico del 1627*. Boll. Soc. Geogr. Ital., 399-415, 1894, Roma.
- DE MARTINI P.M., BURRATO P., PANTOSTI D., MARAMAI A., GRAZIANI L. & ABRAMSON H. (2003) - *Identification of tsunami deposits and liquefaction features in the Gargano area (Italy): paleoseismological implication*. *Annals of Geophysics*, **46**, 5, 883-902.
- DEGLI ATTI V. (1695) - *Relatione del terremoto e ruine di quello patite dalla città di Bagnorea, scritta da Mons. Ill.mo degli Atti, Vescovo della detta Città, all'E.mo Sig. Cardinale Spada*. Archivio Storico Comunale di Viterbo, II.E.1.20, cc. 83v-92v.
- DELL'AQUILA M. (1456) - *Tractatus de cometa atque terraemotu*. (Cod. Vat. Barb. Lat. 268), ed. B.Figliuolo (Storia e scienze della terra, 2).
- DA SECINARA (1652) - *Trattato universale di tutti i terremoti occorsi, e noti nel mondo, con li casi infausti, ed'infelici pressagiti da tali terremoti: ...* L'Aquila, 1652, 164 pp.
- DISS WORKING GROUP (2018) - *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; doi:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.
- EVELPIDOU N. & PIRAZZOLI P.A. (2017) - *Did the Early Byzantine Tectonic Paroxysm (EBTP) also affect the Adriatic area?* *Geomorphology*, **295**, 827-830.
- FRACASSI U. & VALENSISE G. (2007) - *Unveiling the sources of the catastrophic 1456 multiple earthquake: hints to an unexplored tectonic mechanism in Southern Italy*. *Bull. Seismol. Soc. Am* **97** (3), 725-748. <https://doi.org/10.1785/0120050250>.
- GALADINI F. & GALLI P. (1999) - *The Holocene paleoearthquakes on the 1915 Avezzano earthquake fault (central Italy): implications for active tectonics in Central Apennines*. *Tectonophysics*, **308**, 143-170.
- GALLI P. (2009) - *Il terremoto del 1905 in Calabria: Revisione della distribuzione degli effetti e delle ipotesi sismogenetiche*. *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, **22**(2), 207-234.
- GALLI P. & MOLIN D. (2009) - *Il terremoto del 1905 in Calabria: revisione della distribuzione degli effetti e delle ipotesi sismogenetiche*. *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, **22** (2), 207-234.
- GAUDIOSI G., NAPPI R., ALESSIO G. & PORFIDO S. (2014) - *Breve storia delle misurazioni dell'Intensità Macrosismica in Italia da Giuseppe Mercalli fino ai giorni nostri*. *Miscellanea INGV*, **24**, 104-132.
- GILBERT G.K. (1884) - *A theory of the earthquakes of the Great Basin*. *American J. of Science*, **27**, 284-299.
- GREUTER M. (1627) - *Vero disegno dei luoghi nella Puglia quali sono rovinati danneggiati dal spaventoso terremoto successo quest'anno 1627, à 30 di luglio, con mortalità grande come si fa coniettura passa 17 millia persone*. Roma, 1627.
- GUIDOBONI E. (ED.) (1989) - *I terremoti prima del Mille in Italia e nell'area mediterranea*. *Storia, Archeologia, Sismologia*. INGS-GA, Bologna, 765 pp.
- GUIDOBONI E. (2014) - *I maremoti antichi e medievali: una riflessione su sottovalutazioni e perdita di informazioni*. *Mem. Descr. Carta Geol. d'It.*, pXCVI (2014), pp. 239-250.
- GUIDOBONI E., COMASTRI A. & TRAINA G. (1994) - *Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the 10<sup>th</sup> Century*. INGS-GA, Bologna, 504 pp.
- GUIDOBONI E. & COMASTRI A. (2005) - *Catalogue of earthquakes and tsunamis in the mediterranean area from the 11<sup>th</sup> to the 15<sup>th</sup> century*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Storia Geofisica Ambiente, Bologna 1037 pp.
- GUIDOBONI E. & MARIOTTI D. (2008) - *Il terremoto e il maremoto del 1908: effetti e parametri sismici*. In: BERTOLASO G., BOSCHI E., GUIDOBONI E., VALENSISE G. (Eds.), *Il terremoto e il maremoto del 28 dicembre 1908. Analisi sismologica, impatto, prospettive*. INGV-DPC (publ.), Roma-Bologna 813 pp. and a DVD, 17-136.
- GUIDOBONI E. & EBEL J.E. (2009) - *Earthquakes and Tsunamis in the Past*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, United Kingdom 590 pp.
- GUIDOBONI E. & POIRIER J.P. (2019) - *Storia culturale del terremoto dal mondo antico ad oggi*. Rubettino Ed., Catanzaro, 379 pp.
- GUIDOBONI E., FERRARI G., MARIOTTI D., COMASTRI A., TARABUSI G. & VALENSISE G. (2007) - *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*. INGS-GA, <http://storing.ingv.it/cfti4med/>.
- GUIDOBONI E., MUGLIA A., COMASTRI A. & VALENSISE G. (2008) - *Ipotesi sul 'predecessore' del terremoto del 1908: archeologia, storia, geologia*. In: BERTOLASO G., BOSCHI E., GUIDOBONI E., VALENSISE G. (Eds.), *Il terremoto e il maremoto del 28 dicembre 1908. Analisi sismologica, impatto, prospettive*. INGS-DPC (publ.), Roma-Bologna 813 pp. and a DVD, p. 483-516.
- GUIDOBONI E., FERRARI G., MARIOTTI D., COMASTRI A., TARABUSI G., SGATTONI G. & VALENSISE G. (2018) - *CFTI5Med*,

- Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500)*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), <http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/>.
- GUIDOBONI E., FERRARI G., TARABUSI G., SGATTONI G., COMASTRI A., MARIOTTI D., CIUCCARELLI C., BIANCHI M.G. & VALENSISE G. (2019) - *CFTI5Med, the new release of the catalogue of strong earthquakes in Italy and in the Mediterranean area*. Scientific Data 6, Article number: 80 (2019). doi: <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0091-9>.
- KANAMORI H. (1977) - *The energy release in great earthquakes*. J. Geophys. Res., **82**, 2981-2987.
- IVY-OCHS S., MARTIN S., CAMPEDEL P., HIPPE K., ALFIMOV V., VOCKENHUBER C., ANDREOTTI E., CARUGATI G., PASQUAL D., RIGO M. & VIGANÒ A. (2017) - *Geomorphology and age of the Marocche di Dro rock avalanches (Trentino, Italy)*. Quaternary Science Reviews, **169**, 188-205.
- KANT I. (1755) - *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels oder Versuch von der Verfassung und dem mechanischen Ursprung des ganzen Weltgebäudes nach Newtonischen Grundsätzen abgehandelt*.
- KOTO B. (1893) - *On the cause of the great earthquake in central Japan, 1891*. J. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo, **5**, 296-353.
- KÜRÇER A., CHATZIPETROS A., TUTKUN S.Z., PAVLIDES S., ÖZDENS., SYRIDES G., VOVALIDIS K., ULUGERGERLI E., ZKAN ATEŞ Ö. & EKINCI Y.L. (2012) - *An Assessment of the Earthquakes of Ancient Troy, NW Anatolia, Turkey*. Tectonics - Recent Advances, Chapter: Chapter 7, Publisher: Intech, 171-200.
- LYELL C. (1830-33) - *Principles of Geology, being an attempt to explain the former changes of the Earth's surface, by reference to causes now in operation*. John Murray, London (Publ.), 3 vols.
- LONGOBARDO N. (Long Huamin) (1626) - *Interpretazione del Terremoto*. traduzione italiana di G. Matteucci, Centro Studi Internazionale "Before Day", Napoli 1988, 57 pp.
- MAGNATI V. (1688) - *Notitie istoriche de' terremoti succeduti ne' secoli trascorsi e nel presente*. Napoli, A. Bulifon ed., 1688.
- MALLET R. (1862) - *Great Neapolitan earthquake of 1857. The first principles of observational seismology*. Chapman and Hall, London, 2 volumes. Ristampa anastatica in: GUIDOBONI E., FERRARI G. (Eds.), Mallet's macroseismic survey on the Neapolitan earthquake of 16th December, 1857. ING-SGA (Publ.), Bologna 1987.
- MANETTI G. (1457) - *De terremotu libri tres*. Edited by Daniela Pagliara, 2012, SISMEL, Florence (Publ.), pp. XVIII-250, ISBN 978-88-8450-492-0.
- MARGOTTINI C., MOLIN D. & RAMACCI E. (1985) - *The Bagnoregio earthquake of June 11, 1695*. In Postpischl, D., (ed), Atlas of Isoseismal Maps of Italian Earthquakes, CNR-PFG, Quaderni de «La Ricerca Scientifica», n.114 (2A), 52-53.
- MCKAY A. (1890) - *Preliminary report on the earthquakes of September 1888 in the Amuri and Marlborough districts of the South Island*. Reports of Geological Exploration 20[1888-89]: 1-16.
- MERCALLI G. (1883) - *Vulcani e fenomeni vulcanici in Italia*. F. Valardi (Publ.), Milano, 1883, 376 pp.
- MICHELL J. (1761) - *Conjectures Concerning the Cause and Observations upon the Phaenomena of Earthquakes, particularly of that great Earthquake of the First of November 1755, which proved so fatal to the city of Lisbon, and whose Effects were felt as far as Africa and more or less throughout almost all Europe*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Vol. LI, part II.
- MICHETTI A.M., BRUNAMONTE F., SERVA L. & VITTORI E. (1996) - *Trench investigations of the 1915 Fucino earthquake fault scarps (Abruzzo, Central Italy): geological evidence of large historical events*. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, **101**(B3), 5921-5936.
- MICHETTI A.M., ESPOSITO E., GUERRIERI L., PORFIDO S., SERVA L., TATEVOSSIAN R., VITTORI E., AUDEMARD F., AZUMA T., CLAGUE J., COMERCI V., GURPINAR A., MC CALPIN J., MOHAMMADIOUN B., MORNER N.A., OTA Y. & ROGHOSIN E. (2007) - *Environmental Seismic Intensity scale - ESI 2007*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia. APAT, Roma.
- MOGIOL F. (1564) - *Il vero e giusto disegno del territorio di Nizza, dove alli 20 agosto del presente anno 1564 su le 23 bore cominciò il terrendo e spaventoso terremoto ...* In ALMAGIÀ R. (1914). Intorno ai primi saggi di carte sismiche. Rivista Geografica Italiana, **21**, (7): 463-468.
- MORO M., BOSI V., GALADINI F., GALLI P., GIACCIO B., MESSINA P. & SPOSATO A. (2002) - *Analisi paleosismologiche lungo la faglia del M. Marine (alta valle dell'Aterno): risultati preliminari*. Il Quaternario, **15** (2).
- MURATORI L.A. (1749) - *Annali d'Italia: dal principio dell'era volgare sino all'anno 1749 - Tomo undecimo*. Volume XI (anni 1601-1700), 462 pp., pubblicato in Milano da Giovambatista PASCUALI.
- NUR A. & CLINE E.H. (2000) - *Poseidon's horses: plate tectonics and earthquake storms in the Late Bronze Age Aegean and Eastern Mediterranean*. J. Archaeol. Sci. **27**, 43-63.
- ODDONE E. (1915) - *Gli elementi fisici del grande terremoto marsicano-fucinese*. Bollettino della Società Sismologica Italiana **19**, 71-291.
- OMORI F. (1909) - *Preliminary report on the Messina-Reggio earthquake of Dec. 28, 1908*. Bull. Imperial Earth. Invest. Comm. 3-2, 37-46.
- PANTOSTI D. & VALENSISE G. (1988) - *La faglia sud-appenninica: identificazione oggettiva di un lineamento sismogenetico nell'Appennino meridionale*. In: Proc. VII Meeting Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida. Rome. pp. 205-220.
- PANTOSTI D. & VALENSISE G. (1990) - *Faulting mechanism and complexity of the November 23, 1980, Campania-Lucania earthquake, inferred from surface observations*. J. Geophys. Res. **95**, 15319-15341. <https://doi.org/10.1029/JB095iB10p15319>.
- PICCARDI L., VITTORI E., BLUMETTI A.M., COMERCI V., DI MANNA P., GUERRIERI L., BAGLIONE M. & D'INTINOSANTE V. (2017) - *Mapping capable faulting hazard in a moderate-seismicity, high heat-flow environment: the Tuscia province (southern Tuscany-northern Latium, Italy)*. Quaternary International, **451**, 11-36.
- PICCARDI L., ALBERTI L., PATERNA C. (2017) - *Eracle e le sue fatiche: l'Età del Bronzo greca raccontata da uno dei suoi protagonisti*.

- CNR Edizioni, Roma, 327 pp.
- PIGNATARO D. (1788) - *Istoria de' tremuoti avvenuti nella Provincia della Calabria ulteriore e nella Città di Messina nell'anno 1783*. Naples, 1788.
- PIRAZZOLI P.A. (1986) - *The early byzantine tectonic paroxysm*. Z. Geomorphol. Suppl.-Bd. **62**, 31–49.
- POSTPISCHL D. (1985) - *Atlas of Isoseismal Maps of Italian Earthquakes*. Consiglio nazionale delle ricerche, Progetto finalizzato geodinamica, Sottoprogetto rischio sismico e ingegneria sismica. Quaderni della ricerca scientifica, **114**, 2a, Bologna, 163 pp.
- POSTPISCHL D. (1985) - *Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980*. Quaderni della Ricerca Scientifica, **114**, 2b, Bologna, 239 pp.
- REID H.F. (1910) - *The California Earthquake of April 18, 1906: Report of the State Earthquake Investigation Commission. Volume two*. Washington, D.C.: The Carnegie Institution of Washington, 192 pp.
- REINHARDT O. & OLDROYD D.R. (1983) - *Kant's theory of earthquakes and volcanic action*. Annals of Science, **40**:3, 247–272, DOI: 10.1080/00033798300200221.
- RICHTER C.F. (1935) - *An instrumental earthquake magnitude scale*. Bull. Seis. Soc. Am., **21**, 28–46.
- ROVIDA A., LOCATI M., CAMASSI R., LOLLI B. & GASPERINI P. (2019) - *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>.
- SERVA L. (1986). *Gli effetti sul terreno del terremoto del Fucino (13-1-1915); tentativo di interpretazione della evoluzione tettonica recente di alcune strutture*. In Geologia dell'Italia centrale. Congresso nazionale. **73**, 387–390.
- SERVA L., BLUMETTI A.M. & MICHETTI A.M. (1986) - *Gli effetti sul terreno del terremoto del Fucino (13 gennaio 1915); tentativo di interpretazione della evoluzione tettonica recente di alcune strutture*. Mem. Soc. Geol. It. **35**, 893–907.
- SERVA L., VITTORI E., COMERCI V., ESPOSITO E., GUERRIERI L., MICHETTI A.M., MOHAMMADIOUN B., PORFIDO S. & TATEVOSSIAN R. (2016) - *Earthquake hazard and the Environmental Seismic Intensity (ESI) scale*. Pure and Applied Geophysics, **173** (5), 1479–1515, DOI 10.1007/s00024-015-1177-8.
- SIROVICH L. & PETTENATI F. (2015) - *Source inversion of the 1570 Ferrara earthquake and definitive diversion of the Po River (Italy)*. JGR Solid Earth, **120**, 8, 5747–5763.
- SUESS E. (1872) - *Über den Bau der italienischen Halbinsel*. Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften [in Wien], **65** (I), 3, 217–221.
- TIBERTI M.M., VANNOLI P., FRACASSI U., BURRATO P., KASTELIC V. & VALENSISE G. (2017) - *Understanding seismogenic processes in the Southern Calabrian Arc: a geodynamic perspective*. Ital. J. Geosci. **136** (3), 365–388. <https://doi.org/10.3301/IJG.2016.12>.
- URIA DE LLANOS A. (1703) - *Relazione, ovvero Itinerario fatto dall'auditore D. Alfonso Uria de Llanos per riconoscere li danni causati dalli passati terremoti seguiti li 14. gennaio e 2. febraro 1703*. Roma, 1703.
- VALENSISE G. & PANTOSTI D. (1992) - *A 125-Kyr-long geological record of seismic source repeatability: the Messina Straits (southern Italy) and the 1908 earthquake (MS 7 1/2)*. Terra Nova **4**, 472–483.
- VALENSISE G., VANNOLI P., BURRATO P. & FRACASSI U. (2020) - *From Historical Seismology to seismogenic source models, 20 years on: Excerpts from the Italian experience*. Tectonophysics **774** (2020) 228189, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2019.228189>.
- WESTAWAY R. & YACKSON J. (1984) - *Surface faulting in the southern Italian Campania-Basilicata earthquake of 23 November 1980*. Nature, **312**, 436–438.
- WOOD H.O. & NEUMANN F. (1931) - *Modified Mercalli intensity scale of 1931*. Bulletin of the Seismological Society of America, **21**, 277–283.