ISSN 1590-2595
anno 2024 numero 85

1999**2024**
ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA
25 ANNI DI GEOSCIENZE PER LA SOCIETÀ



MISCELLANEA INGV

Un viaggio per conoscere il nostro pianeta tra aria, acqua, terra e fuoco: una selezione di articoli dal blog INGVterremoti

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

85



Direttore Responsabile
Daniela VERSACE

Editor in Chief
Milena MORETTI (editorinchief.collaneeditoriali@ingv.it)

Editorial Board
Laura ALFONSI (laura.alfonsi@ingv.it)
Christian BIGNAMI (christian.bignami@ingv.it)
Simona CARANNANTE (simona.carannante@ingv.it)
Viviana CASTELLI (viviana.castelli@ingv.it)
Luca COCCHI (luca.cocchi@ingv.it)
Rosa Anna CORSARO (rosanna.corsaro@ingv.it)
Luigi CUCCI (luigi.cucci@ingv.it)
Lorenzo CUGLIARI (lorenzo.cugliari@ingv.it)
Alessia DI CAPRIO (alessia.dicaprio@ingv.it)
Roberto DI MARTINO (roberto.dimartino@ingv.it)
Domenico DI MAURO (domenico.dimauro@ingv.it)
Domenico DORONZO (domenico.doronzo@ingv.it)
Filippo GRECO (filippo.greco@ingv.it)
Alessandro IAROCCI (alessandro.iarocci@ingv.it)
Mario MATTIA (mario.mattia@ingv.it)
Daniele MELINI (daniele.melini@ingv.it)
Anna NARDI (anna.nardi@ingv.it)
Lucia NARDONE (lucia.nardone@ingv.it)
Marco OLIVIERI (marco.olivieri@ingv.it)
Nicola PAGLIUCA (nicola.pagliuca@ingv.it)
Pierangelo ROMANO (pierangelo.romano@ingv.it)
Maurizio SOLDANI (maurizio.soldani@ingv.it)
Sara STOPPONI (sara.stopponi@ingv.it)
Umberto TAMMARO (umberto.tammaro@ingv.it)
Andrea TERTULLIANI (andrea.tertulliani@ingv.it)
Stefano URBINI (stefano.urbini@ingv.it)

Ufficio Editoriale
Francesca DI STEFANO Coordinatore
Rossella CELI - Segreteria di Redazione
Produzione e grafica-redazionale
Barbara ANGIONI
Massimiliano CASCONE
Rossella CELI
Francesca DI STEFANO
Patrizia PANTANI

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.174 | 2014, 23 LUGLIO
© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia | Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI
Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

ISSN 1590-2595
anno 2024 numero 85

MISCELLANEA INGV

Un viaggio per conoscere il nostro pianeta tra aria, acqua, terra e fuoco: una selezione di articoli dal blog INGVterremoti

A journey to learn about our planet among air, water, earth and fire: a selection of articles from the INGVterremoti blog

Editors: Carlo Meletti[1], Maurizio Pignone[2]

[1]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Pisa
[2]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Nazionale Terremoti

Accettato 16 luglio 2024 | *Accepted 16 July 2024*
Come citare | *How to cite* Carlo Meletti, Maurizio Pignone, (2024). Un viaggio per conoscere il nostro pianeta tra aria, acqua, terra e fuoco: una selezione di articoli dal blog INGVterremoti. Misc. INGV, 85: 1-238. https://doi.org/10.13127/misc/85

In Copertina Amatrice dopo il terremoto del 24 agosto 2016 (Foto di Massimiliano Stucchi) | *Cover The Amatrice village after the 24 August 2016 Central Italy earthquake (Photo by Massimiliano Stucchi)*

85

INGVterremoti

Direttore Responsabile Dipartimento Terremoti
Claudio Chiarabba

Coordinamento GdL INGVterremoti
Alessandro Amato (INGV ONT)
Emanuele Casarotti (INGV Roma 1)
Carlo Meletti (INGV PI)
Concetta Nostro (INGV ONT)
Maurizio Pignone (INGV ONT)

Blog-Magazine Administrator
Maurizio Pignone (INGV ONT)

Supporto Grafico
Laboratorio Grafica e Immagini, INGV.

Oltre al blog (https://ingvterremoti.com/), la piattaforma INGVterremoti mette a disposizione di tutti le informazioni relative alla sismicità in atto in Italia attraverso altri canali di comunicazione e social: Twitter, Facebook, YouTube, Instagram, le Story Maps nonché le App per iPhone e Android.

Blog: https://ingvterremoti.com/

FSC
www.fsc.org
MISTO
Carta | A sostegno della gestione forestale responsabile
FSC® C111769

INDEX

Prefazione 9

Preface *10*

Introduzione 11

Introduction *13*

Il rumore del terremoto 17
Patrizia Tosi, Paola Sbarra, Valerio De Rubeis

Il terremoto in Garfagnana del 25 gennaio 2013 visto dal geologo 19
Paola Vannoli

Il Papa e il terremoto. Clemente XI e i sismi del 1703 23
Alessandro Amato, Valerio De Rubeis

La prevenzione paga 26
Carlo Meletti

I terremoti nella STORIA:
I Borbone di Napoli e il grande terremoto delle Calabrie del 1783 31
Filippo Bernardini, Carlo Meletti

I terremoti nella STORIA: 18 maggio 1895, il "grande terremoto" di Firenze 39
Filippo Bernardini

Terremoti e cambiamenti del paesaggio urbano a Roma tra
Tarda Antichità e Alto Medioevo 47
Fabrizio Galadini

Il grande terremoto del Sannio del 5 giugno 1688 52
Filippo Bernardini, Concetta Nostro, Maurizio Pignone, Carlo Meletti

L'inizio e la fine della sequenza sismica dell'Aquila 59
Franco Mele, Alessandro Amato

Faglie sismogenetiche cieche in Pianura Padana 65
Paola Vannoli, Pierfrancesco Burrato, Gianluca Valensise

I terremoti nella STORIA: il terremoto del 16 dicembre 1857 in
Basilicata, uno dei più distruttivi della storia sismica italiana 74
Graziano Ferrari

Il catastrofico terremoto dell'11 gennaio 1693 nella Sicilia orientale, l'evento più forte della storia sismica italiana 83
Filippo Bernardini, Carlo Meletti

La grande scossa del 31 maggio 1646 nel Gargano, un caso di terremoto recentemente rivalutato 91
Filippo Bernardini, Viviana Castelli, Romano Camassi, Carlo Meletti

Bomba o non bomba? Ordigno bellico genera "terremoto" in Adriatico 100
Paola Bordoni, Alessandro Amato, Concetta Nostro

Il terremoto del 14 agosto 1846 di Orciano Pisano 103
Carlo Meletti, Viviana Castelli, Filippo Bernardini

La "catastrofe sismica" del 28 dicembre 1908 114
Dante Mariotti

I terremoti riminesi del 1916 128
Romano Camassi

Terremoto in Italia centrale: Misure dello spostamento del suolo tramite interferometria satellitare 137
Gruppo di Lavoro INGV/IREA-CNR

Sequenza sismica in Italia centrale: i vulcanelli di fango in provincia di Fermo 142
Tullio Ricci, Alessandra Sciarra

Il terremoto della Liguria del 23 febbraio 1887 149
Stefano Solarino

Nel 1117 il più forte terremoto dell'area padana colpiva Verona e la pianura centro-occidentale 154
Paola Vannoli

Il terremoto del 15 gennaio 1968 nella Valle del Belice 159
Emanuela Guidoboni, Gianluca Valensise

Alcune riflessioni in caso di una sequenza sismica come quella di Sora-Balsorano del 7 novembre 2019 173
Alessandro Amato

Una sorgente sismogenetica particolare: la subduzione 177
Mara Monica Tiberti, Francesco Emanuele Maesano, Roberto Basili

Il terremoto del 1980 in Irpinia e Basilicata e la nascita degli studi di Geologia del Terremoto e di Tettonica Attiva in Italia 183
Daniela Pantosti, Gianluca Valensise

Il forte terremoto e maremoto in Giappone dell'11 marzo 2011 194
Centro Allerta Tsunami

Il terremoto del 30 ottobre 1930 a Senigallia tra "casette asismiche" e modernizzazione urbanistica 197
Viviana Castelli, Filippo Bernardini

I terremoti del 1972 nell'Anconetano 206
Massimiliano Stucchi, Rodolfo Console, Fabio Giannattasio, Paolo Rossi

Il terremoto catastrofico del 5-30 dicembre 1456 216
Umberto Fracassi

Terremoto in Basilicata? No, è un meteoroide 229
Thomas Braun, Alexander Garcia, Irene Molinari, Davide Piccinini

Prefazione

Il 29 settembre 2024, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) festeggia 25 anni dalla sua fondazione, ma l'INGV ha radici che partono dal 1800 con i primi osservatori vulcanologici mondiali, sull'Etna e sul Vesuvio, la fondazione dell'Osservatorio Vesuviano nel 1841, l'istituzione dell'ING per volontà di Guglielmo Marconi nel 1936, oltre a vari altri importanti istituti del CNR a Milano, Palermo e Catania, coagulatisi nell'attuale istituto a costituire il più importante ente pubblico di ricerca in Europa nel campo delle geoscienze. L'INGV è un albero che fortunatamente continua a crescere.

L'uomo è attratto più da ciò che vede e l'interno della Terra rimane osservabile solo con osservazioni indirette, speculazioni e interpretazioni basate sui dati di varia natura che il pianeta ci offre. Nonostante anche il nostro corpo sia fatto di atomi del mantello terrestre che rappresenta circa l'80% della massa terrestre, siamo troppo poco consapevoli e interessati a comprendere la struttura e i meccanismi di funzionamento della Terra. Eppure, le risorse e i rischi naturali vengono dal pianeta, ma forse siamo ancorati all'idea che sottoterra vi sia l'inferno, mentre continuiamo a guardare alle stelle come al paradiso. In realtà il nostro paradiso è proprio la Terra, ed è qui che dobbiamo conoscerla per conviverci nel modo più sicuro, e per rispettarla.

L'INGV, svolge funzioni cruciali per la ricerca scientifica e opera come struttura operativa del sistema nazionale di protezione civile: lo fa tramite le sue oltre 1100 unità di personale motivato nel contribuire alla crescita culturale e al bene pubblico, e grazie allo sviluppo delle sue reti di monitoraggio e sorveglianza, coordinate dai tre Dipartimenti (Ambiente, Terremoti, Vulcani) e le sue dieci sezioni (Osservatorio Nazionale Terremoti, Osservatorio Vesuviano, Osservatorio Etneo, Milano, Bologna, Pisa, Roma 1, Roma 2, Irpinia, Palermo). Le infrastrutture quali per esempio le reti sismica, geodetica, idrogeochimica, magnetica, gravimetrica, ionosferica, ecc. registrano ogni variazione dei parametri terrestri, oltre a tutti i terremoti (in media oltre 15.000 l'anno in Italia, circa uno ogni 30 minuti). Una missione portante dell'INGV è trasmettere al pubblico le notizie sugli eventi che registriamo ogni giorno, su come si sviluppano le eruzioni, sul perché avvengono i terremoti, su tutte le metodologie che ci permettono di muoverci con un GPS nel nostro telefono, e allo stesso tempo misurano gli spostamenti delle placche tettoniche che aprono gli oceani, formano le catene montuose e generano i terremoti e i vulcani.

I ricercatori dell'INGV lavorano con entusiasmo a rilevare tutti i segnali che la Terra emette e per scoprirne l'origine. Con la stessa passione investono parte del loro tempo a diffondere queste conoscenze ai cittadini, per coinvolgerli nell'affascinante viaggio che è la comprensione del nostro paradiso, per informarli sugli eventi che scandiscono la vita quotidiana, ma anche per istruirli nel comportamento utile a vivere i terremoti, gli tsunami, le eruzioni o qualsiasi altro evento calamitoso in modo consapevole, per proteggersi nel miglior modo possibile. Dobbiamo imparare quanto sia fondamentale lo studio della Terra, trasmettere alle future generazioni le nozioni e la passione per continuare il nostro viaggio di conoscenza del pianeta, per difenderci, per difenderlo, per reperire le risorse indispensabili per il vivere di una nazione, ma anche dell'intera umanità.

Josè Saramago dice che "*fisicamente abitiamo uno spazio, ma sentimentalmente siamo abitati da una memoria*", di tutto quello che la Terra ci ha fatto vivere. Questa collana rappresenta una raccolta preziosa dei tanti contributi divulgativi che l'INGV ha voluto offrire ai cittadini che sostengono le attività dell'istituto. Agli autori un grazie sentito per il loro impegno incondizionato.

Il Presidente dell'INGV
Prof. Carlo Doglioni

Preface

On Sept. 29, 2024, the Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) celebrates 25 years since its founding, but the INGV has roots that go back to the 1800s with the world's first volcanological observatories, on Mount Etna and Mount Vesuvius, the founding of the Vesuvius Observatory in 1841, the establishment of the ING at the behest of Guglielmo Marconi in 1936, as well as several other important CNR institutes in Milan, Palermo and Catania, which coalesced into the current institute to form the most important public research institution in Europe in the geosciences. INGV is a tree that fortunately continues to grow.

Man is attracted more by what he sees, and the Earth's interior remains observable only by indirect observations, speculations and interpretations based on the various kinds of data the planet offers us. Although our bodies are also made of atoms from the Earth's mantle, which accounts for about 80 percent of the Earth's mass, we are too little aware of and interested in understanding the Earth's structure and workings. Yet, natural resources and hazards come from the planet, but perhaps we are anchored in the idea that there is hell underground, while we continue to look to the stars as paradise. Actually, our paradise is the Earth itself, and this is where we need to know it in order to live with it in the safest way, and to respect it.

The INGV performs crucial scientific research functions and operates as an operational structure of the national civil protection system: it does so through its more than 1100 staff motivated in contributing to cultural growth and the public good, and through the development of its monitoring and surveillance networks, coordinated by its three Departments (Environment, Earthquakes, Volcanoes) and its ten sections (National Earthquake Observatory, Vesuvius Observatory, Etna Observatory, Milan, Bologna, Pisa, Rome 1, Rome 2, Irpinia, Palermo). Infrastructures such as seismic, geodetic, hydrogeochemical, magnetic, gravimetric, ionospheric, etc. networks record every variation in Earth parameters, as well as all earthquakes (averaging more than 15,000 a year in Italy, about one every 30 minutes). A leading mission of the INGV is to transmit to the public the news about the events we record every day, how eruptions develop, why earthquakes occur, and all the methodologies that allow us to move with a GPS in our phones, and at the same time measure the movements of the tectonic plates that open the oceans, form mountain ranges and generate earthquakes and volcanoes.

INGV researchers work enthusiastically to detect all the signals the Earth emits and to discover their origin. With the same passion they invest part of their time to disseminate this knowledge to citizens, to involve them in the fascinating journey that is the understanding of our paradise, to inform them about the events that mark our daily life, but also to educate them in the useful behavior to experience earthquakes, tsunamis, eruptions or any other calamitous event in a conscious way, to protect themselves in the best way possible. We need to learn how fundamental the study of the Earth is, to transmit to future generations the notions and passion to continue our journey of knowing the planet, to defend ourselves, to defend it, to find the resources that are indispensable for the living of a nation, but also of all humanity.

Jose Saramago says that "physically we inhabit a space, but sentimentally we are inhabited by a memory"*, of all that the Earth has made us live. This series represents a valuable collection of the many popular contributions INGV has made to citizens who support the institute's activities. To the authors a heartfelt thanks for their unconditional commitment.*

Il Presidente dell'INGV
Prof. Carlo Doglioni

Introduzione

Il Blog-magazine INGVterremoti (http://ingvterremoti.com) è il principale canale di comunicazione del Dipartimento TERREMOTI dell'INGV, nato per diffondere le informazioni sull'attività sismica in corso e raccontare i risultati degli studi e ricerche dell'INGV. Oggi rappresenta il punto di riferimento dell'informazione sulla sismicità in Italia e nel mondo, soprattutto in occasione di forti terremoti, sequenze sismiche e maremoti. L'elevato numero di citazioni da parte di altri siti web e canali social e delle principali testate giornalistiche testimonia l'elevata diffusione dei contenuti e la loro affidabilità e riconoscibilità.

Il blog nasce nei giorni della sequenza sismica del maggio 2012 in Pianura padana con l'obiettivo di fornire un'informazione continua e tempestiva soprattutto durante le sequenze sismiche anche di lunga durata. Un altro importante aspetto che ha portato alla sua nascita è stato quello di contrastare la cattiva informazione e quindi combattere voci e notizie false che sempre emergono durante le crisi sismiche.

Sin dall'inizio tutti i contenuti del blog sono stati integrati e condivisi sui canali di comunicazione INGVterremoti (Twitter, Facebook, YouTUBE, APP iOS e Android, Story Maps), andando a completare negli anni l'offerta di informazione sui terremoti dell'INGV che è ancora in fase di evoluzione con la nascita di nuovi canali e nuovi format.
Il blog INGVterremoti ha mantenuto l'originale impostazione del 2012 fino al mese di marzo 2020: la struttura della home page prevedeva la timeline degli ultimi articoli e alcune pagine statiche su argomenti generali. Dal 2020, con la nuova interfaccia, il blog si è trasformato in un e-magazine migliorando la visibilità e la ricerca dei contenuti integrando fotonotizie, eventi, timeline dei social.

Oggi l'informazione sul blog è costituita principalmente dalla pubblicazione di articoli organizzati all'interno di vere e proprie rubriche periodiche e categorie tematiche che trattano molteplici argomenti: dai terremoti in Italia e nel mondo ai terremoti nella storia, il monitoraggio sismico e geodetico, la pericolosità, il rischio sismico e i maremoti.

INGVterremoti.com ha avuto un ruolo centrale nella comunicazione durante le grandi emergenze sismiche dell'Emilia nel 2012 (97 articoli) e dell'Italia centrale nel 2016-2017 (116 articoli) e molte altre sequenze che hanno interessato quasi tutta l'Italia: quelle del Pollino nel 2012, della Lunigiana nel 2013, del Matese nel 2013-2014, di Firenze nel 2014-2015, del Molise nel 2018, di Benevento nel 2019, Chianti fiorentino e costa pesarese nel 2022.

Diversi articoli di approfondimento sono stati scritti anche dopo aver monitorato i commenti degli utenti sui nostri canali social che hanno fatto emergere aspetti da trattare a favore del grande pubblico. Anche per questo motivo in genere il linguaggio utilizzato nei nostri articoli non è mai troppo specialistico, considerato che tra i nostri lettori sono rappresentate categorie di tutti i tipi, dal collega geologo fino alla semplice casalinga.

Accanto agli articoli legati agli eventi sismici in corso, in questi anni sono stati pubblicati molti articoli di approfondimento, con alcune rubriche fisse. Oltre agli aggiornamenti mensili e annuali sulla sismicità, la sezione dei "Terremoti nella storia" è una di quelle più ricche: in quasi 100 articoli, i ricercatori hanno raccontato i forti terremoti del passato avvenuti in Italia, utilizzando il patrimonio di informazioni contenute nei cataloghi e negli archivi storici del Paese. Si è anche scritto di molti forti terremoti avvenuti nel mondo e negli ultimi anni anche di maremoti avvenuti

in area euro-mediterranea e nel resto del mondo.
Dal 2012 i quasi 1200 articoli e le pagine pubblicate su INGVterremoti.com hanno avuto un gran numero di visualizzazioni e visitatori, in particolare durante i periodi interessati da importanti sequenze sismiche:

- oltre 26 milioni di visualizzazioni di pagina
- quasi 11 milioni di visitatori unici
- circa 3 mila iscritti tramite mail
- oltre 550 mila contatti attraverso la condivisione con i social

Un risultato raggiunto grazie a diverse decine di colleghi che hanno inviato i loro contributi durante le emergenze sismiche e i loro articoli per raccontare i risultati delle ricerche.
Oggi INGVterremoti.com oltre ad essere considerato un punto di riferimento nell'informazione sui terremoti per il pubblico, grazie al patrimonio dei quasi 1200 articoli pubblicati, rappresenta una vera e propria "banca dati" dell'informazione sulla sismicità, sulla storia sismica, sulla ricerca sismologica dell'INGV, assicurando sempre continuità e tempestività nell'informazione sui terremoti.

In questo speciale volume, pubblicato in occasione dei 25 anni dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, viene qui presentata una selezione di alcuni articoli tra quelli più interessanti per la stampa. La scelta è stata difficile, molti altri contributi avrebbero meritato la pubblicazione, ma la stampa su carta non consentiva un numero di pagine maggiore. È stata comunque data precedenza a quegli articoli che riteniamo che restino di interesse nel tempo. Cogliamo comunque l'occasione per ringraziare le molte decine di colleghi che negli anni hanno contribuito con i loro articoli a far crescere il blog INGVterremoti.

Riferimenti bibliografici

Pignone M., Nostro C., Amato A., Casarotti E., and Piromallo C., (2012). *The INGVterremoti blog: A new communication tool to improve earthquake information during the Po Plain Seismic sequence*. Ann. Geophys. 55, 4. https://doi.org/10.4401/ag-6179

Pignone M., Nostro C., Amato A., and Meletti C., (2016). *The role of INGVterremoti blog in information management during the earthquake sequence in central Italy*. Ann. Geophys. 59. https://doi.org/10.4401/ag-7261

Pignone M., Cafarella L., De Lucia M., Nostro C., Casarotti E., Neri M., et al., (2020). *WP5 Comunicazione dei prodotti delle sale al pubblico - progettazione e realizzazione di una nuova interfaccia di comunicazione per i blog INGVterremoti, INGVvulcani e INGVambiente*. Miscellanea INGV, 57, pp. 175-178. https://doi.org/10.13127/misc/57

Pignone M., Amato A., Nostro C., Casarotti E., Meletti C., Quintiliani M., and Lauciani V., (2022). *Public earthquake communication in Italy through a multisource social media platform: The INGVterremoti experience (2010–2022)*. Front. Earth Sci. 10:1003867. https://doi.org/10.3389/feart.2022.1003867

Il Gruppo di Lavoro INGVterremoti

Introduction

The Blog-magazine INGVterremoti (http://ingvterremoti.com) is the main communication channel of the EARTHQUAKE Department of the INGV, created to disseminate information on ongoing seismic activity and to report the results of the INGV studies and research. Today it represents the point of reference for information on seismicity in Italy and in the world, especially during strong earthquakes, seismic sequences and tsunamis. The high number of citations by other websites and social channels and by the main newspapers testifies to the high diffusion of the contents and their reliability and recognizability.

The blog was born in the days of the May 2012 seismic sequence in the Po Valley with the aim of providing continuous and timely information especially during even long-lasting seismic sequences. Another important aspect that led to its birth was to counter misinformation and thus fight rumors and fake news that always emerge during earthquake crises.

Since the beginning, all the contents of the blog have been integrated and shared on the INGVterremoti communication channels (Twitter, Facebook, YouTUBE, iOS and Android APPs, Story Maps), completing over the years the offer of information on INGV earthquakes which is still evolving with the birth of new channels and new formats.

The INGVterremoti blog maintained the original 2012 layout until March 2020: the structure of the home page included the timeline of the latest articles and some static pages on general topics. Since 2020, with the new interface, the blog has transformed into an e-magazine improving the visibility and search for contents by integrating photo news, events, social timelines.

Today the information on the blog consists mainly of the publication of articles organized within real periodic columns and thematic categories that cover multiple topics: from earthquakes in Italy and around the world to earthquakes in history, seismic and geodetic monitoring, hazard, seismic risk and tsunamis.

INGVterremoti.com played a central role in communication during the major seismic emergencies in Emilia in 2012 (97 articles) and in central Italy in 2016-2017 (116 articles) and many other sequences that affected almost all of Italy: those of Pollino in 2012, Lunigiana in 2013, Matese in 2013-2014, Florence in 2014-2015, Molise in 2018, Benevento in 2019, Florentine Chianti and the Pesaro offshore in 2022.

Several in-depth articles were also written after monitoring user comments on our social channels that brought out aspects to be covered for the benefit of the general public. This is also why generally the language used in our articles is never too specialized, considering that categories of all kinds are represented among our readers, from the fellow geologist to the simple housewife.

Along with articles related to current earthquake events, many in-depth articles have been published in recent years, with some fixed columns. In addition to monthly and annual updates on seismicity, the "Earthquakes in History" section is one of the richest: in nearly 100 articles, researchers have recounted past strong earthquakes that occurred in Italy, using the wealth of information contained in the country's catalogs and historical archives. They have also written about many strong earthquakes that have occurred around the world and in recent years also about tsunamis that have occurred in the Euro-Mediterranean area and the rest of the world.
Since 2012, the nearly 1200 articles and pages published on INGVterremoti.com have had a large

number of views and visitors, especially during periods affected by major seismic sequences:

- *over 26 million page views*
- *almost 11 million unique visitors*
- *about 3 thousand subscribers via email*
- *over 550 thousand contacts through sharing with social networks*

A result achieved thanks to several dozen colleagues who sent their contributions during seismic emergencies and their articles to describe the results of their research.

Today INGVterremoti.com, in addition to being considered a point of reference for information on earthquakes for the public, thanks to the heritage of nearly 1200 published articles, represents a real "database" of information on seismicity, seismic history, and seismological research of the INGV, always ensuring continuity and timeliness in information on earthquakes.

In this special volume, published on the occasion of the 25th anniversary of the National Institute of Geophysics and Volcanology, a selection of some of the most interesting articles for the press is presented here. The choice was difficult, many other contributions would have deserved publication, but the paper printing did not allow a greater number of pages. However, priority was given to those articles that we believe will remain of interest over time. We would like to take this opportunity to thank the many dozens of colleagues who over the years have contributed with their articles to the growth of the INGVterremoti blog.

References

Pignone M., Nostro C., Amato A., Casarotti E., and Piromallo C., (2012). *The INGVterremoti blog: A new communication tool to improve earthquake information during the Po Plain Seismic sequence*. Ann. Geophys. 55, 4. https://doi.org/10.4401/ag-6179

Pignone M., Nostro C., Amato A., and Meletti C., (2016). *The role of INGVterremoti blog in information management during the earthquake sequence in central Italy*. Ann. Geophys. 59. https://doi.org/10.4401/ag-7261

Pignone M., Cafarella L., De Lucia M., Nostro C., Casarotti E., Neri M., et al., (2020). *WP5 Comunicazione dei prodotti delle sale al pubblico - progettazione e realizzazione di una nuova interfaccia di comunicazione per i blog INGVterremoti, INGVvulcani e INGVambiente*. Miscellanea INGV, 57, pp. 175-178. https://doi.org/10.13127/misc/57

Pignone M., Amato A., Nostro C., Casarotti E., Meletti C., Quintiliani M., and Lauciani V., (2022). *Public earthquake communication in Italy through a multisource social media platform: The INGVterremoti experience (2010–2022)*. Front. Earth Sci. 10:1003867. https://doi.org/10.3389/feart.2022.1003867

The INGVterremoti Working Group

Keywords Terremoti; Italia; Sismologia storica; Sismotettonica; Rischio sismico | Earthquakes; Italy; Historical Seismology; Seismotectonics; Seismic Risk

L'INFORMAZIONE SUI TERREMOTI DI IERI E DI OGGI

Il rumore del terremoto

Patrizia Tosi, Paola Sbarra, Valerio De Rubeis

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Roma 1

Fin dall'antichità è noto che tra i possibili effetti del terremoto si annoverano **rumori** di vario genere: ***rombi, boati, schiocchi ecc..*** Generalmente il rumore è avvertito in concomitanza dello scuotimento, altre volte sembra precederlo di poco. Seneca ne parla nel libro VI (13.5) de *Naturales quaestiones*: "*antequam terra moveatur, solet mugitus audiri*". Oggi sappiamo che il **rumore è causato proprio dal passaggio delle onde sismiche**.Il terreno si comporta come un enorme altoparlante che si muove sotto i nostri piedi trasferendo le vibrazioni all'aria. Sono le onde P (le più veloci, quindi quelle che arrivano per prime nel tragitto dall'ipocentro al luogo di osservazione) a essere la causa principale dell'emissione acustica, mentre le più lente onde S sono maggiormente responsabili dello scuotimento del terreno.
Generalmente il terremoto causa rumore nella zona epicentrale anche per sismi di bassa magnitudo. Nelle descrizioni spesso è riferito a un **rombo**, un **tuono**, un **vento impetuoso**, un'**esplosione** o anche a un **colpo secco di fucile**. Oltre alle descrizioni dei testimoni, esistono delle rare registrazioni per lo più casuali e fortuite (*vedere http://webshaker.ucsd.edu/soundRecords.html*) che dimostrano che i terremoti possono produrre suoni nel campo delle frequenze udibili, solitamente in quelle più basse. La mancanza di una rete di strumenti sensibili a queste frequenze ha tuttavia reso il fenomeno difficile da studiare in modo preciso e sistematico.
Oggi, grazie alla diffusione di internet, **il contributo dei cittadini può fornire dei dati molto utili.** Infatti da molti anni (dalla fine degli anni '90) l'INGV gestisce un sito dedicato alla raccolta, l'analisi dei dati e la pubblicazione on-line di mappe e grafici sugli effetti dei terremoti: **www.haisentitoilterremoto.it**. Le informazioni, raccolte con un semplice questionario, riguardano anche **la percezione di rumori legati al terremoto**. Attivo nella veste odierna dal 2007 – e costantemente arricchito e migliorato – il sito ha raccolto oltre mezzo milione di questionari e prodotto mappe (*vedere ad esempio la **Figura 1***) e grafici per quasi seimila terremoti, basandosi solamente sul libero contributo dei cittadini, ventimila dei quali iscritti ad una rete permanente di collaboratori (chiunque può farne parte iscrivendosi sul sito e ricevendo informazioni sull'attività sismica in tempo reale: http://www.haisentitoilterremoto.it/subscriber.html).

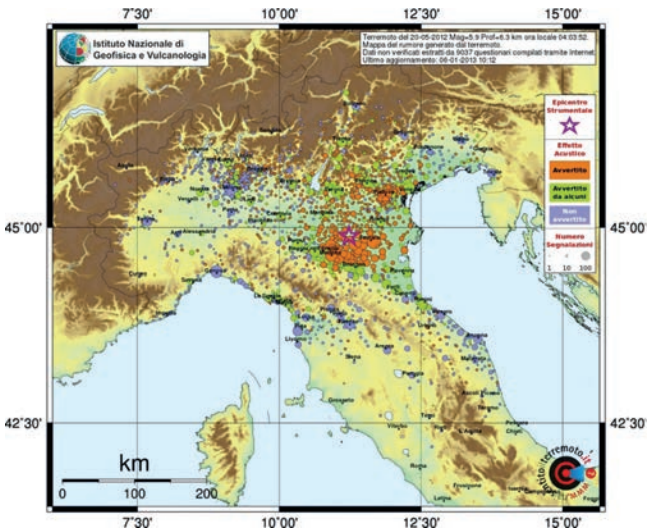


Figura 1 Terremoto del 20 maggio 2012, ore 04:03:52, magnitudo 5.9, Pianura Padana Emiliana. La mappa mostra la distribuzione dell'effetto acustico sul territorio. Con la stella in colore viola viene indicato l'epicentro del terremoto determinato dalla Rete Sismica INGV, i cerchi colorati mostrano come è stato percepito il rombo durante il sisma in ogni comune (avvertito, avvertito da alcuni e non avvertito). Si può notare che il rumore del terremoto viene comunemente avvertito dai cittadini e che la percezione diminuisce con la distanza dall'epicentro (legenda in alto a destra).

L'analisi statistica di circa 77.000 segnalazioni sul rumore ha mostrato che l'andamento della percezione del rombo rispetto alla distanza dall'epicentro segue una legge di tipo logaritmico, analoga a quella degli altri effetti del terremoto (***Figura 2***).

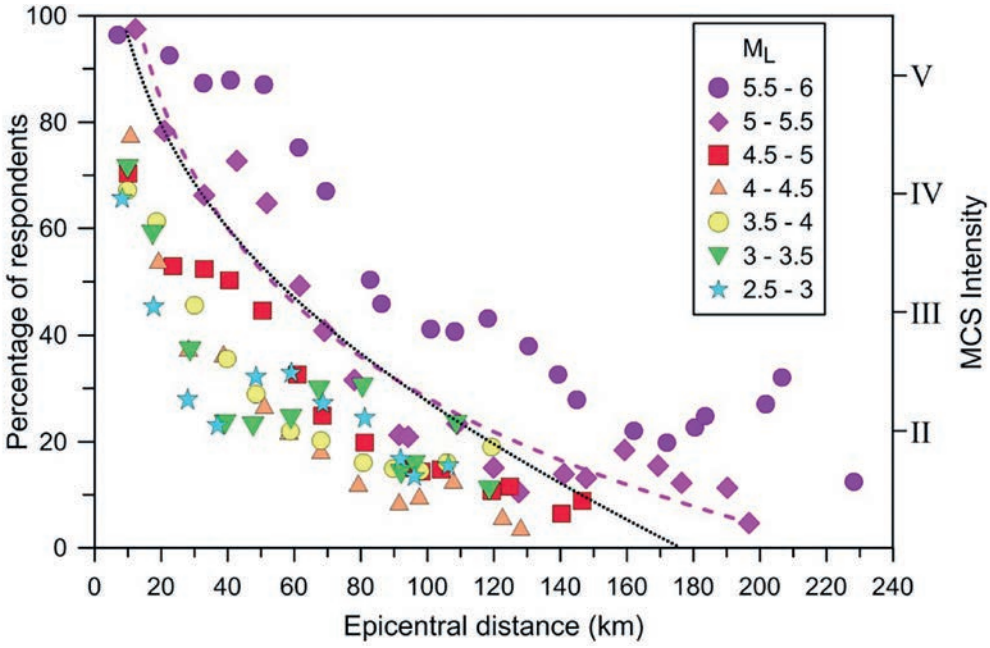


Figura 2 Percezione del rumore legato al terremoto espressa come percentuale sul totale dei questionari, rispetto alla distanza dall'epicentro (ogni simbolo identifica terremoti in un intervallo specifico di magnitudo). La linea tratteggiata rappresenta l'interpolazione dei valori nell'intervallo di magnitudo M_L 5-5.5. La linea a puntini rappresenta l'attenuazione dell'intensità degli effetti dei terremoti in gradi Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) per M_L=5.

Questo andamento è influenzato anche dalla magnitudo del terremoto. Per questi motivi è possibile utilizzare anche questo effetto per caratterizzare l'impatto dei terremoti sul territorio. Infatti vi è una **correlazione tra l'udibilità** e il **grado della scala Mercalli** osservato in un centro abitato.
I dati mostrano che **il 40% delle persone afferma di aver sentito il rombo prima dell'inizio dello scuotimento**. Questa osservazione si spiega con la diversa velocità di propagazione delle onde sismiche: le prime onde che arrivano (onde P) a volte sono più difficili da percepire come vibrazione, rispetto alle più lente onde S, ma possono produrre un suono udibile. È questo il motivo per cui gli animali domestici, con l'udito molto più sensibile rispetto all'uomo, talvolta fuggono spaventati pochi secondi prima dell'inizio dello scuotimento.

Per approfondimenti

Tosi P., Sbarra P., De Rubeis V., (2012). *Earthquake sound perception*. Geophysical Research Letters, VOL. 39, L24301, pp. 5. https://doi.org/10.1029/2012GL054382

Pubblicato il 30 gennaio 2013

Il terremoto in Garfagnana del 25 gennaio 2013 visto dal geologo

Paola Vannoli

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Roma 1

Come si accorda il **terremoto della Garfagnana del 25 gennaio 2013**, **M_L 4.8**, con le conoscenze della geologia dell'Appennino di cui disponiamo? Qui proponiamo una possibile interpretazione. L'epicentro del terremoto del 25 gennaio, è localizzato in corrispondenza di una struttura ben nota ai geologi, il cosiddetto *Etrurian Fault System*. Cos'è? È un'importante sistema di faglie dirette o estensionali, ossia quelle faglie create da una tendenza della crosta terrestre ad estendersi. Oggi sappiamo da dati satellitari (GPS) che tutto l'Appennino è soggetto a estensione in direzione perpendicolare alla catena montuosa. L'*Etrurian Fault System* si sviluppa dall'Umbria sino alla Toscana, comprendendo le aree del Mugello e della Garfagnana e terminando a nord in corrispondenza della Lunigiana. Questo sistema di faglie, per lo più continuo, rappresenta il limite occidentale dell'area in estensione dell'Appennino centro-settentrionale.

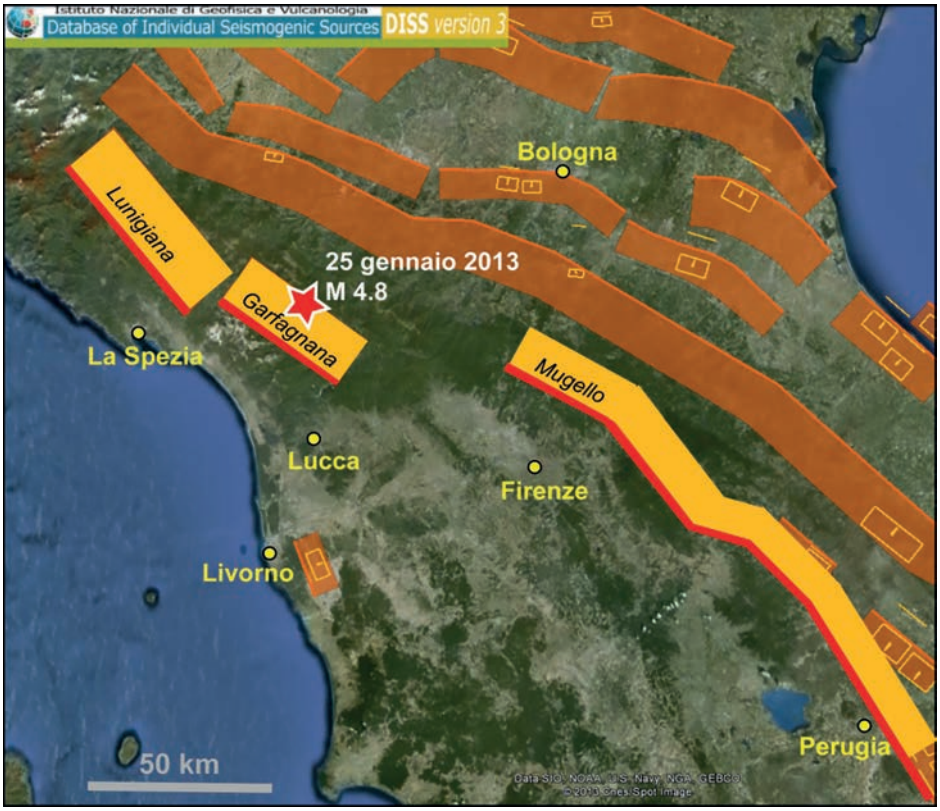


Figura 1 L'epicentro del terremoto del 25 gennaio 2013 (stella rossa); le aree in arancione sono le proiezioni in superficie dei sistemi di faglie che possono generare terremoti con magnitudo superiore a 5.5, contenuti nel DISS; in giallo l'Etrurian Fault System; la linea rossa rappresenta il margine più vicino alla superficie dell'Etrurian Fault System.

In Figura 1 **la stella rossa** rappresenta **l'epicentro del terremoto del 25 gennaio 2013**; **le aree in arancione** sono **le proiezioni in superficie dei sistemi di faglie** che possono generare terremoti con magnitudo superiore a 5.5, contenuti nel Database delle Sorgenti Sismogenetiche

Individuali, DISS; https://diss.ingv.it/; in **giallo l'*Etrurian Fault System***; la **linea rossa** rappresenta il **margine più vicino alla superficie** dell'*Etrurian Fault System*. Tale sistema di faglie è localizzato a profondità comprese tra 1 e 10 km, profondità compatibili con quelle delle faglie estensionali responsabili dei forti terremoti che si sono verificati in Italia.
L'epicentro del terremoto del 25 gennaio si colloca in corrispondenza di un sistema di faglie ben noto, capace di generare importanti terremoti, che si sviluppa in profondità tra 1 km e 10 km, ma la profondità dell'evento - 16 km - ci fornisce un'informazione importante: quasi certamente l'*Etrurian Fault System* non è responsabile del terremoto del 25 gennaio, perché si è verificato ad una profondità maggiore.

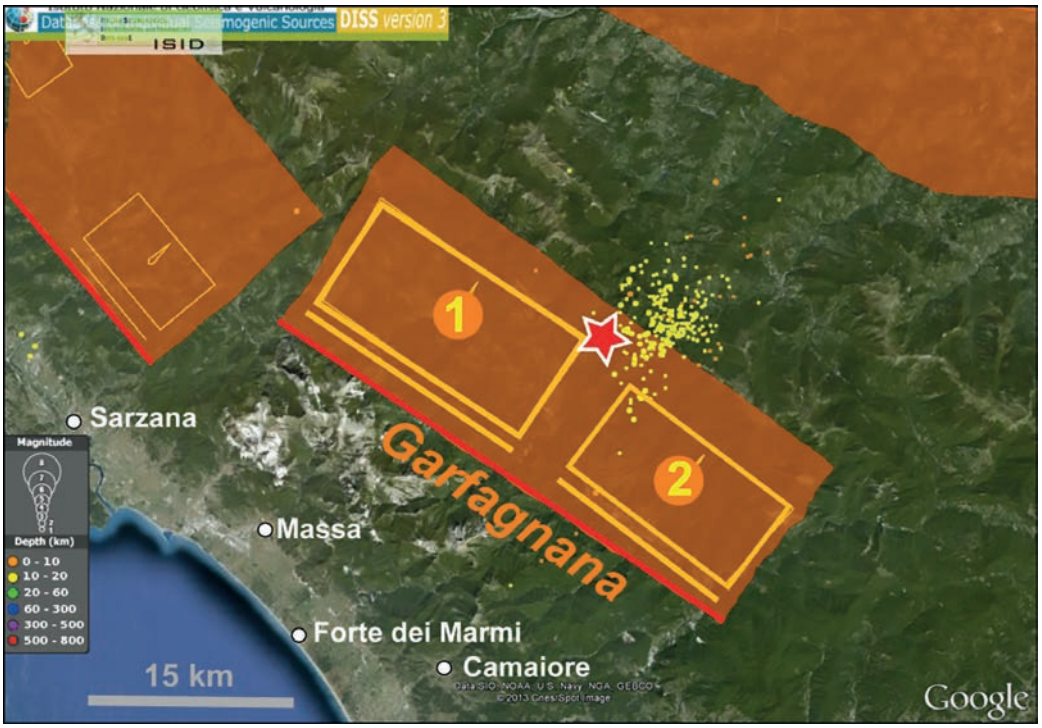


Figura 2 La sequenza sismica dal 25 gennaio al 1 febbraio e le sorgenti sismogenetiche.

Guardando più in dettaglio la localizzazione dell'evento, la Figura 2 mostra:

1. l'epicentro del terremoto del 25 gennaio (la stella rossa);
2. tutti gli eventi sismici della sequenza dal 25 gennaio al 1 febbraio (Fonte dati: ISIDe, https://terremoti.ingv.it/iside), rappresentati con i puntini gialli e arancio a seconda della loro profondità. Da notare che il colore giallo indica una profondità compresa tra 10 e 20 km;
3. evidenziata in arancione, la porzione dell'*Etrurian Fault System* corrispondente alla struttura della Garfagnana;
4. rappresentati come due rettangoli gialli, le proiezioni in superficie di due grandi faglie ritenute responsabili di importanti terremoti (Fonte dati: DISS [https://diss.ingv.it/]).

Le faglie n. 1 e 2 sono le due faglie presenti nell'alta valle del Fiume Serchio, in Garfagnana, che fanno parte dell'*Etrurian Fault System*. La **faglia n. 1** è ritenuta responsabile del grande terremoto del **7 settembre 1920**. Questo terremoto ha avuto una magnitudo **Mw** pari a **6.5** e ben quattro località (Capraia, Montecurto, Vigneta e Villa Collemandina) hanno subito ingenti distruzioni ed il crollo della maggior parte degli edifici, un quadro corrispondente ad **un'intensità pari al X grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg** (MCS) (https://emidius.mi.ingv.it/DBMI11).

La **faglia n. 2** è ritenuta responsabile di un terremoto con **magnitudo pari a 6.1**. L'Italia dispone di cataloghi storici particolarmente ricchi e accurati che non riportano eventi sismici associabili a questa faglia, individuata esclusivamente mediante studi geologici. Questa faglia pertanto potrebbe essere stata responsabile di un terremoto storico molto antico e tuttora ignoto ai cataloghi.

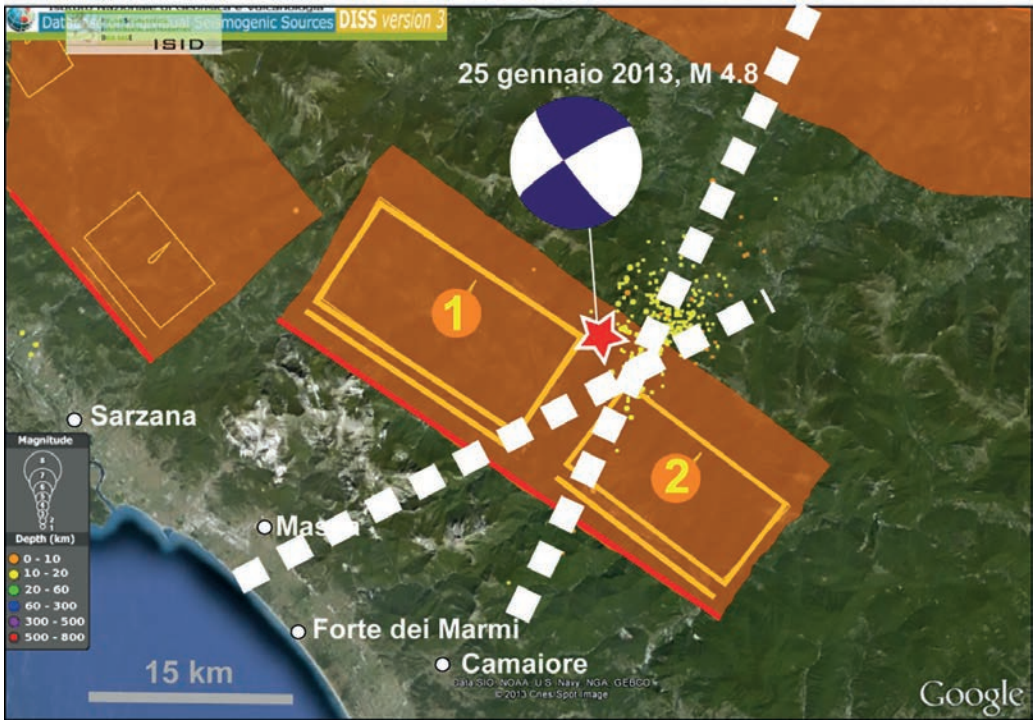


Figura 3 La sequenza sismica con il meccanismo focale dell'evento del 25 gennaio, le sorgenti sismogenetiche e i due lineamenti trasversali.

Le faglie n. 1 e 2 occupano due aree ben distinte della valle dell'alto corso del Fiume Serchio, separate dal rilievo del Monte Perpoli e da due importanti lineamenti tettonici trasversali alla catena appenninica (ad est) ed alle Alpi Apuane (ad ovest). I due lineamenti sono noti come "Linea del Secchia" e "Linea Massa-Monte Cervarola". Questi lineamenti sono rappresentati in Figura 3 con due linee bianche tratteggiate. Quest'area è caratterizzata da sorgenti termali e vulcanelli di fango (tra cui il laghetto di Pieve Fosciana, sede di peculiari manifestazioni idrogeologiche) le cui caratteristiche testimoniano la presenza di un'importante e profonda discontinuità nella litosfera terrestre.
Torniamo alla sequenza sismica in atto in Garfagnana. Possiamo osservare che la sequenza è localizzata tra le due faglie n. 1 e 2. Questa osservazione è un dato non di poco conto poiché in quella posizione passa una importante struttura geologica trasversale alla valle e radicata in profondità. La sequenza sismica è caratterizzata da una profondità media di circa 15 km, il che ci consente di ipotizzare che i terremoti di questi giorni sono causati dal movimento di piccole porzioni di crosta localizzate al di sotto delle faglie n. 1 e 2. In corrispondenza di questa struttura trasversale che attraversa la Garfagnana si sono verificati altri terremoti del passato recente, caratterizzati da magnitudo relativamente bassa e profondità relativamente elevata, come quelli del **23 gennaio 1985** (M_L 4.2; profondità 24 km), dell'**8 febbraio 1988** (M_L 4.0; 28 km) e del **24 dicembre 1997** (M_L 4.0; 16 km) (Fonte dati: CSI, http://csi.rm.ingv.it/).

Il meccanismo focale dell'evento del 25 gennaio ci dice che quel terremoto è stato causato dal movimento di una faglia trascorrente, ossia una faglia in cui due blocchi di crosta si muovono orizzontalmente uno accanto all'altro senza spostamenti verticali significativi. Dal solo meccanismo focale non potremmo sapere quale dei due piani si è mosso, ma dalla conoscenza della geologia della Garfagnana e dall'allineamento in direzione nordest-sudovest degli ipocentri degli eventi della sequenza possiamo dedurre che il 25 gennaio si è mossa **una faglia trascorrente con orientamento nordest-sudovest.**

Per approfondimenti

Database delle Sorgenti Sismogenetiche Individuali, DISS. https://diss.ingv.it/

Sull'Etrurian Fault System

Boncio P., Brozzetti F., and Lavecchia G., (2000). *Architecture and seismotectonics of a regional low-angle normal fault zone in Central Italy*. Tectonics, 19, 1038-1055, https://doi.org/10.1029/2000TC900023

Sulle strutture trasversali

Boccaletti M., Coli M., and Napoleone G., (1977). *Nuovi allineamenti strutturali da immagini Landsat e rapporti con l'attività sismica negli Appennini*. Boll. Soc. Geol. It., 96, 679-694.
Castellarin A., Eva C., Giglia G., Vai G.B., Rabbi E., Pini G.A., and Crestana G., (1985). *Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano*. Giorn. Geol., 3a, 47/1-2.

Sul meccanismo focale del terremoto del 25 gennaio 2013

https://terremoti.ingv.it/event/1697041?timezone=UTC#MeccanismoFocale
https://autorcmt.bo.ingv.it/QRCMT-on-line/QRCMT13-on-line/E1301251448A.html

Pubblicato il 6 febbraio 2013

Il Papa e il terremoto. Clemente XI e i sismi del 1703

Alessandro Amato, Valerio De Rubeis

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Nazionale Terremoti

Il 1703 fu un anno terribile per i terremoti nel centro Italia. Due forti eventi avvennero a distanza di soli 19 giorni in Umbria (il 16 gennaio) e in Abruzzo (il 2 febbraio). Gli epicentri di questi due terremoti erano abbastanza vicini a Roma da causare danni e panico anche nella sede Pontificia. Anche il **Papa, Clemente XI**, fu coinvolto dalle scosse e dalle sue conseguenze.
Le cronache dell'epoca parlano di sciacalli che dicevano di prevedere successive scosse, cui il Papa reagì con un'inchiesta. E di una commissione scientifica che **Clemente XI** istituì per capire se fosse possibile prevedere i terremoti. Non molto diverso da quanto accade ai giorni nostri.



Riportiamo qui un estratto dalle cronache di **Ludwig Pastor (Freiherr von),** tradotto da Pio Cenci [1962].
[...] Perché anche disastri naturali della peggiore specie diffusero tra la popolazione angoscia e spavento. [...] I disastri dovevano essere per la città eterna solo il preludio di altri guai. La sera del **14 gennaio 1703 Roma venne scossa da un terremoto** accompagnato da torrenti d'acque e da bufere. La scossa fu breve, ma molto violenta e le campane delle chiese suonarono da se. **Suonò anche il campanello del tavolo del Papa** che da quel momento sentiva il rapporto del segretario dei memoriali. Clemente corse nella sua cappella dove si trovavano molti dei suoi

familiari per confessarsi. Anche nelle altre chiese della città si radunarono a pregare molti cittadini di ogni classe. Il giorno seguente Il Papa scese due ore prima della levata del sole in San Pietro ove disse Messa in presenza di una grande folla. Poi convocò i cardinali in un concistoro e li esortò a placare l'ira di Dio con esercizi di penitenza. **In Roma dove persino edifici assai solidi mostravano delle crepe**, lo spavento fu così grande che molti, nonostante le piogge, passavano le notti in capanne nella campagna o nelle carrozze. [...] Nuove e minori scosse di terremoto seguirono quando il Papa il 16 gennaio si recò in Laterano, promulgò un'indulgenza e ordinò processioni rogatorie. *Oggi*, scrive il conte Lamberg nel suo Diario, *tutti sono confessati, hanno fatto digiuno e sono andati in San Pietro, una tale ressa non si è vista mai, nemmeno nell'Anno Santo. Le commedie e le mascherate del carnevale vennero proibite ed invece di questi divertimenti Il Papa ordinò missioni popolari che furono assai frequentate.* Il terremoto, dice un contemporaneo, fu un grande predicatore. [...] Nel giorno della Purificazione di Maria Santissima (**il 2 febbraio**, NdR) ebbe luogo anche nella Sistina la solita benedizione dei ceri. **Nel bel mezzo della cerimonia alle 9 del mattino si fece sentire il terremoto così violento che tutti i presenti scapparono. Solo il Papa mantenne la sua calma** e si prostrò ai piedi dell'altare. Di poi si recò a pregare nella Chiesa di San Pietro, benché si annunciasse che anche là avevano vacillato le colonne del tabernacolo berniniano ed erano caduti calcinacci dalla Cupola. Nel pomeriggio egli visitò la Scala Santa presso il Vaticano. **I danni cagionati dalla scossa di terremoto del 2 febbraio furono notevoli in tutta la città**. Particolarmente dovette soffrire la chiesa di San Lorenzo.



Del Colosseo crollarono tre archi del secondo anello e le pietre vennero usufruite per costruire il porto di Ripetta. Anche nella Basilica di San Pietro, nel Vaticano e nel Quirinale si rivelarono dei crepacci. [...] Nella notte dal 2 al 3 febbraio i romani, già agitatissimi, furono presi di nuovo dalla grande paura. **Fu fatta circolare dai ladri la voce in tutta la città che in due ore Roma perirebbe, ciò evidentemente allo scopo di far bottino durante il panico**. Tutti fuggirono nei

giardini e nelle pubbliche piazze. Indescrivibili scene si svolsero ovunque. Gli abitanti seminudi gridavano misericordia, si gettavano in ginocchio e attendevano pieni di costernazione l'ora della loro fine. Madri baciavano ancora una volta i loro bambini e coniugi ed amici si abbracciavano. Molti confessavano pubblicamente le loro colpe ed altri si confessavano sulle pubbliche vie. L'aria risuonava del grido: *Santo Iddio abbi misericordia di noi.* **Il Papa prese subito misure per tranquillizzare la popolazione** e garantire la proprietà. Nello stesso tempo **ordinò un'inchiesta per stabilire gli autori della falsa diceria**, ma non se ne seppe nulla. La popolazione si tranquillizzò soltanto lentamente. Molti per lungo tempo ancora dormivano all'aperto e nei giardini come fece il Cardinale Ottoboni ed altri nobili. **Clemente XI [...] vedeva nel terremoto un castigo per i peccati**, prese una serie di provvedimenti onde elevare lo stato morale della sua capitale. [...] stabilì che d'ora innanzi nella festa della Purificazione venisse cantato annualmente nella Cappella papale il Te Deum ed anche il giorno prima venisse considerato di stretto digiuno. Quest'uso è mantenuto dai Romani ancora oggi. [...] Del resto **il Papa fece fare anche delle osservazioni scientifiche per scoprire se fosse possibile prevedere i terremoti**. [...] il 15 aprile si levò un grande ciclone ed il 24 maggio seguì una nuova scossa, la quale, benché fosse leggera, fece che molti fuggissero nella campagna. La cronaca di Roma annuncia poi per il 10 ottobre uragani ed altre scosse di terremoto. [...] specialmente in Norcia, Foligno, Spoleto e L'Aquila. Il Papa mandò colà copiosi sussidi. L'apposita congregazione che egli aveva istituito fece mettere a disposizione della popolazione accampata all'aperto le tende delle guarnigioni di Castel Sant'Angelo e Civitavecchia. Oltre al denaro vennero distribuiti anche dei viveri. [...) Riflessi della guerra e dei disastri naturali si rispecchiano a loro volta nelle condizioni della popolazione dello Stato Pontificio. All'avvento di Clemente, l'eterna città contava 149.477 abitanti, tenendo però conto che allora veniva celebrato l'Anno Santo, per cui come numero normale è meglio considerare quello dell'anno 1701 che ne portò 141.798. Fino al 1707 questo numero discese a 132.728 anche se crebbe poi lentamente per scendere poi ancora una volta. [...]

Da: ***Storia dei papi dalla fine del Medio Evo: compilata col sussidio dell'Archivio Segreto Pontificio e di molti altri archivi. Dall'elezione di Clemente XI sino alla morte di Clemente XII, Volume 15,*** *Autore* ***Ludwig Pastor (Freiherr von),*** *tradotto da Pio Cenci. Editore Desclée & C. editori pontifici, 1962 Pagg. 375-379.*

Pubblicato il 13 marzo 2013

La prevenzione paga

Carlo Meletti

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Pisa

Appena avvertita la scossa di terremoto di magnitudo 5.2 che venerdì 21 giugno ha colpito la Lunigiana orientale, il primo pensiero di chi si occupa professionalmente di terremoti è stato quello di un disastro che poteva aver provocato molti crolli e quindi probabilmente anche vittime. La magnitudo 5.2 di per sé non è una magnitudo elevatissima (in Italia si sono avuti storicamente eventi che hanno superato magnitudo 7, ultimi tra questi il terremoto di Reggio Calabria-Messina del 1908 e quello di Avezzano del 1915) ed è stata frequentemente rilevata: dal 1900 a oggi sono oltre 150 le scosse di magnitudo pari o uguale a 5.2 verificatesi nel territorio nazionale.
Abbiamo però un record negativo nel nostro paese: una elevata vulnerabilità del patrimonio edilizio, vale a dire una scarsa capacità di resistere ai terremoti. Le ragioni di questa fragilità sono molteplici: sicuramente un'età elevata delle nostre case, probabilmente gli effetti degli anni di boom economico durante i quali si è costruito senza guardare troppo per il sottile, sicuramente una scarsa tradizione nella progettazione di edifici con criteri antisismici. Fino agli anni '80 una zona veniva dichiarata sismica solo dopo che vi si era verificato un forte terremoto (Figura 1) e conseguentemente diventava obbligatorio adottare le norme antisismiche del momento nella progettazione del nuovo, ma nessun vincolo particolare era imposto sugli edifici esistenti.

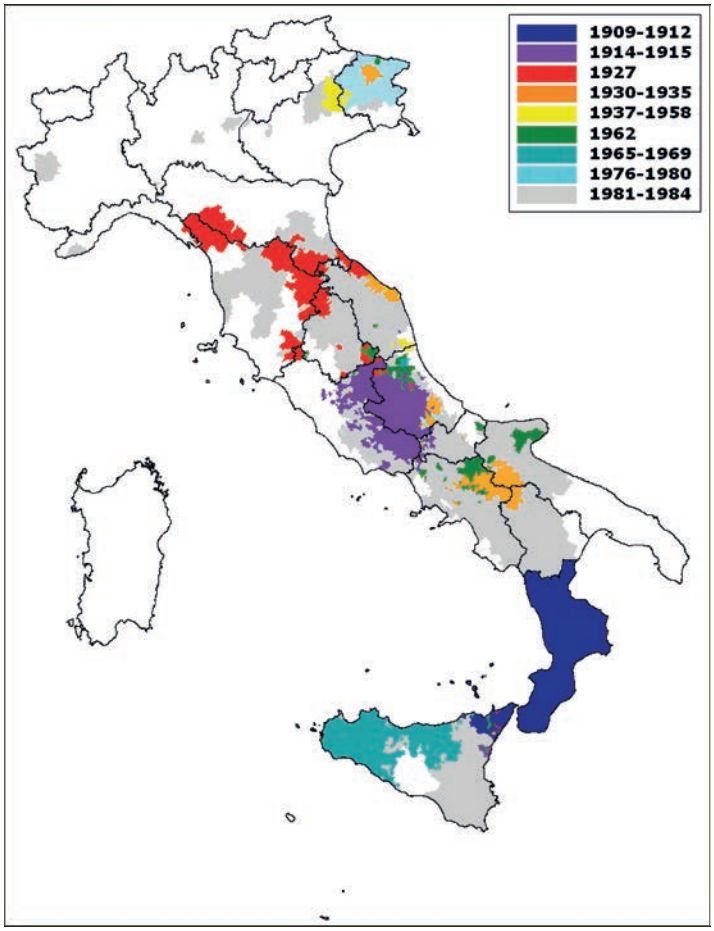


Figura 1 Data di prima classificazione sismica dei comuni italiani, dal 1909 al 1984.

Se consideriamo che circa l'80% delle abitazioni in Italia è stato costruito prima del 1981 (periodo in cui venivano promulgate norme antisismiche più moderne ed efficaci di quelle precedenti), si capisce che il numero di abitazioni private progettate secondo tali norme è molto ristretto (stima basata sui dati del Censimento ISTAT 2001; Figura 2).

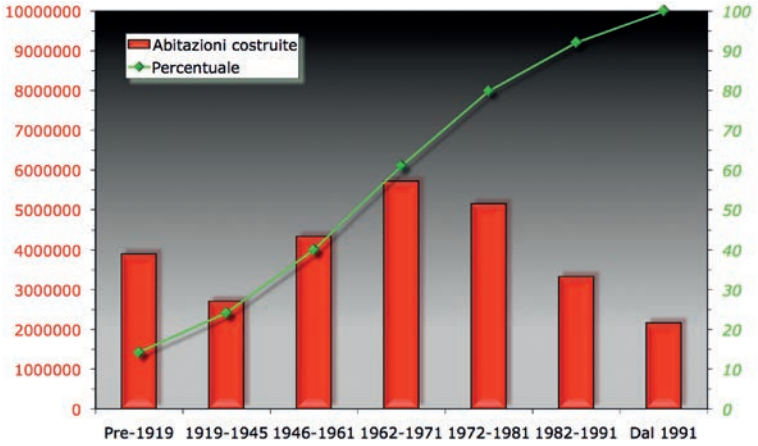


Figura 2 Numero di abitazioni costruite in Italia per periodo.

Senza voler entrare ora nella questione che oltre a progettare bene bisogna costruire bene ed eseguire una corretta manutenzione dell'edificio, si capiscono alcuni dei motivi per cui il nostro patrimonio edilizio sia così fragile. La dimostrazione sta nella Figura 3.

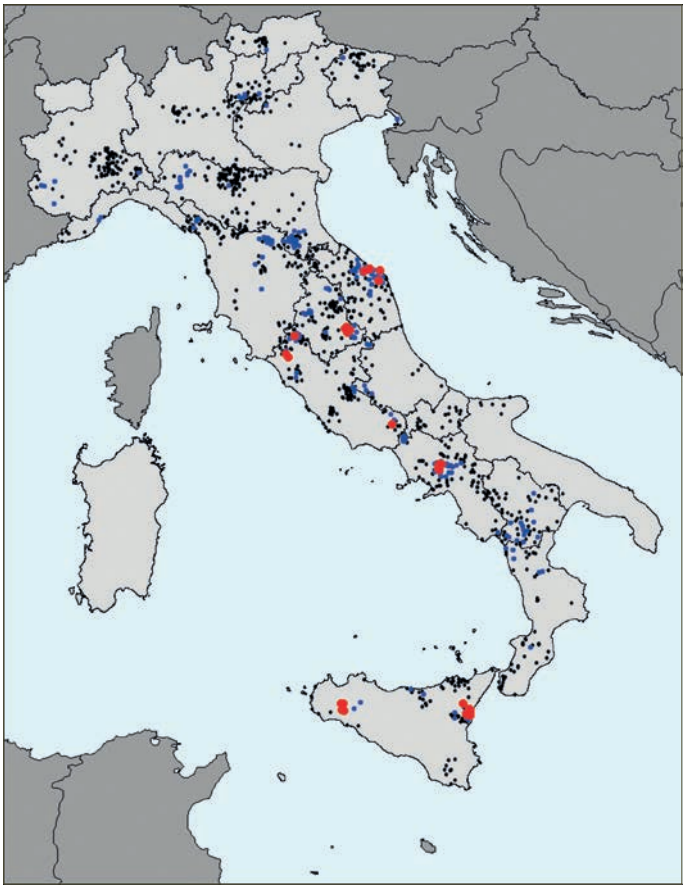


Figura 3 Località danneggiate dopo il 1950 per eventi con magnitudo minore di 5. I colori si riferiscono alle intensità MCS: nero = 5.5-6; blu = 6.5-7; rosso = 7.5-8.

Per eventi di magnitudo minore di 5 avvenuti dal 1950 a oggi si sono verificati danni in molte località, in tutte le regioni d'Italia, tranne la Sardegna. Questa è la situazione (tragica) del nostro paese e da qui bisogna partire. Ecco perché c'era il timore molto forte che anche il terremoto del 21 giugno potesse avere prodotto danni e vittime.
A quanto è invece dato possibile constatare in questo momento (vale a dire quando la sequenza sismica è ancora in atto e altre scosse importanti potrebbero ancora verificarsi, andando a modificare in peggio la situazione), sembrerebbe che gli effetti di questo terremoto siano molto minori di quelli che ci si poteva immaginare. Da fonti giornalistiche si parla di circa 500 case inagibili. Sia chiaro che per il singolo cittadino che ha avuto la casa lesionata e resa inagibile non esiste tragedia peggiore, ma se si guarda ai grandi numeri sembra di poter dire che è andata relativamente bene, sicuramente meglio che in altri casi analoghi. A titolo di esempio si ricorda che il terremoto che il 24 novembre 2004 ha colpito l'area di Salò, di magnitudo comparabile con quella del 21 giugno, ha prodotto danni per 200 milioni di euro e reso inagibili oltre 3700 abitazioni. Certo quell'area del Lago di Garda ha una densità abitativa diversa da quella della Lunigiana, ma in ogni caso il danneggiamento del 2004 è di almeno un ordine di grandezza superiore a quello che sembra essersi prodotto nei comuni della Lunigiana orientale.
Quale può essere allora l'interpretazione del danneggiamento decisamente minore di quello che era presumibile attendersi?
Una ragione va sicuramente ricercata nel fatto che questa regione subisce terremoti di media magnitudo frequentemente. Se consideriamo i soli eventi con magnitudo maggiore di 5 verificatisi nelle province di Massa e di Lucca, sono almeno 15 i terremoti riportati dal catalogo storico CPTI11, a partire dal 1481, prima della scossa del 21 giugno. Per la sola località di Fivizzano le informazioni macrosismiche disponibili dicono che almeno 10 volte si è raggiunta la soglia del danno. È quindi legittimo pensare che le ricostruzioni e le riparazioni succedutesi nel tempo abbiamo portato ad una riduzione della vulnerabilità degli edifici di questa area. Non va però scordata l'azione di riduzione del rischio sismico intrapresa negli anni dalla Regione Toscana, che oggi sembra dare i primi frutti.
Si tratta di una storia che merita di essere raccontata.
Il terremoto dell'Irpinia-Basilicata del 1980 colse tutte le amministrazioni regionali (che erano nate da soli 10 anni) impreparate rispetto alle tematiche del rischio sismico. Molte Regioni iniziarono allora un percorso per l'istituzione di appositi uffici e la creazione di professionalità dedicate a questo tema. Ogni Regione si mosse in ordine sparso; la Toscana in particolare ha sempre mostrato una sensibilità ed una attenzione particolare per il rischio sismico sul proprio territorio. Se si provasse a fare l'elenco di tutte le iniziative realizzate in ormai più di 30 anni, impiegheremmo molto tempo: iniziative di studio, di ricerca, di intervento sugli edifici pubblici e privati, di educazione, di divulgazione e molto altro. Non si è trattato solo di un'operazione culturale importante, ma anche di investimenti economici significativi. Ma proprio perché si è trattato di un'operazione anche e soprattutto culturale, merita di ricordare quanto avvenne dopo il terremoto di Fivizzano del 1995.
Il 10 ottobre 1995 una forte scossa di magnitudo 4.9 fu avvertita in gran parte della Toscana settentrionale e del Nord Italia. In 11 località si verificarono danni classificati tra il VI e il VII grado della scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg). Finita la sequenza e il censimento dei danni, iniziò la fase di ricostruzione o di riparazioni degli edifici danneggiati. Nacque allora l'idea di fare qualcosa di più nella direzione della riduzione del rischio sismico e in particolare di finanziare i privati. Dalla sinergia tra Dipartimento della Protezione Civile (allora diretto dal prof. Franco Barberi), Regione Toscana (presidente allora era Vannino Chiti, responsabile del Servizio Sismico Regionale l'arch. Maurizio Ferrini) e il mondo della ricerca (in particolare in questa circostanza partecipò il Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti - GNDT - del CNR, poi confluito nell'INGV), fu realizzato uno studio sul rischio sismico dei comuni della Toscana. Il Dipartimento

e la Regione Toscana misero a disposizione 4 miliardi di lire ciascuno da destinare al miglioramento antisismico degli edifici privati, attraverso un finanziamento a fondo perduto, da concentrare in tutti quei comuni che risultavano in testa nella graduatoria del rischio sismico.
La Legge Regionale 56 del 30 luglio 1997 è la prima legge sulla prevenzione sismica in Italia: prevede per l'appunto finanziamenti per i privati, la realizzazione di indagini di microzonazione sismica, indagini sui materiali degli edifici scolastici, verifiche sismiche su edifici pubblici, rete sismica e geodetica, informazione alla popolazione ed alle scuole. Su queste attività dal 1997 la Regione Toscana investirà 8 miliardi.

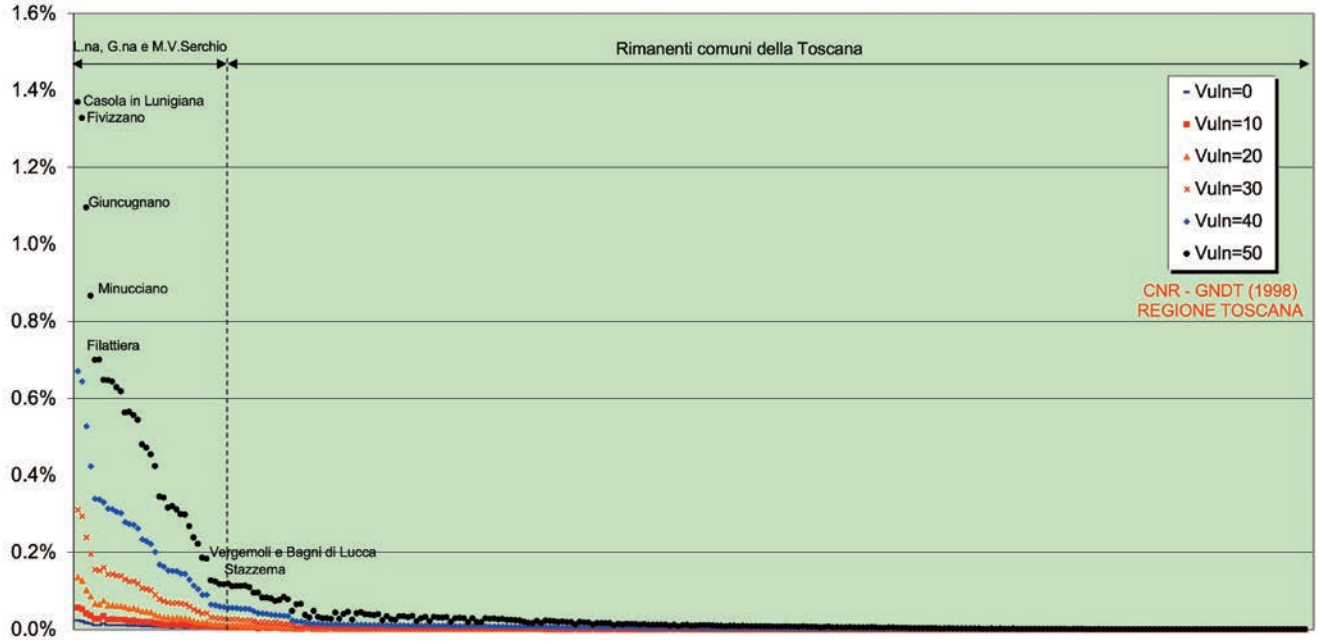


Figura 4 Rischio sismico dei comuni della Toscana espresso come costo attualizzato del primo danno atteso.

La Figura 4 riporta uno dei grafici che accompagnavano la relazione scientifica firmata da ricercatori del GNDT. Era la stima del rischio sismico in tutti i comuni toscani espresso come costo del primo danno atteso, vale a dire il costo per ripristinare gli edifici danneggiati dal primo terremoto che sarebbe avvenuto, stimato per vari valori medi di vulnerabilità. Si nota che la graduatoria era guidata da Casola in Lunigiana e da Fivizzano; in ogni caso i comuni di Lunigiana, Garfagnana e Media Valle del Serchio guidavano questa triste graduatoria. I finanziamenti, per quanto esigui rispetto al numero di edifici esistenti nell'area, furono sufficienti a incentivare molte famiglie a richiederli e a fare interventi nelle proprie abitazioni. La cifra erogata (20 milioni di lire per famiglia) permetteva di fare interventi per la messa in posa di catene che hanno la funzione di garantire il collegamento delle murature fra loro e tra i solai durante un terremoto e di fatto sono l'intervento con il miglior rapporto costo-benefici, in quanto incrementano sensibilmente il comportamento sismico dell'edificio.
Non solo molte famiglie utilizzarono il finanziamento, ma si verificò un processo virtuoso grazie al quale diverse imprese medio-piccole della zona si dotarono di macchinari (per esempio microcarotieri) che agevolassero il loro compito e acquisirono in questo modo un know-how che ancora oggi possono utilizzare. Anche altre attività artigianali hanno beneficiato di questi investimenti, dal momento che le catene sono state realizzate dai fabbri della zona e i falegnami hanno costruito i tetti in legno. Insieme agli interventi sugli edifici, una serie di iniziative di informazione e aggiornamento tecnico ha contribuito a modificare le abitudini costruttive

dell'area andando verso una generalizzata riduzione del rischio sismico. A titolo di esempio si può citare l'abbandono della realizzazione di pesanti coperture degli edifici con cordoli in cemento armato che appesantiscono inutilmente, anzi peggiorano la resistenza degli edifici sotto l'azione sismica.
Anche gli interventi sugli edifici pubblici e in particolare sulla messa in sicurezza sulle scuole hanno avuto un'attenzione adeguata, visto che tutte le scuole dell'area sono state adeguate o sostituite con nuovi edifici scolastici e la popolazione ha trovato ricovero nella notte del terremoto ed in quelle successive e persino gli esami di maturità si sono svolti regolarmente.
È ancora presto per giungere a conclusioni definitive, ma sembra di poter dire che abbiamo la prova provata che gli interventi di prevenzione antisismica producono effetti positivi: è la prima volta, infatti, che un terremoto forte colpisce un'area nella quale sono stati fatti interventi preventivi, gli edifici che hanno usufruito di questi interventi di miglioramento antisismico paiono non avere subito danni e non possiamo non pensare che è anche grazie a questa politica seria di gestione e tutela del territorio e del costruito che lo scenario prodotto dal terremoto del 21 giugno sia risultato molto migliore di quanto fosse possibile immaginare.

Pubblicato il 12 luglio 2013

I terremoti nella STORIA: I Borbone di Napoli e il grande terremoto delle Calabrie del 1783

Filippo Bernardini[1], Carlo Meletti[2]

[1]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna
[2]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Pisa

Il 5 febbraio 1783 iniziò in Calabria uno dei periodi sismici tra i più lunghi e disastrosi che siano mai avvenuti nella storia sismica del nostro paese. Tra il 5 febbraio e il 28 marzo si verificarono 5 scosse fortissime (5 febbraio, 6 febbraio, 7 febbraio, 1 marzo e 28 marzo 1783) e diverse centinaia di scosse minori, i cui effetti complessivi furono devastanti sulla maggior parte del territorio calabrese e in Sicilia nord-orientale. Le scosse più violente colpirono dapprima (5 e 6 febbraio) la Calabria meridionale, investendo tutta l'area dell'Aspromonte e dello Stretto di Messina, poi (7 febbraio, 1 e 28 marzo) la Stretta di Catanzaro, cioè l'area compresa tra il golfo di Sant'Eufemia e il golfo di Squillace.

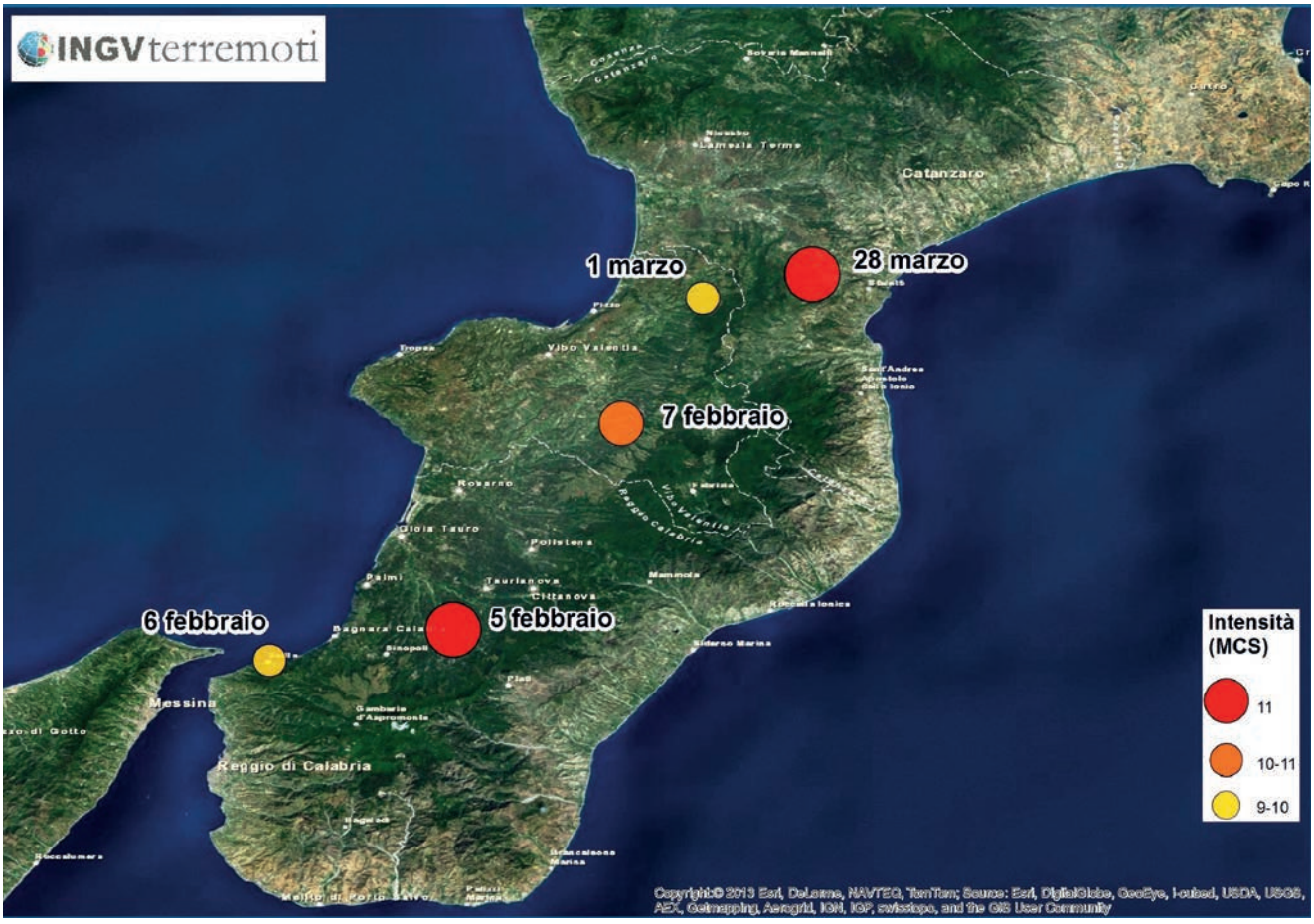


Figura 1 I cerchi colorati corrispondono agli epicentri dei 5 terremoti più forti della lunga sequenza sismica del 1783 (5 febbraio, 6 febbraio, 7 febbraio, 1 marzo e 28 marzo). Il colore e le dimensioni dei cerchi indicano la massima intensità osservata Imax (Fonte: CPTI11).


ISTORIA
DE' FENOMENI DEL TREMOTO
AVVENUTO
Nelle *Calabrie*, e nel *Valdemone* nell' anno 1783
POSTA IN LUCE
DALLA REALE ACCADEMIA
DELLE SCIENZE, E DELLE BELLE LETTERE
DI NAPOLI.
IN NAPOLI MDCCLXXXIV
PRESSO GIUSEPPE CAMPO.
IMPRESSORE DELLA REALE ACCADEMIA.

Figura 2 Istoria de' Fenomeni del Tremoto avvenuto nelle Calabrie, e nel Valdemone nell'anno 1783 posta in luce dalla Reale Accademia delle Scienze, e delle Belle Lettere di Napoli, Michele Sarconi, volume pubblicato nel 1784.

Le notizie dei primi 3 terremoti e delle enormi distruzioni da essi arrecate impiegarono circa dieci giorni per arrivare a Napoli, capitale dell'omonimo Regno di cui la Calabria all'epoca faceva parte. Il re di Napoli, Ferdinando IV di Borbone, decise di intervenire celermente nominando Vicario generale delle Calabrie il conte Francesco Pignatelli, con l'incarico di organizzare i primi soccorsi e seguire la lunga fase della ricostruzione.

La gravità del disastro ebbe un impatto enorme sia sulla società napoletana che su tutta la cultura europea [Placanica, 1985]. Numerosi gli scienziati, i letterati, gli architetti e gli ingegneri, sia italiani che stranieri, che furono inviati sul posto per studiare i fenomeni e i loro effetti. Fra questi anche Déodat de Dolomieu [de Dolomieu, 1784], il geologo francese da cui hanno preso nome le montagne Dolomiti, nelle Alpi Orientali.

Il governo borbonico inviò una spedizione della Reale Accademia delle Scienze e Belle Lettere di Napoli, composta da scienziati incaricati di eseguire indagini e osservazioni scientifiche; a questa spedizione si deve l'importante monografia di Michele Sarconi [1784], corredata dal famoso Atlante iconografico redatto dagli architetti Pompeo Schiantarelli e Ignazio Stile, da cui sono riprese alcune illustrazioni di questo articolo.



Figura 3 Fenditure di terreno nel distretto di Gerocarne (Fonte: Atlante iconografico allegato alla "Istoria" di M. Sarconi, [1784]).

Le numerose e violente scosse causarono imponenti effetti sull'ambiente naturale in tutta la vastissima regione colpita, al punto che ampie aree della Calabria centro-meridionale risultarono sconvolte nel loro paesaggio.



Figura 4 Formazione di crateri di depositi sabbiosi nella Piana di Gioia Tauro (Fonte: Atlante iconografico allegato alla "Istoria" di M. Sarconi, [1784]).

Gli effetti più impressionanti riguardarono i terreni: ci furono enormi frane, crolli, scivolamenti e distacchi di vaste porzioni di terra e fenomeni di liquefazione. Gli effetti furono particolarmente sconvolgenti sul versante settentrionale dell'Aspromonte e nella Piana di Gioia Tauro: intere colline franarono e precipitarono nei fondivalle, in alcuni casi trascinando a valle interi centri abitati; le frane ostruirono numerosi corsi d'acqua, determinando la formazione di laghi.



Figura 5 Frane indotte dai terremoti del 1783 (Fonte: Atlante iconografico allegato alla "Istoria"di M. Sarconi, [1784]).

Complessivamente, gli effetti sull'ambiente naturale, osservati e poi riportati nelle fonti storiche, furono localizzati in una vasta area estesa dalla zona dello Stretto di Messina, a sud, fino alla Valle del Crati, nel cosentino, a nord.



Figura 6 Antica incisione che illustra le onde di maremoto prodotte dal terremoto del 5 febbraio 1783 nello Stretto di Messina.

Le scosse del 5 e del 6 febbraio causarono uno tsunami, con grandi ondate che investirono estesi tratti di costa. In particolare, il tratto di costa tirrenica compreso tra Scilla e Bagnara Calabra fu colpito dal catastrofico maremoto che seguì la seconda, forte scossa, quella avvenuta nella notte tra il 5 e il 6 febbraio: le fonti storiche del tempo [Sarconi, 1784; Vivenzio 1788] parlano di un'onda alta tra i 6 e gli 8 m che travolse le barche, le baracche e le tende che ospitavano la popolazione di Scilla, rifugiatasi sulla spiaggia in seguito alla scossa del giorno precedente.
Il bilancio di danni e vittime per i terremoti e il maremoto fu terribile: secondo le stime ufficiali del Vicario generale del re di Napoli, le vittime complessive furono quasi 30.000 in Calabria (1300 solo a Scilla per lo tsunami), cui si aggiunsero le vittime in Sicilia (almeno 700 nella sola Messina). Come conseguenza della sequenza sismica, durata per più di tre anni, altre migliaia di persone morirono negli anni seguenti a causa di carestie, malattie e stenti (circa 5000).
I centri totalmente rasi al suolo furono 182. Le dimensioni della catastrofe spinsero il governo borbonico, e più in generale tutta la classe dirigente napoletana e calabrese dell'epoca, a prendere coscienza della necessità di una estesa e radicale riforma del sistema economico e abitativo della Calabria. Decine di paesi furono abbandonati e ricostruiti in siti diversi. La ricostruzione di intere città e paesi – come Reggio Calabria, Messina, Mileto, Palmi – fu pensata secondo regole e piani urbanistici totalmente nuovi, che a ragione possono essere visti come uno dei primi tentativi europei di introduzione di una normativa antisismica finalizzata alla riduzione del rischio sismico (Boschi et al. [2000]; si veda anche tutta la storiografia sul 1783 ad opera di Augusto Placanica, ad es., del [1982] e [1985]).



Figura 7 Messina: le rovine del Palazzo Reale (Fonte: Atlante iconografico allegato alla "Istoria" di M. Sarconi, [1784]).

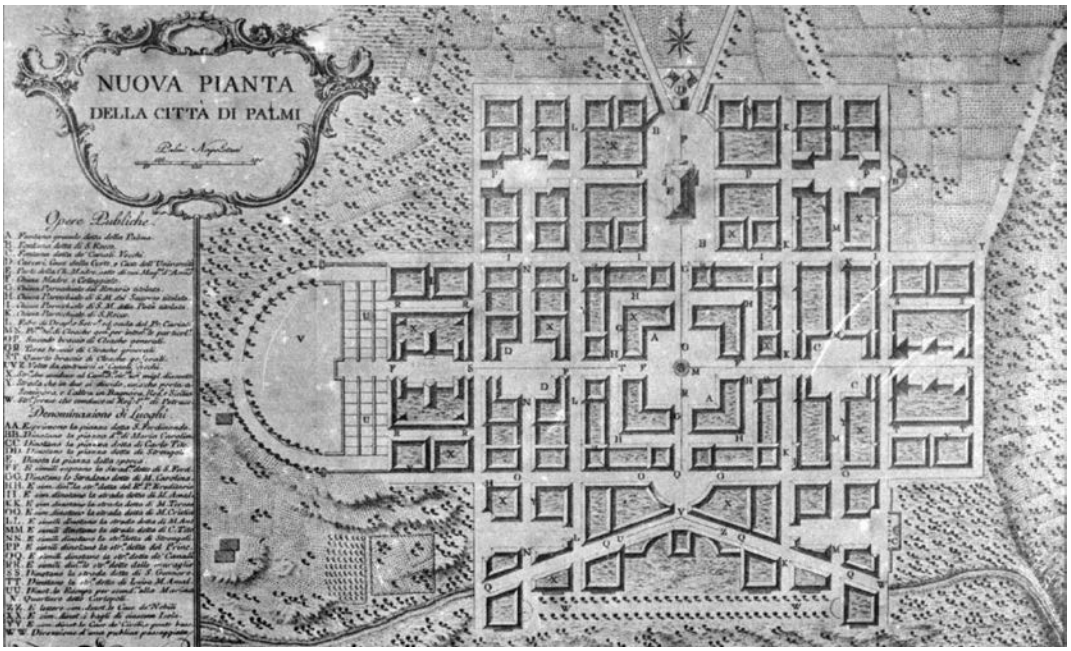


Figura 8 Nuova Pianta della città di Palmi (RC) proposta dai Borboni per la ricostruzione dopo il terremoto del 1783.

Le Istruzioni Reali, cioè le norme emanate dal governo borbonico il 20 marzo 1784, suggerirono la forma delle città, la regolarità della dislocazione degli edifici, la larghezza delle strade e diedero regole precise per la struttura degli edifici. Per quel che riguarda l'assetto urbanistico ci doveva essere una strada maestra diritta larga 8 metri per le città minori, da 10 a 13 per quelle più importanti; le strade secondarie, larghe da 6 a 8 metri, diritte e ortogonali tra loro; una piazza maggiore per il mercato grande, proporzionata alla popolazione, e piazze minori con le chiese

parrocchiali o altri edifici pubblici.
Il cosiddetto sistema delle case baraccate, poi, prevedeva la costruzione di case non oltre i due piani di altezza, la demolizione dei piani in più, la rimozione di balconi e altri elementi sporgenti, l'incatenamento delle travi e dei solai alle mura e l'eliminazione dei tetti spingenti.
Dopo il terremoto del 1908, Mario Baratta scriverà *"Ottima prova hanno dato anche in questa occasione le case baraccate: quelle con il semplice [piano, ndr] terreno o sono rimaste illese, oppure hanno sofferto ben poco; quelle ad un piano superiore ebbero qualche guasto. [...] Infine fra queste costruzioni ricorderò pure che la baracca vescovile innalzata con sistema borbonico dopo il 1783, sebbene un po' deteriorata dal tempo, è rimasta in buone condizioni [...]"*. L'edificio vescovile a cui fa riferimento è quello di Mileto che è stato recentemente oggetto di studio del CNR e dell'Università della Calabria per testare l'efficacia del sistema costruttivo.
Se vogliamo comprendere quali siano state le energie in gioco dei terremoti del 1783, si potrebbero confrontare i terremoti più violenti con eventi altamente distruttivi più recenti. I due eventi più forti del 5 febbraio e del 28 marzo ebbero ciascuno un'energia paragonabile a quella rilasciata dal terremoto del 1915 nella Marsica o da quello che sconvolse l'Irpinia nel novembre 1980: sulla base della distribuzione e dell'entità delle intensità macrosismiche, infatti, si calcola che la loro magnitudo Mw fu attorno a 7.0. Le scosse del 6 e 7 febbraio e quella del 1° marzo ebbero invece dimensioni leggermente più ridotte, ma ugualmente distruttive: quella del 7 febbraio, con molta probabilità, fu analoga al disastroso terremoto che colpì il Friuli nel maggio del 1976 (Mw attorno a 6.5), mentre per le altre due la magnitudo stimata è simile a quella delle scosse più forti della sequenza emiliana del 2012 (Mw attorno a 6.0).
Di seguito sono riportate le mappe della distribuzione degli effetti prodotti dai terremoti del 5 e 7 febbraio e del 28 marzo 1783 (Fonte: DBMI11).

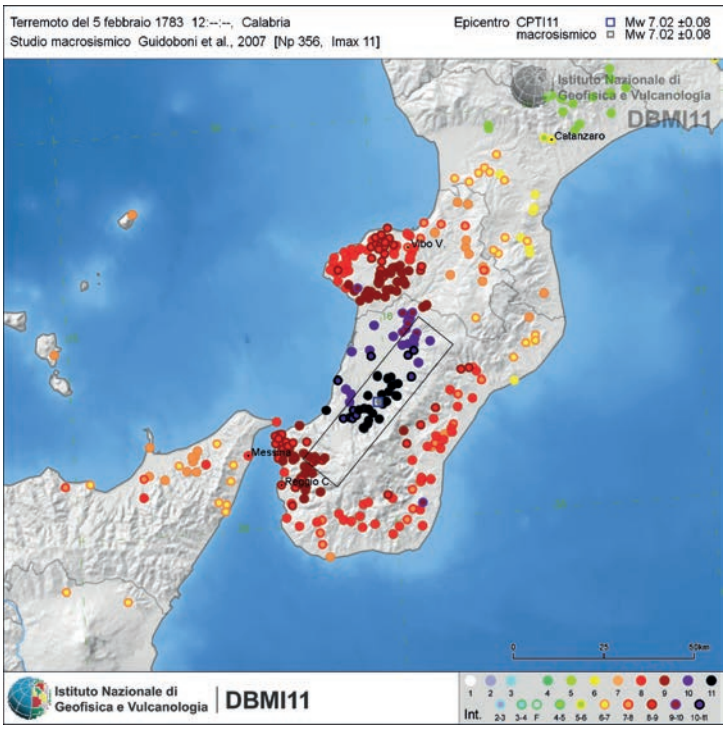


Figura 9 Distribuzione degli effetti prodotti dal terremoto del 5 febbraio 1783. L'area in cui sono compresi i danni più gravi si estende per tutta la Calabria meridionale, dal Vibonese allo Stretto di Messina, ma i suoi massimi effetti raggiunsero il grado XI della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) nella Piana di Gioia Tauro. La scossa fu avvertita in un'area vastissima, estesa a tutta la Sicilia e a gran parte dell'Italia meridionale, fino alla costa amalfitana e al Salento (Fonte: DBMI11).

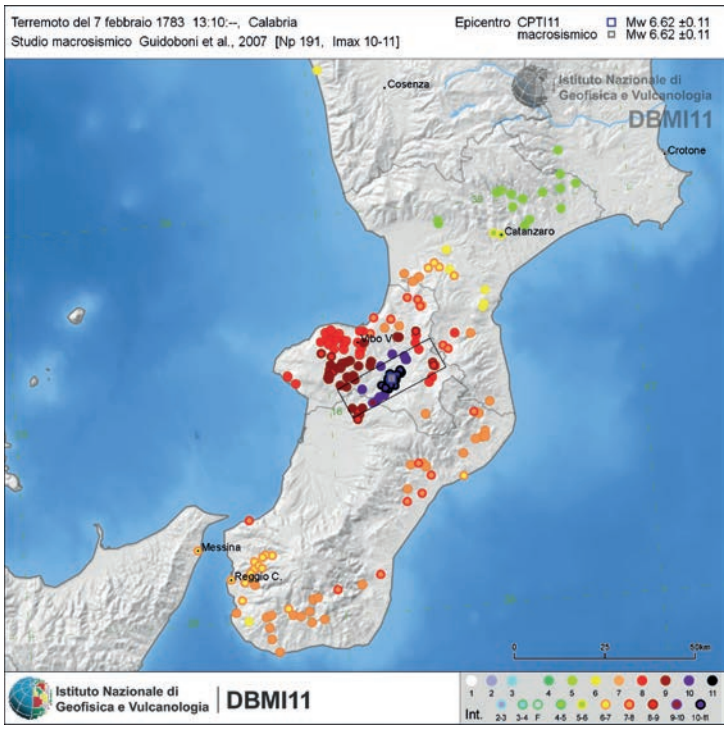


Figura 10 Distribuzione degli effetti prodotti dal terremoto del 7 febbraio 1783. Il danneggiamento si sovrappose in parte a quello causato dalla scossa del giorno 5, ma l'area epicentrale interessò una zona più a nord rispetto a quelle dei terremoti precedenti, verso le valli del Mesima e del Marepotamo, sul versante tirrenico della catena delle Serre (Fonte: DBMI11).

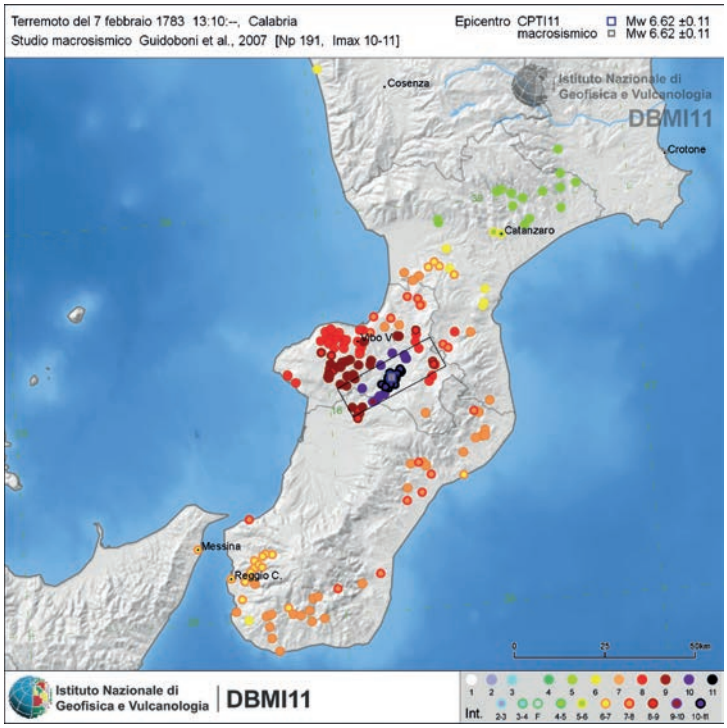


Figura 11 Distribuzione degli effetti prodotti dal terremoto del 28 marzo 1783. Fu l'ultima delle grandi scosse della sequenza sismica calabro-messinese del 1783 e, quanto ad ampiezza dell'area colpita, gravità degli effetti e ad estensione dell'area di risentimento, fu simile alla scossa del 5 febbraio; questo terremoto, infatti, fu avvertito in un'area enorme, estesa a tutta l'Italia meridionale, dalla Sicilia a Napoli, alla Puglia meridionale; all'interno della zona epicentrale ebbe effetti catastrofici, valutabili fino al grado XI della scala MCS (Fonte: DBMI11).

Oltre che dal punto di vista storico, la sequenza del 1783 è molto studiata anche da quello sismologico, per questa sua caratteristica di eventi fortissimi avvenuti nel giro di pochissime settimane e a brevissima distanza l'uno dall'altro. Di fatto questa serie di terremoti ravvicinati nel tempo e nello spazio contribuisce molto a definire l'elevata pericolosità sismica della Calabria. Se è vero che una combinazione tanto sfavorevole è meno probabile di sequenze con 1 o 2 scosse più forti e tante repliche, il fatto che si sia verificata almeno una volta ci deve far pensare che possa ripetersi ancora, anche se non siamo in grado di dire quando.

Bibliografia

Baratta M., (1910). *La catastrofe sismica calabro-messinese (28 dicembre 1908)*. 2 voll., Roma (ristampa anastatica, Sala Bolognese, Arnaldo Forni editore, 1985).

Bertolaso G., Boschi E., Guidoboni E., e Valensise G., (2008). *Il terremoto e il maremoto del 28 dicembre 1908: analisi sismologica, impatto, prospettive INGV-DPC*. Roma-Bologna, 814 pp., 345.

Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise G., and Gasperini P., (2000). *Catalogue of Strong Italian Earthquakes from 461 B.C. to 1997*. Introductory texts and CD-ROM. Version 3 of the Catalogo dei Forti Terremoti in Italia, Annali di Geofisica, Vol. 43, n. 4, pp. 609-868.

de Dolomieu D., (1784). *Memoire sur les Tremblements de terre de la Calabre pendant l'année 1783*. Roma, Antonio Fulgoni Ed.

Locati M., Camassi R., e Stucchi M., (2011). *Database Macrosismico Italiano*. Versione DBMI11. Milano, Bologna, dicembre 2011. https://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/.

Placanica A., (1982). *L'Iliade funesta, storia del terremoto calabro-messinese del 1783*. Corrispondenza e relazioni della Corte, del Governo e degli Ambasciatori. Casa del Libro, Roma.

Placanica A., (1985). *Il filosofo e la catastrofe. Un terremoto del Settecento*. Storica Einaudi, Torino.

Sarconi M., (1784). *Istoria de' Fenomeni del Tremoto avvenuto nelle Calabrie, e nel Valdemone nell'anno 1783 posta in luce dalla Reale Accademia delle Scienze, e delle Belle Lettere di Napoli*. Atlante Iconografico, in Napoli 1784, presso Giuseppe Campo Impressore, ristampa in fac-simile, Mario Giuditta Editore, Roma-Catanzaro 1987.

Torcia M., (1783). *Tremuoto accaduto nella Calabria, e a Messina alli 5 febbraio 1783*. (https://books.google.it/books?id=hpE5AAAAcAAJ&printsec=frontcover&hl=it#v=onepage&q&f=false), Napoli.

Vivenzio G., (1788). I*storia dè tremuoti avvenuti nella provincia di Calabria Ulteriore, e nella città di Messina nell'anno 1783, e di quanto nelle Calabrie fu fatto per il suo risorgimento fino al 1787*. Preceduta da una teoria, ed istoria generale dè tremuoti, Napoli 1788.

Pubblicato il 19 febbraio 2014

I terremoti nella STORIA: 18 maggio 1895, il “grande terremoto” di Firenze

Filippo Bernardini

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna

[…] “a un tratto un rombo cupo, poderoso, qualche cosa di rassomigliabile alla scarica di moschetteria di un mezzo reggimento, si fece sentire, e una scossa violenta, improvvisa, formidabile fece balzare uomini e cose, scosse oggetti e persone […] I più uscirono dai pubblici locali, caffè e trattorie […], dalle case […] dai teatri […] e in un momento Firenze fu piena di folla che si riversava per le vie”.

Con queste parole, nella prima pagina dell’edizione di lunedì 20 maggio 1895, il giornale fiorentino “Fieramosca” descriveva quello che era accaduto a Firenze e dintorni la sera di due giorni prima.

Alle 20:55 (ora locale) del 18 maggio 1895 **una forte scossa di terremoto aveva colpito quasi tutta la provincia di Firenze**, causando danni diffusi, in alcune zone anche gravi. Era un sabato sera e la cittadinanza fu sorpresa dalla scossa mentre si trovava nei caffè, nelle taverne e osterie, nei teatri, o mentre era a casa ancora seduta a tavola per la cena. **L’impressione fu enorme: i fiorentini a memoria d’uomo non ricordavano un terremoto così forte.**



Anno XV, N. 139

FIERAMOSCA

GIORNALE DEL POPOLO

Terza Edizione

Lunedì — Direzione, Amministrazione e Tipografia Piazza Madonna, 0 — 20 Maggio 1895

IL TERREMOTO IN FIRENZE E DINTORNI

E NEL RESTO DELLA TOSCANA

Il primo momento

Le prime voci

Il crollo di due quartieri a S. Jacopino

Il carro funebre — Il curato Nella Farmacia Moggi

La disgrazia di Piazza del Carmine Un soffitto che crolla — Quattro feriti

Il panico nei Teatri

Le case danneggiate

Una quantità di rovine

La rovina della Villa l' “ Imperiolino „

L'aspetto di Firenze

Figura 1 La notizia del terremoto occupa l’intera prima pagina dell’edizione di lunedì 20 maggio 1895 del giornale fiorentino “Fieramosca” (Da Cioppi [1995]).

La scossa, accompagnata da un fortissimo boato simile a un’esplosione, in città causò la caduta generale di oggetti e suppellettili nelle case, fece suonare le campane di alcune chiese e provocò il crollo di camini e porzioni di tetti, la caduta di tegole e calcinacci nelle vie, tanto che si alzò una densa nuvola di polvere. Ecco cosa riferiva un testimone oculare dell’evento in una lettera

inviata a Padre Giovanni Giovannozzi, all'epoca direttore dell'Osservatorio Ximeniano di Firenze: *Al momento della scossa io mi trovavo nel Viale Petrarca [...] presso la Porta Romana. A me il rombo fece l'effetto di una salva di battaglione [...]. Volendo traversare la strada correndo mi fece lo stesso effetto che d'esser su una nave [...]. In Piazza della porta Romana era un fittissimo polverìo con caduta* di calcinacci, *mentre le campane della chiesa della Calza battevano fitti colpi* (Da Cioppi [1995], pp. 26-27).

In occasione della ricorrenza del centenario sono stati compiuti e pubblicati alcuni studi approfonditi sull'evento [Cioppi, 1995; Guidoboni e Ferrari, 1995; Vannucci et al., 2004]. Sulla base di un ampio patrimonio documentario disponibile questi studi ricostruiscono nel dettaglio il quadro degli effetti causati dal terremoto sia in città che nell'area circostante.

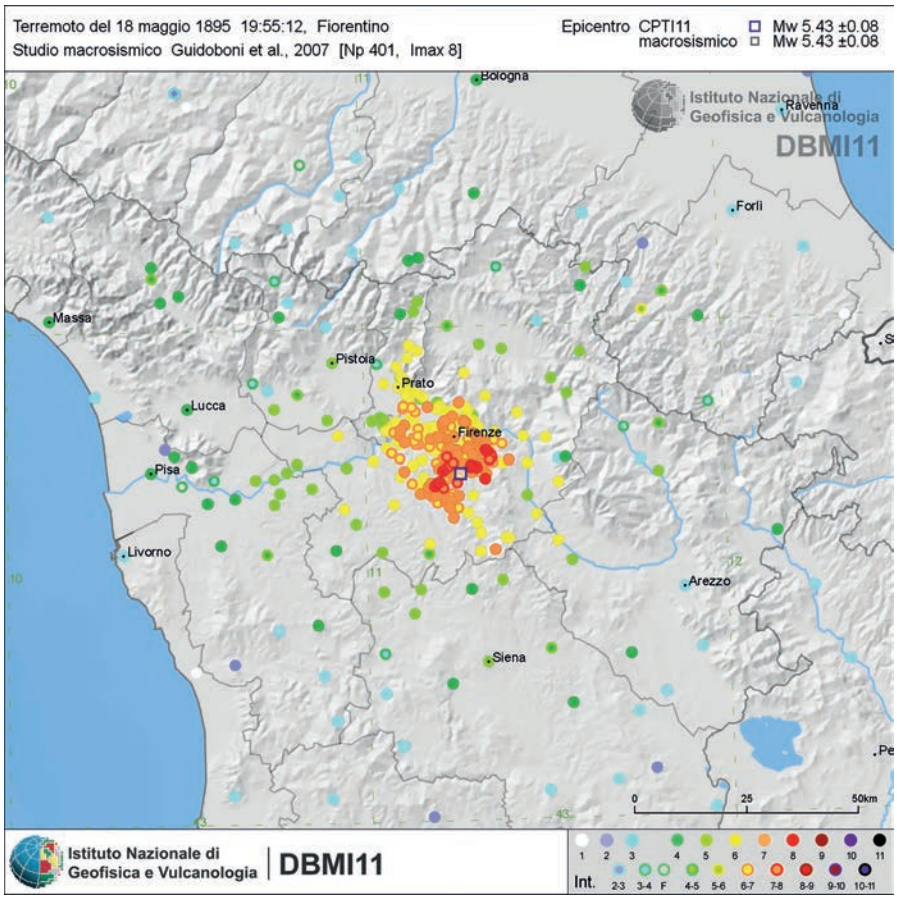


Figura 2 Effetti del terremoto del 18 maggio 1895 (Fonte: DBMI11, https://emidius.mi.ingv.it/DBMI11).

A Firenze i danni furono molto estesi, ma nel complesso non gravissimi (per una descrizione dettagliata dei danni sofferti sia dall'edilizia monumentale e religiosa che da quella privata, si rimanda al libro di Elisabetta Cioppi [1995]). Non ci furono grandi distruzioni, ma rimasero più o meno danneggiati quasi tutti i monumenti, le chiese e i palazzi storici, e anche molte opere d'arte in essi conservate: piccoli crolli interessarono **Palazzo Pitti** e la **Galleria degli Uffizi**, lesioni rilevanti si aprirono nel **Palazzo Medici Riccardi**, nel **Palazzo Strozzi**, nelle volte dei porticati di **Piazza SS. Annunziata** e di Piazza Cavour (oggi **Piazza della Libertà**, lungo i viali di circonvallazione). Nel **Museo Nazionale del Bargello** ci furono gravi danni alla collezione di maioliche dei Della Robbia. Danneggiatissimo il **Museo di San Marco**, nell'omonima chiesa e convento, con cadute di cornicioni e lesioni alle volte e agli archi, soprattutto nel refettorio grande e nella biblioteca.

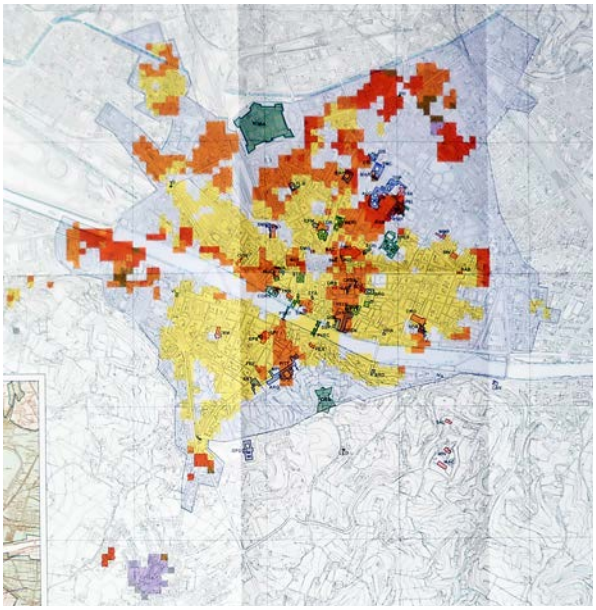


Figura 3 La mappa realizzata da Vannucci et al. [2004] con la distribuzione degli effetti di danno causati dal terremoto del 18 maggio 1895 nella città di Firenze: i colori più scuri (dall'arancione al viola) indicano gli effetti più gravi, il giallo quelli minori. Nel complesso gli effetti a Firenze furono pari al grado 7 della scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg) e al grado 6-7 della scala EMS98 [Grünthal, 1998]. Si notino, in basso nella mappa, i gravi danni (colore viola) subiti dall'abitato del Galluzzo.

In Piazza della Signoria **Palazzo Vecchio** durante la scossa fu visto oscillare "come un pendolo", ma rimase illeso. Nella **Cattedrale di Santa Maria del Fiore**, il celebre duomo di Firenze, si aprirono numerose crepe nelle volte e una catena che univa gli archi laterali della navata centrale si spezzò; dalla **Cupola del Brunelleschi** caddero intonaci e stuccature e la croce posta sulla cuspide della lanterna si piegò verso nord. Il celebre **campanile di Giotto** e il vicino **Battistero** subirono alcune lesioni ma non riportarono danni strutturali. Fra le chiese maggiormente danneggiate ci furono quella della Badia Fiorentina, San Gervasio, San Lorenzo, San Leonardo in Arcetri e altre ancora, fra cui quella di **Santa Maria del Carmine**; gli affreschi del Masaccio nella **Cappella Brancacci**, invece, non furono danneggiati. Il complesso di **Santa Croce** fu danneggiato soprattutto nell'area dell'ex-convento, mentre la chiesa riportò danni lievi. Danni prevalentemente leggeri subirono anche le chiese di **Santa Maria Novella, San Miniato al Monte** e **Santo Spirito** [SGA, 2007]. Numerosi danni interessarono l'edilizia residenziale e privata della città, con lesioni diffuse e cadute di soffitti. Uno stabile crollò in Via Pier Capponi. **Complessivamente circa 100 edifici risultarono inagibili.** A Firenze non vi furono vittime e si contarono solo 6 feriti non gravi [Cioppi, 1995].

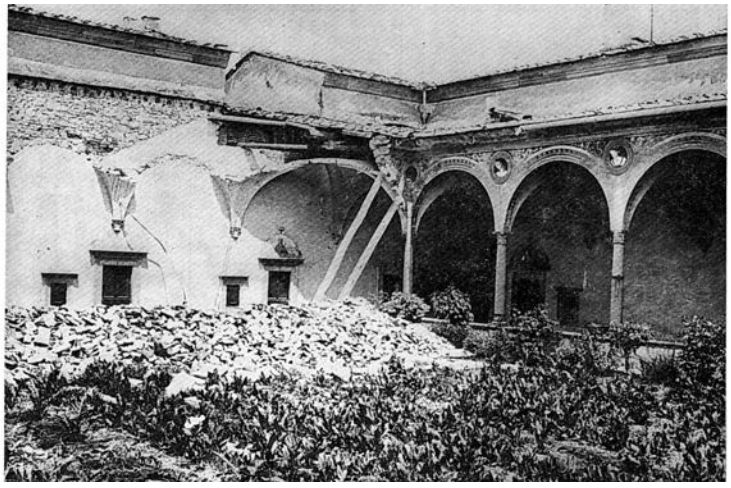


Figura 4 I crolli nel Chiostro Grande della Certosa del Galluzzo (Da Cioppi [1995]).

Molto peggio andò invece a diverse località nella zona posta immediatamente a sud di Firenze: i danni più gravi, infatti, furono registrati nell'area collinare estesa tra Sant'Andrea in Percussina, l'Impruneta, Grassina e Bagno a Ripoli, a ridosso dei rilievi del Chianti. Nella **Certosa del Galluzzo** crollò l'intero lato nord-occidentale del Chiostro Grande, distruggendo sedici preziose opere Robbiane che ornavano gli archi del porticato. Nell'abitato del **Galluzzo**, inoltre, crollarono alcuni edifici e diverse persone rimasero senza casa. Crolli e gravi danni si ebbero anche a Tavarnuzze, Impruneta, Sant'Andrea in Percussina, Croce a Varliano, Osteria Nuova, Pozzolatico e ai Falciani.



Figura 5 Le rovine di una casa colonica a Lappeggi (Da Cioppi [1995]).

La zona dove si concentrarono i danni maggiori fu quella di **Grassina**, popolosa frazione del comune di Bagno a Ripoli. In località **Lappeggi**, sede di una Villa Medicea (anch'essa gravemente danneggiata), una ventina di case coloniche subirono crolli e danni talmente gravi da risultare inagibili; tre di queste crollarono completamente e fra le loro macerie morirono tre persone. Un'altra fattoria crollò nei pressi di **San Martino a Strada**, uccidendo una donna che vi abitava. Molto danneggiate furono le chiese e le ville storiche. Ci furono danni ingenti alle Ville Medicee di Lappeggi e dell'Ugolino e alla villa Demidoff di San Casciano Val di Pesa. Fra le chiese più colpite quelle di San Martino a Strada, Sant'Andrea in Percussina, Sant'Andrea a Morgiano, il Santuario dell'Impruneta e la chiesa dei SS. Stefano e Caterina a **Pozzolatico**, il cui campanile dovette essere demolito perché pericolante (fu poi ricostruito nella sua forma medievale). Ancora oggi all'interno della chiesa di Pozzolatico è visibile una lapide in ricordo del terremoto del 1895, posta sotto l'altare della cappella votiva dedicata alla Madonna di Loreto. Crolli e dissesti non risparmiarono neppure il versante opposto delle colline fiorentine, a nord della città. Lesioni e danni interessarono chiese e ville storiche di tutta la collina fiesolana, da **Settignano** alla villa-castello di **Poggio Gherardo** (in cui crollò parzialmente la torre) a **San Domenico** fino alla **Badia Fiesolana**, seriamente danneggiata. **Fiesole** e le ville circostanti invece ebbero solo danni lievi.



Figura 6 Gravi danni alla Chiesa di S. Martino a Strada (Da Cioppi [1995]).

Danni diffusi interessarono diversi comuni e centri del circondario fiorentino, tra cui Lastra a Signa, Signa, San Casciano in Val di Pesa, Bagno a Ripoli e Scandicci. Danni leggeri si ebbero in un'area piuttosto ampia, estesa dal Valdarno Superiore (Figline Valdarno, San Giovanni Valdarno, Reggello) a Prato e ai centri della Valle del Bisenzio (Vaiano), da Greve in Chianti e Tavarnelle Val di Pesa fino a Vaglia, da Pontassieve a Vinci.

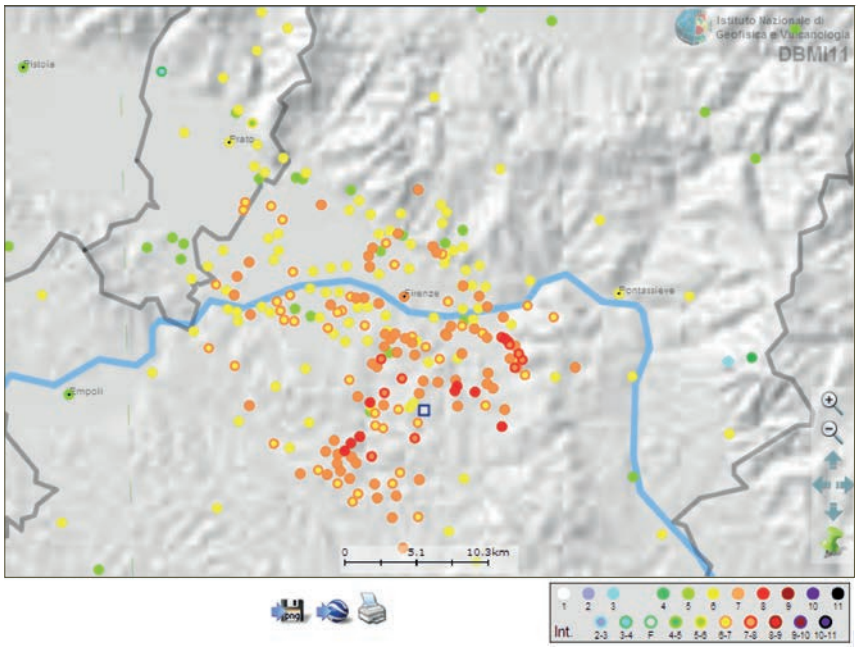


Figura 7 Gli effetti del terremoto del 18 maggio 1895 nell'area fiorentina (Fonte: DBMI11, https://emidius.mi.ingv.it/DBMI11).

La forte scossa del 18 maggio non risulta preceduta da scosse minori (i cosiddetti *foreshocks*) come annotato da Padre Giovanni Giovannozzi (all'epoca direttore dell'Osservatorio Ximeniano di Firenze): "*La grande scossa giunse affatto improvvisa, né fu preceduta da altre minori e da un qualche periodo di agitazione dei più delicati sismometri [...]*", da Giovannozzi et al., [1895].
Questo terremoto dette inizio a un **periodo sismico che si protrasse per circa 13 mesi**, fino al giugno del 1896, e fu caratterizzato da **una cinquantina di repliche** (i cosiddetti *aftershocks*). La più forte fu quella che avvenne nella notte del 6 giugno 1895 (alle ore 1:35), che spaventò i fiorentini, ma non causò nuovi danni.
La seconda metà del XIX secolo fu un periodo di grande fermento scientifico in tutta Europa. La scienza che studia i terremoti, la *Sismologia*, all'epoca era agli albori e nei suoi riguardi vi era un forte e crescente interesse. **Il terremoto fiorentino del maggio 1895 avvenne proprio nell'anno di fondazione della Società Sismologica Italiana**, che da quell'anno (e fino al 1948, quando fu sciolta) pubblicherà annualmente il "**Bollettino della Società Sismologica Italiana**" con l'**elenco di tutti i terremoti avvenuti in Italia nell'anno corrispondente**. Circa vent'anni prima del terremoto del 1895, proprio a Firenze Padre Filippo Cecchi inventò lo strumento capostipite di tutti i moderni apparecchi sismografici: il "sismografo bipendolare". Negli anni seguenti vennero ideati molti altri prototipi di strumenti via via più sofisticati e sensibili. Fu soprattutto dopo i catastrofici terremoti del 1883 a Casamicciola (Ischia) e del 1887 nella Liguria occidentale, che in tutta Italia nacquero numerosi osservatori sismologici e la ricerca strumentale conobbe un notevole sviluppo. Nel 1895 a Firenze erano attivi 4 osservatori, compreso lo Ximeniano, mentre in tutto il territorio nazionale quelli in attività erano almeno una cinquantina. Tutti gli osservatori fiorentini e diversi fra quelli italiani registrarono la scossa del 18 maggio [Cioppi, 1995].



Figura 8 Il tracciato strumentale del terremoto del 18 maggio 1895 ottenuto da un pendolo sismografico situato all'Osservatorio fiorentino della Specola (Archivio fotografico del Museo Galileo, Istituto e Museo di storia della scienza, Firenze: https://bibdig.museogalileo.it/tecanew/opera?bid=1028134&seq=2). Gli osservatori sismologici in attività a Firenze nel 1895 erano quattro: l'Osservatorio Ximeniano, l'Osservatorio del Collegio della Querce, il R. Osservatorio del Museo di Firenze (Specola) e l'Osservatorio del Varlungo.

La stragrande maggioranza dei fiorentini di oggi non è a conoscenza del terremoto del 1895, la cui memoria si è persa nel corso del tempo. L'evento ha però lasciato **diverse tracce** in iscrizioni

commemorative riportate su lapidi e oggetti vari, conservati in città e nel circondario. Infatti, passate la grande paura e la fase dell'emergenza, i cittadini e le autorità fiorentine realizzarono che la città non aveva subito estese distruzioni e, come spesso accadeva in casi del genere, sentirono il dovere di esprimere gratitudine, soprattutto alla **Madonna e alla Divina Provvidenza**, per lo scampato pericolo. Oltre alla lapide presente nella chiesa di Pozzolatico, già menzionata sopra, per le vie della città e in alcune chiese della zona ancora oggi vi sono tabernacoli e lampade votive in ricordo del "grande terremoto".



Figura 9 Il tabernacolo, con l'effigie della Madonna del Carmelo e una piccola epigrafe in ricordo del terremoto, posto in via De' Canacci, all'angolo con via della Scala, nel centro storico di Firenze. Il tabernacolo è stato recentemente restaurato.

In realtà, **quello del 18 maggio 1895 non può essere certo definito un terremoto 'grande', almeno non dal punto di vista sismologico**. Sulla base della distribuzione degli effetti macrosismici, infatti, è stata calcolata per questo evento una **magnitudo "equivalente" Mw pari a 5.4** (CPTI11), che è un valore moderato (basti pensare che negli ultimi 30 anni in Italia si sono verificate una decina di scosse di questa magnitudo). Si consideri, per esempio, che il disastroso terremoto del 1976 in Friuli, con magnitudo Mw 6.5, è stato circa 40 volte più potente della scossa del 1895.

Tuttavia, **il terremoto di Firenze rappresenta un caso emblematico di quello che capita quando una pericolosità sismica media, come quella dell'area fiorentina, si combina con un alto valore di beni esposti, sovente anche molto vulnerabili.** È proprio il caso di Firenze, una città di medie dimensioni con uno straordinario patrimonio edilizio, monumentale e artistico di valore inestimabile. Si pensi, tanto per fare un esempio, agli effetti di una scossa anche di intensità medio-piccola (M < 5.0), che potrebbe causare la caduta di oggetti preziosi, statue, dipinti e arredi pregiati in un museo come gli Uffizi.

Del resto, con lo stesso terremoto di 119 anni fa i crolli e i danni strutturali in città furono limitati, ma caddero e andarono in frantumi statue, maioliche, ornamenti, stucchi e oggetti antichi di grandissimo valore. Quello del 1895 è solo l'ultimo dei forti terremoti che hanno colpito la "culla

dell'arte": in passato effetti di danneggiamento esteso si erano già verificati in occasione dei terremoti del 28 settembre 1453 e del 28 novembre 1554. Oltre a questa sismicità locale, il capoluogo toscano risente anche dei forti terremoti con epicentro nell'area del Mugello (in particolare quelli del 13 giugno 1542 e del 29 giugno 1919) e del Valdarno Superiore (27 dicembre 1770), con danni generalmente lievi (per un viaggio nella storia sismica fiorentina si veda anche SGA, 2007). La Firenze attuale è molto più estesa e per certi versi più vulnerabile rispetto a quella di fine Ottocento. Tutta l'area colpita si presenta molto più costruita e abitata rispetto a 119 anni fa. Nell'area epicentrale del 1895, inoltre, oggi si trovano diversi stabilimenti industriali che aumentano il valore economico esposto a eventuali effetti sismici. Se oggi si ripetesse un terremoto analogo a quello del maggio 1895 i suoi effetti sarebbero probabilmente peggiori di quelli rilevati all'epoca dell'ultimo "grande terremoto" fiorentino.

Si ringraziano Elisabetta Cioppi, Gianfranco Vannucci e l'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze per le immagini gentilmente concesse.

Bibliografia

Cioppi E., (1995). *18 maggio 1895: Storia di un terremoto fiorentino*. Osservatorio Ximeniano, Firenze 1995, 306 pp.

Grünthal G, ed., (1998). *European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98)*. European Seismological Commission, subcommission on Engineering Seismology, working Group Macroseismic Scales. Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie,15, Luxembourg.

Guidoboni E., e G. Ferrari, (1995). *Historical cities and earthquakes: Florence during the last nine centuries and evaluations of seismic hazard*. Annali di Geofisica, vol. 38, n.5-6, pp. 617-647.

SGA, ed., (2007). Viaggio nelle aree sismiche: Liguria basso Piemonte, Toscana, Emilia Romagna, coste e Appennino, dal I secolo a.C. al 2000. Guida monografica a cura della società SGA (Storia Geofisica Ambiente) Bologna, 496 pp.

Vannucci G., Gasperini P., and Boccaletti M., (2004). *Database e Carta della zonazione sismica dell'area urbana di Firenze: Valutazione del rischio per i beni artistici e culturali*. CNR-Progetto Finalizzato "Beni culturali", Sottoprogetto 1, Tema 1.2, Linea 1.2.3.

Giovannozzi G., Vinassa De Regny P.E., Pimpinelli V., (1895). *Nota preliminare sui terremoti fiorentini del 1895*. Processi Verbali Soc. Tosc. di Scienze Naturali, Pisa, 7 luglio 1895.

Pubblicato il 16 maggio 2014

Terremoti e cambiamenti del paesaggio urbano a Roma tra Tarda Antichità e Alto Medioevo

Fabrizio Galadini

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Roma 1

Grazie alla collaborazione con i funzionari archeologi della Soprintendenza di Roma, della Provincia e del Comune, nel corso degli anni sono state acquisite informazioni sulle **tracce archeologiche di terremoti del passato**, nello specifico per il **periodo compreso tra il VI e il IX secolo d.C.** In particolare, **dalle stratigrafie archeologiche emerge che probabilmente a causa dell'elevata vulnerabilità degli edifici** - di età plurisecolare, spesso senza manutenzione per secoli o privi di parti originarie per la prassi della spoliazione - **lo scuotimento sismico ha contribuito in misura non trascurabile ai cambiamenti del paesaggio urbano**, alimentando la formazione di contesti ruderali o comunque degradati. In sostanza, **proprio per l'elevata vulnerabilità dei fabbricati è possibile che gli effetti dei terremoti del passato siano stati superiori a quelli meglio noti dalle fonti storiche relative ai terremoti più recenti (es. 1703 e 1915)**.

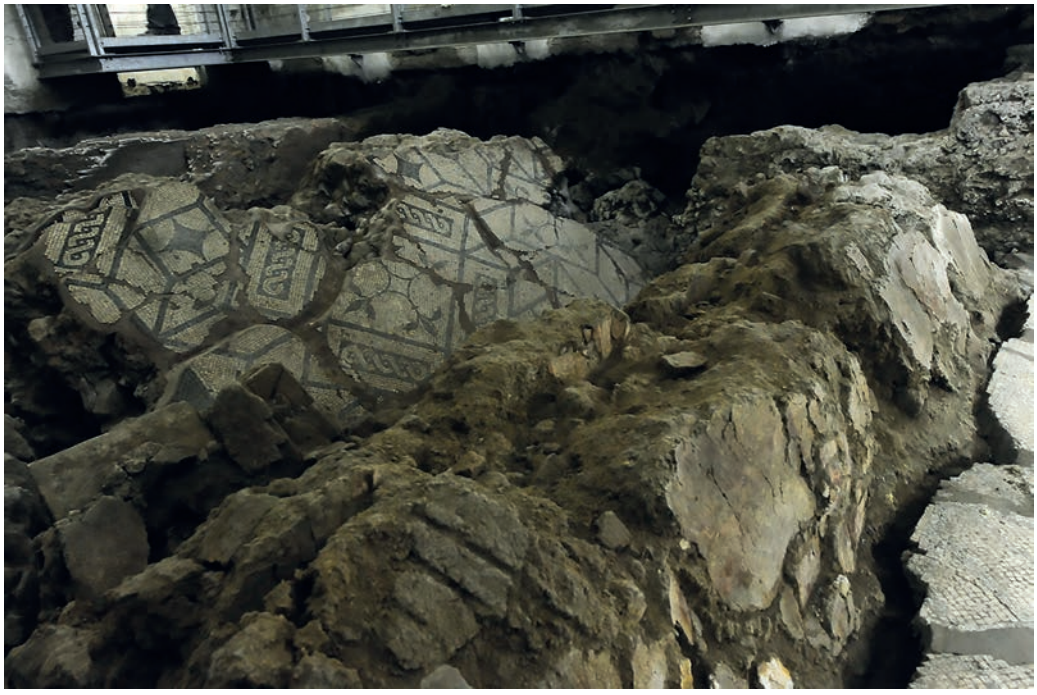


Figura 1 Sotterranei di Palazzo Spada: frammenti di piani pavimentali in giacitura di crollo, inclinati e giustapposti.

Terremoti e fonti scritte

Le fonti scritte citano cinque terremoti per il periodo compreso tra il VI e il IX secolo. Per alcuni di questi eventi, ad esempio quello avvenuto nel **443 d.C.**, sono menzionati danni a Roma. Al contrario, non sono riportati danni in riferimento al terremoto dell'**847**. **In quest'ultimo caso le stratigrafie archeologiche completano l'informazione storica, permettendo di ipotizzare che danni consistenti abbiano interessato l'attuale settore centrale di Roma proprio in occasione di questo evento.** Si può vedere che nel caso citato l'archeologia porta un arricchimento

sostanziale delle conoscenze sugli effetti dei terremoti del passato. Questo aspetto è fondamentale, se si considera che proprio sulla storia sismica di un territorio si basano le stime di pericolosità, cioè quelle valutazioni che consentono di definire la probabilità di occorrenza di un certo tipo di scuotimento sismico in un dato intervallo temporale.

Distinzione stratigrafica delle tracce dei terremoti

Dei cinque terremoti che sono avvenuti tra il VI e il IX secolo, alcuni sono cronologicamente vicini tra loro. Il terremoto del 443 è molto vicino a quello che viene alternativamente attribuito al 484 o al 508. Ciò significa che dal punto di vista archeologico è difficile discriminarne gli effetti, perché spesso la cronologia desumibile dalle stratigrafie archeologiche non riesce ad essere dettagliata al decennio. Identica conclusione vale per i terremoti dell'801 e dell'847. In pratica, è pressoché impossibile, allo stato delle conoscenze attuali, sostenere che il terremoto dell'801 abbia avuto effetti maggiori o minori di quello dell'847. Spesso noi osserviamo un insieme di evidenze archeosismiche riferibili genericamente al IX secolo, senza che sia possibile chiarire esattamente quale dei due eventi citati ne sia stata la causa. L'unica conclusione, quindi, è che **i terremoti del IX secolo hanno probabilmente avuto un impatto non trascurabile sul costruito dell'epoca**.

Effetti macroscopici dei terremoti nelle stratigrafie archeologiche

Certamente i collassi – spesso verticali – di interi edifici sono gli effetti più sorprendenti, considerando che si tratta dell'attuale centro storico di Roma. Questa dinamica di crollo è riscontrabile sia per l'edificio nei **sotterranei di Palazzo Spada** (Figura 1), sia per la struttura di pertinenza di **un'aula del Foro di Traiano** rinvenuta nel corso degli scavi Metro C di piazza Madonna di Loreto (Figura 2), sia per le cosiddette **"Piccole Terme" nei sotterranei del Palazzo Valentini**.



Figura 2 Piazza Madonna di Loreto, scavo Metro C, edificio di età traianea: particolare del crollo delle nervature della volta.

In sostanza, gli scavi degli ultimi anni hanno portato alla luce veri e propri cumuli di macerie legate al crollo improvviso di fabbricati ancora in uso al momento della distruzione, in un quadro generale per cui è difficile ipotizzarne la fine per inconsistenza strutturale.

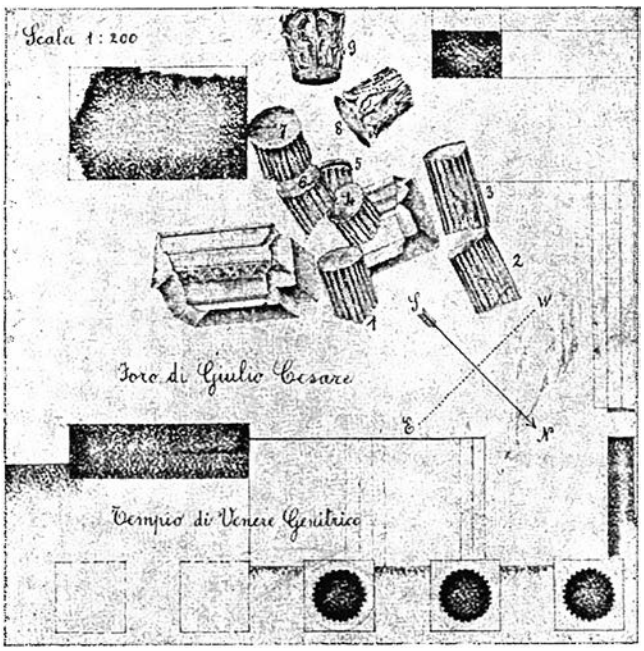


Figura 3 Schema raffigurante l'unità di crollo rinvenuta nel corso delle indagini sui resti del tempio di Venere Genitrice (Da: Agamennone [1935]).

In pratica, rispetto a queste imponenti unità di crollo, gli effetti dei terremoti del passato tradizionalmente associati a monumenti esposti e fruibili come il Colosseo, il tempio di Marte Ultore, quello di Venere Genitrice (Figura 3) o quello di via delle Botteghe Oscure (Figura 4) sono meno immediatamente definibili.

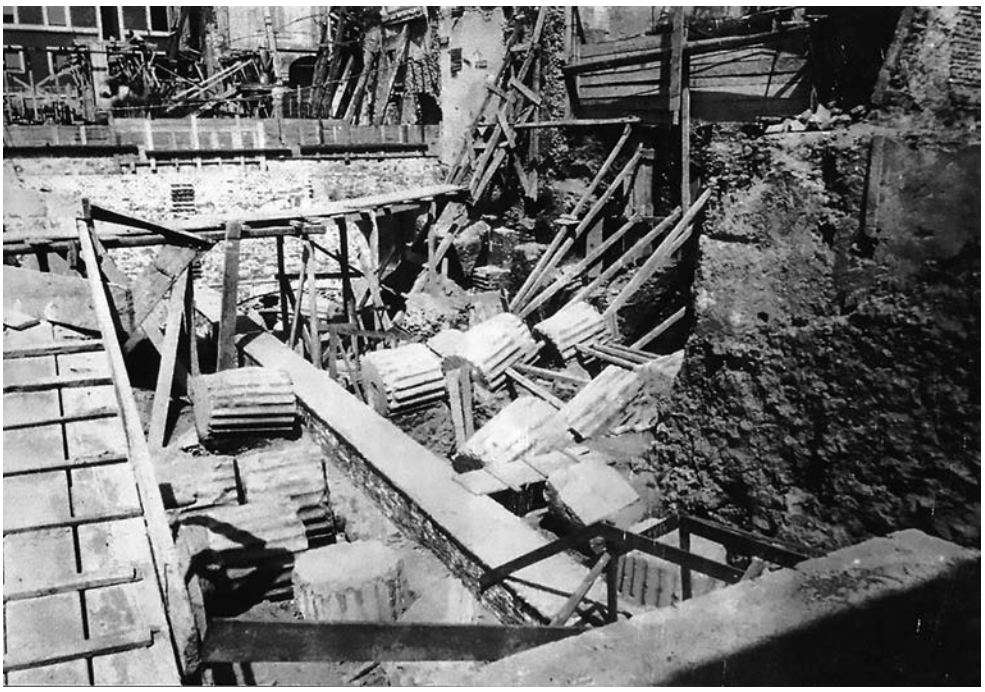


Figura 4 Tempio di via delle Botteghe Oscure: colonne in giacitura di crollo, rinvenute nel corso degli scavi del 1938.

Il Colosseo e i terremoti

I forti eventi sismici che hanno interessato Roma fin dall'Antichità hanno avuto un notevole impatto nell'evoluzione delle forme dell'anfiteatro. **È noto che il Colosseo** (Figura 5) **forse subì danni nel 443 e certamente poco prima del 484 o del 508.** Sappiamo, dagli studi archeologici di Rossella Rea, che quest'ultimo evento sismico provocò il crollo parziale del colonnato del portico nella *summa cavea*; in particolare, la caduta di una ventina di colonne comportò la distruzione dei settori nord-est e sud-est; un'altra porzione del colonnato crollò nel settore occidentale. I restauri riguardarono l'arena e il podio, come si può evincere dalle iscrizioni gemelle poste all'ingresso del monumento.



Figura 5 Il Colosseo.

Il Colosseo però subì danni ingenti anche in occasione dei terremoti successivi. Per esempio, nel 1349 si ebbe il collasso delle arcate esterne nel settore meridionale. In sostanza, quanto noi oggi vediamo è in parte il risultato dei danni sismici.

Terremoti e area epicentrale

L'identificazione dell'area ove si è originato un terremoto di cui si hanno poche informazioni storiche è in realtà una questione centrale. Si tratta di ipotesi necessarie per poter tradurre l'informazione sul danno in un insieme di dati che consente di caratterizzare il terremoto stesso. A questo proposito, l'esempio del terremoto del 484-508 è certamente utile. **L'evento ha**

generato danni a Roma, tuttavia le indagini geologiche e i dati archeologici relativi alla Piana del Fucino, nella zona di Avezzano, consentono di ipotizzare che esso abbia avuto origine proprio in questo settore appenninico. In effetti, le indagini geologiche hanno consentito di individuare la faglia che ha generato l'evento sismico; inoltre, **gli scavi archeologici - per esempio ad *Alba Fucens*, a nord di Avezzano** - hanno evidenziato la distruzione dell'antica città proprio a ridosso del V-VI secolo d.C. In questo modo abbiamo un'informazione sismologica non trascurabile: **il terremoto è stato originato dalla faglia del Fucino, fu un terremoto distruttivo per centri abitati della Marsica tardoantica, fu responsabile di danni a Roma**. Peraltro, la faglia che causò il terremoto del 484-508 è la stessa che nel 1915 generò il terremoto che distrusse Avezzano causando la morte di circa 30.000 persone. Anche questo evento comportò danni a Roma. Da ciò possiamo intuire che il tempo che intercorre tra attivazioni successive della faglia del Fucino è probabilmente superiore al millennio. A tutto ciò contribuiscono le indagini archeologiche.

Pubblicato il 23 giugno 2014

Il grande terremoto del Sannio del 5 giugno 1688

Filippo Bernardini[1], Concetta Nostro[2], Maurizio Pignone[2], Carlo Meletti[3]

[1]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna
[2]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Nazionale Terremoti
[3]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Pisa

Il **5 giugno 1688** (un sabato, vigilia di Pentecoste), attorno alle ore 20 locali[1], **un violento terremoto** (Mw 7.0) **colpì l'Italia meridionale**, provocando estese distruzioni e gravissimi danni in un'area dell'Appennino molisano e campano che dai Monti del Matese si allunga al Beneventano e all'Irpinia.
Pompeo Sarnelli, all'epoca Abate del collegio di Santo Spirito a Benevento e testimone oculare dell'evento, così racconta i terribili attimi della scossa da lui stesso vissuti:
"Era il quinto giorno di Giugno, Sabato vigilia della SS. Pentecoste, sesta del nostro insigne Collegio di S. Spirito nella Chiesa di S. Maria di Costantinopoli, quando io, Abate del medesimo [Collegio, ndr], *preparavami per andarvi à celebrare la solennità de' primi Vespri. Ed, essendo già hora, pensava d'inviarmi verso colà* [...]. *Ed ecco, che sonate le 20. hore, sentii una grande scossa alla stanza.* [...] *ed in un subito (erano le venti hore, e mezza) senza accorgermi di altra scossa, vidi precipitarmi addosso la soffitta, e tetto della stanza.* [...] *onde cessata la scossa, restai tutto pesto, e contuso sotto le rovine della soffitta, del tetto, e del muro à me vicino..."* (Sarnelli [1688], pp. 70-71).
I massimi effetti distruttivi si ebbero nel Sannio, a nord-ovest di Benevento e a sud-ovest dei Monti del Matese: i paesi di **Cerreto Sannita**, **Civitella Licinio** e **Guardia Sanframondi** furono completamente rasi al suolo. In questi centri **l'intensità macrosismica della scossa arrivò al grado 11 della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS)**, tra le più alte rilevate nella intera storia sismica italiana. Altri 20 paesi e villaggi situati nelle attuali province di Benevento e di Avellino furono quasi completamente distrutti (I>9 MCS) (Figura 1).
Nell'insieme, circa 120 centri subirono distruzioni più o meno estese, su un'area complessiva di oltre 50.000 kmq. Un'altra quarantina di località subì invece danni diffusi ma di minore entità.
Fra i centri gravemente danneggiati ci furono anche le città di **Napoli**, **Avellino** e, soprattutto, **Benevento**. **L'abitato di Benevento**, infatti, complice anche la scarsa qualità dei materiali edilizi, **subì enormi danni**: più dell'80% degli edifici della città fu distrutto o gravemente danneggiato (Figura 2).
Tutti gli edifici pubblici ed ecclesiastici riportarono crolli e danni estesi, alcuni crollarono totalmente. Fra i monumenti gravemente danneggiati c'è la **Chiesa di Santa Sofia**: crollarono le aggiunte medievali, la cupola centrale e il campanile romanico. Il nuovo campanile che oggi domina su Corso Garibaldi, la strada principale della città, fu ricostruito nel 1703, in una posizione diversa da quella originale, nell'ambito delle mura che allora recingevano il convento e il giardino (Figura 3).

[1]le ore all'epoca erano espresse nell'antico stile orario "all'italiana", quando il nuovo giorno iniziava circa un'ora dopo il tramonto (la "prima ora della notte"). Le ore 20 di allora per Napoli e Benevento corrispondono all'incirca alle 16:00 di oggi, ora solare (le 17:00 locali, considerata l'odierna ora "legale"), cioè le 15:00 GMT. L'orario di accadimento della scossa, tuttavia, va preso con cautela: lo stesso Sarnelli [1688] scrive che il terremoto avvenne che erano già "sonate le 20. hore", ma poco dopo riporta che "erano le venti hore, e mezza" (che sarebbero le attuali 16:30, ora solare); considerata anche la scarsa precisione degli orologi dell'epoca, si può collocare l'ora del terremoto in un momento tra le 16 e le 17, ora solare attuale, cioè tra le 17 e le 18 dell'odierna ora legale italiana.

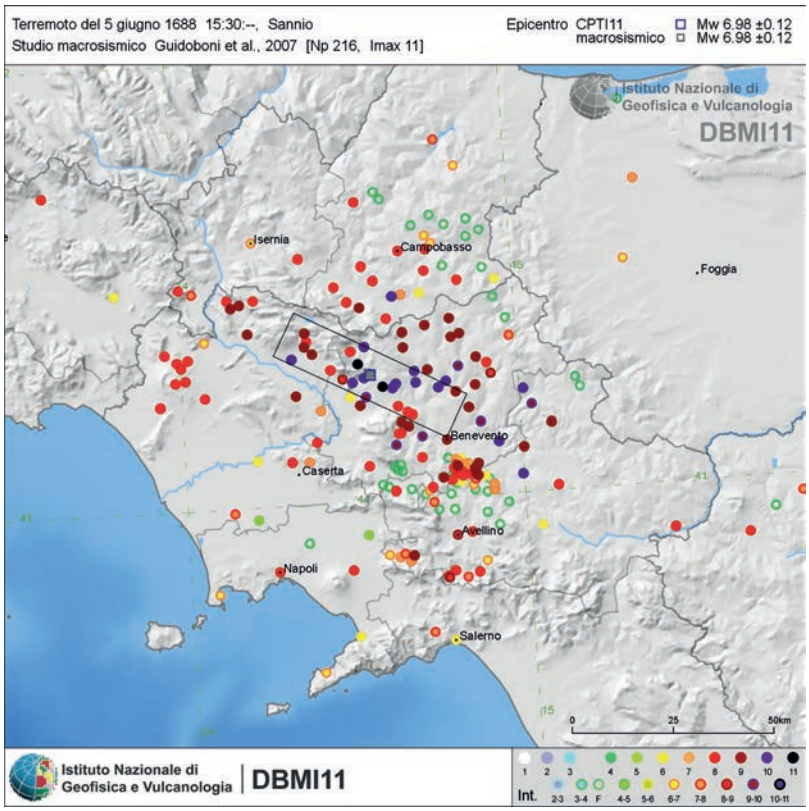


Figura 1 Effetti del terremoto del 5 giugno 1688 (Fonte: DBMI11, https://emidius.mi.ingv.it/DBMI11).

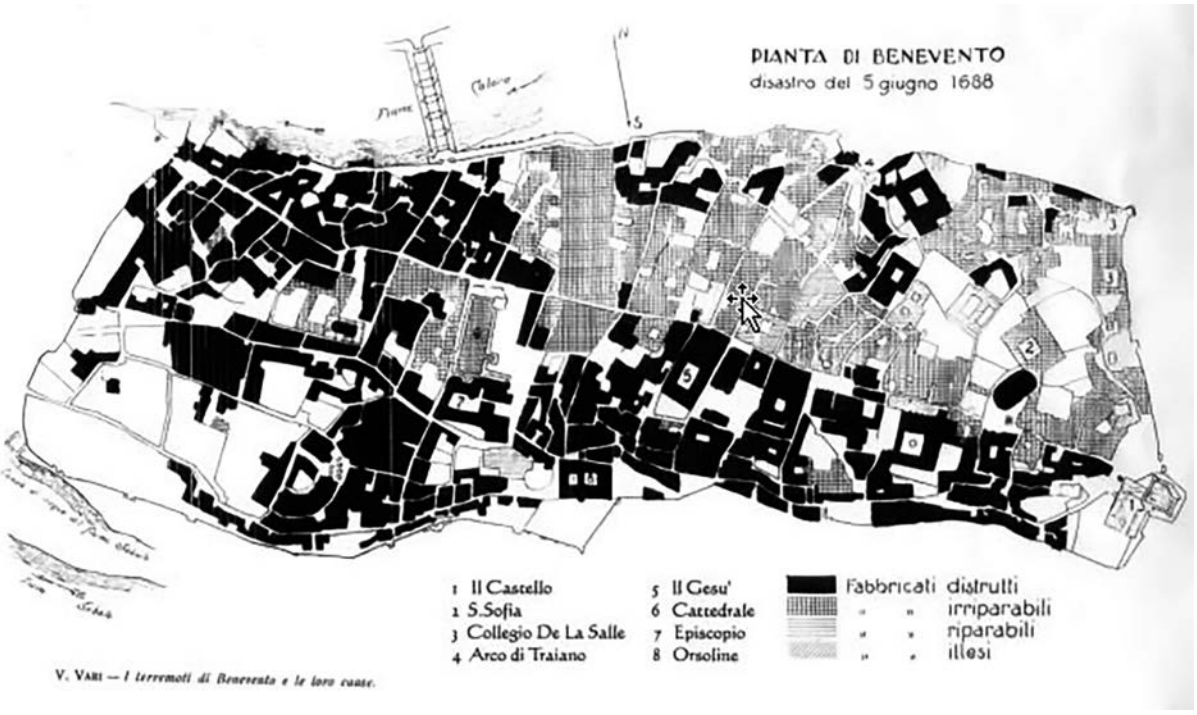
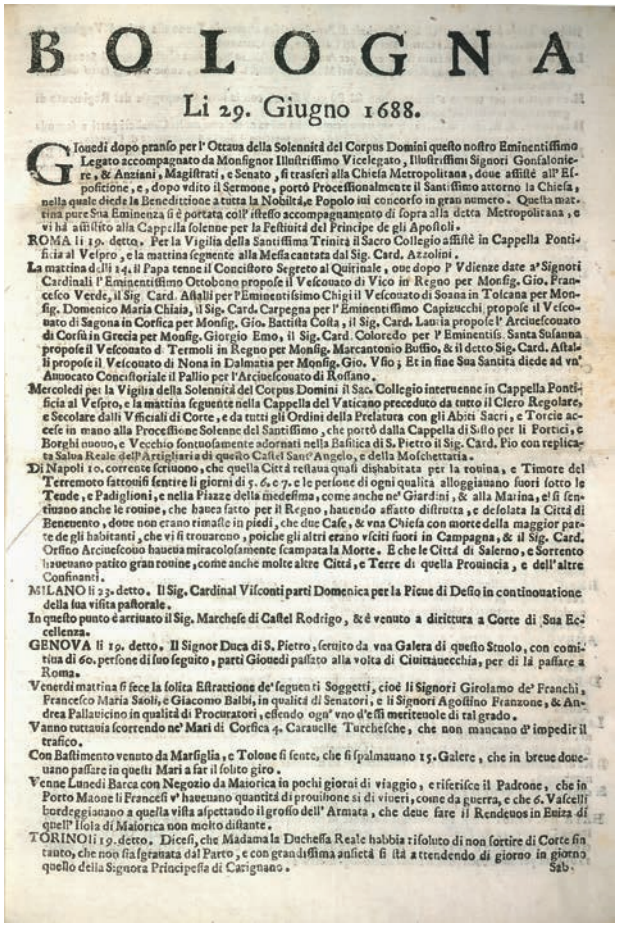


Figura 2 La pianta di Benevento con l'indicazione dei danni subiti a seguito del terremoto del 5 giugno 1688 [Vari V., 1927].



Figura 3 Chiesa di Santa Sofia a Benevento, VIII sec. (http://www.comunebn.it/webcambn/SantaSofia.php).

Molto gravi i danni anche a **Napoli**, distante circa 50 km dall'area epicentrale in direzione sud-ovest: tutti gli edifici della città subirono lesioni più o meno importanti e i crolli furono diffusi. Dopo la scossa le strade cittadine apparivano ingombre di macerie e di detriti, moltissimi erano gli edifici che dovettero essere puntellati. Una trentina fra chiese e altri edifici religiosi furono gravemente danneggiati.



BOLOGNA

Li 29. Giugno 1688.

Giouedì dopo pranso per l' Ottaua della Solennità del Corpus Domini questo nostro Eminentissimo Legato accompagnato da Monsignor Illustrissimo Vicelegato, Illustrissimi Signori Gonfaloniere, & Anziani, Magistrati, e Senato, si trasferì alla Chiesa Metropolitana, doue assistè all' Esposicione, e, dopo vdito il Sermone, portò Processionalmente il Santissimo attorno la Chiesa, nella quale diede la Benedittione a tutta la Nobiltà, e Popolo iui concorso in gran numero. Questa mattina pure Sua Eminenza si è portata coll' istesso accompagnamento di sopra alla detta Metropolitana, e vi hà assistito alla Cappella solenne per la Festiuità del Principe de gli Apostoli.

ROMA li 19. detto. Per la Vigilia della Santissima Trinità il Sacro Collegio assistè in Cappella Pontificia al Vespro, e la mattina seguente alla Messa cantata dal Sig. Card. Azzolini.

La mattina delli 14. il Papa tenne il Concistoro Segreto al Quirinale, oue dopo l' Vdienze date a' Signori Cardinali l' Eminentissimo Ottobono propose il Vescouato di Vico in Regno per Monsig. Gio. Francesco Verde, il Sig. Card. Astalli per l'Eminentissimo Chigi il Vescouato di Soana in Toscana per Monsig. Domenico Maria Chiaia, il Sig. Card. Carpegna per l' Eminentissimo Capizucchi propose il Vescouato di Sagona in Corsica per Monsig. Gio. Battista Costa, il Sig. Card. Lauria propose l' Arciuescouato di Corsù in Grecia per Monsig. Giorgio Emo, il Sig. Card. Coloredo per l' Eminentiss. Santa Susanna propose il Vescouato di Termoli in Regno per Monsig. Marcantonio Buffio, & il detto Sig. Card. Astalli propose il Vescouato di Nona in Dalmatia per Monsig. Gio. Vsio; Et in fine Sua Santità diede ad vn' Auuocato Concistoriale il Pallio per l'Arciuescouato di Rossano.

Mercoledì per la Vigilia della Solennità del Corpus Domini il Sac. Collegio interuenne in Cappella Pontificia al Vespro, e la mattina seguente nella Cappella del Vaticano preceduto da tutto il Clero Regolare, e Secolare dalli Vfficiali di Corte, e da tutti gli Ordini della Prelatura con gli Abiti Sacri, e Torcie accese in mano alla Processione Solenne del Santissimo, che portò dalla Cappella di Sisto per li Portici, e Borghi nouo, e Vecchio sontuosamente adornati nella Basilica di S. Pietro il Sig. Card. Pio con replicata Salua Reale dell' Artiglieria di questo Castel Sant' Angelo, e della Moschettaria.

Di Napoli 10. corrente scriuono, che quella Città restaua quasi dishabitata per la rouina, e Timore del Terremoto fattosi sentire li giorni di 5. 6. e 7. e le persone di ogni qualità alloggiauano fuori sotto le Tende, e Padiglioni, e nella Piazze della medesima, come anche ne' Giardini, & alla Marina, e si sentiuano anche le rouine, che hauea fatto per il Regno, hauendo affatto distrutta, e desolata la Città di Benevento, doue non erano rimaste in piedi, che due Case, & vna Chiesa con morte della maggior parte de gli habitanti, che vi si trouarono, poiche gli altri erano vsciti fuori in Campagna, & il Sig. Card. Orsino Arciuescouo hauea miracolosamente scampata la Morte. E che le Città di Salerno, e Sorrento hauessano patito gran rouine, come anche molte altre Città, e Terre di quella Prouincia, e dell' altre Confinanti.

MILANO li 23. detto. Il Sig. Cardinal Visconti partì Domenica per la Pieue di Desio in continouatione della sua visita pastorale.

In questo punto è arriuato il Sig. Marchese di Castel Rodrigo, & è venuto a dirittura a Corte di Sua Eccellenza.

GENOVA li 19. detto. Il Signor Duca di S. Pietro, seruito da vna Galera di questo Stuolo, con comitiua di 60. persone di suo seguito, partì Giouedì passato alla volta di Ciuittauecchia, per di là passare a Roma.

Venerdì mattina si fece la solita Estrattione de' seguenti Soggetti, cioè li Signori Girolamo de' Franchi, Francesco Maria Saoli, e Giacomo Balbi, in qualità di Senatori, e li Signori Agostino Franzone, & Andrea Pallauicino in qualità di Procuratori, essendo ogn' vno d'essi meritenole di tal grado.

Vanno tuttauia scorrendo ne' Mari di Corsica 4. Caracelle Turchesche, che non mancano d' impedir il trafico.

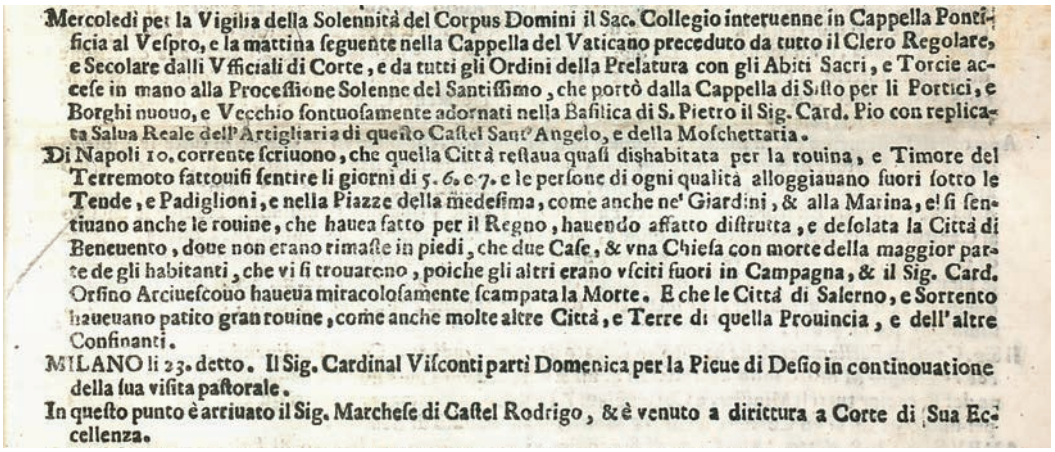
Con Bastimento venuto da Marsiglia, e Tolone si sente, che si spalmauano 15. Galere, che in breue douessano passare in questi Mari a far il solito giro.

Venne Lunedì Barca con Negozio da Maiorica in pochi giorni di viaggio, e riferisce il Padrone, che in Porto Mahone li Francesi v' hauessano quantità di prouisione si di viueri, come da guerra, e che 6. Vascelli bordeggiauano a quella vista aspettando il grosso dell' Armata, che deue fare il Rendeuos in Enita di quell' Isola di Maiorica non molto distante.

TORINO li 19. detto. Dicesi, che Madama la Duchessa Reale habbia risoluto di non sortire di Corte fin tanto, che non sia sgranata dal Parto, e con gran diffima ansietà si stà attendendo di giorno in giorno quello della Signora Principessa di Carignano. Sab.

Figura 4 La notizia del terremoto pubblicata dalla gazzetta bolognese "Bologna" del 29 giugno 1688, a più di tre settimane dall'evento. All'epoca le notizie impiegavano anche molti giorni o settimane per arrivare per lettera in altre città italiane e estere. In questo caso la notizia da Napoli arriva prima a Roma, poi da qui giunge a Bologna incorporata nelle lettere inviate da Roma (immagine per gentile concessione della Biblioteca Comunale dell'Archiginnasio di Bologna).

I morti furono diverse migliaia. **In alcuni dei paesi più devastati la mortalità fu elevatissima**: a Cerreto Sannita il terremoto uccise la metà degli abitanti (4000 vittime su 8000 residenti); a Guardia Sanframondi oltre 1000; a Civitella Licinio le uniche persone sopravvissute furono quelle che al momento della scossa si trovavano al lavoro nei campi; a Benevento morirono quasi 1400 dei 7500 abitanti che la città all'epoca contava. Un numero imprecisato di vittime si contarono anche a Napoli e ad Avellino. Si stima che le vittime totali del disastro furono circa 10.000, anche se a questo riguardo le fonti storiche non forniscono un numero preciso. Il numero dei morti fu influenzato dall'ora a cui avvenne la grande scossa, quando gran parte della popolazione rurale si trovava al lavoro nei campi; già all'epoca si ritenne che se il terremoto fosse avvenuto in piena notte avrebbe fatto un numero ancora più elevato di morti.



Mercoledì per la Vigilia della Solennità del Corpus Domini il Sac. Collegio interuenne in Cappella Pontificia al Vespro, e la mattina seguente nella Cappella del Vaticano preceduto da tutto il Clero Regolare, e Secolare dalli Vfficiali di Corte, e da tutti gli Ordini della Prelatura con gli Abiti Sacri, e Torcie accese in mano alla Processione Solenne del Santissimo, che portò dalla Cappella di Sisto per li Portici, e Borghi nuouo, e Vecchio fontuosamente adornati nella Basilica di S. Pietro il Sig. Card. Pio con replicata Salua Reale dell'Artiglieria di questo Castel Sant'Angelo, e della Moschettaria.

Di Napoli 10. corrente scriuono, che quella Città restaua quasi dishabitata per la rouina, e Timore del Terremoto fattouisi sentire li giorni di 5. 6. e 7. e le persone di ogni qualità alloggiauano fuori sotto le Tende, e Padiglioni, e nella Piazze della medesima, come anche ne' Giardini, & alla Marina, e si sentiuano anche le rouine, che hauea fatto per il Regno, hauendo affatto distrutta, e desolata la Città di Beneuento, doue non erano rimaste in piedi, che due Case, & vna Chiesa con morte della maggior parte de gli habitanti, che vi si trouarono, poiche gli altri erano vsciti fuori in Campagna, & il Sig. Card. Orsino Arciuescouo haueua miracolosamente scampata la Morte. E che le Città di Salerno, e Sorrento haueuano patito gran rouine, come anche molte altre Città, e Terre di quella Prouincia, e dell'altre Confinanti.

MILANO li 23. detto. Il Sig. Cardinal Visconti partì Domenica per la Pieue di Desio in continouatione della sua visita pastorale.

In questo punto è arriuato il Sig. Marchese di Castel Rodrigo, & è venuto a dirittura a Corte di Sua Eccellenza.

Figura 5 Particolare della Figura 4.

La scossa principale fu avvertita in almeno 5 delle attuali regioni italiane: Campania, Molise, Abruzzo, Lazio, Basilicata e Puglia, su un'area di oltre 80.000 kmq. Secondo Sarnelli [1688] già a metà febbraio del 1688 a Benevento erano state avvertite due scosse di terremoto, che non avevano causato danni. Un'altra scossa fu avvertita nella stessa giornata del 5 giugno, circa mezz'ora prima dell'evento principale. **A questo poi seguirono repliche almeno fino a dicembre 1688.**

Imponenti furono anche gli effetti causati dalla scossa sull'ambiente naturale e sul territorio. Furono interessati sia i suoli che le acque: grandi spaccature si aprirono nei monti del Sannio, accompagnate in alcuni casi dalla fuoriuscita di gas, nacquero nuove sorgenti, altre già esistenti si intorbidarono. Ci furono frane e cadute di massi dai versanti montani. Un'enorme frana si abbatté sul villaggio di San Lorenzello e uccise centinaia di persone su un migliaio di abitanti. I fiumi Sabato e Volturno subirono deviazioni e intorbidamenti [Boschi et al., 2000].

Quello del giugno 1688, per estensione dell'area colpita, gravità degli effetti e numero di vittime, è uno dei disastri sismici più importanti della storia italiana. **Il terremoto interessò due antichi stati**: gran parte dell'area colpita apparteneva infatti al **Regno di Napoli** (per la geografia politico-amministrativa del Regno di Napoli: https://www.nobili-napoletani.it/Province_Regno_Napoli.htm), governato da un viceré spagnolo (all'epoca il re era Carlo II di Spagna); la città di Benevento invece afferiva allo **Stato della Chiesa** - e dunque costituiva una enclave del papato dentro il Regno di Napoli - e aveva un governatore nominato dal Papa (Figura 6). I villaggi e i castelli della campagna costituivano dei piccoli potentati locali, in parte feudali.

Per ricostruire la storia di questo catastrofico evento e lo scenario degli effetti sul territorio, i sismologi storici hanno svolto una approfondita ricerca in vari archivi, dislocati tra Italia e Spagna: principalmente l'Archivio di Stato di Napoli, ma anche l'Archivio General di Simancas in

Spagna, per quanto riguarda il Regno di Napoli (notizie utili sono state inoltre rintracciate anche nella documentazione diplomatica conservata presso l'Archivio di Stato di Venezia); l'Archivio di Stato di Roma e l'Archivio Segreto Vaticano per quanto riguarda invece il territorio appartenente allo Stato Pontificio [Boschi et al., 2000]. Oltre che nelle fonti archivistiche, altre importanti descrizioni degli effetti si trovano in documenti di vario tipo, dalle gazzette del tempo (ad es. *Bologna*, 1688.06.29) alle relazioni a stampa (per un dettagliato elenco di fonti storiche su questo evento si rimanda alla bibliografia presentata da Boschi et al., [2000]).

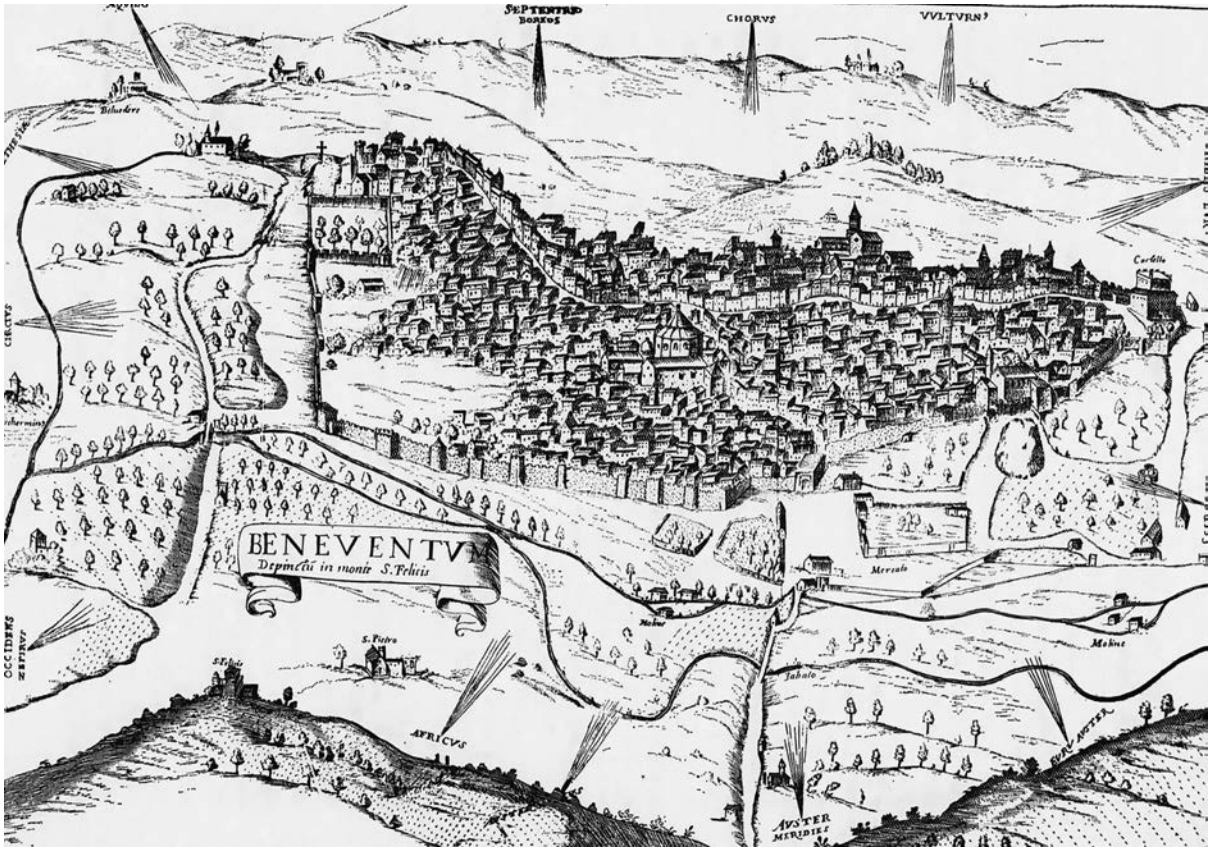


Figura 6 Una stampa raffigurante la città di Benevento nel XVII secolo.

L'analisi delle fonti ha permesso di ricostruire l'impatto devastante del terremoto sul tessuto sociale e sulla economia della vasta area colpita, che entrambi i governi coinvolti nel disastro tentarono di arginare con politiche di sgravio fiscale e interventi di vario tipo. La popolazione abbandonò gli abitati distrutti e abitò a lungo in baracche e alloggi di fortuna, spesso in condizioni di grande precarietà. Intere infrastrutture - tra cui mulini, forni e frantoi - andarono distrutte, creando enormi disagi anche negli approvvigionamenti alimentari.

A **Napoli**, capitale del Regno, ci furono problemi di ordine pubblico e episodi di sciacallaggio e saccheggio; le carceri rimasero gravemente danneggiate e molto detenuti fuggirono o furono lasciati liberi. I rappresentanti del governo e gran parte della aristocrazia napoletana abbandonarono la città e si rifugiarono nelle residenze estive di campagna o di mare, lasciando ancora più nel *caos* la situazione già difficile in cui versava la capitale. Alla fine di giugno, a oltre tre settimane dall'evento, tutte le attività economiche e di governo risultavano ancora ferme.

A **Benevento** la situazione era anche peggiore, con gran parte della città in rovina. L'impatto della notizia del terremoto del 1688 fu così forte che il Papa inviò i suoi esperti della Camera Pontificia per visionare gli edifici distrutti di Benevento. I danni erano enormi e le risorse

economiche messe a disposizione dall'amministrazione papale, largamente insufficienti, vennero destinate per lo più alla ricostruzione dell'edilizia pubblica ed ecclesiastica. La conseguenza fu che la ricostruzione nel beneventano fu molto lenta e spesso intralciata da contenziosi che nascevano tra la cittadinanza beneventana e le autorità della Camera Pontificia, e che in alcuni casi andarono avanti anche per decenni [Boschi et al., 2000]. Oltre a ciò la ricostruzione fu rallentata anche da un altro violento terremoto che colpì gravemente Benevento e la sua provincia il 14 marzo 1702 [Locati et al., 2011], appena 14 anni dopo la catastrofe del 1688.
Dalle osservazioni degli esperti della Camera Pontificia scaturirono indicazioni fondamentali per la ricostruzione. In particolare, nelle murature fu riscontrato l'uso di ciottoli di fiume per i quali la calce non rappresentava un buon legante, mentre gli edifici in mattoni, per quanto danneggiati, resistettero meglio. Nella ricostruzione fu quindi consigliato di usare mattoni o pietre squadrate al posto di ciottoli e pietrame, di costruire case basse e usare le macerie per produrre nuova calce.



Figura 7 Una veduta odierna dei resti del vecchio abitato di Cerreto Sannita, raso al suolo dal terremoto del 1688 e successivamente abbandonato (https://it.wikipedia.org/wiki/Cerreto_antica).

Il vecchio abitato di Cerreto Sannita, totalmente raso al suolo dalla scossa, fu abbandonato. Il conte Marzio Carafa, feudatario di Cerreto, su consiglio di tecnici e ingegneri decise di ricostruire la nuova cittadina più a valle, su un terreno considerato più stabile e seguendo criteri di costruzione considerati all'epoca moderni e antisismici: una pianta con strade larghe, isolati squadrati, edifici di 1 o 2 piani, muri di pietre squadrate, ecc.
Quello di Cerreto è solo uno degli innumerevoli casi, nella storia italiana, di abitati distrutti da eventi naturali (terremoti, frane, alluvioni ecc.) e ricostruiti in una sede diversa, ritenuta più

sicura, come nel caso di Gibellina dopo il terremoto del Belice del 1968.
Il Beneventano, come già accennato, sarà nuovamente colpito da forti terremoti distruttivi nel 1702 e nel 1805 (quest'ultimo in realtà è un grande terremoto con epicentro nell'area del Matese, in Molise), a riprova dell'elevata pericolosità sismica che caratterizza questo settore dell'Appennino meridionale.

Si ringrazia la *Biblioteca Comunale dell'Archiginnasio* di Bologna per i materiali gentilmente concessi.

Bibliografia

Bologna, 1688.06.29. Bologna 1688. Disponibile in formato digitale sul sito web: http://badigit.comune.bologna.it/600/

Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise G., and Gasperini P., (2000). *Catalogue of Strong Italian Earthquakes from 461 B.C. to 1997*. Introductory texts and CD-ROM, Version 3 of the Catalogo dei Forti Terremoti in Italia, Annali di Geofisica, Vol. 43, n. 4, pp. 609-868.

Locati M., Camassi R., Stucchi M., (2011). *Database Macrosismico Italiano*. Versione DBMI11, Milano, Bologna. https://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/

Sarnelli P., (1688). *Memorie dell'insigne Collegio di S. Spirito della Città di Benevento dall'anno della fondazione 1177 infino al tremuoto de' 5 di Giugno 1688, che si descrive*. Napoli, 1688. Disponibile in rete: https://books.google.it/books?id=KR80wnduXvoC&pg=PA1&hl=it&source=gbs_selected_pages&cad=3#v=onepage&q&f=false

Vari V., (1927). *I terremoti di Benevento e le loro cause*. Coop. Tip. Chiostro di Santa Sofia, Benevento.

Pubblicato il 26 giugno 2014

L'inizio e la fine della sequenza sismica dell'Aquila

Franco Mele, Alessandro Amato

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Nazionale Terremoti

Un argomento dibattuto in questi ultimi anni è stato il momento di **inizio** e di **fine della sequenza sismica dell'Aquila del 2009**. Si è discusso inoltre delle caratteristiche della sismicità che ha preceduto il terremoto del 6 aprile: **si trattò di uno sciame**? O il termine fu introdotto impropriamente? In un recente articolo è stato chiarito che la sequenza aquilana iniziò a **gennaio 2009** e aveva i **caratteri tipici di uno sciame sismico**. Vediamo in questo approfondimento qualche dettaglio su come si è giunti a questo risultato e facciamo qualche confronto e considerazione con quanto avviene in altre regioni d'Italia.

Quando è iniziata la sequenza sismica dell'Aquila?

Per rispondere alla domanda abbiamo utilizzato l'algoritmo di Paul Reasenberg [1985] denominato *Cluster2000*, distribuito dallo United States Geological Survey (USGS).
L'algoritmo è largamente usato dalla comunità scientifica per analizzare le proprietà statistiche dei cataloghi dei terremoti. Scopo di *Cluster2000* è individuare i raggruppamenti (*cluster* in inglese) di terremoti sia nello spazio che nel tempo.
La procedura analizza un elenco di terremoti, ordinato temporalmente, di cui siano noti l'istante di accadimento, le coordinate geografiche, la profondità e la magnitudo. Essa ci dice, cioè, se due terremoti possono essere considerati parte di un più grande fenomeno fisico che potremmo chiamare "**sequenza sismica**" o "**sciame sismico**".
Utilizzando i parametri standard definiti da Reasenberg (vedi sotto per i dettagli della tecnica), l'analisi fornisce come **data d'inizio della sequenza sismica dell'Aquila il giorno 16 gennaio 2009; l'ultimo terremoto della sequenza avviene il 17 aprile 2012, dopo più di 19.800 scosse in oltre 3 anni di sismicità**. Per fare una valutazione prudenziale dell'inizio della sequenza sismica abbiamo provato diversi valori di tempo minimo di associazione degli eventi. Solo estendendo questo parametro fino a 10 giorni otteniamo un inizio della sequenza anticipato al 7 gennaio 2009.

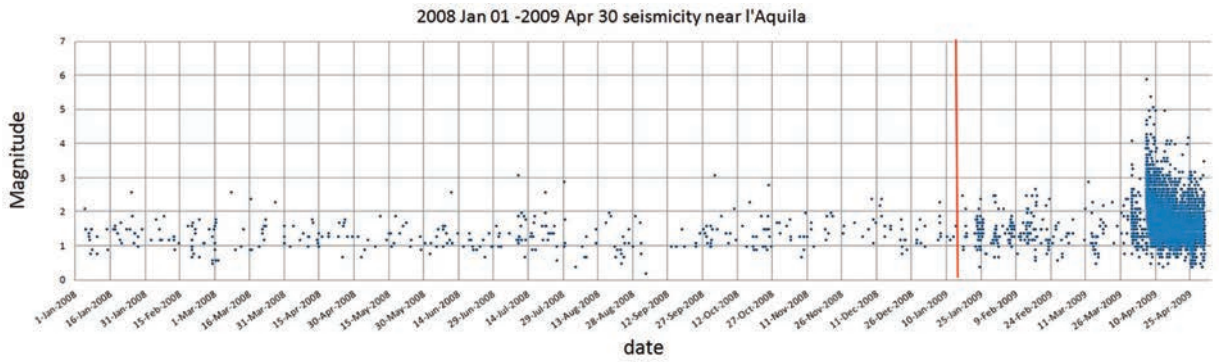


Figura 1 Andamento nel tempo della sismicità dal 1/1/2008 al 30 aprile 2009 in un'area di 30 km di raggio intorno a L'Aquila. Ogni punto rappresenta un terremoto di magnitudo come nella scala a sinistra. La linea rossa indica l'inizio della sequenza. Si nota bene che l'andamento prima della linea rossa è variabile, ma senza particolari addensamenti (ossia sequenze): è la sismicità di fondo.

Allo stato attuale non esistono leggi note capaci di fornire indicazioni sull'evoluzione delle sequenze sismiche. Ogni sequenza ha delle caratteristiche proprie che possono essere studiate solo dopo che la sequenza sia senza ombra di dubbio terminata. In particolare, non c'è nessuna legge o indicazione che possa dirci se il culmine massimo della sequenza sia stato raggiunto oppure no.

L'Aquila e il Pollino

Per capire quanto le sequenze sismiche possano essere diverse l'una dall'altra osserviamo la **sismicità intorno all'Aquila** a partire dal 1 luglio 2005 fino al 31 marzo 2009, 6 giorni prima del terremoto del 6 aprile (magnitudo Mw 6.3); confrontiamo questo andamento con **la sismicità nel Pollino, intorno a Mormanno** (CS), sempre a partire dal 1 luglio 2005 e fino al 19 ottobre 2012, 6 giorni prima del terremoto di magnitudo Mw 5.2 avvenuto il 25 ottobre 2012 (la massima magnitudo registrata).

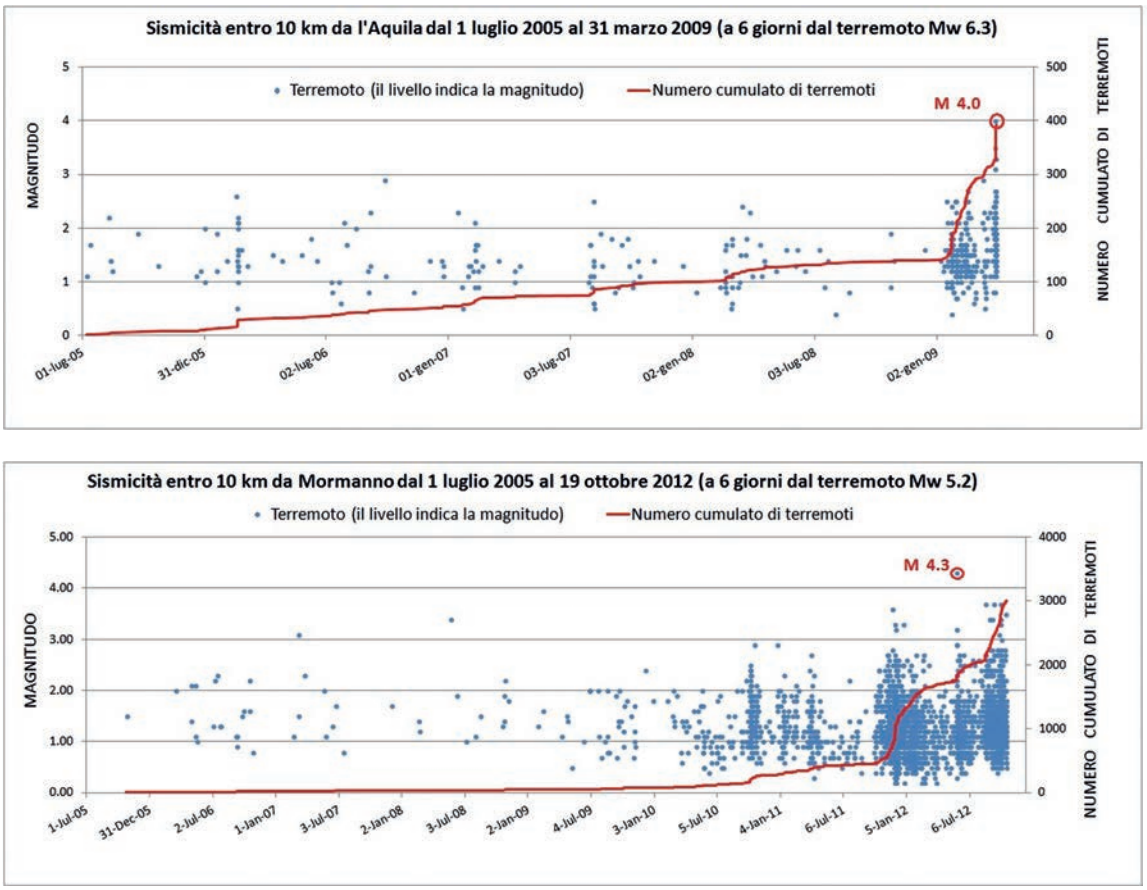


Figura 2 Confronto tra l'andamento della sismicità nella zona dell'Aquila (sopra) e al Pollino (Mormanno, CS, sotto) a partire dal 2005. Si nota come al Pollino si è avuta una sismicità di fondo minore che all'Aquila e poi una crescita molto netta della sismicità durata ben due anni. Lla massima magnitudo osservata è stata al Pollino è Mw 5.2 e la sequenza (sciame) è terminata a maggio 2013.

A 6 giorni dal terremoto del 6 aprile erano state registrate intorno all'Aquila 245 scosse avvenute in 83 giorni di sequenza sismica (se facciamo iniziare la sequenza il 7 gennaio). La magnitudo massima fino ad allora registrata era M_L 4.0 (Mw 4.1); solo 4 terremoti avevano superato la magnitudo 3.0.

La sequenza sismica principale intorno a Mormanno inizia, secondo l'algoritmo di Reasenberg, il 30 settembre 2011. Dopo 385 giorni dall'inizio della sequenza, 6 giorni prima della scossa massima di magnitudo M_L 5.0 (Mw 5.2), si erano verificati 2.466 terremoti dei quali 16 avevano superato magnitudo 3.0; la magnitudo massima raggiunta era già 4.3. L'evento principale del 25 ottobre 2012 libera una energia 32 volte inferiore rispetto all'energia liberata dal terremoto del 6 aprile all'Aquila. Dopo l'evento principale la sequenza durerà ancora 6 mesi fino al maggio 2013 e produrrà un totale di 4480 scosse.
Va aggiunto che se andassimo ancora più indietro del 2005 troveremmo molte altre sequenze sismiche simili a quelle mostrate qui. Per L'Aquila è stata ricostruita una lunga storia di sequenze simili a quella del 2009, la maggior parte delle quali non è stata seguita da un terremoto distruttivo [Amato e Ciaccio, 2012]. Nel solo XX secolo i cataloghi storici ne riportano 23 in Abruzzo, di cui 8 intorno a L'Aquila, tutte con magnitudo massima confrontabile con quella del 2009 fino al 5 marzo. In particolare, l'ultima in ordine di tempo avvenne nel 1985 e si manifestò con caratteristiche molto simili a quella del 2009 (durata di vari mesi, Mmax 4.2, stessa area e profondità ipocentrali) ma non fu seguita da alcun terremoto più forte.

Le sequenze sismiche in Italia

In Italia avvengono ogni anno decine di sequenze sismiche di durata variabile da pochi giorni a molti mesi, con caratteristiche molto diverse in termini di distribuzione spazio-temporale e di magnitudo. In un articolo pubblicato su questo blog all'inizio del 2014, avevamo mostrato che **nel solo 2013 in Italia erano state riconosciute in totale oltre cento sequenze**, di cui 9 di durata maggiore di due mesi, 11 tra uno e due mesi, 16 tra quindici e trenta giorni, le altre di durata inferiore. La distribuzione di queste sequenze nel nostro territorio è molto diffusa (Figura 3) interessando praticamente tutte le regioni italiane. Numerosi ricercatori stanno studiando le caratteristiche della sismicità italiana per comprendere sempre meglio i meccanismi alla base di questi terremoti, ma non sono riscontrabili al momento elementi che possano far prevedere l'evoluzione temporale e in termini di magnitudo massima delle varie sequenze o sciami.

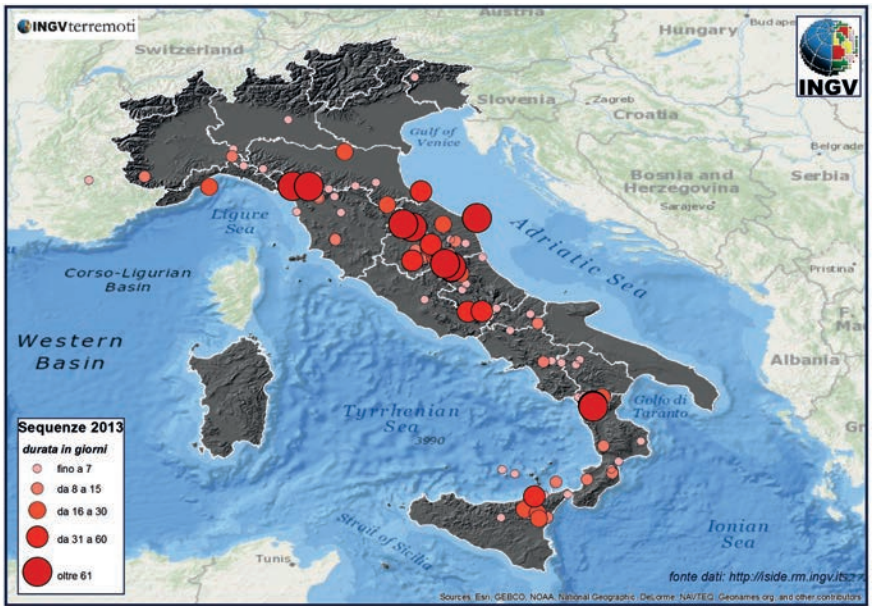


Figura 3 Le sequenze sismiche in Italia nel 2013. La dimensione dei simboli e il colore più scuro sono proporzionali alla durata di ciascuna sequenza (legenda a sinistra).

Sciame o sequenza?

Il termine **sciame sismico** proviene dall'inglese *seismic swarm* e fu definito probabilmente per la prima volta dai sismologi giapponesi negli anni '60 del '900 [Mogi, 1963; Utsu, 2002]. Come per l'inglese *swarm*, anche in italiano il termine **sciame** viene usato generalmente per indicare un folto gruppo di insetti o più generalmente una moltitudine di individui o cose in movimento.
Premettiamo che **sciame (sismico) e sequenza (sismica) non sono due termini alternativi**: il primo è un tipo particolare della seconda, categoria più ampia usata per indicare un addensamento spazio-temporale di terremoti. Risulta sempre difficile stabilire se una sequenza può essere definita uno sciame perché, come scrive Utsu [2002] "non esiste una definizione esatta universalmente accettata di *aftershocks*, *foreshocks*, *and seismic swarms*". Lo stesso Utsu fornisce la seguente definizione: "*uno sciame sismico è una concentrazione (cluster) di terremoti in cui non c'è un singolo terremoto di magnitudo predominante (predominantly large)*". Uno sciame si distingue da una classica sequenza *mainshock – aftershocks* per avere molti terremoti di diverse magnitudo distribuiti irregolarmente nel tempo.
Se guardiamo al grafico della Figura 1, notiamo come le magnitudo del periodo gennaio – marzo 2009 a L'Aquila seguano un andamento di questo tipo, con valori compresi tra 1.0 e 3.0 praticamente in tutto il periodo. Quindi, secondo la classificazione di Utsu [2002], nel caso della sismicità aquilana prima del 6 aprile si tratta proprio di uno sciame. Anche i terremoti del periodo tra il 30 marzo e il 5 aprile rientrano nella tipologia di uno sciame, durante il quale la magnitudo dei terremoti può anche aumentare. Diverso il caso della sequenza dal 6 aprile in poi, in cui a un evento maggiore (M_L 5.9, Mw 6.3) sono seguite migliaia di repliche tutte più piccole, che sono diminuite nel tempo in numero e magnitudo seguendo un andamento tipico definito come legge di Omori [1894]: una classica sequenza *main shock – aftershocks*.
Sfatiamo quindi questa credenza: il termine **sciame sismico** connota una tipologia di sequenza sismica ben nota da molti decenni e non contiene in sé nessun carattere prognostico, tanto meno rassicurante.

L'algoritmo di Reasenberg

Vediamo come funziona la procedura di Reasenberg adottata in questo articolo. Si prendono in considerazione tutte le possibili coppie di terremoti che appartengono al catalogo. Per ciascuna coppia, si deduce se esiste una interazione tra i due terremoti basandosi su un principio di "vicinanza" sia spaziale che temporale. Se due terremoti sono "vicini" sia spazialmente che temporalmente, essi fanno parte di una stessa sequenza. Si applica poi una seconda regola che dice semplicemente: se due terremoti appartengono a due *cluster* diversi ma si accoppiano tra loro, allora si associano pure i *cluster* di appartenenza. I due cluster si fondono in un unico cluster.
Ci chiediamo: quando due terremoti sono sufficientemente vicini nello spazio da poter affermare che uno ha influenzato l'accadere dell'altro? E quanto devono essere vicini nel tempo per poter ancora affermare che c'è stata un'interazione tra loro? In altri termini, la domanda è: quando possiamo realmente affermare che ciascuno dei due terremoti analizzati è l'espressione parziale di uno stesso fenomeno macroscopico più grande costituito dall'intera sequenza sismica? La cosa è abbastanza ovvia dopo un grande terremoto: tutti gli eventi successivi, che si susseguono in gran numero e ravvicinati, fanno parte della sequenza. Meno ovvio è definire un'associazione tra due eventi prima che una sequenza sia chiaramente cominciata, in un'area in cui c'è sempre sismicità di fondo. Se osserviamo il catalogo sismico in un'area di raggio 20 km intorno alla citta dell'Aquila, vediamo che dal primo gennaio 2005 ad oggi l'intervallo massimo trascorso tra un terremoto e l'altro è 20 giorni e 18 ore.

È chiaro che se adottassimo 21 giorni come periodo di "associazione" tra due eventi successivi e 40 km come distanza massima di influenza tra due terremoti, otterremmo nell'area un'unica sequenza sismica iniziata nel 2005 e mai finita, che probabilmente sarebbe destinata a durare ancora per anni, forse per sempre. Occorre pertanto adottare un'altra strategia.
Purtroppo la maggior parte della sismologia quantitativa è fatta di misurazioni indirette, al contrario della meteorologia che può fare affidamento su migliaia di misurazioni dirette di parametri fisici quali la pressione, l'umidità, la velocità dell'aria. Noi sismologi non possiamo misurare direttamente le dimensioni di una faglia che si è rotta durante un terremoto. Per nostra fortuna la stragrande maggioranza dei terremoti avviene in profondità e non modifica sostanzialmente la superficie terrestre. Solo in casi eccezionali, e per terremoti molto grandi, si hanno in superficie delle espressioni del fenomeno osservabili direttamente, come rotture della crosta o deformazioni della superficie, che ci forniscono una misura diretta della dimensione orizzontale della faglia. Anche in questi casi però rimane sconosciuta e solo deducibile indirettamente la dimensione verticale della faglia: non possiamo misurare direttamente quanto essa si estenda in profondità.
Per l'algoritmo di Reasenberg due terremoti sono spazialmente vicini se la dimensione delle due rotture è tale che esse possono influenzarsi tra loro. Poiché non possiamo conoscere direttamente le dimensioni delle due rotture, dobbiamo fare delle ipotesi in base ad un modello, cioè a una rappresentazione schematica che riassuma però le caratteristiche principali del fenomeno osservato. Reasenberg ha adottato un modello di rottura che fu proposto nel 1975 dai sismologi Kanamori e Anderson e che viene oggi largamente utilizzato dai sismologi di tutto il mondo. La formulazione matematica del modello è alquanto complessa: essa esprime la lunghezza caratteristica di una faglia in funzione della magnitudo del terremoto e di altri parametri fisici. Per dare un'idea della sua applicazione diciamo che, secondo Reasenberg, la distanza di influenza di un terremoto che avvenga durante una sequenza sismica è di 1.7 km se il terremoto ha magnitudo 3, di 4.4 km se di magnitudo 4, di 11 km se di magnitudo 5 (attenzione, questa è la distanza di influenza del terremoto, non la dimensione della faglia: la lunghezza della rottura risulta essere molto minore).
Rimane da valutare la vicinanza temporale. Reasenberg adotta la ben nota legge di Omori [1894] per le sequenze sismiche, che ci da delle indicazioni sul numero di terremoti osservati durante una sequenza. Dopo che è avvenuto un terremoto grande, si ha un gran numero di terremoti di magnitudo più piccola, e man mano che il tempo passa il numero di terremoti che si susseguono diminuisce in modo inversamente proporzionale al tempo trascorso. Da questa legge, e dall'osservazione di molte sequenze sismiche, Reasenberg deduce una legge empirica che permette di definire qual è il tempo che, dopo un terremoto di data magnitudo, è necessario attendere per essere certi di osservare un altro evento della stessa sequenza sismica. Questo tempo è molto breve se il primo terremoto è di grande magnitudo, e si allunga man mano che diminuisce la magnitudo massima osservata. Inoltre, paradossalmente, il tempo che dobbiamo attendere per essere certi di osservare un altro terremoto della sequenza cresce insieme col crescere del tempo. Come dire, man mano che passa del tempo dal primo terremoto, diminuisce la probabilità che ce ne sia un altro nei prossimi 5 minuti. Questa è una buona notizia: possiamo essere certi che prima o poi una sequenza sismica finirà.
In pratica, per rendere l'algoritmo utilizzabile, Reasenberg pone il periodo di associazione tra due terremoti variabile tra 2 e 10 giorni. Se la sequenza non è iniziata, occorre che avvenga un terremoto entro 2 giorni perché si possa dichiarare iniziata la sequenza. A sequenza iniziata, un periodo di quiescenza di 10 giorni sancisce la fine della sequenza.

Bibliografia

Amato A., & Ciaccio M.G., (2012). *Earthquake sequences of the last millennium in L'Aquila and surrounding*

regions (central Italy). Terra Nova, 24, 52–61. https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2011.01037.x

Kanamori H., & Anderson D.L., (1975). *Theoretical basis of some empirical relations in seismology*. Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 65, No. 5, pp. 1073-1095.

Mogi K., (1963). *Some Discussions on Aftershocks, Foreshocks and Earthquake Swarms – the Fracture of a Semi-infinite Body caused by an Inner Stress Origin and its Relation to the Earthquake Phenomena (third paper)*. Bull. Earthquake Res. Institute, 41, pp. 615-658.

Omori F., (1894). *On the aftershocks of earthquakes*. Journal of the College of Science, Imperial University of Tokyo, 7, pp. 111–200.

Reasenberg P. (1985). *Second-Order Moment of Central California Seismicity, 1969-1982*. Journal of Geophysical Research, 90, pp. 5479-5495.

Utsu T., (2002). *Statistical features of seismicity. In: International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*. Editors: W.H.K. Lee, H. Kanamori, P.C. Jennings, C. Kisslinger. International Geophysics, Volume 81, Part A., Elsevier, ISBN: 978-0-12-440652-0, pp. 719-732.

Valoroso,L., Chiaraluce L., Piccinini D., Di Stefano R., Schaff D., and Waldhauser F., (2013). *Radiography of a normal fault system by 64,000 high-precision earthquake locations: The 2009 L'Aquila (central Italy) case study*. J. Geophys. Res., 118. https://doi.org/10.1002/jgrb.50130

Pubblicato il 9 novembre 2014

Faglie sismogenetiche cieche in Pianura Padana

Paola Vannoli, Pierfrancesco Burrato, Gianluca Valensise

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Roma 1

Un recente studio pubblicato su Pure and Applied Geophysics censisce e classifica le faglie sismogenetiche cieche in Pianura Padana, riorganizzando le conoscenze esistenti alla luce dei terremoti emiliani del maggio 2012.
Il "paesaggio geologico" sepolto della Pianura Padana è molto articolato e complesso e possiamo immaginarlo costituito da vere e proprie montagne ammantate da gran di quantità di sedimenti di origine marina e fluviale. Questi sedimenti hanno spessori molto variabili, tra diverse migliaia di metri e poco più di 100 metri, e nascondono alla semplice osservazione le strutture tettoniche sottostanti, che possono però essere rilevate grazie alle numerose prospezioni geofisiche rese disponibili dall'esplorazione petrolifera a partire dal secondo dopoguerra.
La Pianura Padana rappresenta dunque un *unicum geologico* perché i suoi sedimenti nascondono la zona di contatto tra i *thrust* (termine per indicare le faglie con movimento di tipo inverso) delle Alpi Meridionali, a nord, e quelli dell'Appennino Settentrionale, a sud (Figura 1). In pratica **entrambe queste catene montuose, che noi conosciamo e vediamo nella loro parte esposta, proseguono on delle porzioni sepolte che arrivano quasi a toccarsi nel sottosuolo padano.**

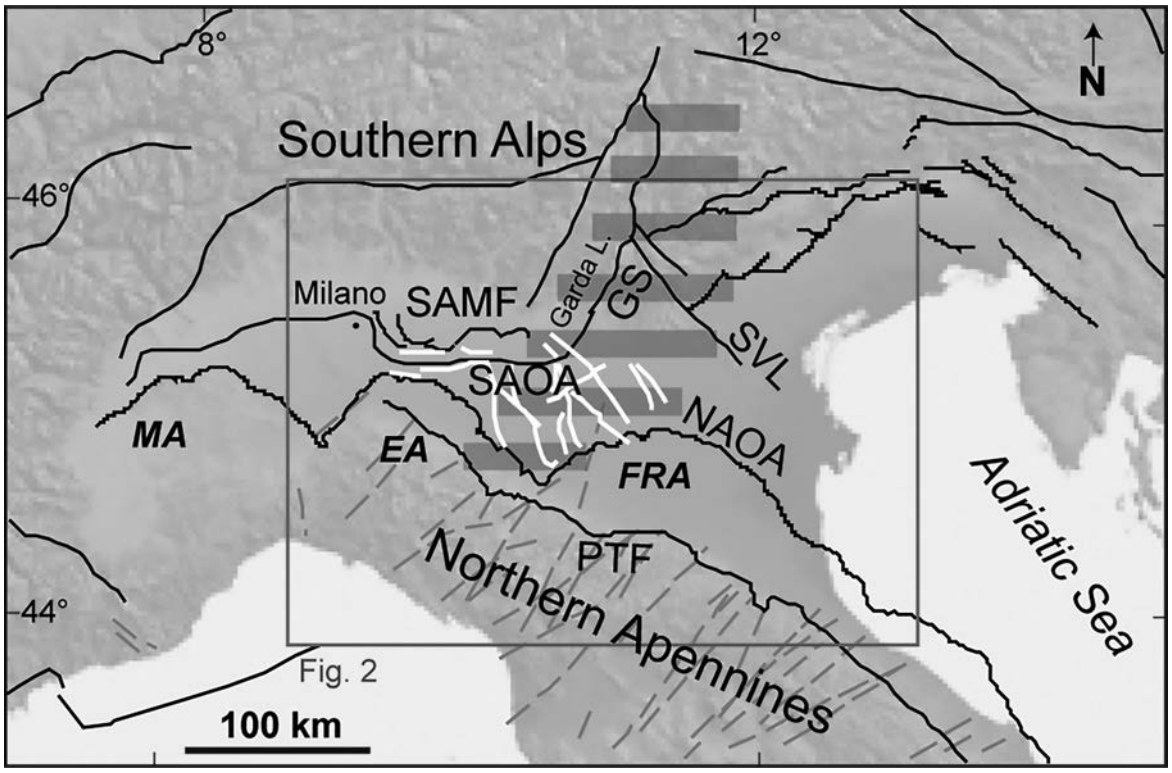


Figura 1 Mappa strutturale semplificata della Pianura Padana. Linee nere: principali elementi tettonici; linee bianche: faglie ereditate; SAMF: fronte montuoso delle Alpi Meridionali; SAOA: arco esterno delle Alpi Meridionali; GS: Sistema delle Giudicarie; SVL: Schio-Vicenza; NAOA: arco esterno dell'Appennino Settentrionale; PTF: fronte pedeappenninico; MA: arco del Monferrato; EA: arco Emiliano; FRA: arco Ferrarese-Romagnolo.

Attraverso alcuni milioni di anni il progressivo moto di avvicinamento della Placca Africana e della Placca Europea ha determinato prima **la nascita delle Alpi e degli Appennini**, attraverso il progressivo corrugamento di migliaia di metri di sedimenti originariamente deposti in un antico oceano noto come Tetide, sviluppatosi a partire da circa 250 milioni di anni fa tra il Permiano ed il Triassico inferiore; poi ne ha sollevato le porzioni assiali creando il paesaggio montuoso che oggi conosciamo, secondo un meccanismo ancora attivo alla velocità di 1-3 metri per millennio. **L'avvicinamento di Alpi e Appennini secondo una direttrice circa N-S, e quindi il raccorciamento della Pianura Padana, è tuttora in atto**, come mostrano i dati geodetici satellitari. **In profondità questo raccorciamento si trasforma in uno sforzo di caricamento di faglie di tipo compressivo localizzate sia al piede delle Alpi Meridionali, sia al piede dell'Appennino Settentrionale.**

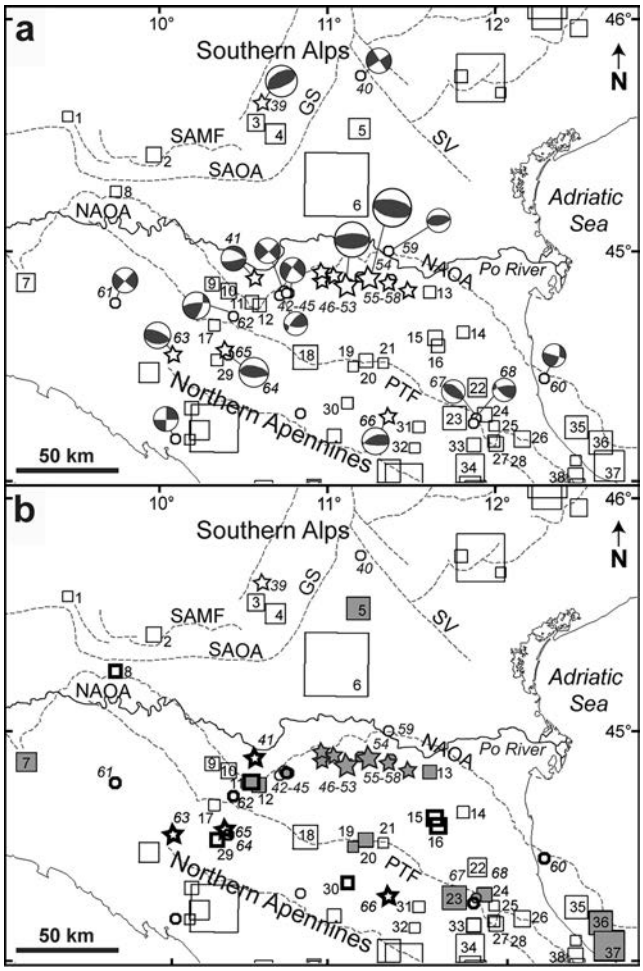


Figura 2 Terremoti storici e strumentali (CPTI11, Bollettino Sismico Italiano e ISIDe). I terremoti storici con M ≥ 5.3 sono rappresentati con quadrati. I terremoti strumentali con M ≥ 5.0 sono rappresentati con stelle; quelli con 4.5 ≤ M ≥ 4.9 sono rappresentati con pallini. Tutti i terremoti sono collegati alle Tabelle 1 e 2 attraverso il loro ID. a) Sismicità e meccanismi focali disponibili (Pondrelli et al., [2006]; TDMT database). b) Terremoti multipli e terremoti profondi (i terremoti multipli sono rappresentati con pattern grigio; i terremoti profondi in grassetto).

Al di sotto dei sedimenti della Pianura Padana esistono quindi strutture tettoniche attive e capaci di generare terremoti, come testimonia sia la sismicità strumentale dell'area, sia il verificarsi di importanti terremoti storici (Figura 2). Per rimanere nell'area emiliana ricordiamo la **sequenza sismica di Ferrara del 1570** (Figura 3), **quella che ha colpito Argenta nel 1624** e i numerosi **terremoti che hanno colpito Bologna nel 1929**, tutti con magnitudo stimata tra 5.5 e 6.0. Recentemente, i *thrust* sepolti dell'Appennino Settentrionale si sono attivati durante **la sequenza dell'Emilia del 2012**. Una caratteristica comune delle sequenze emiliane del **1570**, **1929** e **2012** è quella di essere costituite da più terremoti potenzialmente distruttivi, anche con magnitudo simile, che si susseguono nell'arco di giorni, settimane o mesi. Ma **il più forte terremoto di cui si ha notizia nell'area padana è quello che il 3 gennaio del 1117 ha duramente colpito Verona e le aree poste a sud di essa** (magnitudo stimata **6.7**). La precisazione "di cui si

ha notizia" è doverosa perché per molti secoli la Pianura Padana è stata sede di ampie aree paludose e di fitte e impraticabili foreste con sporadici nuclei abitati; esiste quindi la possibilità che altri forti terremoti accaduti nell'area siano stati poco risentiti dall'uomo o non siano stati risentiti affatto, e quindi che non siano stati adeguatamente documentati, apparendo come terremoti minori o scomparendo del tutto dalle fonti storiche.

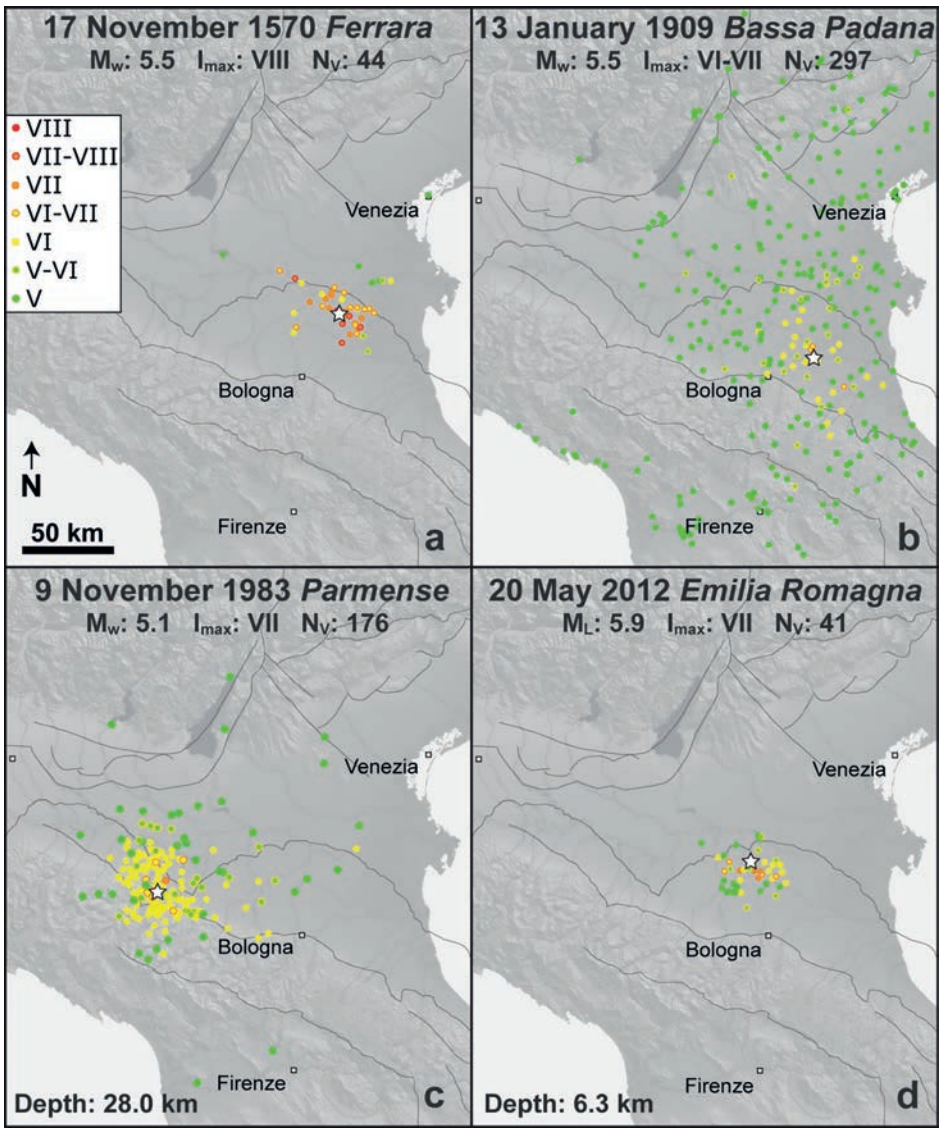


Figura 3 Confronto tra terremoti con risentimenti macrosismici molto diversi tra loro. Mappa delle intensità macrosismiche, con valori di Intensità ≥ 5. Nv è il numero di località con Intensità ≥ 5. La superficie maggiore interessata dal risentimento degli eventi del 13 gennaio 1909 e del 9 novembre 1983 evidenzia come la profondità di questi due eventi sia ben maggiore di quella dei terremoti del 17 novembre 1570 e del 20 maggio 2012.

Come mostrano la Figura 3 e le Tabelle 1 e 2 **la Pianura Padana è interessata sia da terremoti superficiali sia da terremoti relativamente profondi**; visto il contesto sismotettonico, possiamo convenzionalmente assumere come terremoti "profondi" tutti gli eventi localizzati al di sotto la profondità di 15 km. I terremoti più superficiali tendono a causare effetti significativi ma molto concentrati nello spazio, mentre a parità di magnitudo un terremoto profondo farà meno danni ma su un'area molto più ampia: è la cosiddetta "firma macrosismica" dei terremoti, che ci consente di ipotizzare la profondità focale anche per quelli più antichi.

ID	Data	Località	Intensità	M_w	Multiplo	Profondo	Sorgente(i)	Gruppo	Struttura tettonica
6	3 gen 1117	Veronese	IX	6.7	N/A	N/A	ITIS140; ITCS076	#3	N/A
4	25 dic 1222	Basso Bresciano	IX	5.8	N/A	N	ITCS002 o ITCS072	#1	SAOA
33	30 apr 1279	Rocca San Casciano	VII-VIII	5.6	N/A	N/A	ITCS027	#2	DR
21	25 lug 1365	Bologna	VII-VIII	5.4	N/A	N	ITCS047	#1	PTF
25	4 ago 1383	Forlì	VII-VIII	5.4	N/A	N	ITCS001	#1	PTF
1	26 nov 1396	Monza	VII-VIII	5.4	N/A	N/A	ITCS002	#1	SAOA
27	3 lug 1428	Predappio	VIII	5.5	N/A	N	ITCS001	#1	PTF
9	11 giu 1438	Parmense	VIII	5.6	N/A	N	ITCS009	#1	EA
26	11 ago 1483	Romagna meridionale	VIII-IX	5.7	N/A	N	ITCS001	#1	PTF
18	5 giu 1501	Appennino modenese	IX	6.0	N/A	N	ITCS046	#1	PTF
20	3 gen 1505	Bolognese	VIII	5.6	S	N	ITIS091; ITCS047	#1	PTF
13	17 nov 1570	Ferrara	VIII	5.5	S	N	ITIS090; ITCS050	#1	FRA
32	-- --- 1600	Palazzuolo	VII-VIII	5.4	N/A	N/A		N/A	N/A
14	19 mar 1624	Argenta	VIII-IX	5.5	N/A	N	ITIS141; ITCS012	#1	FRA
34	22 mar 1661	Appennino romagnolo	X	6.1	N/A	N		4	AVML
22	11 apr 1688	Romagna	IX	5.8	N/A	N	ITIS100; ITCS109	#1	FRA
31	29 ott 1725	Appennino Tosco-emiliano	VIII	5.4	N/A	N		#4	PSL
23	4 apr 1781	Romagna	IX-X	5.9	S	N	ITIS093; ITCS001	#1	PTF
24	17 lug 1781	Romagna	VIII	5.6	S	N	ITCS001	#1	PTF
38	25 dic 1786	Riminese	VIII	5.6	N/A	N	ITIS035; ITCS039	#1	N/A
15	22 ott 1796	Emilia orientale	VII	5.6	N/A	S	---	#4	PSL
2	12 mag 1802	Valle dell'Oglio	VIII	5.6	N/A	N	ITIS104; ITCS002	#1	SAOA
7	9 ott 1828	Valle Staffora	VIII	5.8	S	N	ITCS018	#1	EA
12	11 set 1831	Reggiano	VII-VIII	5.5	S	N	ITCS009; ITCS049	#1	EA/ FRA
11	13 mar 1832	Reggiano	VII-VIII	5.5	S	S	---	#4	EL
30	25 giu 1869	Media Valle del Reno	VII-VIII	5.4	N/A	S	---	#2/4	DR/ VVL
28	30 ott 1870	Romagna	VIII	5.6	N/A	N	ITCS001	#1	PTF
29	17 set 1873	Liguria orientale	VI-VII	5.4	N/A	S	---	#4	EL
35	17 mar 1875	Romagna sud-orientale	VIII	5.9	N/A	N	ITIS036; ITCS039	#1	N/A
5	7 giu 1891	Valle d'Illasi	IX	5.9	S	N	---	-	-
17	4 mar 1898	Valle del Parma	VII-VIII	5.4	N/A	N	ITCS046	#1	PTF
3	30 ott 1901	Salò	VIII	5.7	N/A	N	ITIS069; ITCS048	#1	SAMF
16	13 gen 1909	Bassa Padana	VI-VII	5.5	N/A	S	---	#4	PSL
36	17 mag 1916	Alto Adriatico	VIII	5.9	S	N	ITIS034; ITCS030	#1	N/A
37	16 ago 1916	Alto Adriatico	VIII	6.1	S	N	ITIS033; ITCS030	#1	N/A
19	20 apr 1929	Bolognese	VII-VIII	5.3	S	N	ITIS103; ITCS047	#1	PTF
8	15 mag 1951	Lodigiano	VI-VII	5.4	N/A	S	---	#3	UDS
10	15 lug 1971	Parmense	VIII	5.7	N/A	N	ITCS009	#1	EA

Tabella 1 Parametri dei maggiori terremoti storici dell'area di studio (CPTI11; Boschi e Guidoboni [2003]). Ogni terremoto è stato, in via preliminare, assegnato ad un gruppo e, quando possibile, ad una struttura tettonica. S: Si; N: No; N/A: Non applicabile. EA: arco Emiliano; FRA: arco Ferrarese - Romagnolo; PTF: fronte pedeappenninico; SAMF: fronte delle Alpi Meridionali; SAOA: arco esterno delle Alpi Meridionali; DR: rampa profonda; SVL: Schio-Vicenza; AVML: Arbia- Val Marecchia; PSL: Prato - Sillaro; VVL: Viareggio-Val di Lima-Bologna; EL: Enza; ML: Montone; UDS: struttura tettonica ignota.

ID	Data	Orario	Profondità (km)	M_L	Multiplo	Sorgente(i)	Gruppo	Struttura tettonica
62	09 nov 1983	16 29 52	28.0*	4.8	N	---	#4	EL
44	24 apr 1987	02 30 28	5.0	4.6	Y	ITCS049	#1	FRA
45	02 mag 1987	20 43 54	24.0*	4.5	Y	---	#4	EL
40	13 set 1989	21 54 01	40.4*	4.7	N	---	#4	SVL
42	15 ott 1996	09 56 01	5.0	4.9	N	ITCS049	#1	FRA
67	10 mag 2000	16 52 12	13.3	4.5	Y	ITCS001	#1	PTF
43	18 giu 2000	07 42 07	5.0	4.5	N	ITCS049	#1	FRA
66	14 set 2003	21 42 53	20.1°	5.0	N	ITIS058; ITCS027	#2	DR
39	24 nov 2004	22 59 39	5.4*	5.2	N	ITCS048	#1	SAMF
64	23 dic 2008	15 24 22	22.9	5.2	N	ITIS135; ITCS027	#2	DR
65	23 dic 2008	21 58 27	23.7	4.8	N	ITCS027	#2	DR
68	05 apr 2009	20 20 53	24.5	4.6	N	---	#4	ML
59	17 lug 2011	18 30 27	2.4	4.8	N	ITCS050	#1	FRA
41	25 gen 2012	08 06 37	29.0	5.0	N	---	#4	UDS
63	27 gen 2012	14 53 13	72.4	5.2	N	---	#4	UDS
54	20 mag 2012	02 03 52	6.3	5.9	Y	ITIS134; ITCS103	#1	FRA
55	20 mag 2012	02 06 30	7.7	4.8	Y	ITCS103	#1	FRA
56	20 mag 2012	02 07 31	5.0	5.1	Y	ITCS103	#1	FRA
46	20 mag 2012	03 02 50	10.0	4.9	Y	ITCS051	#1	FRA
57	20 mag 2012	13 18 02	4.7	5.1	Y	ITCS103	#1	FRA
58	20 mag 2012	17 37 14	3.2	4.5	Y	ITCS103	#1	FRA
47	29 mag 2012	07 00 03	10.2	5.8	Y	ITIS107; ITCS051	#1	FRA
48	29 mag 2012	08 25 51	3.2	4.5	Y	ITCS051	#1	FRA
49	29 mag 2012	08 27 23	10.0	4.7	Y	ITCS051	#1	FRA
50	29 mag 2012	10 55 57	6.8	5.3	Y	ITCS051	#1	FRA
51	29 mag 2012	11 00 02	11.0	4.9	Y	ITCS051	#1	FRA
52	29 mag 2012	11 00 25	5.4	5.2	Y	ITCS051	#1	FRA
53	03 giu 2012	19 20 43	9.2	5.1	Y	ITCS051	#1	FRA
60	06 giu 2012	04 08 31	25.6	4.5	N	---	#4	UDS
61	03 ott 2012	14 41 28	32.2	4.5	N	---	#4	UDS

Tabella 2 Parametri dei maggiori terremoti (M ≥ 4.5) strumentali dell'area (ISIDe e Bollettino Sismico Italiano). °=profondità da Piccinini et al. [2006]; *=profondità da CSI.

Un'importante caratteristica che accomuna i terremoti della Pianura Padana è che, in virtù della loro cinematica e del loro contesto geologico, anche i più superficiali tra essi non producono fagliazione della superficie topografica, o comunque non sono noti effetti di terremoti del passato che potrebbero essere ricondotti a fagliazione superficiale. In altre parole, le faglie della Pianura Padana non arrivano a tagliare la superficie terrestre ma si fermano in profondità, e prendono per questo il nome di ***faglie cieche***. Ne consegue che **le faglie padane possono essere investigate solo tramite metodi indiretti**. Tuttavia, a causa delle caratteristiche geologiche dei terreni più superficiali, i forti terremoti padani causano spesso importanti **effetti di liquefazione ed espulsione di sedimenti sabbiosi** (vulcani di fango) che possono risultare più dannosi per gli edifici che non lo scuotimento stesso.

Identificare e parametrizzare le faglie responsabili dei principali terremoti della Pianura Padana - ossia le sorgenti sismogenetiche - richiede che si prenda in dovuta considerazione la loro profondità, geometria e cinematica, sia rispetto all'assetto delle due catene montuose attualmente "in avvicinamento" (le Alpi e gli Appennini), sia rispetto all'assetto paleogeografico preesistente. L'avvicinamento delle due catene è infatti fortemente condizionato dalla presenza di un contesto geologico "ereditato", caratterizzato da antiche piattaforme carbonatiche e depositi di bacini marini profondi separati da faglie estensionali sviluppatesi durante l'apertura della Tetide. Questa articolata paleogeografia controlla fortemente lo sviluppo, l'evoluzione e la

forma dei fronti montuosi sepolti al di sotto dei depositi della pianura. La conoscenza della paleogeografia dell'area oggi occupata dalla Pianura Padana è quindi molto importante per individuarne e caratterizzarne le sorgenti sismogenetiche.

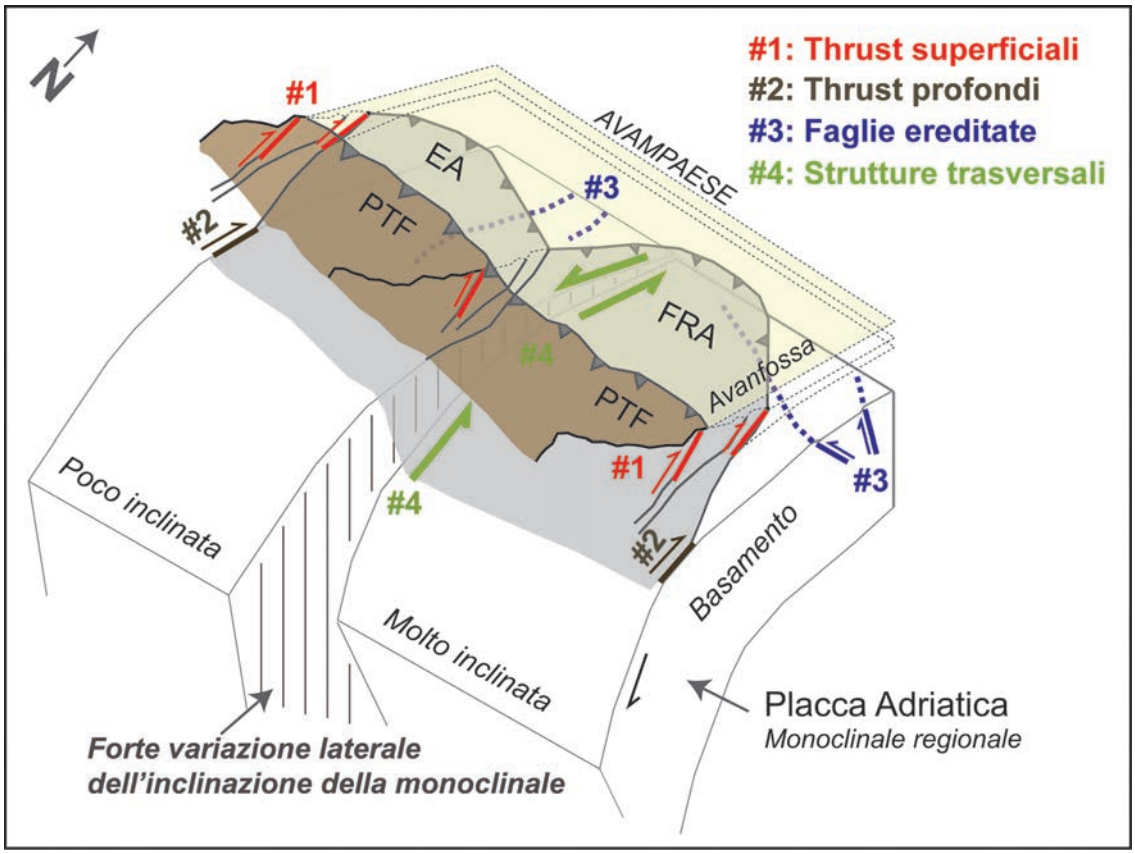


Figura 4 Schema semplificato che illustra i quattro gruppi di sorgente sismogenetica identificati in Pianura Padana nel recente studio. Oltre ai thrust superficiali e profondi, sono presenti le faglie ereditate che tagliano l'avampaese e le strutture trasversali. Queste ultime sono state interpretate, in questo studio, come la risposta fragile della litosfera superiore alla variazione dell'inclinazione della monoclinale regionale. EA: arco Emiliano; FRA: arco Ferrarese-Romagnolo; PTF: fronte pedeappenninico.

Questo studio, appena pubblicato su *Pure and Applied Geophysics*, ha ripreso in esame e riorganizzato tutte le conoscenze sulla geologia, sulla tettonica e sulla sismicità della Pianura Padana. Le faglie cieche della Pianura Padana sono state suddivise in quattro gruppi principali (Figure 4 e 5):

- Gruppo #1: i ***thrust* superficiali delle Alpi e degli Appennini**, che includono sia i sistemi di faglie che corrono ai piedi dei rispettivi rilievi sia i fronti più esterni in pianura;
- Gruppo #2: i ***thrust* profondi dell'Appennino settentrionale**;
- Gruppo #3: **le strutture "ereditate"**;
- Gruppo #4: le **strutture trasversali alle catene delle Alpi e dell'Appennino**.

Le Tabelle 1 e 2 contengono un primo tentativo di attribuire ogni forte terremoto storico (Tabella 1) e ogni terremoto strumentale significativo (Tabella 2) della Pianura Padana a questi quattro grandi gruppi di faglie e singole strutture tettoniche note. Ad esempio il forte terremoto del 3 gennaio 1117 viene attribuito a una faglia "ereditata", ossia una struttura estensionale di età mesozoica riattivata nell'attuale regime tettonico compressivo (ITIS140 in Figura 5).

L'identificazione di questa faglia - localizzata, come ci dicono gli aggiornati dati del risentimento macrosismico, al di sotto delle Valli Grandi Veronesi, a sud dei Monti Lessini - è basata sia sull'analisi di dati del sottosuolo, che confermano la presenza di una faglia ereditata, sia su evidenze di geomorfologia tettonica. Lungo i corsi dei fiumi Mincio e Adige sono state identificate diverse "anomalie di drenaggio", ovvero anomalie nell'andamento atteso delle aste fluviali, compatibili con il sollevamento della superficie topografica causato dal movimento in profondità di tale faglia ereditata. Un analogo studio condotto tra il 1999 e il 2003 confrontando dati geomorfologici e geofisici aveva già permesso di identificare la sorgente sismogenetica che avrebbe poi causato il terremoto del 29 maggio 2012 (magnitudo 5.8; ITIS107 in Figura 5). Le due sorgenti degli eventi del 3 gennaio 1117 e del 29 maggio 2012, pur appartenendo a due diverse tipologie di faglia (Gruppo #3 e Gruppo #1, rispettivamente) e pur avendo dimensioni molto diverse tra loro (circa 30 km e circa 9 km di lunghezza, rispettivamente), sono accomunate dalla loro natura compressiva, dal fatto di essere entrambe *cieche*, e dall'aver creato simili deviazioni nell'andamento del corso dei fiumi.

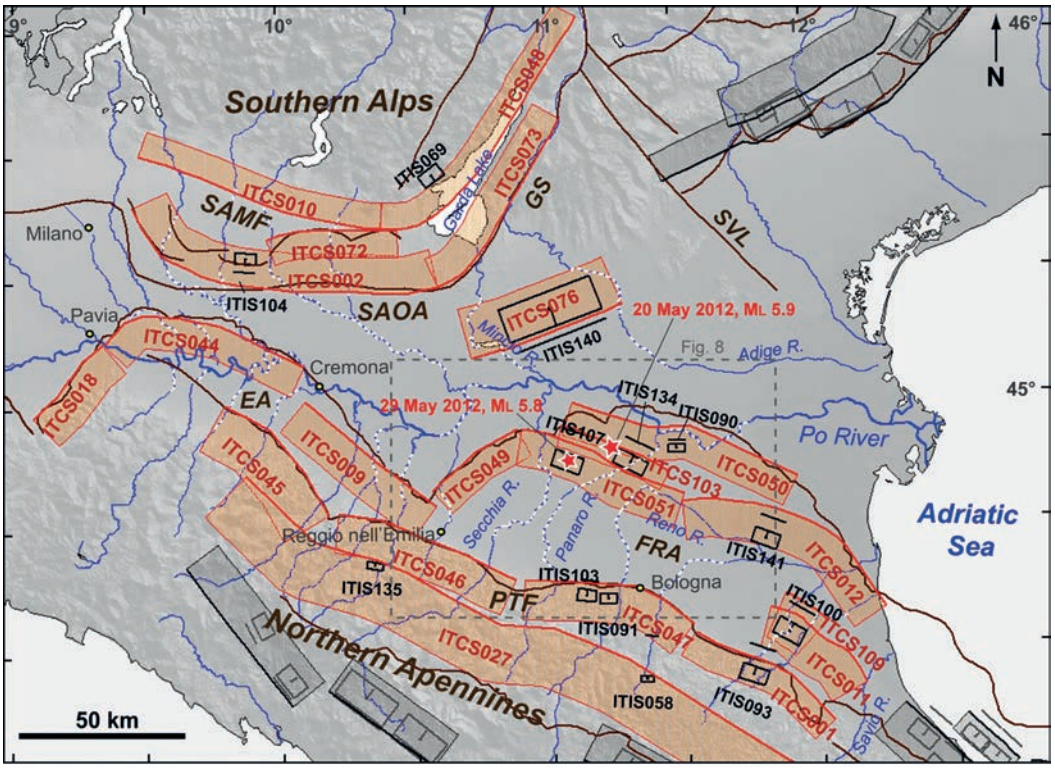


Figura 5 Sorgenti Sismogenetiche Individuali (ISS) e Sorgenti Sismogenetiche Composite (CSS) della Pianura Padana (rappresentate rispettivamente con rettangoli neri e fasce rosse; per le definizioni si vedano Basili et al., [2008]. Le anomalie della rete di drenaggio sono evidenziate in tratteggio bianco. SAMF: fronte montuoso delle Alpi Meridionali; SAOA: arco esterno delle Alpi Meridionali; GS: Sistema delle Giudicarie; SVL: Schio-Vicenza; PTF: fronte pedeappenninico; EA: arco Emiliano; FRA: arco Ferrarese-Romagnolo.

Abbiamo visto come **in Pianura Padana accadano non solo terremoti superficiali ma anche eventi profondi**. Le faglie responsabili di questi terremoti possono appartenere alla categoria dei *thrust* profondi, ossia alle sorgenti compressive più interne alla catena (Gruppo #2), come nel caso del terremoto del 14 settembre 2003 (magnitudo 5.3); un evento con cinematica compressiva localizzato a circa 20 km di profondità al di sotto dell'Appennino bolognese.

Tuttavia non sempre è possibile attribuire i terremoti profondi al Gruppo #2 come si evince dal video pubblicato sul canale YouTube/INGVTerremoti (https://www.youtube.com/watch?v=alqGIoECG4U).

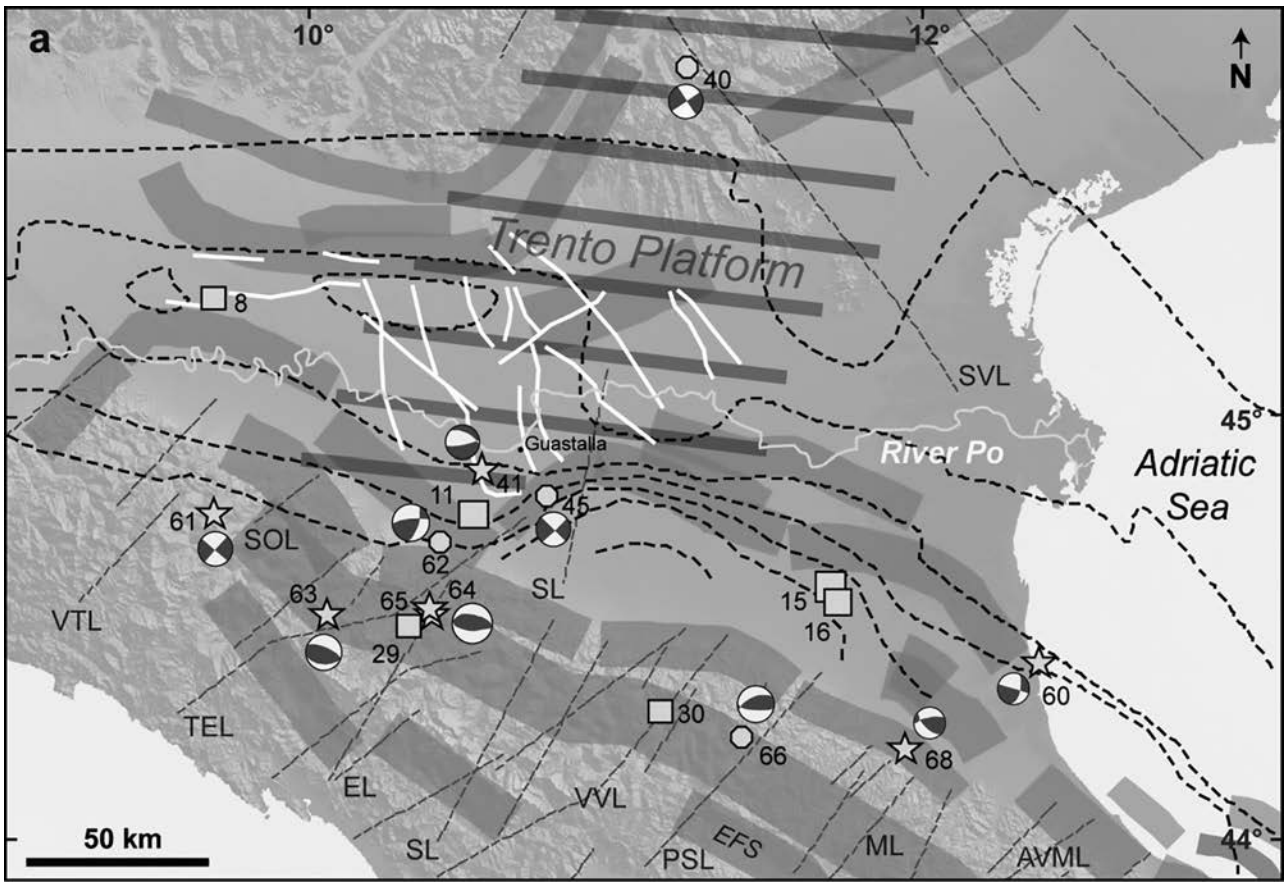


Figura 6 Schema sismotettonico della Pianura Padana, con i principali elementi paleogeografici ed, esclusivamente, i terremoti con M > 4.5 e profondità > 15 km. Le isolinee tratteggiate rappresentano l'inclinazione della monoclinale regionale (elaborato da Mariotti e Doglioni, [2000]). Fasce grigie: sorgenti sismogenetiche composite (DISS Working Group, 2014); linee bianche: faglie ereditate [Rogledi, 2010]; area tratteggiata grigia: Piattaforma di Trento [Cuffaro et al., 2010]; linee grigie tratteggiate: strutture trasversali; SVL, Schio-Vicenza Line; VTL, Val Trebbia Line; SOL, Stirone-Ongina Line; TEL, Taro-Enza Line; EL, Enza Line; SL, Secchia Line; VVL, Viareggio-Val di Lima-Bologna Line; PSL, Prato-Sillaro Line; ML, Montone Line; AVML, Arbia-Val Marecchia Line.

Le faglie responsabili di alcuni di questi terremoti possono infatti appartenere:

- al Gruppo #3, come nel caso del terremoto profondo del Lodigiano del 15 maggio 1951 (magnitudo 5.4), avvenuto in un'area in cui i fronti appenninici e alpini sono molto vicini, poco sviluppati e privi di rampe capaci di generare terremoti profondi. Per via dell'inusuale localizzazione di questo evento e per la presenza di campi di produzione di gas, in uno studio del 1956 Pietro Caloi e altri sismologi ritennero questo terremoto come probabilmente causato dalle attività estrattive. Oggi però sappiamo che il terremoto del 1951 fu piuttosto profondo e che proprio in corrispondenza dell'area di massimo risentimento di questo terremoto esiste una faglia ereditata nel basamento;
- al Gruppo #4, come nel caso del terremoto del 13 settembre 1989 (magnitudo 4.7), con profondità 40 km e meccanismo focale trascorrente. La struttura responsabile di questo evento è ritenuta essere la cosiddetta "Linea Schio-Vicenza", un'importante struttura

trascorrente, sub-verticale, con andamento nordovest-sudest, lunga circa 120 km (SVL in Figure 5 e 6). Nel nostro recente studio abbiamo interpretato le strutture profonde trasversali alla catena come la risposta fragile della litosfera superiore alle variazioni laterali dell'inclinazione della monoclinale regionale (Figure 4 e 6). Come abbiamo visto, l'avanzamento dei thrust è controllato dalla paleogeografia e, inoltre, si nota come i margini dei thrust corrispondano alle strutture trasversali note in letteratura, che segmentano il sistema compressivo. Questa interpretazione si basa anche sull'osservazione che molti importanti terremoti strumentali e storici profondi (Figura 6) sembrano concentrarsi proprio in prossimità di tali strutture.

Il lavoro citato è pubblicato su Pure and Applied Geophysics: Paola Vannoli, Pierfrancesco Burrato, Gianluca Valensise, The seismotectonic of the Po Plain (northern Italy): tectonic diversity in a blind faulting domain, 2014. https://doi.org/10.1007/s00024-014-0873-0

Bibliografia

Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M.M., and Boschi E., (2008). *The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: Summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology*. Tectonophysics, 453, pp. 20-43. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.04.014

Boschi E., and Guidoboni E., (2003). *I terremoti a Bologna e nel suo territorio dal XII al XX secolo*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Storia Geofisica Ambiente, Editrice Compositori.

Burrato P., Ciucci F., and Valensise G., (2003). *An inventory of river anomalies in the Po Plain, Northern Italy: evidence for active blind thrust faulting*. Ann. Geophys., 5, pp. 865-882. https://doi.org/10.4401/ag-3459.

Caloi P., De Panfilis M., Di Filippo D., Marcelli L., and Spadea M.C., (1956). *Terremoti della Val Padana del 15-16 maggio 1951*. Ann. Geofis., 9, 1, pp. 63-105. https://doi.org/10.4401/ag-5594

Cuffaro M., Riguzzi F., Scrocca D., Antonioli F., Carminati E., Livani M., and Doglioni C., (2010). *On the geodynamics of the northern Adriatic plate*. Rend. Fis. Acc. Lincei 21, 1, S253-S279. https://doi.org/10.1007/s12210-010-0098-9

Diss Working Group, (2010). *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. https://diss.ingv.it, © INGV 2010 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. https://doi.org/10.6092/ingv.it-diss3.1.1

Mariotti G., and Doglioni C., (2000). *The dip of the foreland monocline in the Alps and Apennines*. Earth Planet. Sc. Lett., 181, pp. 191-202. https://doi.org/10.1016/S0012-821X(00)00192-8

Meloni F., Molin D., and Rossi A., (1988). *Indagine macrosismica sui terremoti "profondi" del 27 ottobre 1914 e 25 ottobre 1972*. Atti del 7° Convegno Annuale del GNGTS, Roma 1, pp. 221-236.

Pondrelli S., Salimbeni S., Ekstrom G., Morelli A., Gasperini P., and Vannucci G., (2006). *The Italian CMT dataset from 1977 to the present*. Phys. Earth Planet. In., 159(3-4), pp. 286-303. https://doi.org/10.1016/j.pepi.2006.07.008

Rogledi S., (2010). *Assetto strutturale delle unità alpine nella pianura tra il lago d'Iseo e il Garda*. Workshop "Rischio sismico nella Pianura Padana", Brescia 24 novembre 2010.

Pubblicato il 21 novembre 2014

I terremoti nella STORIA: il terremoto del 16 dicembre 1857 in Basilicata, uno dei più distruttivi della storia sismica italiana

Graziano Ferrari

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna

Questo terremoto riveste una particolare importanza almeno per tre aspetti: è uno dei più distruttivi della storia sismica italiana degli ultimi 25 secoli, è il primo al mondo documentato fotograficamente, è il primo per cui la scienza dei terremoti è definita come sismologia.



Figura 1 Veduta da ovest della parte alta di Polla distrutta dal terremoto del 16 dicembre 1857 (Da Mallet [1862]).

Il 16 dicembre 1857, alle ore 20:15, 20:18 e 21:15 (del tempo medio di Greenwich – GMT) tre violentissime scosse di terremoto devastarono una vasta area della Basilicata e una parte della Campania: in particolare furono colpite l'attuale provincia di Potenza e la zona centro-orientale di quella di Salerno. I danni più gravi furono risentiti nelle zone montuose, in particolare nell'alta Val d'Agri. Più di 180 località, comprese in un'area di oltre 20.000 km^2, subirono danni gravissimi al patrimonio edilizio, tanto da rendere inagibili gran parte delle case. Entro quest'area, più di 30 centri subirono danni disastrosi: interi paesi e villaggi sparsi su una superficie di 3.150 km^2 furono rasi al suolo.

Negli attuali comuni di Montemurro, Grumento Nova (allora Saponara), Viggiano, Tito, Marsico Nuovo e Polla si ebbe il maggior numero di vittime. Complessivamente vi furono 3.313 case crollate e 2.786 divennero pericolanti e inabitabili. Spaventoso fu anche il bilancio dei morti: secondo le stime ufficiali 10.939, di cui 9.732 nelle province lucane (il 2.6% della popolazione) e 1.207 nella provincia di Salerno. Stime non ufficiali, ma più realistiche, portano a 19.000 il numero totale di vittime [Guidoboni e Ferrari 2004; Guidoboni et al. 2007].

Le prime notizie sul terremoto sono contenute in una lettera al Giornale del Regno delle Due Sicilie del direttore dell'Osservatorio Astronomico di Napoli Leopoldo del Re, pubblicata il 17 dicembre, nella quale si diceva che alle 20:15 e due minuti dopo si erano sentite due forti scosse di terremoto (Figura 2).

Il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI11), che riprende lo studio da Guidoboni et al. [2007], classifica questo terremoto con un'intensità epicentrale pari al grado XI della Scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) e una stima della magnitudo momento equivalente Mw=7,03.

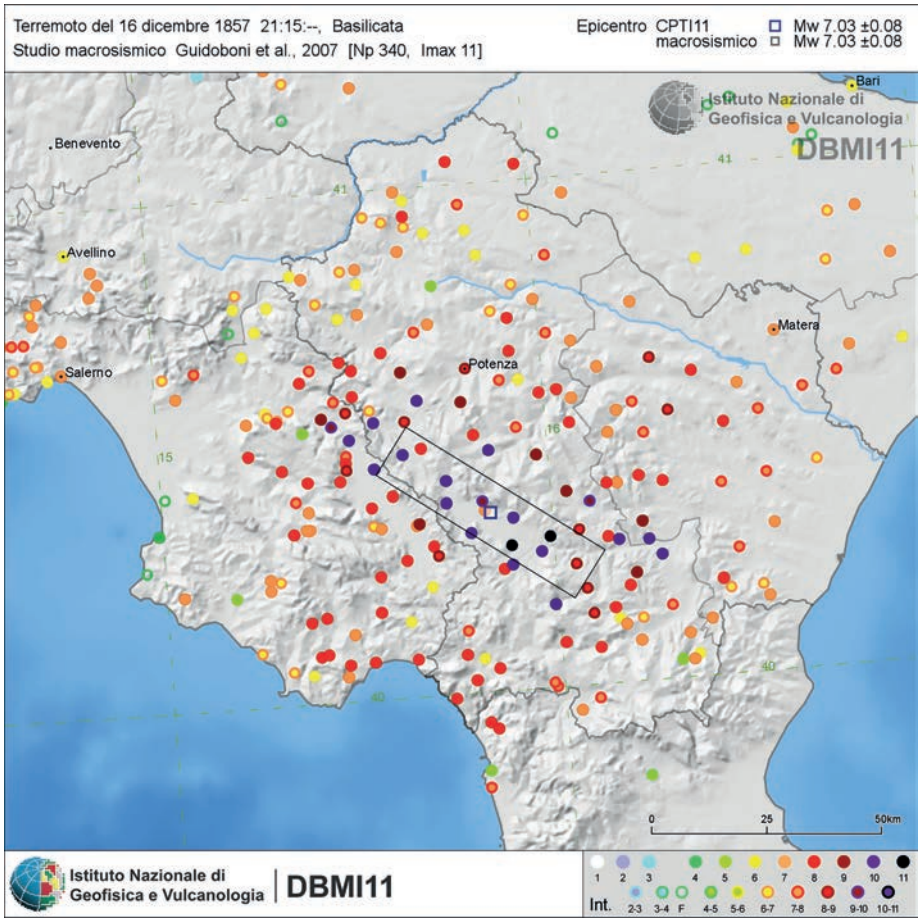
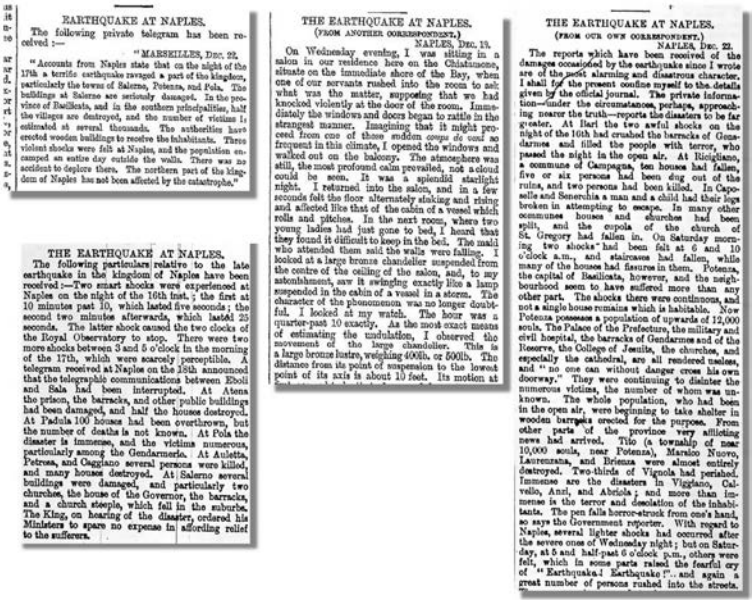


Figura 2 Distribuzione degli effetti del terremoto del 16 dicembre 1857 secondo Guidoboni et al. [2007] (Fonte: DBMI11), in gradi della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS). Il quadrato individua l'epicentro calcolato a partire da questa distribuzione geografica di effetti e il grande rettangolo rappresenta la proiezione in superficie della sorgente sismica approssimata a una forma rettangolare. L'intensità massima di XI grado MCS corrisponde alle località di Montemurro e Grumento Nova.

Già il 20 dicembre, quattro giorni dopo il terremoto, Alphonse Bernoud, un fotografo francese operante a Napoli, partì per documentare con la fotografia lo stato dei paesi colpiti. Egli tornò per ben altre 3 volte nei luoghi del disastro, realizzando il primo reportage di un terremoto della storia. Al termine di ogni sua spedizione, egli metteva in vendita le fotografie fatte, destinando parte del ricavato alle popolazioni colpite dal terremoto. Molte sue fotografie sono animate con persone, fra cui spesso era presente anche il suo assistente con lo zaino in spalla recante la scritta "Alphonse Bernoud photographe". Un espediente anti-pirateria del tempo per evitare riproduzioni e duplicati non autorizzati.

Le prime notizie del terremoto

I primi resoconti del terremoto rimbalzarono su tutti i più importanti quotidiani e periodici illustrati europei, in particolare di Londra e Parigi. Il 24 dicembre e nei giorni successivi, il Times diede testimonianze via via sempre più dettagliate del terremoto e il 9 e 30 gennaio 1858 il periodico parigino L'Illustration, e successivamente L'Illustrated London News, pubblicò le prime immagini delle devastazioni nelle aree del Vallo di Diano e dell'Alta Val d'Agri.



EARTHQUAKE AT NAPLES.

The following private telegram has been received :—

"MARSEILLES, Dec. 22.

"Accounts from Naples state that on the night of the 17th a terrific earthquake ravaged a part of the kingdom, particularly the towns of Salerno, Potenza, and Foia. The buildings at Salerno are seriously damaged. In the province of Basilicata, and in the southern principalities, half the villages are destroyed, and the number of victims is estimated at several thousands. The authorities have erected wooden buildings to receive the inhabitants. Three violent shocks were felt at Naples, and the population encamped an entire day outside the walls. There was no accident to deplore there. The northern part of the kingdom of Naples has not been affected by the catastrophe."

THE EARTHQUAKE AT NAPLES.

The following particulars relative to the late earthquake in the kingdom of Naples have been received :—Two smart shocks were experienced at Naples on the night of the 16th inst.; the first at 10 minutes past 10, which lasted five seconds; the second two minutes afterwards, which lasted 25 seconds. The latter shock caused the two clocks of the Royal Observatory to stop. There were two more shocks between 3 and 5 o'clock in the morning of the 17th, which were scarcely perceptible. A telegram received at Naples on the 18th announced that the telegraphic communications between Eboli and Sala had been interrupted. At Atena the prison, the barracks, and other public buildings had been damaged, and half the houses destroyed. At Padula 100 houses had been overthrown, but the number of deaths is not known. At Polla the disaster is immense, and the victims numerous, particularly among the Gendarmerie. At Auletta, Petrosa, and Caggiano several persons were killed, and many houses destroyed. At Salerno several buildings were damaged, and particularly two churches, the house of the Governor, the barracks, and a church steeple, which fell in the suburbs. The King, on hearing of the disaster, ordered his Ministers to spare no expense in affording relief to the sufferers.

THE EARTHQUAKE AT NAPLES.

(FROM ANOTHER CORRESPONDENT.)

NAPLES, Dec. 19.

On Wednesday evening, I was sitting in a salon in our residence here on the Chiatamone, situate on the immediate shore of the Bay, when one of our servants rushed into the room to ask what was the matter, supposing that we had knocked violently at the door of the room. Immediately the windows and doors began to rattle in the strangest manner. Imagining that it might proceed from one of those sudden *coups de vent* so frequent in this climate, I opened the windows and walked out on the balcony. The atmosphere was still, the most profound calm prevailed, not a cloud could be seen. It was a splendid starlight night. I returned into the salon, and in a few seconds felt the floor alternately sinking and rising and affected like that of the cabin of a vessel which rolls and pitches. In the next room, where two young ladies had just gone to bed, I heard that they found it difficult to keep in the bed. The maid who attended them said the walls were falling. I looked at a large bronze chandelier suspended from the centre of the ceiling of the salon, and, to my astonishment, saw it swinging exactly like a lamp suspended in the cabin of a vessel in a storm. The character of the phenomenon was no longer doubtful. I looked at my watch. The hour was a quarter-past 10 exactly. As the most exact means of estimating the undulation, I observed the movement of the large chandelier. This is a large bronze lustre, weighing 400lb. or 500lb. The distance from its point of suspension to the lowest point of its axis is about 10 feet. Its motion at

THE EARTHQUAKE AT NAPLES.

(FROM OUR OWN CORRESPONDENT.)

NAPLES, Dec. 22.

The reports which have been received of the damages occasioned by the earthquake since I wrote are of the most alarming and disastrous character. I shall for the present confine myself to the details given by the official journal. The private information—under the circumstances, perhaps, approaching nearer the truth—reports the disasters to be far greater. At Ilari the two awful shocks on the night of the 16th had crushed the barracks of Gendarmes and filled the people with terror, who passed the night in the open air. At Ricigliano, a commune of Campagna, ten houses had fallen, five or six persons had been dug out of the ruins, and two persons had been killed. In Capo-selle and Senerchia a man and a child had their legs broken in attempting to escape. In many other communes houses and churches had been split, and the cupola of the church of St. Gregory had fallen in. On Saturday morning two shocks had been felt at 6 and 10 o'clock a.m., and staircases had fallen, while many of the houses had fissures in them. Potenza, the capital of Basilicata, however, and the neighbourhood seem to have suffered more than any other part. The shocks there were continuous, and not a single house remains which is habitable. Now Potenza possesses a population of upwards of 12,000 souls. The Palace of the Prefecture, the military and civil hospital, the barracks of Gendarmes and of the Reserve, the College of Jesuits, the churches, and especially the cathedral, are all rendered useless, and "no one can without danger cross his own doorway." They were continuing to disinter the numerous victims, the number of whom was unknown. The whole population, who had been in the open air, were beginning to take shelter in wooden barracks erected for the purpose. From other parts of the province very afflicting news had arrived. Tito (a township of near 10,000 souls, near Potenza), Marsico Nuovo, Laurenzana, and Brienza were almost entirely destroyed. Two-thirds of Vignola had perished. Immense are the disasters in Viggiano, Calvello, Anzi, and Abriola; and more than immense is the terror and desolation of the inhabitants. The pen falls horror-struck from one's hand, so says the Government reporter. With regard to Naples, several lighter shocks had occurred after the severe ones of Wednesday night; but on Saturday, at 5 and half-past 6 o'clock p.m., others were felt, which in some parts raised the fearful cry of "Earthquake! Earthquake!"—and again a great number of persons rushed into the streets.

Figura 3 Ritagli di articoli comparsi sul Times, di Londra, recanti le prime notizie del terremoto nel Regno delle Due Sicilie.

Gli articoli dell'Illustration sono firmati da Marc Monnier, un giornalista-scrittore che operava a Napoli, mentre le incisioni sono tratte dalle fotografie stereoscopiche dei primi reportage fotografici di Bernoud, condotti fin dai primi giorni successivi al terremoto.
Le prime località documentate dalle immagini si riferiscono ai luoghi più vicini a Napoli, nel Vallo di Diano: Pertosa e Polla (L'Illustration del 9 gennaio 1858). Successivamente Bernoud riuscì a raggiungere anche Auletta, Atena Lucana, Tito, Vignola (Pignola), Paterno, Marsico Nuovo, Potenza (L'Illustration del 30 gennaio 1858).



68 L'ILLUSTRATION, JOURNAL UNIVERSEL.

ce jour, mais il doit en rester encore plus de deux cents : les premiers rapports officiels parlaient de deux mille victimes. Une jeune fille, déterrée au bout de neuf jours, était encore vivante, et elle vit toujours. Quand aux gens du pays on demande qui l'a sauvée, ils répondent que chaque jour une femme vêtue de noir descendait à travers les pans de murs croulés jusque vers la vierge ensevelie, et lui apportait du pain. Une trouvaille moins poétique déconcerte un peu ceux qui voudraient croire à ce miracle. Vingt et un jours après l'écroulement, on a sauvé sous les ruines d'une étable un certain nombre de porcs un peu maigris, mais pleins de vie, et qui ne devaient probablement pas leur salut à la femme vêtue de noir.

Puisque vous voulez bien, Monsieur, encourager M. Alphonse Bernoud à vous envoyer les épreuves photographiques qu'il tire, lui premier, et lui seul dans les provinces dévastées, permettez-moi d'ajouter à son envoi quelques notes explicatives qui intéresseront peut-être vos lecteurs. Une catastrophe si terrible vaut la peine d'être racontée en deux ou trois fois, et mérite la place que vous consentirez peut-être à lui donner. Les dessins que

Tremblement de terre dans le royaume de Naples. Eglise de San Angelo de la Carità, à Potenza.

voyons deux vues : l'une représente ce qui reste de l'église de S. Angelo alla Carità ; l'autre, la porta Salsa qui n'existe plus, avec les maisons écroulées ou démolies. Vous verrez là ce que le tremblement de terre a fait dans les pays qu'il a relativement épargnés.

A neuf kilomètres au sud de Potenza, s'élève une petite ville de cinq à six mille âmes, qui fut autrefois le chef-lieu de la province : c'est Vignola, dont on admirait autrefois les monuments. Ils sont maintenant détruits ou chancelants : l'église de l'Annunziata est renversée d'un côté, comme vous le voyez dans l'épreuve photographique. De Vignola, je vous envoie aussi l'église de Sainte-Marie-Majeure, dont le toit s'est effondré et le clocher fendu. Un troisième dessin vous donne l'aspect de la ville vue du levant : ce ne sont que des ruines.

A gauche de Vignano, dans les montagnes, au bout d'une petite ligne qui, sur la carte, indique un sentier pénible, perchait, le 15 décembre, une commune de cinq mille ames qu'on appelait Tito. Le 17 décembre, ce n'était plus qu'un amas de décombres couvrant plus de trois cents morts. En

moins, centuplé le nombre des victimes. Ajoutez que, sur ces hauteurs sans routes, les secours sont très-difficiles à arriver : il n'y a pas de véhicule qui puisse escalader ces pentes roides et rocailleuses, et voilà comment il se fait qu'aujourd'hui, vingt-sept jours après cette épouvantable révolution de la nature, ceux qui ont échappé n'ont pas encore déterré tous leurs morts.

Grâce à Dieu, il n'y a qu'une ville importante qui ait été sérieusement atteinte par le fléau : c'est Potenza, chef-lieu de la province de Basilicata. Encore le mal n'y est-il pas si grand qu'on l'avait cru, et qu'on le croit encore à Naples. Les édifices sont tous ébattus ou ébranlés, et un grand nombre de maison détruites. Mais la ville est encore habitée, déjà réparée en partie, et les places publiques sont couvertes de tentes et

Porta Salsa, à Potenza.

Eglise de l'Annonziata, à Vignola.

Figura 4 Particolare di una pagina dell'Illustration del 30 gennaio 1858, con il resoconto di Monnier sulle aree devastate dal terremoto del 16 dicembre 1857. Il testo è corredato da incisioni tratte dalle fotografie stereoscopiche di Bernoud (in basso), In particolare: crolli nella chiesa delle Santissima Trinità di Potenza (a sinistra; Coll. Royal Society n. 309) e l'abside e del campanile della chiesa di Santa Maria Maggiore di Pignola (a destra; Coll. Royal Society n. 84). Nella precaria conoscenza di luoghi, così distanti da Napoli e impervi da raggiungere, i nomi delle due chiese sono imprecisi o confusi nelle didascalie delle incisioni.



Figura 5 Incisioni tratte dalle fotografie stereoscopiche di Bernoud.

La risposta istituzionale al terremoto

A differenza della tradizione storiografica di parte borbonica e di quella liberale, che ricorda "cospicui" interventi governativi, in realtà l'intervento del governo borbonico fu irrilevante, quando non dannoso. Solo a fine marzo l'Intendenza di Basilicata comunicò i danni subiti e, a riprova della tragica situazione della popolazione a oltre tre mesi dal terremoto, fu il problema del seppellimento dei morti, che nei carteggi ufficiali erano ormai sbrigativamente chiamati "carogne". Questi erano ancora per la maggior parte in decomposizione sotto le macerie di paesi nella morsa di un rigido e piovoso inverno lucano.
Era opinione di alcuni osservatori stranieri che quello dei Borboni fosse un regno in rovina. Le ragioni di quel lunghissimo processo di degrado erano indicate nei cattivi governi, nell'ingiustizia eretta a sistema, nella prevaricazione continua, nell'oscurantismo culturale predominante. La critica era spesso attacco politico diretto, elemento che innescava durissime reazioni e spingeva a difese d'ufficio.
La polemica sul ruolo degli interventi governativi fu lunga a spegnersi. Teofilo Roller, un inglese protestante, che assieme al suo connazionale Major si occupò della distribuzione di aiuti privati stranieri, accusò esplicitamente il governo borbonico di incapacità, ritardi, omissione di soccorso, avarizia [Guidoboni e Ferrari, 2004]. Di Montemurro, definito da Robert Mallet "città dei morti" [Mallet, 1862], uno dei paesi più colpiti, Roller diede una tragica descrizione, avendo fatto una ricognizione personale nell'area del terremoto [Roller, 1861]: *"Arrivati molto tempo dopo il disastro [ossia nel febbraio 1858], i soldati hanno costruito due o tre capanne [le fonti ufficiali ne dichiaravano 426], è vero, ma le autorità le hanno impiegate a loro proprio uso. In quanto alla popolazione, non ne sono affatto preoccupati, sotto lo stesso pretesto che essa era tutta sotto terra, e che 5.000 abitanti erano morti sui 7.500 che contava la città. Questa cifra è spaventosa, ma dolorosamente vera, ciò che è vero altresì, è il modo con cui le autorità e la truppa han reso gli ultimi doveri ai morti, e soccorso i vivi. Di quelle 5.000 vittime, 2.000 appena sono state tratte da quel cimitero."*

Effetti in alcuni dei paesi più colpiti

Riassumiamo qui gli effetti di alcuni dei paesi più colpiti dell'alta Val d'Agri e del Vallo di Diano. Per tutte le 340 località studiate per questo terremoto si rimanda al Catalogo dei Forti Terremoti in Italia.

Alta Val d'Agri

Montemurro (XI MCS)
Completa distruzione dell'abitato, ridotto a un cumulo di macerie: quasi tutti gli edifici crollarono completamente. Gli ultimi resti di costruzioni furono abbattuti da due forti repliche avvenute il 26 dicembre 1857. Rimasero in piedi solo un palazzo e il convento dei Frati Minori, comunque gravemente lesionati, e tre campanili crollati parzialmente. Divamparono numerosi incendi.

Grumento Nova (al tempo Saponara; XI MCS)
Completa distruzione del paese. Gravemente danneggiato anche il castello Ciliberti. Solo il lato est del paese presentava ancora qualche muro non crollato, mentre alla base della collina su cui sorgeva il centro abitato una casa a due piani rimase in piedi. Venne sottolineato che in questa località il numero di vittime fu elevato perché molti in fuga dopo la prima scossa rimasero intrappolati nelle strade troppo strette.

Viggiano (X MCS)
Gravissimi danni: molte case crollarono completamente e altre parzialmente in particolare nella parte alta dell'abitato. I danni furono aggravati da un incendio che seguì le due scosse principali.

Brienza (X MCS)
Crollo di gran parte delle case. Parzialmente crollato anche il castello.

Marsico Nuovo (X MCS)
Danni gravissimi all'abitato: due terzi delle case risultarono crollate o crollanti.

Paterno (X MCS)
Gravissimi danni.

Marsicovetere (IX-X MCS)
Quasi completa distruzione dell'abitato.

Sarconi (X MCS)
Quasi completa distruzione dell'abitato. Anche la chiesa crollò completamente a eccezione della parte bassa del campanile.

Spinoso (X MCS)
Quasi completa distruzione dell'abitato. Le poche case rimaste in piedi risultarono gravemente lesionate o crollanti.

Tramutola (X MCS)
Crollo di circa 500 case e il danneggiamento delle altre. 200 case furono giudicate pericolanti. Crollarono l'abside e l'organo della Chiesa Madre i cui muri furono tutti gravemente fessurati e crollò parzialmente quella del Rosario. Il Palazzo Marotta di costruzione più robusta fu invece solo lievemente danneggiato.

Vallo di Diano

Atena Lucana (X MCS)

Il terremoto causò danni gravissimi: crollarono 932 case e 812 risultarono pericolanti. Le strade si riempirono di macerie, cavi e tralicci crollati. Pochi danni subirono invece le casette estive a un solo piano che sorgevano ad una altitudine più elevata rispetto al centro abitato ed anche la cattedrale, grazie alla sua buona costruzione. Vi furono 55 morti e 29 feriti su una popolazione di 4.403 abitanti.

Polla (X MCS)
Il terremoto causò la quasi completa distruzione dell'abitato: crollarono 1.300 case e 335 risultarono pericolanti, causando oltre 2.000 vittime su circa 7.000 abitanti. Crollarono la chiesa della Trinità e il castello, fu gravemente danneggiato il palazzo Palmieri; gli effetti furono meno distruttivi nella parte in piano del paese. Una fonte registra 250 feriti su 6.644 abitanti.

Pertosa (IX-X MCS)
Il terremoto causò la quasi completa distruzione del paese che fu uno dei più danneggiati del Vallo di Diano (Figura 6). Ci furono numerose vittime: una fonte ne registra 150. Vi furono inoltre 40 feriti su una popolazione di 1.179 abitanti. Furono particolarmente colpite le zone est e ovest dell'abitato: 176 case crollarono (in quasi tutte si verificò il crollo dei tetti e dei pavimenti più pesanti) e 133 risultarono pericolanti. Dopo il crollo, la parte in legno delle case s'incendiò e causò altri morti. Alcune case di recente costruzione, basse e fatte con pietre squadrate e con stipiti in lunghi blocchi resistettero bene e subirono solo numerose crepe. Nell'area sud del paese i danni furono più contenuti.

Padula (IX MCS)
Il terremoto causò danni gravissimi particolarmente nella ripida zona ovest e sud del paese: 171 case crollarono e 50 divennero pericolanti. Vi furono 32 morti e 10 feriti su 8.125 abitanti. Gravi danni strutturali anche alla famosa Certosa di San Lorenzo.

Le fonti storiche documentano una sequenza sismica di circa un centinaio di scosse, comprese quelle distruttive. Le repliche si susseguirono frequenti nel corso del mese di dicembre. In particolare quelle avvenute il 26 dicembre alle ore 2.00 e alle ore 5.00 causarono il crollo delle ultime costruzioni ancora in piedi a Montemurro. Nei mesi successivi le scosse continuarono fino al maggio 1859; tra queste, quella avvenuta l'8 marzo 1858 alle ore 0.15 GMT causò danni a Potenza e a Tramutola.



Figura 6 Fotografie monoscopiche di Claude Grillet, commissionate da Mallet, per documentare le distruzioni causate dal terremoto del 1857 a Pertosa (a sinistra; Coll. Royal Society n. 64) e Montemurro (a destra; Coll. Royal Society n. 262).

Effetti sull'ambiente

In circa 30 località, fra Atella, Polla e Latronico, il terremoto causò vasti movimenti franosi, smottamenti e abbassamenti del terreno, con l'apertura di numerose spaccature, di cui una di 270 m a Polla. Molte sorgenti aumentarono la loro portata. A Marsico Nuovo, Moliterno, Salandra ed Episcopia vi furono esalazioni gassose e solforose. Nei pressi di Viggiano di verificò una frana sismo-indotta, documentata da un disegno di Mallet allegato al suo Rapporto [Mallet, 1862]. La mappa sottostante, tratta da Valensise e Guidoboni [2000], riporta la distribuzione geografica degli effetti sull'ambiente causati da questo terremoto.

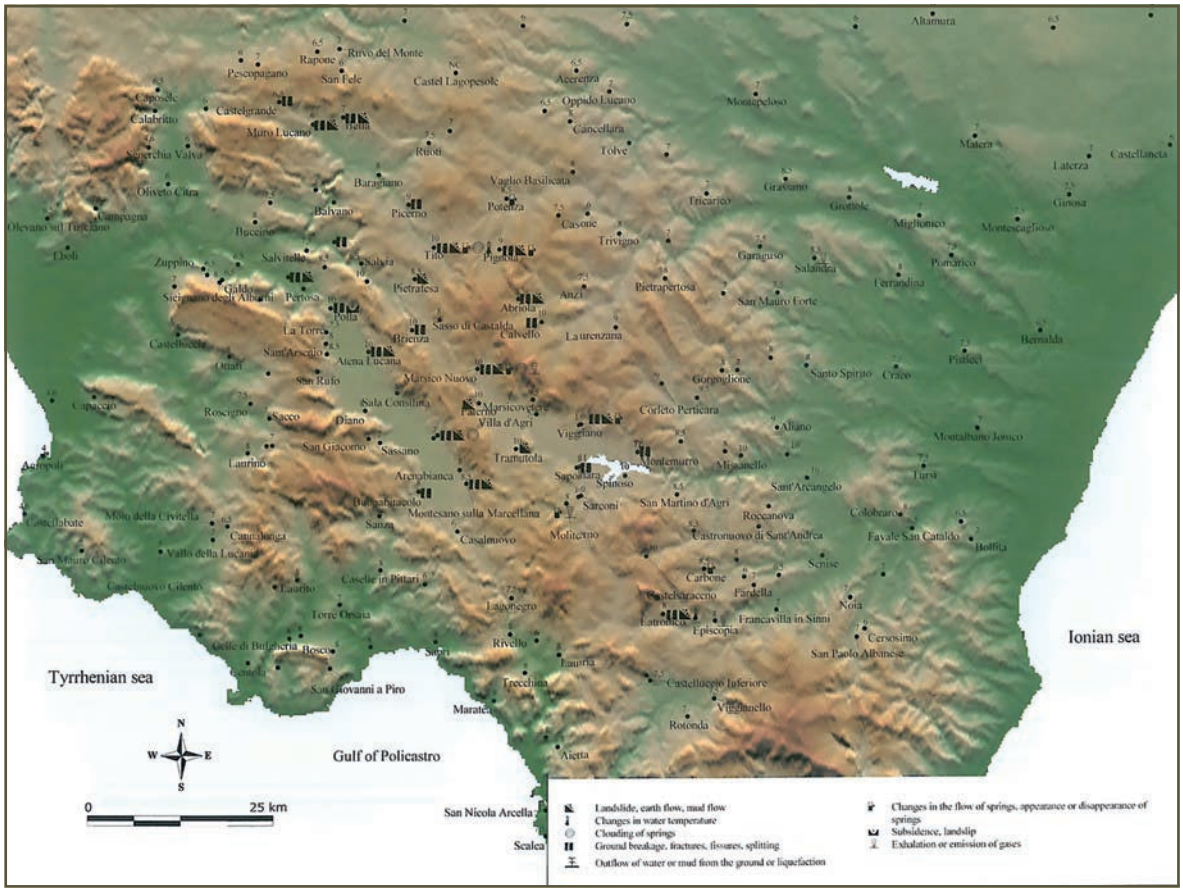


Figura 7 La distribuzione geografica degli effetti sull'ambiente causati da questo terremoto (Fonte: Valensise e Guidoboni [2000]).

La missione scientifica di Robert Mallet

Il 9 febbraio 1846 Robert Mallet, giovane ingegnere irlandese, presentò alla Royal Irish Academy un rapporto sulla dinamica dei terremoti (On the dynamics of earthquakes).
Lo studio, del tutto originale, mancava tuttavia di una verifica sperimentale: il laboratorio naturale rappresentato da un terremoto di grande intensità, molto raro nelle isole britanniche.
Le prime notizie del terremoto riportate dal Times il 24 dicembre 1857 fornirono l'occasione che Mallet attendeva da tempo. Richiese immediatamente alla Royal Society di Londra un finanziamento di 150 sterline per una missione tesa a decifrare la "terribile iscrizione" che il terremoto aveva così drammaticamente scritto nel territorio dell'alta Val d'Agri e del Vallo di Diano. Ottenuto il sostegno economico della Royal Society, il 27 gennaio 1858 Mallet partì per

Napoli, dove arrivò il 5 febbraio. Qui attese fino al 10 febbraio l'autorizzazione del Governo borbonico a compiere la sua missione. Nella "noiosa attesa", Mallet vide le fotografie di Bernoud ed ebbe contatti con un altro fotografo, Claude Grillet, con il quale valutò costi e tempi di una ricognizione fotografica successiva alla sua missione. Con diverse lettere ufficiali indirizzate alle varie autorità locali di tutte le province che intendeva attraversare, contenenti l'ordine di fornirgli tutta l'assistenza possibile, Mallet raggiunse rapidamente l'area "d'azione dell'incredibile violenza del terremoto". Percorse circa 500 km in 15 giorni, lungo strade militari e sentieri impervi, con passaggi resi particolarmente difficili e pericolosi dalle avverse condizioni atmosferiche; raccolse informazioni da persone che parlavano numerosi dialetti; provò le emozioni più diverse di fronte alla drammaticità di paesi distrutti e di popolazioni.

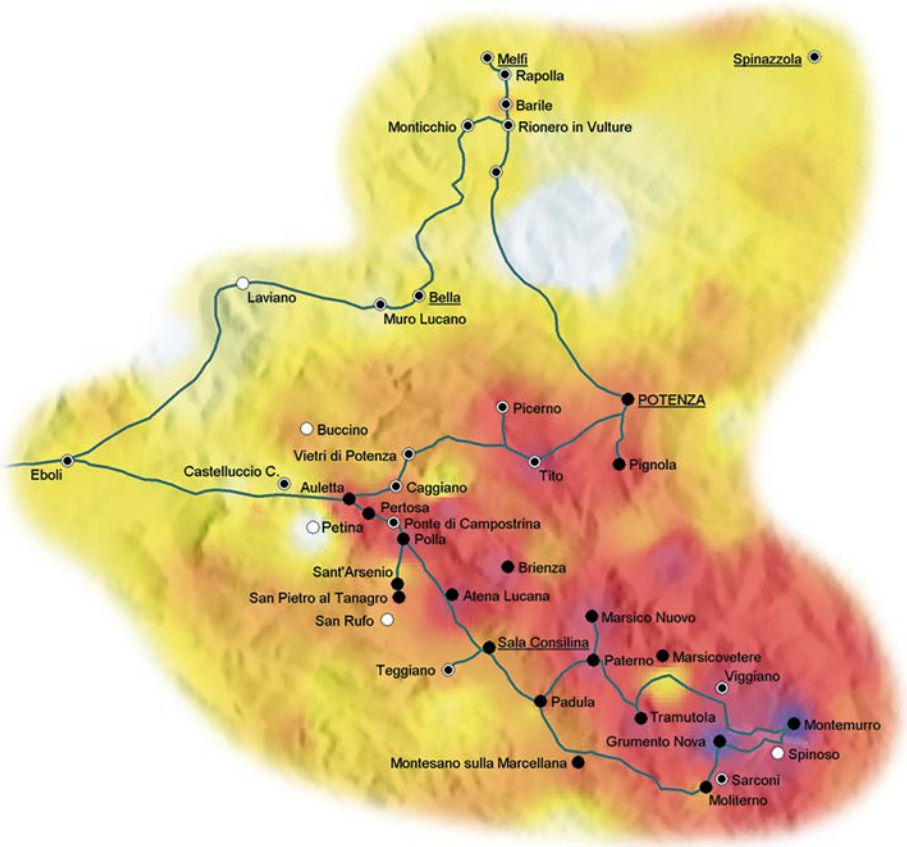


Figura 8 Tracciato della missione scientifica di Mallet, circa 500 km, sovrapposto alla mappa tematica degli effetti del terremoto. La gradazione di colori dal giallo al viola rappresenta valori crescenti di effetti sismici di danno (dal VI all'XI grado MCS).

L'ingegnere irlandese rientrò a Napoli il 28 febbraio e vi trovò un telegramma da Londra che lo autorizzava ad affidare un reportage fotografico a Grillet a corredo della sua missione. Il 7 marzo Mallet partì per fare rientro in Inghilterra e nei primi giorni di aprile 1858 inviò al presidente della Royal Society una breve relazione della sua missione scientifica, tenendo i dettagli scientifici e le conclusioni per una trattazione più sistematica.
Finiva così l'esperienza sul campo, la tanto attesa occasione di osservare nel "laboratorio terremoto" e iniziava l'avventura della pubblicazione della relazione estesa della sua spedizione scientifica, con cui Mallet definì sismologia la scienza dei terremoti [Mallet, 1862].

Bibliografia

Ferrari G., (a cura di), (2004-2009). *Viaggio nelle aree del terremoto del 16 dicembre 1857*. Bologna, 6 voll. e 3DVDROM multimediali.

Ferrari G., e McConnell A., (2005). *Robert Mallet and the "Great Neapolitan Earthquake" of 16th December 1857*. Notes and Records of the Royal Society of London, January 2005, pp. 45-64.

Guidoboni E., e Ferrari G., (2004). *Il grande terremoto del 16 dicembre 1857 e gli effetti di altri eventi sismici nel Vallo di Diano e nella Val d'Agri*. in Ferrari G. 2004-2009, vol. 1, pp. 111 – 186.

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., e Valensise G., (2007). *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*. INGV-SGA. https://storing.ingv.it/cfti/cfti4/

Mallet R., (1862). *Great Neapolitan earthquake of 1857*. The first principles of observational seismology, Londra. Traduzione italiana in Ferrari G. 2004-2009, vol. 2.

Roller T., (1861). *Il governo borbonico innanzi alla coscienza dell'umanità ossia i provvedimenti del governo nella tremenda catastrofe del Terremoto del 16 dicembre 1857*. Napoli.

Valensise e Guidoboni, (2000). *Earthquake effects in the environment: from historical description to thematic cartography*. Annali di Geofisica, vol. 43, pp. 747-763.

Pubblicato il 16 dicembre 2016

Il catastrofico terremoto dell'11 gennaio 1693 nella Sicilia orientale, l'evento più forte della storia sismica italiana

Filippo Bernardini[1], Carlo Meletti[2]

[1]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna
[2]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Pisa

Questo terremoto rappresenta una vera e propria "pietra miliare" nella storia sismica del nostro paese. Nell'attuale versione del *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani* (CPTI11) risulta essere **il più forte evento sismico (Mw=7.4) avvenuto negli ultimi 1000 anni sull'intero territorio nazionale**. Inoltre, per vastità dell'area colpita, numero di vittime e gravità degli effetti provocati, **è tra i terremoti maggiormente distruttivi della storia sismica italiana**; infine, riveste un'importanza enorme per la **colossale e problematica opera di ricostruzione** e di riedificazione che **modificò radicalmente l'intera rete insediativa di una ampia parte della Sicilia**.



Figura 1 I ruderi dell'antico borgo medievale di Occhiolà. Il borgo in rovina circa tre mesi dopo il terremoto dell'11 gennaio 1693 fu abbandonato dai superstiti e al suo posto fu fondata, 2 km più a sud, l'odierna Grammichele (Fonte: Azzaro et al. [2008]).

Il terremoto colpì un territorio vastissimo in due riprese, con due violentissime scosse avvenute a distanza di due giorni. Il **primo forte evento** si verificò il **9 gennaio 1693 attorno alle ore 21:00 GMT** (il tempo medio di Greenwich, orario riportato per convenzione nei cataloghi sismici), le 4:30 secondo l'uso orario "all'italiana" in vigore all'epoca. Nonostante questa prima scossa sia avvenuta a meno di 48 ore dal secondo, ben più grave terremoto, il quadro complessivo dei suoi effetti macrosismici risulta comunque ben documentato. Secondo lo studio di Guidoboni et al. [2007], ripreso dal catalogo CPTI11, la scossa raggiunse un'intensità epicentrale valutabile tra i gradi 8 e 9 della Scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS). **I danni furono gravissimi in centri come Augusta, Avola (l'attuale Avola Vecchia), Noto (l'attuale Noto Antica), Floridia e Melilli, dove crollarono molti edifici**. Gravi danni e crolli interessarono anche Catania e Lentini. A **Catania**, già seriamente danneggiata dalla distruttiva eruzione dell'Etna del 1669, molti palazzi e

abitazioni, nonché chiese e monumenti, subirono lesioni diffuse, alcune case private crollarono provocando la morte di 16 persone. A **Siracusa** molti edifici furono lesionati, alcuni rimasero pericolanti, ma nel complesso i danni furono meno gravi rispetto a Catania. **La scossa fu avvertita fortemente, ma senza danni, a Messina e a Malta, e sensibilmente fino a Palermo.**
Il **secondo terremoto** - preceduto circa 4 ore prima da un'altra forte scossa che però non aggravò sensibilmente i danni della prima - avvenne il **giorno 11 gennaio 1693 alle ore 13:30 GMT** (circa le 21 secondo l'orario "all'italiana" in vigore all'epoca) ed **ebbe effetti veramente catastrofici (Figura 2)**. L'enorme gravità di tali effetti fu dovuta anche al fatto che questi andarono in parte a sovrapporsi a quelli della scossa del 9 gennaio. È anche vero, però, che l'area colpita fu molto più vasta rispetto a quella interessata dal primo terremoto, tanto che molte località che erano state solo leggermente danneggiate, o non danneggiate affatto il 9 gennaio, questa volta subirono danni importanti o vere e proprie distruzioni. Basti pensare che **solo l'area dei danni più gravi risultò estesa su un vasto territorio di oltre 14.000 kmq, che venne completamente devastato. Tutta la Sicilia orientale fu gravemente colpita**. Crolli e danni gravi si ebbero fino a Messina e alla costa tirrenica (Patti e Naso), verso nord, e fino a Malta verso sud. Danni diffusi e rilevanti furono riscontrati a Reggio Calabria, Agrigento e addirittura a Palermo, situata a più di 150 km dall'area epicentrale. Danni più leggeri si ebbero fino alle Isole Eolie e in alcuni centri della Calabria centro-meridionale.

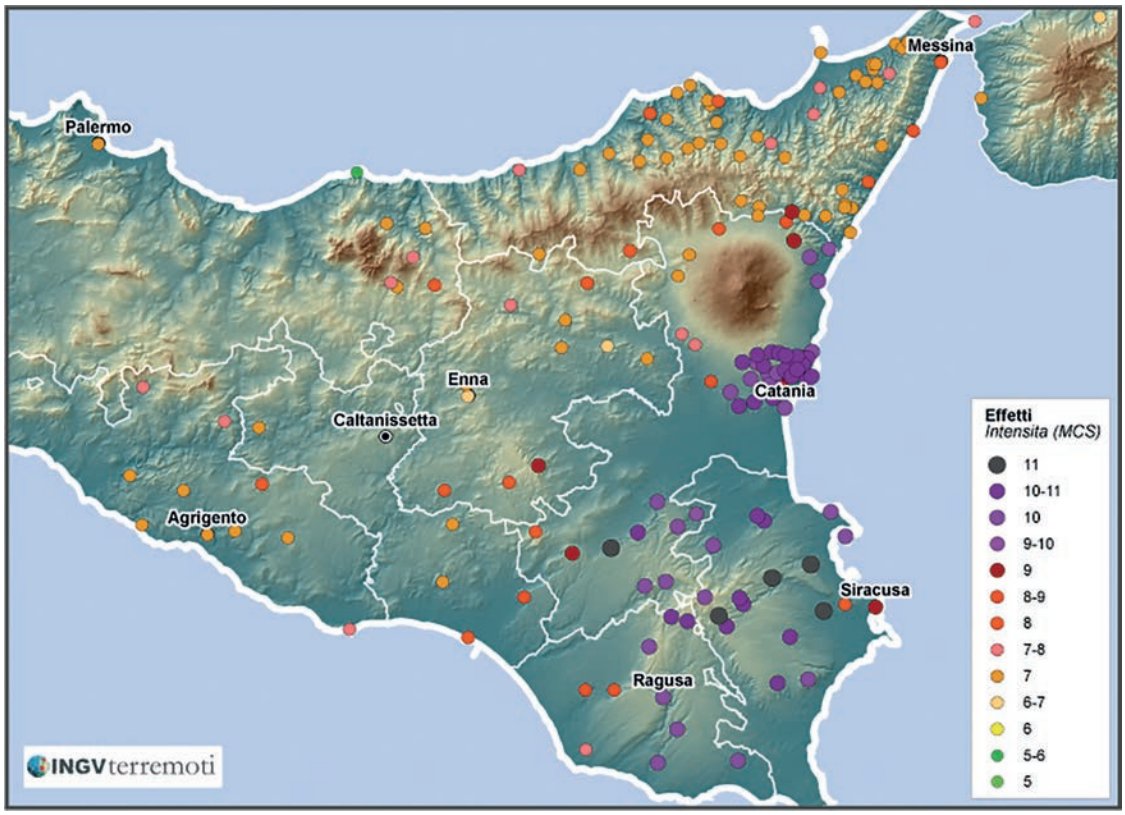


Figura 2 Distribuzione degli effetti del terremoto dell'11 gennaio 1693 secondo Guidoboni et al. [2007] (Fonte: DBMI11).

La vastità dell'area danneggiata, al di là degli effetti cumulati delle due scosse più forti, suggerisce che quello dell'11 gennaio sia stato un evento di magnitudo veramente elevata.
Il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI11), che riprende lo studio di Guidoboni et al. [2007], classifica questo terremoto con **un'intensità epicentrale pari al grado 11 MCS e una magnitudo momento equivalente** (calcolata sulla base della distribuzione degli effetti

macrosismici) **Mw pari a 7.4**, tra le più alte dell'intera area mediterranea.
Nella estrema parte occidentale della Sicilia (Trapani, Mazara del Vallo, Marsala) la scossa dell'11 gennaio fu avvertita molto fortemente, ma non sono ricordati danni. Sembra accertato, inoltre, che fu avvertita sensibilmente fino alla Calabria settentrionale e sulla costa tunisina, dunque in un'area vastissima.
Le distruzioni più gravi si ebbero nella zona sud-orientale della Sicilia e interessarono i territori corrispondenti alle attuali province di Catania, Siracusa e Ragusa. Furono gravemente colpiti tutti i centri di grande importanza economica e culturale dell'area. Catania, Acireale e i piccoli centri del versante sud-orientale dell'Etna furono quasi interamente distrutti. Tutti i centri della Val di Noto furono praticamente rasi al suolo: tra questi, solo per citarne alcuni, Sortino, Ragusa, Modica, Melilli, Lentini, Avola, Augusta, Noto. Molti crolli e danni estesi si ebbero a Siracusa, Caltagirone, Vittoria, Comiso. **Complessivamente si verificarono effetti uguali o maggiori al grado 9 MCS in una settantina di località**.

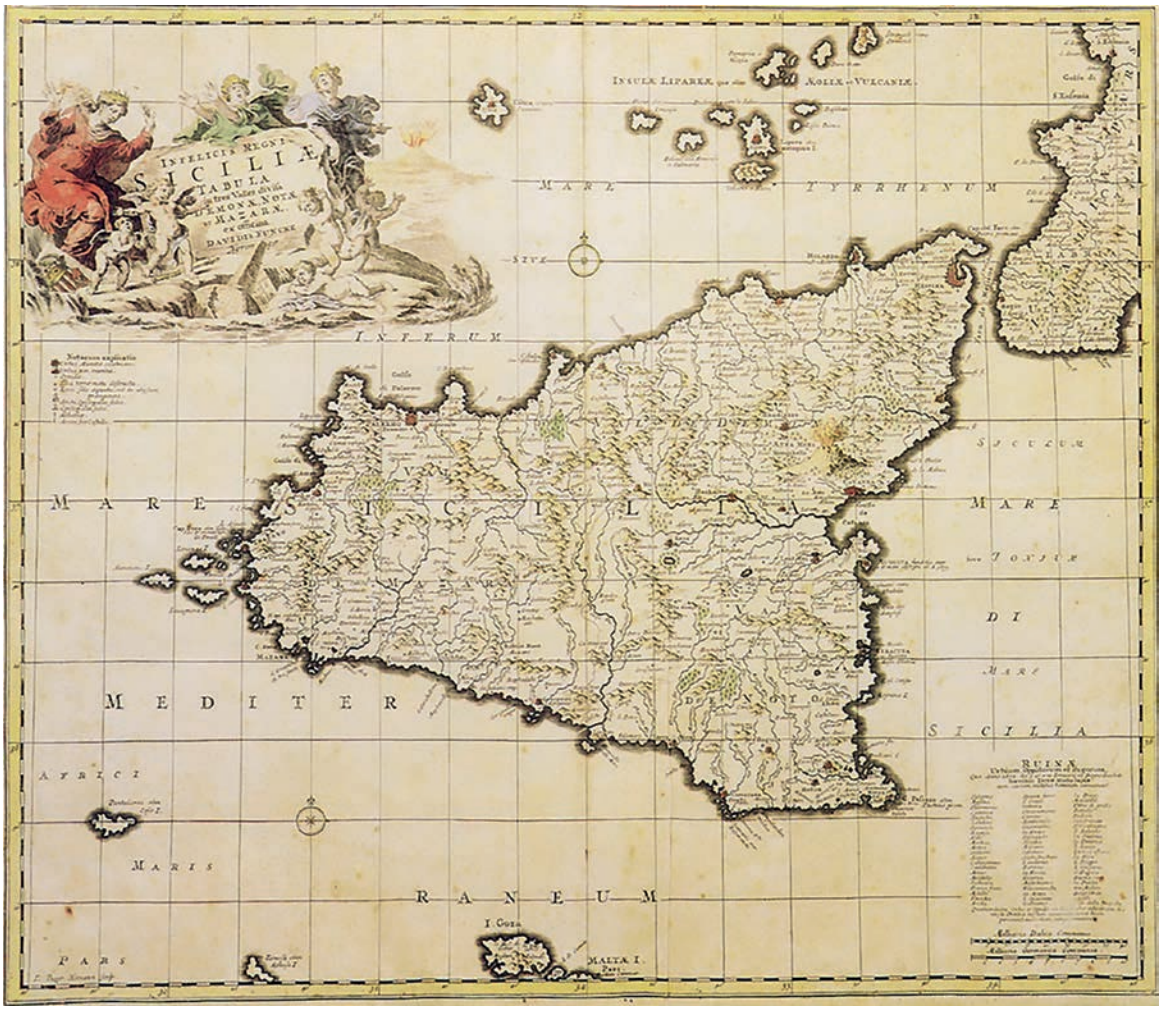


Figura 3 Stampa dell'epoca raffigurante la mappa della Sicilia con i luoghi colpiti dal terremoto del 1693. Questa può essere a buon diritto considerata una "antenata" delle moderne mappe macrosismiche [Azzaro et al., 2008].

Il terremoto, soprattutto la grande scossa dell'11 gennaio, ebbe un **forte impatto anche sull'ambiente naturale**, producendo effetti d'intensità e dimensioni notevoli su un'area molto vasta. In molte località della Sicilia orientale, sparse tra Messina e l'area iblea, si aprirono fenditure nel terreno dalle quali, in molti casi, furono segnalate fuoriuscite di gas o di acque

calde e altri materiali fluidi. Nel territorio ibleo, dove si ebbero i massimi effetti, ci furono frane e smottamenti, che in alcuni casi sbarrarono e ostruirono corsi d'acqua portando alla formazione di nuovi invasi. **Tutto il periodo sismico fu**, inoltre, **accompagnato da un'intensa attività dell'Etna**.

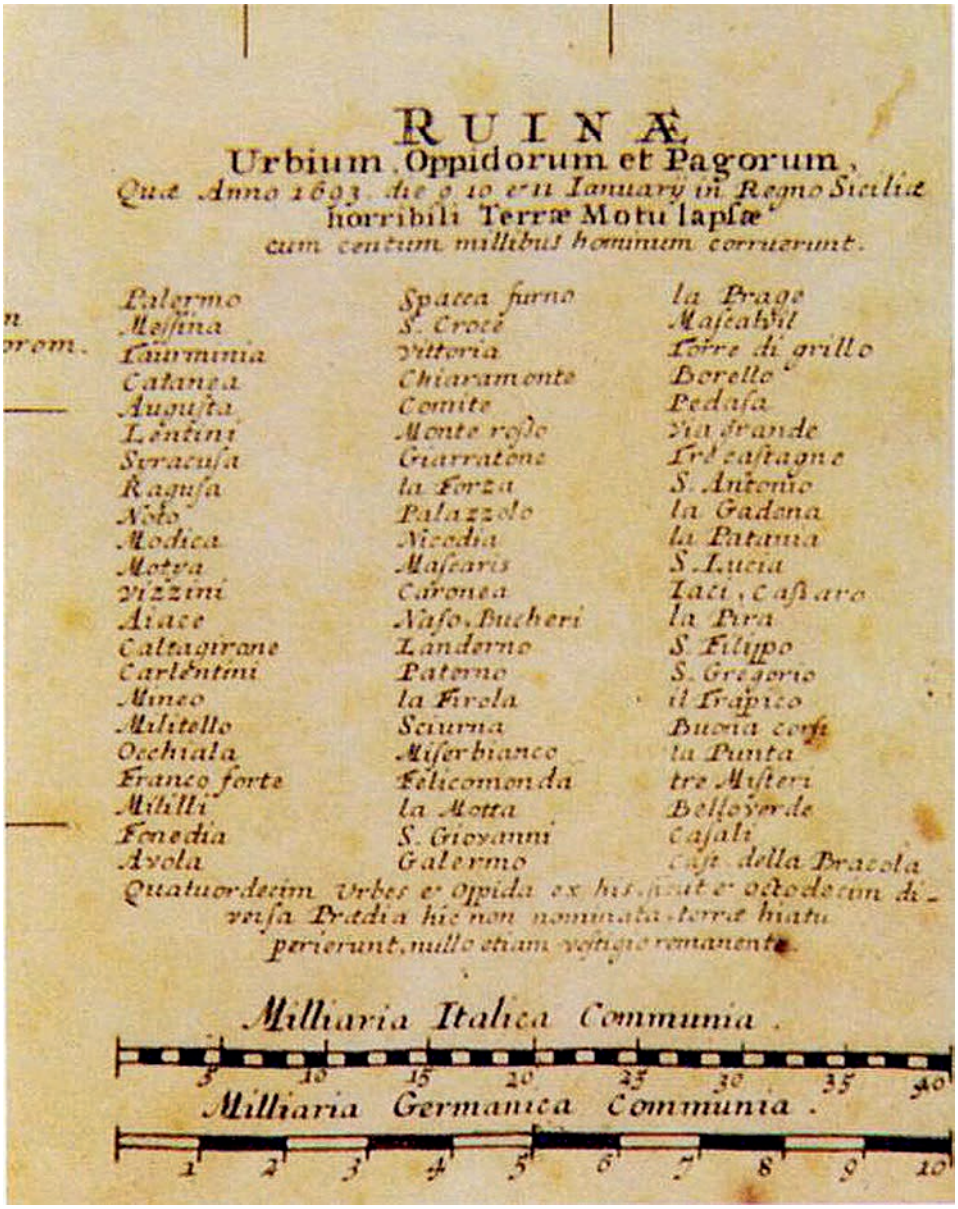


Figura 4 La legenda della mappa riportata nella Figura 3. Sono elencate le località "ruinate" (danneggiate) dal terremoto del 1693 [Azzaro et al., 2008].

Gli effetti più rilevanti, però, furono quelli di maremoto. **La scossa dell'11 gennaio generò ondate di *tsunami* che investirono varie località della costa orientale della Sicilia, da Messina a Siracusa**. Gli effetti più gravi si ebbero ad **Augusta**, dove l'onda di maremoto raggiunse l'altezza di 30 cubiti (circa 15 metri) danneggiando le galere dei Cavalieri di Malta ancorate in rada e inondando la parte della città prospiciente il porto. A **Catania** il mare dapprima si ritirò dalla spiaggia per alcune decine di metri, trascinando alcune barche ancorate presso la riva, poi a più riprese si riversò violentemente sulla costa con onde alte oltre 2 metri che entrarono in città fino alla piazza San Filippo (l'attuale piazza Mazzini).



Figura 5 Questa epigrafe, collocata a Catania in via Antonino di Sangiuliano, ricorda i terremoti del 9 e 11 gennaio 1693 e i loro devastanti effetti, ammonendo i catanesi a fuggire nelle campagne in caso di scosse, ma anche a vigilare sulla città esposta a saccheggi e ruberie [Azzaro et al., 2008].

Il periodo sismico fu molto lungo e intenso: **le repliche, anche di forte intensità, furono avvertite per oltre 3 anni**, almeno fino all'aprile 1696, e misero a durissima prova la capacità di resistenza dei sopravvissuti.

L'impatto del terremoto sul contesto antropico fu devastante: la popolazione in molte località fu ridotta drasticamente. Lo studio di Guidoboni et al. [2007] mette in evidenza come le fonti storiche dell'epoca risultino a volte contradditorie sul numero complessivo delle vittime, ma è certo che queste furono decine di migliaia. **La statistica ufficiale, redatta nel maggio 1693, riporta circa 54.000 morti**, di cui quasi 12.000 nella sola Catania (il 63% dei circa 19.000 abitanti di allora); 5.045 (51%) a Ragusa; 1.840 (30%) ad Augusta; 3.000 (25%) a Noto; 3.500 (23%) a Siracusa, e 3.400 (19%) a Modica.

Le condizioni dei sopravvissuti nei mesi successivi al disastro furono di estrema precarietà, tra continue scosse, scarsità di viveri e di beni di prima necessità, mancanza di medici necessari per curare i tantissimi feriti, il costante rischio di epidemie. Catania fu praticamente abbandonata e rimase in mano agli sciacalli e ai ladri.



Figura 6 Stampa tedesca dell'epoca che illustra i danni del terremoto [Azzaro et al., 2008].

All'epoca il Regno di Sicilia era sotto il dominio della monarchia spagnola, come del resto tutta l'Italia meridionale (il Regno di Napoli) e la Sardegna (Regno di Sardegna). L'isola era suddivisa in tre "valli", province amministrative introdotte già in epoca normanna sulla base degli antichi confini arabi: il Val Demone, il Val di Noto e il Val di Mazara. Il settore orientale della Sicilia, quello maggiormente colpito dal terremoto del 1693, si divideva tra Val Demone, a nord, e Val di Noto, a sud, e comprendeva (con l'eccezione di Palermo) i più importanti centri economici e culturali dell'isola, come Catania, Siracusa, Noto e Caltagirone. **Gli effetti del disastro sismico sul tessuto sociale ed economico della vasta area colpita furono pesantissimi.** L'impatto fu aggravato dal fatto che la situazione economica del Regno era già duramente provata da una grave recessione che aveva colpito gran parte dell'Italia a più riprese nel corso del XVII secolo. Tuttavia, **se il terremoto nei primi tempi dell'emergenza ebbe l'effetto di deprimere ulteriormente la già precaria economia siciliana, nel medio termine, invece, fece da volàno per la ripresa economica**: questa infatti risultò incentivata dalla vasta attività edilizia che investì tutta l'area colpita, attraverso progetti imponenti di ricostruzione e spesso di rifondazione di intere città e paesi, che richiamando molta manodopera riattivarono l'intero ciclo produttivo. Da questo punto di vista, **il terremoto del 1693 rappresenta nella storia italiana uno dei pochi casi in cui un disastro sismico si è rivelato occasione di sviluppo e di rilancio economico per le zone colpite.**



Figura 7 I ruderi del terremoto del 1693 a Noto Antica. [Azzaro et al., 2008].

Il complesso processo di ricostruzione impegnò il governo centrale e le amministrazioni locali per molti anni, con interventi che vennero attuati secondo modalità diverse da caso a caso.
I cambiamenti di sito furono complessivamente pochi, perché richiedevano l'assenso della popolazione e il parere favorevole del viceré: fra gli **insediamenti ricostruiti in un luogo completamente diverso** da quello antico ci sono **Noto, Avola, Occhiolà** (l'attuale **Grammichele**), **Giarratana, Sortino, Biscari (Acate), Monterosso, Fenicia Moncata (Belpasso)**.

Ragusa, invece, fu praticamente sdoppiata, con la creazione di un nuovo abitato. Oltre ai veri e propri cambiamenti di sito ci furono casi di spostamenti a valle: alcuni insediamenti abbandonarono picchi o declivi poco sicuri e furono ricostruiti sui pianori o nelle vallate sottostanti, come **Scicli, Buscemi** e **Ferla**. Tutti gli altri centri vennero invece ricostruiti dove già sorgevano precedentemente. In alcuni casi, come **a Catania, venne tracciata una nuova pianta urbana**, tenendo conto di ciò che rimaneva delle antiche strutture della città, ma anche delle nuove esigenze. In altri casi, come a **Lentini**, dopo un iniziale tentativo di cambiamento di sito, ci si limitò a rettificare leggermente il tracciato di alcune strade. Tuttavia, **la maggior parte delle città, come Siracusa e Caltagirone, furono ricostruite seguendo la pianta originaria**. La ricostruzione post-1693, in conclusione, fu caratterizzata da una straordinaria capacità progettuale, da cui nacque l'attuale volto barocco di numerose città e paesi della Sicilia sud-orientale.

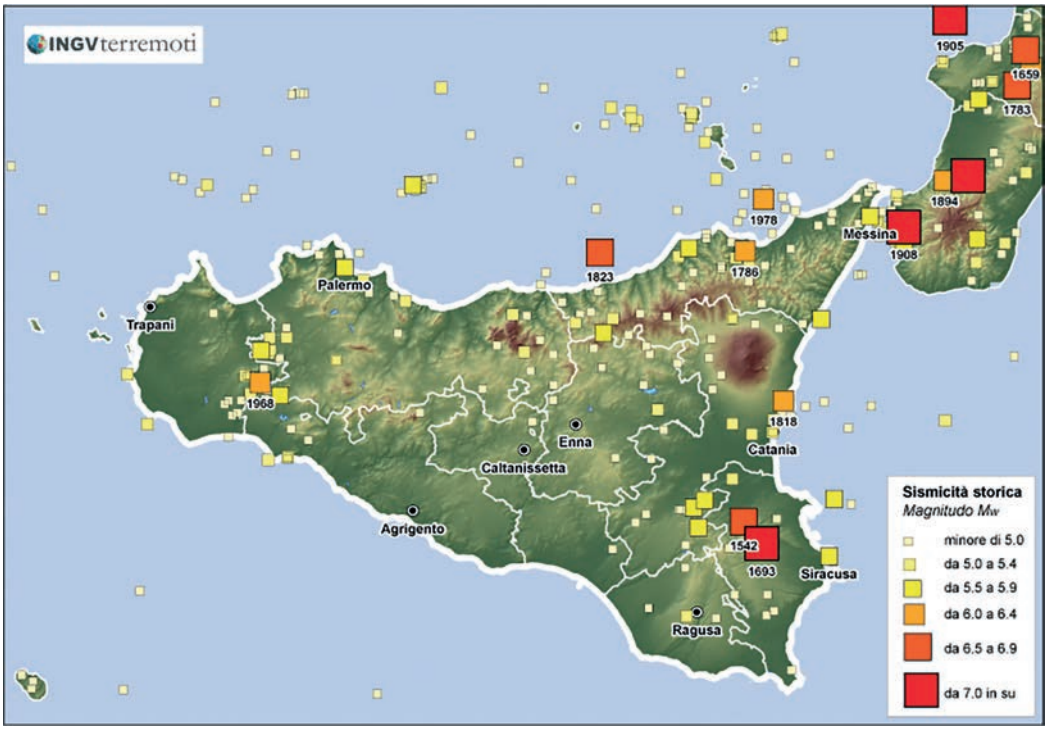


Figura 8 I terremoti degli ultimi mille anni in Sicilia (Fonte: https://emidius.mi.ingv.it/CPTI11/).

Questo terremoto, insieme agli altri forti eventi che hanno interessato storicamente questa area, contribuisce a fare della Sicilia Orientale una delle zone a maggiore pericolosità sismica di tutta l'Italia. La pericolosità sismica, infatti, considera la storia sismica di una zona, insieme alle informazioni disponibili dagli studi sulle sorgenti sismogenetiche (faglie che possono generare terremoti), e combina questi dati in una stima probabilistica dei livelli di scuotimento attesi in un prossimo futuro. **Oltre al terremoto del 1693, per questa zona il catalogo CPTI11 riporta 3 eventi di magnitudo maggiore di 6** (4 febbraio 1169, con Mw 6.4; 10 dicembre 1542, Mw 6.8; 20 febbraio 1818, Mw 6.2) e 13 terremoti di magnitudo compresa tra 5 e 6.
L'ultimo forte terremoto che ha interessato la Sicilia sud-orientale è quello del 13 dicembre 1990, chiamato "terremoto di Santa Lucia" o "di Carlentini" (nome del santo venerato in quel giorno e della località maggiormente colpita); il suo epicentro fu in mare a pochi chilometri dalla costa e la magnitudo Mw fu pari a 5.6. Nelle località investite dall'evento produsse effetti fino al grado 7-8 della scala MCS.

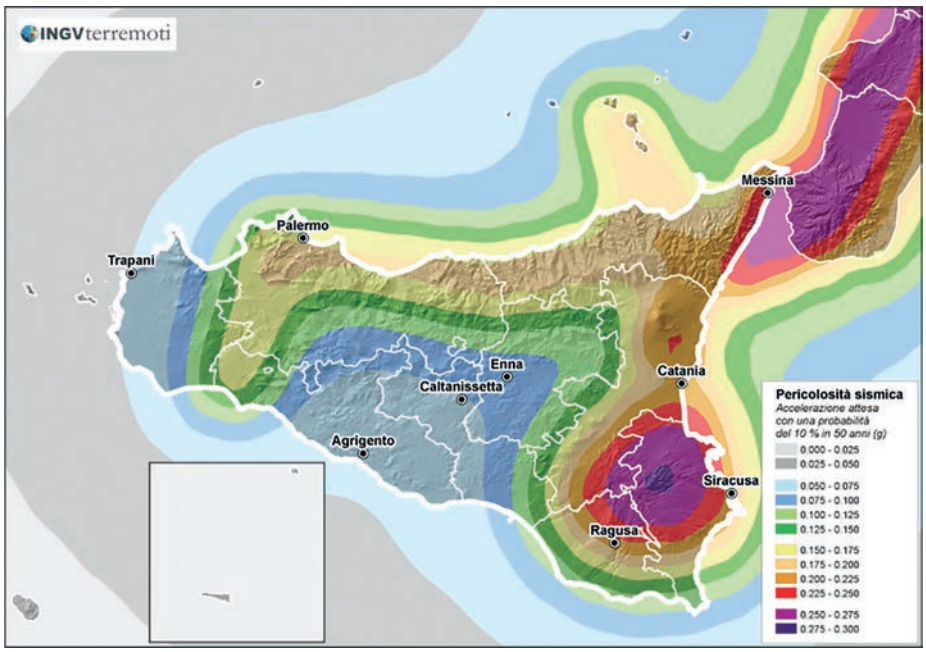


Figura 9 La pericolosità sismica in Sicilia (Fonte: zonesismiche.mi.ingv.it).

La pericolosità sismica generalmente si esprime come il valore dello scuotimento del suolo atteso con una probabilità del 10% in 50 anni (significa che in 10 casi su 100 si potranno avere valori di scuotimento anche maggiori, in 90 casi su 100 si registreranno valori minori di quelli indicati). I diversi colori della Mappa di Pericolosità Sismica descrivono tali valori di scuotimento, misurati come frazione dell'accelerazione di gravità g (9,8 m/s2). **In Sicilia orientale la pericolosità sismica presenta valori molto alti, superiori a 0.27 g, che in Italia si hanno solo qui e in provincia di Cosenza.**

Alcune delle foto e immagini di questo articolo sono state riprese dal DVD dal titolo "Terremoti e città fantasma in Sicilia, un viaggio attraverso i luoghi della memoria" prodotto nel 2008 dall'INGV. Questo DVD propone un viaggio virtuale nella storia sismica siciliana, attraverso le tracce degli effetti distruttivi di alcuni terremoti del passato: non solo il 1693, ma anche i terremoti del 1783 nell'area calabro-messinese, e quello del 1968 nel Belice.

Bibliografia

Azzaro R., Cascone M., Camassi R., Amantia A., Gugliemino F., Mangiagli S., and Peruzza L., (2008). *Terremoti e città fantasma in Sicilia. Un viaggio attraverso i luoghi della memoria*. EDURISK-INGV Catania. DVD-Rom realizzato da Prospero, Trieste; durata: 83 minuti.

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., and Valensise G., (2007). *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*. INGV-SGA. https://storing.ingv.it/cfti/cfti4

Guidoboni E., Ciuccarelli C., e Mariotti D., (2001). *Catania alla fine del Seicento e i terremoti del gennaio 1693*. In: Boschi E., e Guidoboni E., "Catania: terremoti e lave dal mondo antico alla fine del Novecento", INGV-SGA, pp.105-166, Bologna.

Pubblicato il 30 gennaio 2015

La grande scossa del 31 maggio 1646 nel Gargano, un caso di terremoto recentemente rivalutato

Filippo Bernardini[1], Viviana Castelli[1], Romano Camassi[1], Carlo Meletti[2]

[1]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna
[2]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Pisa

Si potrebbe pensare che i cataloghi sismici storici – quegli "oggetti" in cui vengono raccolte e catalogate, sotto forma di stringhe (*records*) di parametri, le informazioni relative ai terremoti avvenuti nel passato - siano un qualcosa di "congelato" e impacchettato; un oggetto che, una volta compilato e pubblicato, è da considerarsi chiuso, acquisito, in qualche modo definitivo. Le cose però non stanno proprio così. Un **catalogo storico** è lo specchio che riflette le migliori conoscenze acquisite e aggiornate fino a un dato momento; in altre parole, riflette il cosiddetto *stato dell'arte* al momento della sua compilazione.

La **ricerca storica**, però, è qualcosa di dinamico, in continuo divenire, e per questo **i cataloghi storici necessitano di periodici aggiornamenti che permettano di includere gli eventuali nuovi studi nel frattempo prodotti**. E non solo: dati e parametri contenuti nei cataloghi sismici possono essere soggetti a modifiche e integrazioni a seguito di successive e più approfondite ricerche. Lo stesso catalogo sismico si arricchisce man mano che la ricerca storica scopre terremoti del tutto sconosciuti alla *tradizione sismologica* (le compilazioni descrittive di terremoti del passato prodotte in Italia fin dal XV secolo e che formano il *background* dei cataloghi recenti) oppure accerta la maggiore significatività di eventi che erano stati in qualche modo "sottovalutati" da studi e cataloghi precedenti.

Neanche i terremoti già studiati e noti da tempo sono del tutto immuni da possibili, successive modifiche e integrazioni. Può capitare infatti che, a seguito di ulteriori ricerche mirate, o perfino in modo del tutto casuale e fortuito nel corso di ricerche di altro tipo, **si scoprano nuove informazioni su un evento già noto** e da tempo presente nel catalogo. E queste nuove informazioni, una volta portate alla luce, possono cambiare - a volte anche in modo radicale – le preesistenti conoscenze del quadro degli effetti di quell'evento, ridimensionandone oppure rivalutandone i parametri che fino a quel momento lo avevano caratterizzato in catalogo.

Esemplare, da questo punto di vista, è il caso del **terremoto toscano del 13 aprile 1558**, ben descritto in un recente articolo al seguente link https://ingvterremoti.com/2015/05/11/i-terremoti-nella-storia-lepicentro-del-terremoto-del-13-aprile-1558-in-toscana-era-nascosto-tra-le-colline-del-chianti/; noto fin dal Settecento ma conosciuto, fino al 2004, come un "piccolo" evento di area senese, solo da una decina di anni è stato rivalutato come un terremoto ben più importante e rilocalizzato tra le colline del Chianti e il Valdarno superiore.

Un **caso analogo**, forse meno clamoroso ma altrettanto rilevante, è rappresentato da **un terremoto distruttivo avvenuto nel Gargano attorno alla metà del XVII secolo**. L'area della **Puglia settentrionale**, e in particolar modo il settore del **Gargano**, sono caratterizzati da una sismicità che si può definire relativamente "moderata", con eventi abbastanza frequenti ma per lo più di energia medio-bassa (Figura 1).

La versione corrente del *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*, CPTI11, complessivamente elenca poco **più di venti terremoti con Mw ≥ 5.0** avvenuti in questo settore della Puglia tra l'anno 1000 e il 2006, più numerosi altri con magnitudo minore (Figura 1).

La gran parte di questi terremoti ha una magnitudo Mw strumentale o equivalente (calcolata sulla base della distribuzione degli effetti macrosismici, per il periodo storico pre-strumentale) inferiore a 6.0. Da un punto di vista sismologico, cioè, si tratta di **eventi di moderata entità**. Fino al 2008 le uniche eccezioni erano rappresentate da due terremoti avvenuti nel corso del XVII secolo, negli anni

1627 e **1646**, entrambi con Mw maggiore di 6.0 (si veda la versione precedente del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani del 2004, CPTI04). Quello del **30 luglio 1627**, i cui effetti furono particolarmente distruttivi nella zona di Lesina e San Severo, è l'evento storicamente più famoso della *Capitanata* (il nome storico di quel settore della Puglia che corrisponde all'attuale provincia di Foggia); a tutt'oggi ne è anche il più forte, con una magnitudo Mw 6.7 e un'intensità epicentrale I_0 10 MCS.

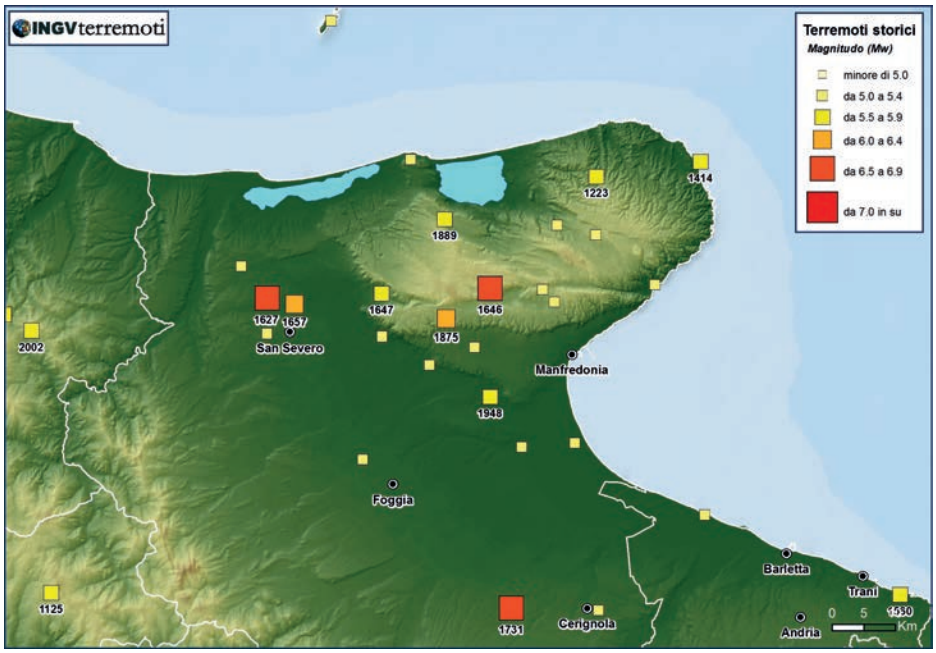
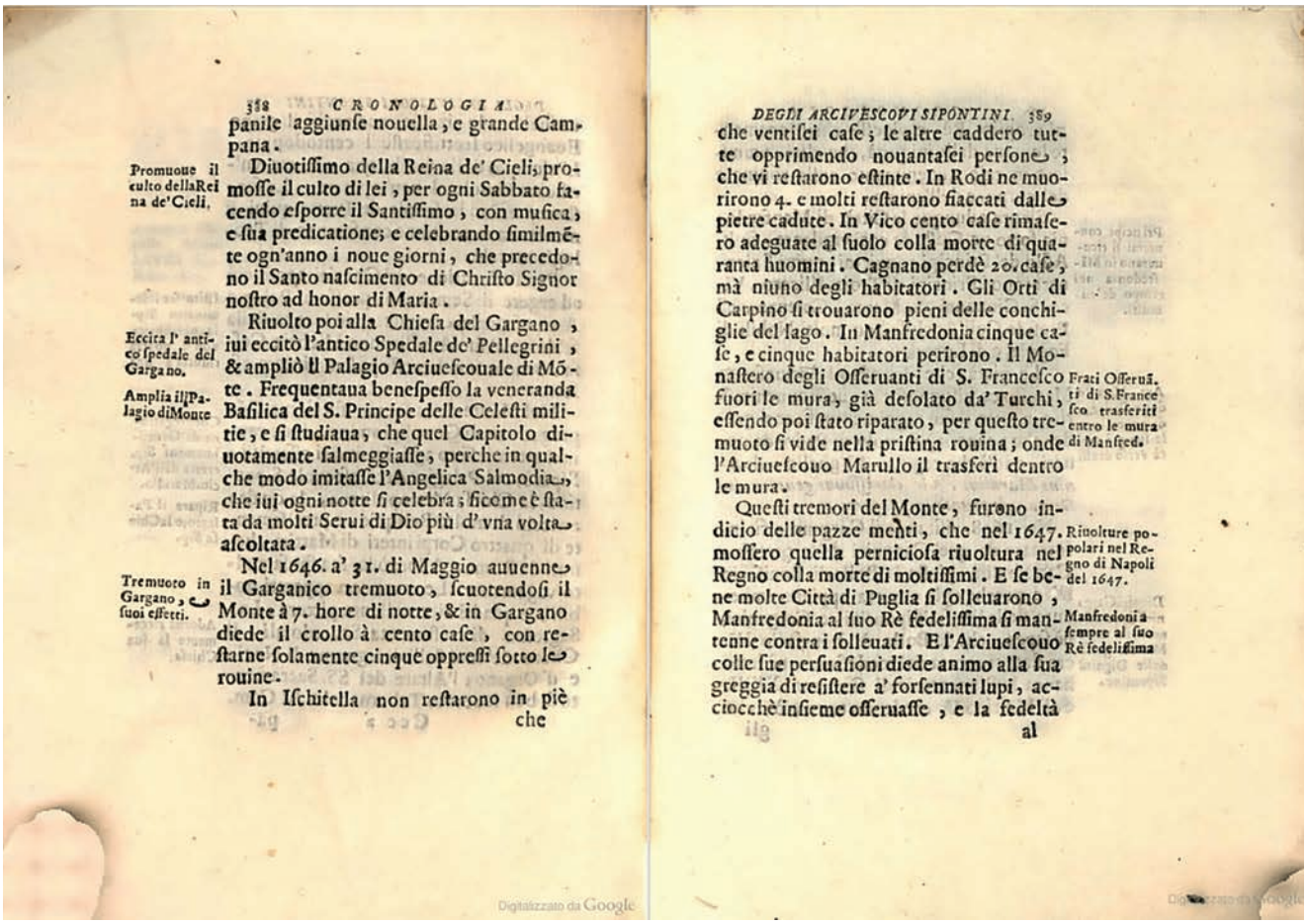


Figura 1 Mappa dei terremoti storici nell'area del Gargano dal'anno 1000 al 2006 (Fonte: CPTI11).



Figura 2 La regione interessata dal terremoto del 1646 (la Capitanata) in una acquaforte pubblicata appena undici anni prima (da Willem e Joan Blaeu, Theatrum Orbis Terrarum sive Atlas Novus, Amsterdam 1635).

Il terremoto del 31 maggio 1646 - la cui l'area epicentrale risultava situata immediatamente a est di quello del 1627, nel cuore del promontorio garganico – era conosciuto come un evento importante ma decisamente più piccolo. La sua esistenza era nota alla tradizione sismologica italiana fin dal Seicento. Agli inizi del Novecento Mario Baratta, nella sua famosa compilazione *I terremoti d'Italia* [Baratta, 1901] sottolineava la natura "garganica" dell'evento - "*ha [...] colpito la intera penisola Garganica e specialmente riuscì rovinoso nella parte orientale*" - e citava, tra le altre fonti, anche un passaggio della "Cronologia de' vescovi et arcivescovi Sipontini" di Pompeo Sarnelli [1680] in cui quel terremoto veniva descritto (Figura 3).



338 CRONOLOGIA

panile aggiunse nouella, e grande Campana.

Promuoue il culto della Reina de' Cieli.

Diuotissimo della Reina de' Cieli, promosse il culto di lei, per ogni Sabbato facendo esporre il Santissimo, con musica, e sua predicatione; e celebrando similmẽte ogn'anno i noue giorni, che precedono il Santo nascimento di Christo Signor nostro ad honor di Maria.

Eccita l' antico spedale del Gargano.

Amplia il Palagio di Monte

Riuolto poi alla Chiesa del Gargano, iui eccitò l'antico Spedale de' Pellegrini, & ampliò il Palagio Arciuescouale di Mõte. Frequentaua benespesso la veneranda Basilica del S. Principe delle Celesti militie, e si studiaua, che quel Capitolo diuotamente salmeggiasse, perche in qualche modo imitasse l'Angelica Salmodia, che iui ogni notte si celebra; sicome è stata da molti Serui di Dio più d'vna volta ascoltata.

Tremuoto in Gargano, e suoi effetti.

Nel 1646. a' 31. di Maggio auuenne il Garganico tremuoto, scuotendosi il Monte à 7. hore di notte, & in Gargano diede il crollo à cento case, con restarne solamente cinque oppressi sotto le rouine.

In Ischitella non restarono in piè che

DEGLI ARCIVESCOVI SIPONTINI. 339

che ventisei case; le altre caddero tutte opprimendo nouantasei persone; che vi restarono estinte. In Rodi ne muorirono 4. e molti restarono fiaccati dalle pietre cadute. In Vico cento case rimasero adeguate al suolo colla morte di quaranta huomini. Cagnano perdè 20. case, mà niuno degli habitatori. Gli Orti di Carpino si trouarono pieni delle conchiglie del lago. In Manfredonia cinque case, e cinque habitatori perirono. Il Monastero degli Osseruanti di S. Francesco fuori le mura, già desolato da' Turchi, essendo poi stato riparato, per questo tremuoto si vide nella pristina rouina; onde l'Arciuescouo Marullo il trasferì dentro le mura.

Frati Osseruãti di S. Francesco trasferiti entro le mura di Manfred.

Questi tremori del Monte, furono indicio delle pazze menti, che nel 1647. mossero quella pernicioſa riuoltura nel Regno colla morte di moltissimi. E se bene molte Città di Puglia si solleuarono, Manfredonia al suo Rè fedelissima si mantenne contra i solleuati. E l'Arciuescouo colle sue persuasioni diede animo alla sua greggia di resistere a' forsennati lupi, acciocchè insieme osseruasse, e la fedeltà al

Riuolture popolari nel Regno di Napoli del 1647.

Manfredonia sempre al suo Rè fedelissima

Digitalizzato da Google

Figura 3 Il terremoto garganico del 31 maggio 1646 descritto da una fonte storica della seconda metà del XVII secolo [Sarnelli, 1680].

Sulla base delle conoscenze e degli studi storici disponibili fino al 2008, gli effetti dell'evento del 31 maggio 1646 erano noti solo in una decina di località, tutte concentrate nell'area del promontorio garganico. Per altre otto località si sapeva che il terremoto era stato avvertito ma le informazioni erano troppo generiche o insufficienti per poter essere convertite in una stima puntuale di intensità macrosismica (si veda il DBMI04, la versione 2004 del Database Macrosismico Italiano utilizzato per la compilazione di CPTI04). In base a quei dati, nel catalogo CPTI04 la scossa era parametrizzata con una stima di magnitudo Mw 6.2, molto simile a quella dell'evento che ha colpito L'Aquila nel 2009. In altre parole, la sua energia era stata stimata circa 6-7 volte inferiore a quella del terremoto del 30 luglio 1627 (a tanto, infatti, corrisponde una differenza di 0.5 in magnitudo momento Mw).

Solo in anni recenti, nel corso di una estesa e sistematica indagine su fonti giornalistiche sei-

settecentesche, sono state trovate nuove e preziose informazioni sul terremoto del 1646 [Camassi et al., 2008]: queste principalmente sono contenute in corrispondenze diplomatiche e avvisi manoscritti, individuati negli Archivi di Stato di Modena e Firenze, e nell'Archivio Segreto Vaticano. Gli archivi degli antichi Stati Italiani sono estremamente importanti per la ricerca storica, in quanto rappresentano il punto di raccolta di una ricca documentazione prodotta da una intensa attività diplomatica che aveva come attori una fitta rete di funzionari, ecclesiastici, ambasciatori e compilatori di avvisi, tutti impegnati in diverso modo a raccogliere e diffondere informazioni, "notizie". È proprio in quel periodo che esplode il fenomeno giornalistico, che vede la nascita - prima della metà del '600 - delle prime gazzette a stampa. Le dinamiche della comunicazione seicentesca vedono intrecciarsi in modo strettissimo funzioni diplomatiche, giornalismo "segreto" (degli avvisi manoscritti, destinati a diventare un prodotto elitario nel corso del tempo), giornalismo "commerciale" delle gazzette a stampa e dei *pamphlets*, diaristica privata (che attinge spesso ai medesimi canali di comunicazione).

La *Capitanata*, come le altre province della Puglia (la *Terra di Bari* e la *Terra d'Otranto*) e tutta l'Italia meridionale, faceva parte del Regno di Napoli, che all'epoca era sotto il dominio della corona spagnola retta dal re Filippo IV (1621-1665), che vi aveva istituito un Vicereame. A Napoli, capitale del Regno, risiedevano numerosi consoli, ambasciatori e altri diplomatici di vari stati italiani ed europei. **Le prime notizie sul terremoto riguardano proprio l'avvertimento della scossa nella capitale partenopea**: secondo numerose testimonianze napoletane coeve il terremoto fu avvertito il 31 maggio alle ore 2.00 GMT ("*verso le sette hore di notte*" secondo l'orario *all'italiana* in vigore all'epoca). A Napoli la scossa fu percepita come lunghissima ("*due Miserere*", "*tre credi*", secondo l'usanza di adoperare le preghiere cristiane come unità di misura temporale). Una fonte coeva parla di tre scosse distinte avvertite nello spazio di un quarto d'ora (Nuova Relatione... [1646], in Figura 4).

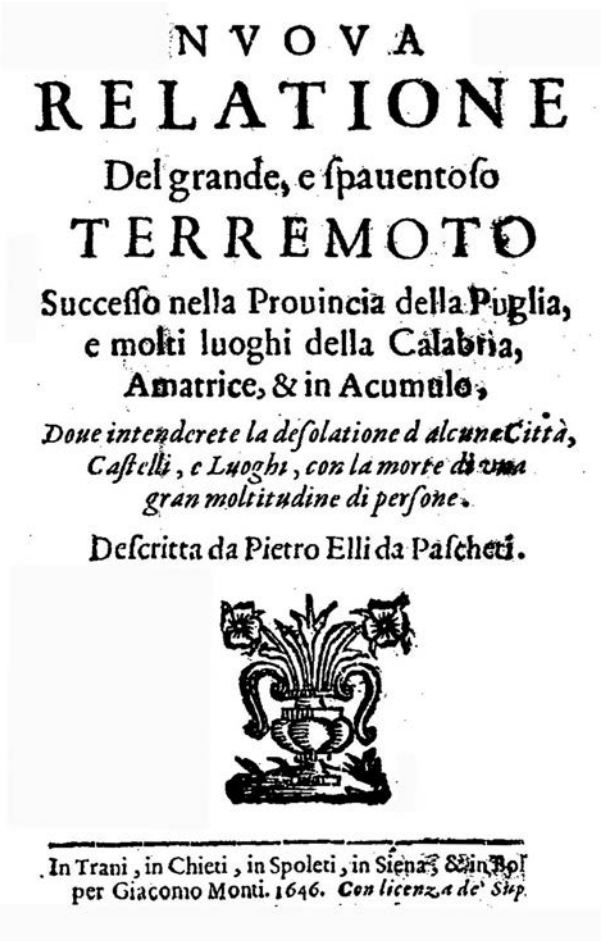

NVOVA
RELATIONE
Del grande, e ſpauentoſo
TERREMOTO
Succeſſo nella Prouincia della Puglia,
e molti luoghi della Calabria,
Amatrice, & in Acumulo,
Doue intenderete la deſolatione d alcune Città,
Caſtelli, e Luoghi, con la morte di una
gran moltitudine di perſone.
Deſcritta da Pietro Elli da Paſcheti.
In Trani, in Chieti, in Spoleti, in Siena, & in Bol
per Giacomo Monti. 1646. *Con licenza de' Sup.*

Figura 4 Una fonte storica coeva all'evento [Nuova Relatione..., 1646].

Il 5 giugno gli ambasciatori a Napoli – fra cui il Nunzio Apostolico, cardinale Altieri, e il console del Granducato di Toscana - cominciano a spedire ai loro sovrani i dispacci con notizie di gravi danni e molte vittime in Puglia. Il quadro degli effetti si precisa con gli avvisi e dispacci dei giorni seguenti. Il 9 giugno, per esempio, il Nunzio Apostolico scrive a Roma: "[il terremoto ha] *fatto cadere in più di 20 luochi molte Case, Campanili, e grosse Muraglie di fortezza con morte di mille Persone*" [1]; il 19 giugno il console fiorentino scrive: "*quasi tutte le case, che non erano cadute* [...] *la maggior parte erano rimaste inhabitabili, et il danno fatto da d*[etto] *terremoto si và ogni dì più scoprendo maggiore tanto nella mortalità delli habitanti come delle case*" [2].
Questo tipo di documentazione, coeva all'evento ma prodotta non in area locale, pugliese (e conservata in archivi anche molto distanti dalla zona interessata dai danni), si è rivelata estremamente utile e preziosa per ricavare nuove informazioni, mai considerate prima, sugli effetti causati dal terremoto garganico del 1646. Le nuove evidenze storiche, infatti, hanno permesso non solo di riverificare i dati per alcune località già note, ma soprattutto di ottenere notizie sui danni e gli effetti in una ventina di centri non individuati dagli studi precedenti, portando complessivamente a una trentina le località individuate alle quali è stato possibile assegnare una stima di intensità macrosismica [Camassi et al., 2008].

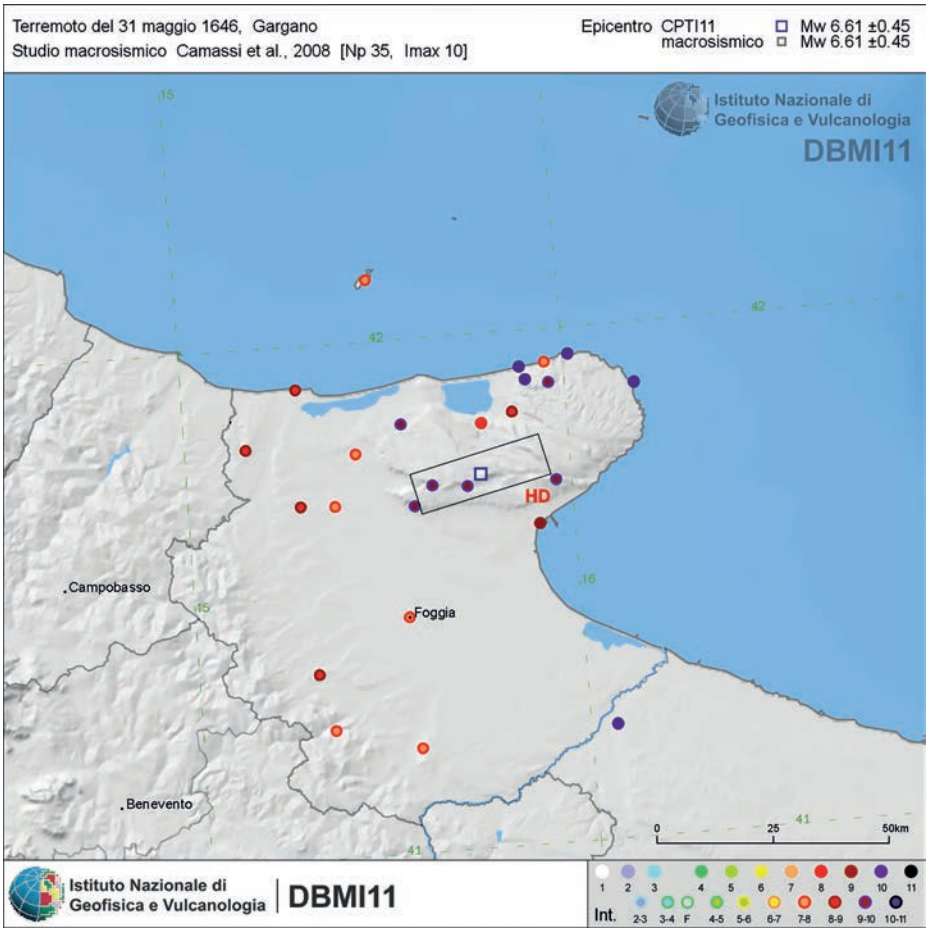


Figura 5 Distribuzione degli effetti del terremoto del 31 maggio 1646 secondo lo studio di Camassi et al. [2008] (Fonte: DBMI11).

Il quadro che ne emerge (Figura 5) è quello di **un grande terremoto che causò danni gravissimi non solo nei paesi del promontorio garganico ma in un'area molto più vasta**, estesa da Vieste a Foggia e al Subappennino Dauno (Troia, Bovino, Ascoli Satriano), da Serracapriola (al confine col Molise) e dalle isole Tremiti fino a Canosa di Puglia, sull'altopiano delle Murge.

Le fonti coeve concordano sul fatto che **i centri più gravemente danneggiati furono quelli sul promontorio garganico**, che subirono tutti distruzioni più o meno estese. **Vieste** viene descritta "*rovinata affatto [3]* [...] *con la morte d'infinite persone, delle quali non si sà il numero, per esser rimasti sotto le pietre*" [Nuova Relatione..., 1646]. Secondo una memoria coeva [4], il terremoto fece crollare il Castello, la Torre dello scoglio "*e quasi tutta la Città di Vieste*" ma non il convento dei Cappuccini, posto fuori dall'abitato, dove trovarono rifugio i superstiti. **Ischitella** viene citata tra le località "*rovinate e atterrate*". Secondo i notai Cardassi [5] "*non vi è rimasto altro che trenta persone e tutte stroppiati*". Le testimonianze coeve concordano nell'attribuire a **Vico del Gargano** danni gravissimi e oltre 150 vittime**.** Il crollo del Convento dei Cappuccini è menzionato dalla Nuova Relatione [1646] e confermato da alcuni memorialisti cappuccini, mentre Sarnelli [1680] parla di un centinaio di case crollate e solo 40 morti. **Rodi Garganico** fu "*affatto spianata, con grandissima mortalità degli habitanti d'essa, de' quali non si può saper' il numero certo, per esser luogo assai popolato; ma alcuni di quelli, che sono restati, dicono sia il numero di trecento circa* [...] *ma Vico, e Rodi bisogna ergerli di nuovo dalli fondamenti*" [Nuova Relatione..., 1646]. Risulta degno di nota il caso di **Canosa di Puglia**: la città è situata a considerevole distanza (oltre 60 km) dal promontorio del Gargano, area dei massimi effetti, e tuttavia diverse fonti coeve concordano nel descriverla tra i centri maggiormente devastati: secondo la Nuova Relatione [1646] a Canosa "*cadero nel medesimo tempo da cento cinquanta Case, & il castello fù rovinato, e spiantato affatto, che non si scorge altro*"; una lettera dell'ambasciatore fiorentino a Napoli [6] descrive Canosa come "*tutta spianata*".



Figura 6 Domenico Gargiulo (più noto come Micco Spadaro), seconda metà del XVII secolo: La rivolta di Masaniello (Museo Nazionale di San Martino, Napoli). L'artista riassume in un'unica scena tutti gli episodi principali della rivolta; scoppiata nella capitale del Regno, Napoli, nel luglio del 1647, l'imponente rivolta potrebbe aver distolto l'attenzione delle autorità napoletane dai problemi delle popolazioni pugliesi colpite dal terremoto di un anno prima (Fonte: C. De Seta, Napoli fra Rinascimento e Illuminismo, Napoli, Electa, 1997).

Manfredonia, **Monte Sant'Angelo**, **Peschici**, **Rignano Garganico**, **San Giovanni Rotondo**, **San Marco in Lamis**, **Sannicandro Garganico** e l'insediamento fortificato di **Torre Fortore** furono "*rovinate più della metà*", secondo avvisi e corrispondenze molto vicini all'evento. Verso l'Appennino i danni furono altrettanto gravi a **Torremaggiore**, più modesti ad **Apricena** e **San Severo**. Nella Capitanata meridionale ci furono danni gravissimi a **Troia** e **Serracapriola**, danni più modesti (ma comunque gravi) a **Bovino** e **Ascoli Satriano**. A **Foggia** fu gravemente lesionato il Convento dei Cappuccini e "*rovinarono sei Case, ma solamente con la morte di due persone*". Secondo un avviso del 16 giugno i danni raggiunsero anche le **isole Tremiti**. Il terremoto fu avvertito fortemente ma senza danni a **Napoli** (dove causò panico) e a **Bari**, e distintamente nell'area di **Montecassino** [Camassi et al., 2008].

Non sono note scosse avvenute nei giorni e nelle ore precedenti, mentre **alcune testimonianze coeve menzionano l'avvertimento di diverse scosse dopo l'evento principale**. In particolare, una corrispondenza napoletana del 19 giugno [7] riferisce che i terremoti "*di quando in quando s'andavano sentendo*", e che per questo "*molte persone dormivano in Campagna sotto baracche*".

Alcune fonti dell'epoca, inoltre, descrivono anche **effetti ambientali** prodotti dalla scossa principale. Secondo Sarnelli [1680] "*gli Orti di Carpino si trovarono pieni delle conchiglie del lago*", possibile riferimento ad un effetto di **tracimazione del vicino Lago di Varano, per effetto di un'onda anomala**. Una insolita agitazione del mare ("*strepito*") fu notata dai pescatori, anche sulle navi più grandi. L'insieme di questi scarsi elementi, tuttavia, non è sufficiente a definire l'accadimento di un maremoto, che come tale infatti non risulta inserito nel recente **Catalogo degli Tsunami Euro-Mediterranei** EMTC. Alcune profonde spaccature nel terreno furono osservate nelle zone di Ischitella e di San Giovanni Rotondo; a Rodi Garganico fu vista fuoruscire tutta l'acqua dalle cisterne.



Figura 7 Una veduta del centro storico di Vieste (FG). La cittadina, situata sulla punta orientale del promontorio garganico e oggi rinomato centro balneare e turistico, fu fra quelle maggiormente danneggiate dal terremoto del 31 maggio 1646, che la distrusse quasi completamente (foto da http://www.vieste.it/).

La distribuzione degli effetti di danneggiamento causati dal terremoto del 31 maggio 1646 nella sua porzione più occidentale va a sovrapporsi all'area maggiormente danneggiata dall'evento del 30 luglio 1627. Alcune località che erano state quasi completamente rase al suolo dal primo terremoto, diciannove anni più tardi subirono nuovi gravissimi danni (Serracapriola, Torremaggiore) o danni più contenuti ma comunque rilevanti (San Severo, Apricena); altre ancora, che già nel 1627 avevano riportati gravissimi danni e numerosi crolli, col secondo terremoto di una ventina di anni dopo furono quasi completamente distrutte (Sannicandro Garganico, San Giovanni Rotondo, San Marco in Lamis, Rignano Garganico, Canosa di Puglia); infine ci furono località che subirono un quadro di danneggiamento simile in entrambi i terremoti (Foggia, Ascoli Satriano, Bovino).
Per quanto affidabili e coerenti possano essere, nelle fonti coeve disponibili, le descrizioni dei gravi danni provocati dal terremoto 1646, si potrebbe sostenere che tali danni siano da imputarsi, almeno in parte, alla maggiore vulnerabilità degli edifici che erano già stati duramente colpiti da un terremoto molto forte appena 19 anni prima. Su questo aspetto, tuttavia, gli studi più recenti e aggiornati sull'evento del 1627 [Boschi et al., 2007] fanno notare che, secondo le fonti storiche, la ricostruzione – anche grazie ad una favorevole congiuntura economica - fu piuttosto veloce ed efficacemente completata nell'arco di una decina di anni (almeno per quanto riguarda quasi tutta l'edilizia privata e anche una buona parte di quella ecclesiastica). Se prendiamo per buono il fatto che ad una ventina di anni dalla catastrofe del 1627, quando la terra tornò a tremare fortemente nell'area della Capitanata e del Gargano, la gran parte degli edifici fosse stata nel frattempo ricostruita, possiamo ragionevolmente ipotizzare che il grave quadro del danneggiamento causato dal terremoto del 1646 fu dovuto interamente o quasi alla violenza del terremoto stesso e alla vulnerabilità degli edifici ricostruiti dopo il 1627. In altre parole, i dati di intensità stimati per l'evento del 1646 non sarebbero "viziati" da possibili effetti di cumulo con le intensità del terremoto di 19 anni prima. Grazie alla revisione storica condotta nel 2008, e alla nuova distribuzione di dati macrosismici così ottenuta, i parametri del terremoto garganico del 31 maggio 1646 sono stati fortemente rivalutati e come tali compaiono nell'ultima versione del catalogo – CPTI11 – aggiornata al 2006. In particolare, con una stima di magnitudo Mw 6.6 questo evento diventa – allo stato attuale delle conoscenze - uno dei terremoti più forti e importanti non solo dell'area garganica, al pari di quello del 1627 (Mw 6.7), ma anche dell'intera storia sismica dell'Italia meridionale.
L'intensa attività sismica nel Gargano e nella Capitanata non si concluse con i terremoti del 1627 e del 1646. Forti eventi sismici interessarono tutta quest'area anche nei decenni successivi. La stessa ricerca storica che ha permesso di rivalutare completamente quell'evento, infatti, ha portato anche a scoprire o a rivalutare altri tre terremoti significativi che, dopo il 1646, nel giro di poco più di 40 anni (1647, 1657 e 1688) colpirono a più riprese il Gargano e che fino a quel momento erano stati in parte dimenticati, sottovalutati, o addirittura risultavano del tutto sconosciuti [Camassi et al., 2008].

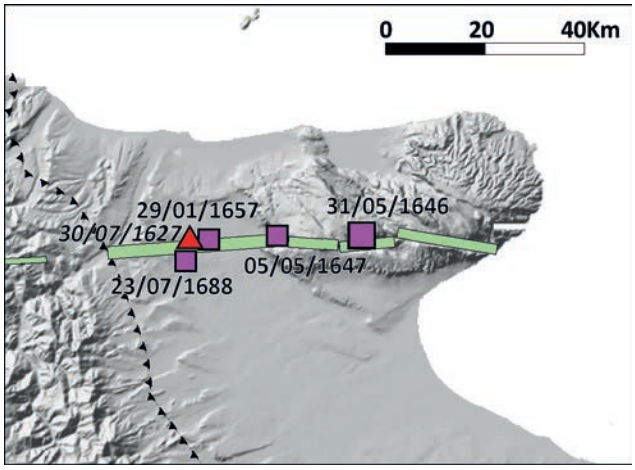


Figura 8 Epicentri macrosismici dei terremoti garganici avvenuti nel corso del XVII secolo, tra 1627 e 1688 (Camassi et al. [2008], immagine modificata).

La Figura 8 mostra gli epicentri di questi eventi. **È importante notare come la sequenza di forti eventi che dal 1627 e per oltre 60 anni ha interessato questo settore della Puglia, nei 3 secoli successivi non si sia più ripetuta, almeno fino ad oggi e con quelle caratteristiche.** Gli epicentri macrosismici dei terremoti del 1646, 1647, 1657 e 1688 mostrano un allineamento e una successione temporale che va da Est a Ovest e che, secondo lo studio di Camassi et al. [2008], sarebbe riconducibile a diverse sorgenti sismogenetiche che si sono attivate in sequenza, probabilmente come conseguenza della grossa quantità di energia liberata dal terremoto del 1627 che ha perturbato fortemente l'intero settore. Queste sequenze che "migrano" in una direzione sono frequenti nella storia sismica dell'Italia (si veda, per esempio, la grande sequenza del 1783 in Calabria centro-meridionale) e la loro comprensione sarebbe di grande utilità per migliorare la valutazione della pericolosità sismica, sia a lungo termine, sia a breve termine. Anche per la riduzione della vulnerabilità degli edifici esistenti o per la progettazione di nuovi, sapere che una struttura può subire forti scuotimenti ravvicinati cambia la prospettiva di intervento.

Note

[1] ASVat, Segreteria di Stato Napoli 41 f. 281, 9 giugno 1646.
[2] ASFi, Mediceo del Principato, Filza 4113, 19 giugno 1646.
[3] L'avverbio affatto significa 'del tutto, interamente', ed è con questo significato che lo si trova usato spesso nelle fonti antiche. Con il tempo, tale valore rafforzativo ha preso a essere usato soprattutto in frasi negative (https://www.treccani.it/vocabolario/affatto/).
[4] Latiano B., (1906). *Memorie storiche dei conventi e dei cappuccini della monastica provincia di S. Angelo (Benevento)*.
[5] Cardassi S., e Cardassi C., (XVII secolo). *Memorie* (ms. Biblioteca Nazionale "Sagarriga Visconti-Volpe" di Bari, Manoscritti, I/67).
[6] ASFi, Mediceo del Principato, Filza 4113, 19 giugno 1646.
[7] ASFi, Mediceo del Principato Filza 4113, 19 giugno 1646.

Bibliografia

Baratta M., (1901). *I Terremoti d'Italia*. Saggio di Storia Geografia e Bibliografia Sismica Italiana. Torino 1901 (Ristampa anastatica Arnaldo Forni editore, Bologna 1979).

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., and Valensise G., (2007). *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*. INGV-SGA. https://storing.ingv.it/cfti/cfti4/

Camassi R., Bernardini F., Castelli V., and Meletti C., (2008). *A 17th Century Destructive Seismic Crisis in the Gargano Area: Its Implications on the Understanding of Local Seismicity*. Journal of Earthquake Engineering, Vol.12, n.8, pp. 1223-1245. https://doi.org/10.1080/13632460802212774

Nuova Relatione Del grande, e spaventoso Terremoto Successo nella Provincia della Puglia, e molto luoghi della Calabria, Amatrice, & in Acumulo, Dove intenderete la desolatione di alcune Citta`, Castelli, e Luoghi, con la morte di una gran moltitudine di persone; Descritta da Pietro Elli da Pascheti. In Trani, in Chieti, in Spoleti, in Siena & in Bol., per Giacomo Monti, 1646.

Sarnelli P., (1680). *Cronologia de' vescovi et arcivescovi Sipontini*. Stamperia Arcivescovale, Manfredonia 1680.

Pubblicato il 30 maggio 2015

Bomba o non bomba? Ordigno bellico genera “terremoto” in Adriatico

Paola Bordoni[1], Alessandro Amato[2], Concetta Nostro[2]

[1]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Roma 1
[2]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Nazionale Terremoti

Fare il turno in sala sismica comporta anche rispondere alle telefonate esterne. Se non si è nel mezzo di una sequenza sismica, le richieste sono disparate: persone che chiedono rassicurazioni sulla zona dove si stanno per recare in vacanza, sulla possibilità che il tremore che hanno avvertito in casa sia stato generato da un terremoto locale non riportato dagli organi di informazione, e così via.
Ieri, 8 luglio 2015, invece abbiamo ricevuto una telefonata che preannunciava l’**esplosione di un ordigno bellico nel mare Adriatico**. All’altro capo del telefono un Maresciallo del Circomare (Capitaneria di Porto) di Cesenatico, ci ha fornito i dettagli tecnici dell’operazione di brillamento di una bomba della II Guerra Mondiale che sarebbe avvenuto nel **Mare Adriatico, al largo della costa di Cesenatico** (Figura 1).

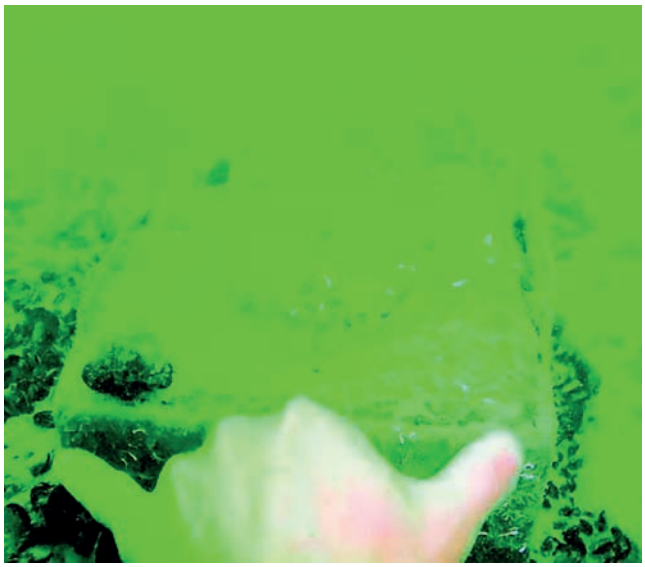


Figura 1 L’ordigno rinvenuto - una “mina magnetica” di produzione tedesca risalente alla Seconda Guerra Mondiale - aveva un contenuto di circa 640 kg di esplosivo. https://www.corriereromagna.it/rimini/news-cesena-13151-spostato-ordigno-bellico-sommerso-html-GICR32769

L’ordigno di **600 kg di esplosivo** era, nelle parole del Maresciallo, uno dei più grandi mai rinvenuti nel mare Adriatico. **Sarebbe stata la Rete Sismica Nazionale in grado di identificare e localizzare l’esplosione?** Il maresciallo ci aveva fornito in anticipo le coordinate geografiche e la profondità del sito dove sarebbe stata depositata la bomba (circa 14 metri sotto il livello del mare) e anche l’intervallo temporale entro il quale si sarebbe conclusa l’operazione, tra le 13 e le 15 di ieri, 8 luglio 2015.
Per la prima volta avevamo a che fare con una previsione di un evento sismico ad elevata probabilità di accadimento! Inoltre, conoscendo preventivamente la posizione del “terremoto”, sarebbe forse stato possibile fare un **test diretto della sensibilità della Rete Sismica Nazionale** e delle procedure di localizzazione, sia in modalità automatica che manuale, confrontando le coordinate epicentrali dello scoppio con quelle comunicateci.
L’esplosione si è verificata alle **14:33 (ora italiana)** e ha comportato un notevole sollevamento della massa d’acqua soprastante, come si vede in alcuni video reperibili online. La Figura 2 mostra i sismogrammi dell’esplosione ordinati dall’alto verso il basso per distanza crescente della

stazione ricevente dall'epicentro.

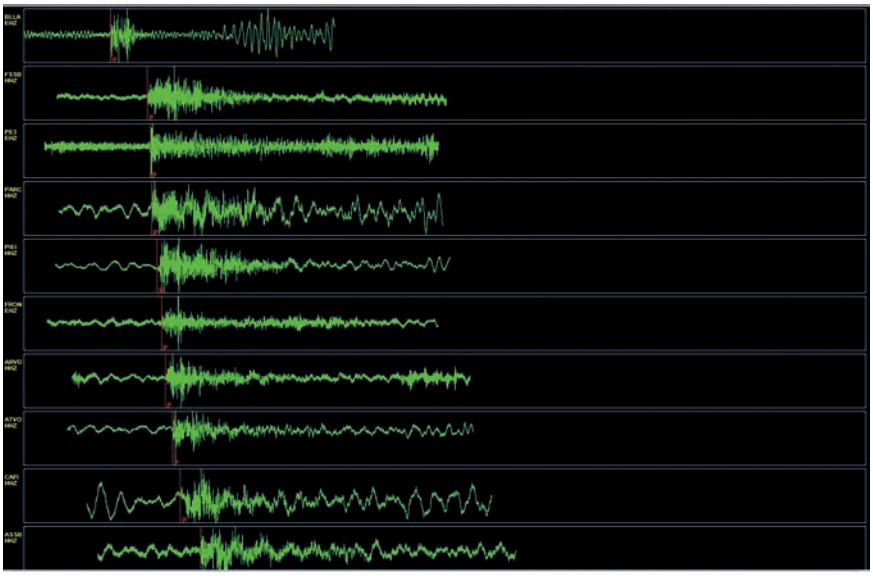


Figura 2 i sismogrammi dell'esplosione ordinati dall'alto verso il basso per distanza crescente della stazione ricevente dall'epicentro dell'evento.

Da un punto di vista sismologico la registrazione di un'esplosione si presenta con il primo impulso verso l'alto, ovvero i segnali hanno tutti polarità positiva, a causa della natura "esplosiva" della sorgente sismica che comporta una radiazione dell'energia verso l'esterno, cosa che è stata verificata dal personale in turno.
Un'altra caratteristica peculiare dell'esplosione è che genera onde di compressione (onde P) e non genera onde trasversali (onde S). Anche questo aspetto era abbastanza evidente nei segnali registrati.
La Figura 3 mostra le registrazioni alla stazione sismica di **Bellaria** (sigla BLLA), la stazione più vicina all'epicentro.

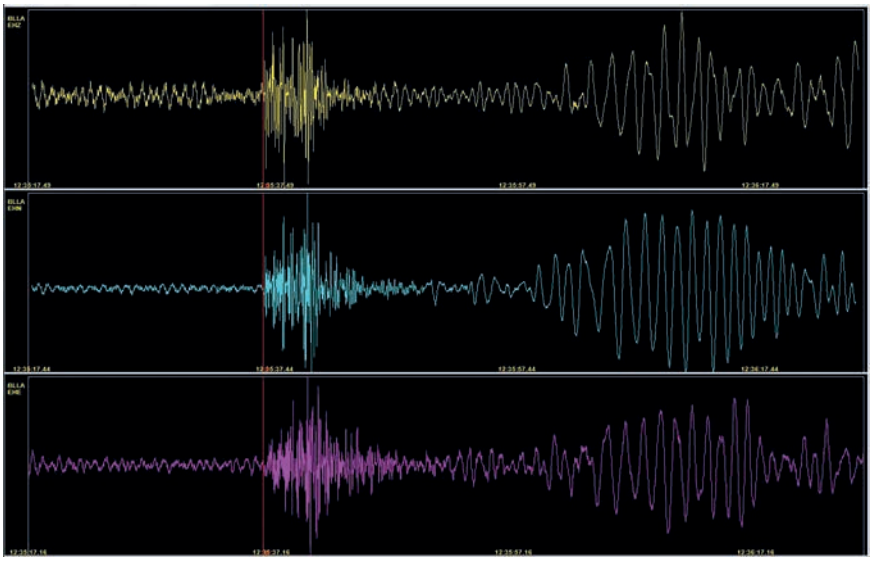


Figura 3 registrazione alla stazione sismica BLLA, dall'alto verso il basso si ha prima la componente verticale, e a seguire quella orizzontali orientate rispettivamente in direzione N-S e E-W.

Possiamo notare che il primo pacchetto di onde sismiche ha frequenza più alta mentre ci sono delle onde successive caratterizzate da periodi e ampiezze maggiori.
L'analisi dei sismogrammi mostrati nelle figure sopra, in particolare la lettura dei tempi di arrivo

delle prime onde (onde P, onde di compressione) ai diversi sismometri della Rete, ha consentito la localizzazione dell'esplosione e la determinazione della sua magnitudo. Le coordinate ottenute dal processo di localizzazione (Figura 4) si discostano di alcuni chilometri da quelle effettive, a causa della disposizione non ottimale della Rete Sismica rispetto al punto di esplosione: infatti gli eventi sismici in mare, non essendo circondati da stazioni sismiche, sono localizzabili con minore accuratezza. A ogni modo, la **Rete Sismica Nazionale** si è dimostrata molto sensibile, considerando che anche alcune sismometri sulle Alpi hanno rilevato l'evento. La magnitudo locale (Richter) stimata è pari a 1.9.

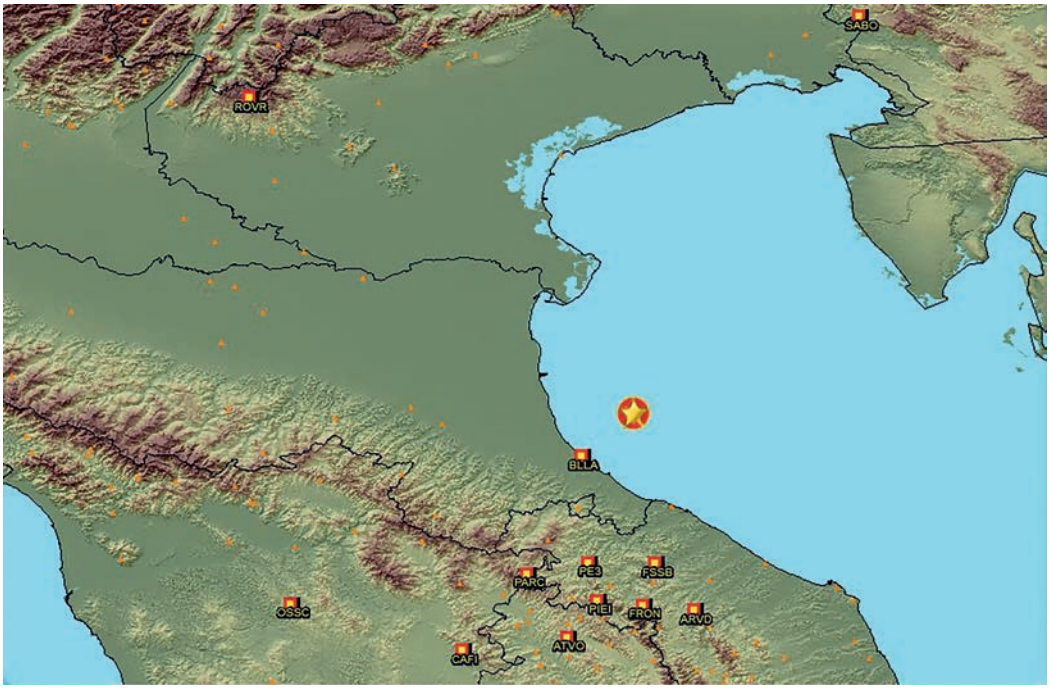


Figura 4 Epicentro dell'esplosione in Adriatico come calcolato dai dati della rete Sismica Nazionale dell'INGV. I quadrati gialli e rossi sono alcune delle stazioni sismiche che hanno registrato l'esplosione.

La comunicazione preventiva del Maresciallo della Capitaneria di Porto ha permesso di determinare con immediatezza e certezza la natura non sismotettonica dell'evento registrato e va detto che probabilmente, a causa della bassa magnitudo e della scarsa copertura della Rete Sismica, non sarebbe stato tanto immediato capire che le onde sismiche registrate erano state prodotte da un'esplosione e non da un vero terremoto.

Le operazioni sono state coordinate dalla Prefettura di Forlì ed effettuate dai militari del Nucleo SDAI della Marina Militare di Ancona (artificieri, subacquei e infermiere) e della Guardia Costiera di Cesenatico.

Sitografia

http://www.cesenatoday.it/cronaca/ordigno-bellico-in-mare-a-cesenatico-e-stato-fatto-brillare.html
https://www.corriereromagna.it/rimini/news-cesena-13151-spostato-ordigno-bellico-sommerso-html-GICR32769

Pubblicato il 7 settembre 2015

Il terremoto del 14 agosto 1846 di Orciano Pisano

Carlo Meletti[1], Viviana Castelli[2], Filippo Bernardini[2],

[1]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Pisa
[2]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna

"... ecco che la sala comincia da prima a vibrare; alla vibrazione succede un agitazione violenta in direzione orizzontale con un rumore vorticoso orribile. [...] Accorro ad una delle finestre che mette nel giardino di una prossima casa, e quivi fui testimonio di uno de' spettacoli più terribili, che possono occorrere allo sguardo dell'uomo. Le case dintorno erano agitate in una maniera spaventevole; gli alberi del giardino co' loro movimenti annunziavano la violenta agitazione dell'atmosfera; questi movimenti associati a quelli della sala in cui io era mi produssero una vertigine, la quale mi obbligò ad aggrapparmi alla finestra. L'agitazione seguiva evidentemente in direzione orizzontale di va e vieni, ma con violenza estrema. In tale terribile situazione cominciano a cadermi addosso calcinacci dalla sala; le grida che si sollevavano dalle case vicine aumentavano l'orrore del flagello. Fu un istante che io credei la città nabissare. Allora sospinto da un impulso istintivo ascendo sulla finestra per saltare nel sottoposto giardino. Ma un residuo di riflessione mi ritenne. Il suolo a poco a poco ritornò nella sua primiera tranquillità."

Sono queste le parole con cui **Leopoldo Pilla** descrive il terremoto del **14 agosto 1846** che colpì la **Toscana occidentale**. Pilla era titolare della cattedra di geologia all'Università di Pisa e quel giorno si trovava nelle sale del Museo di Storia Naturale, dove ancora oggi ha sede il Dipartimento di Scienze della Terra. Il racconto è contenuto in un opuscolo dato alle stampe 5 giorni dopo il terremoto.



POCHE PAROLE

SUL TREMUOTO

CHE HA DESOLATO

I PAESI DELLA COSTA TOSCANA

DI L. PILLA

PISA
PRESSO R. VANNUCCHI
1846.

Figura 1 Frontespizio del racconto di Leopoldo Pilla sul terremoto pisano del 1846 [Pilla, 1846a]. Si notino le parole "sul tremuoto" deformate a voler rappresentare lo scuotimento.

Il terremoto ha la peculiarità di avere interessato un'area prossima alla costa tirrenica toscana che non è certo conosciuta per essere fra le più sismiche in Italia. Quello dell'agosto 1846, infatti, fu un evento distruttivo che colpì un'area caratterizzata da una sismicità "moderata", di livello medio-basso, decisamente meno intensa e frequente di quella che caratterizza, ad esempio,

il tratto di catena appenninica che si estende dalla Lunigiana-Garfagnana alla Val Tiberina, passando per il Mugello (per rimanere in area toscana). A tutt'oggi la magnitudo stimata sulla base degli effetti del terremoto (**Mw 5.9** secondo il catalogo **CPTI11**) rimane la magnitudo più elevata di tutta la costa tirrenica, dalla Toscana fino alla Campania.
Molte informazioni su questo terremoto derivano dalle estese descrizioni sui suoi effetti e sulle interpretazioni geologiche scritte degli studiosi dell'Università di Pisa che percorsero in lungo e in largo il territorio colpito dall'evento e riportarono le loro osservazioni in diversi libri monografici.

Il risentimento nelle località

La scossa principale avvenne il 14 agosto alle 12:53 e fu seguita da un'altra scossa forte alle ore 22:00 dello stesso giorno. Fu colpita l'area collinare al confine tra le attuali province di Pisa e di Livorno, compresa tra le valli dei fiumi Arno, a nord, e Cecina a sud.
I centri maggiormente danneggiati furono quelli situati nella valle del torrente Fine e sulle colline che si estendono a sud di Pontedera e della valle dell'Arno, ad est della città di Livorno. Danni molto gravi interessarono anche alcuni paesi collocati più a sud, nella valle del fiume Cecina.

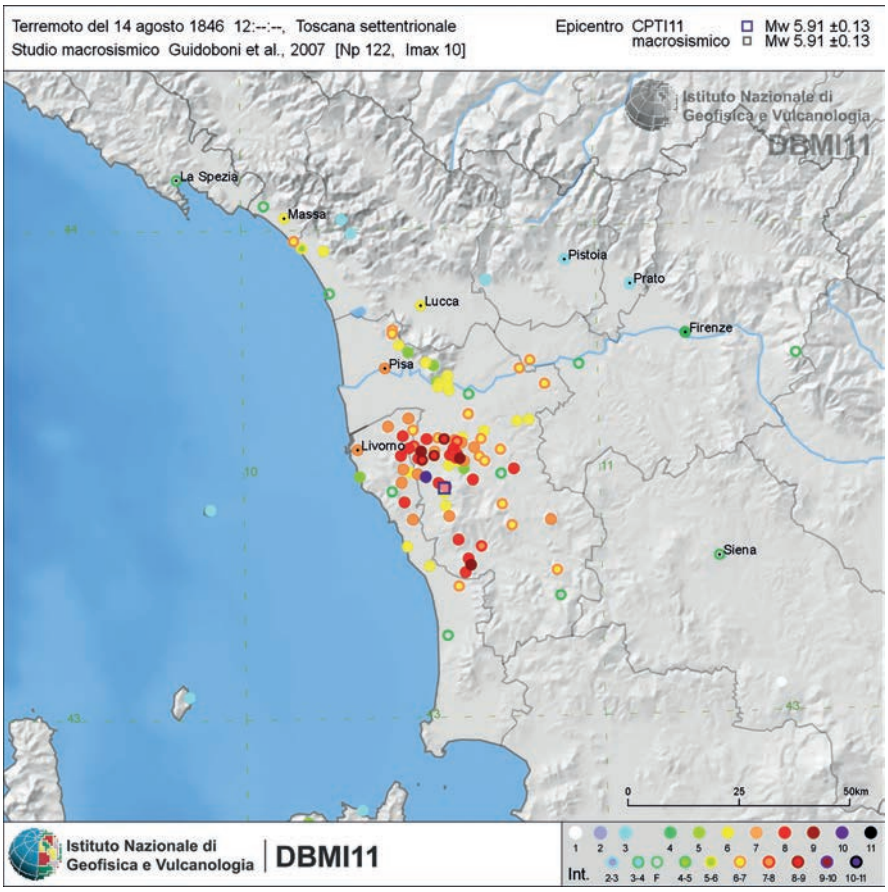


Figura 2 Distribuzione degli effetti macrosismici del terremoto toscano del 14 agosto 1846 secondo Guidoboni et al. [2007] (Figura da: DBMI11).

Gli studiosi di sismologia storica che hanno studiato questo terremoto [Albini et al. 1991; Guidoboni et al., 2007] ne hanno ricostruito lo "scenario" degli effetti sul territorio partendo dal recupero e da una analisi critica e approfondita della ricca documentazione prodotta all'epoca

dell'evento; fonti storiche di vario tipo, come cronache giornalistiche, documenti amministrativi di archivio, perizie tecniche di danni, relazioni scientifiche, fonti memorialistiche e storiografiche ecc. A queste si aggiungono le relazioni degli studiosi che si recarono sul posto per rilevare personalmente gli effetti nelle località danneggiate; tra queste spiccano per importanza quelle del già citato Leopoldo Pilla e di Paolo Savi (si veda oltre), che forniscono un contributo prezioso e rilevante alla conoscenza degli effetti sull'edilizia e sull'ambiente della zona.

L'area colpita all'epoca apparteneva al **granducato di Toscana**, governato da Leopoldo II di Lorena (1824-1859). L'economia della zona era essenzialmente agricola, con una diffusa presenza di case rurali su fondi agricoli. Il terremoto si verificò in un periodo di crisi economica, poiché l'annata del 1846 era stata caratterizzata da scarsi raccolti. I ceti meno abbienti furono i più colpiti non solo per la sfavorevole congiuntura in corso, ma anche perché un'elevata percentuale di crolli riguardò proprio le case coloniche e i villaggi della campagna, costruiti prevalentemente con materiali scadenti e secondo sistemi edilizi non adeguati a resistere a scosse sismiche [Guidoboni et al., 2007].

Il paese più gravemente colpito fu Orciano Pisano, nella Val di Fine, dove l'intensità della scossa raggiunse **il grado 10 della scala macrosismica Mercalli-Cancani-Sieberg** (MCS): il terremoto, preceduto e seguito da forti rumori sotterranei, causò il crollo totale o parziale della gran parte degli edifici dell'abitato; le case dei contadini nella campagna circostante si sgretolarono. Solo alcune abitazioni signorili non crollarono e riportarono "soltanto" lesioni e fenditure nelle murature. Secondo Baratta [1901] complessivamente andò distrutto circa l'88% del patrimonio edilizio del paese.

Danni gravissimi e molti crolli avvennero anche a **Crespina**, **Lorenzana** e in alcune località degli attuali comuni di **Fauglia** (Luciana, Pagliana) e di **Casciana Terme** (Vivaia), tutti paesi che, come Orciano, oggi si trovano in provincia di Pisa. Anche in questi centri l'entità dei danni fu aggravata dallo stato di fatiscenza delle case contadine. La scossa distrusse anche gran parte dell'abitato di **Guardistallo**, paese situato una ventina di chilometri a sud di Orciano, nella valle del fiume Cecina; la parte alta del castello fu ridotta ad un cumulo di macerie [Guidoboni et al., 2007].

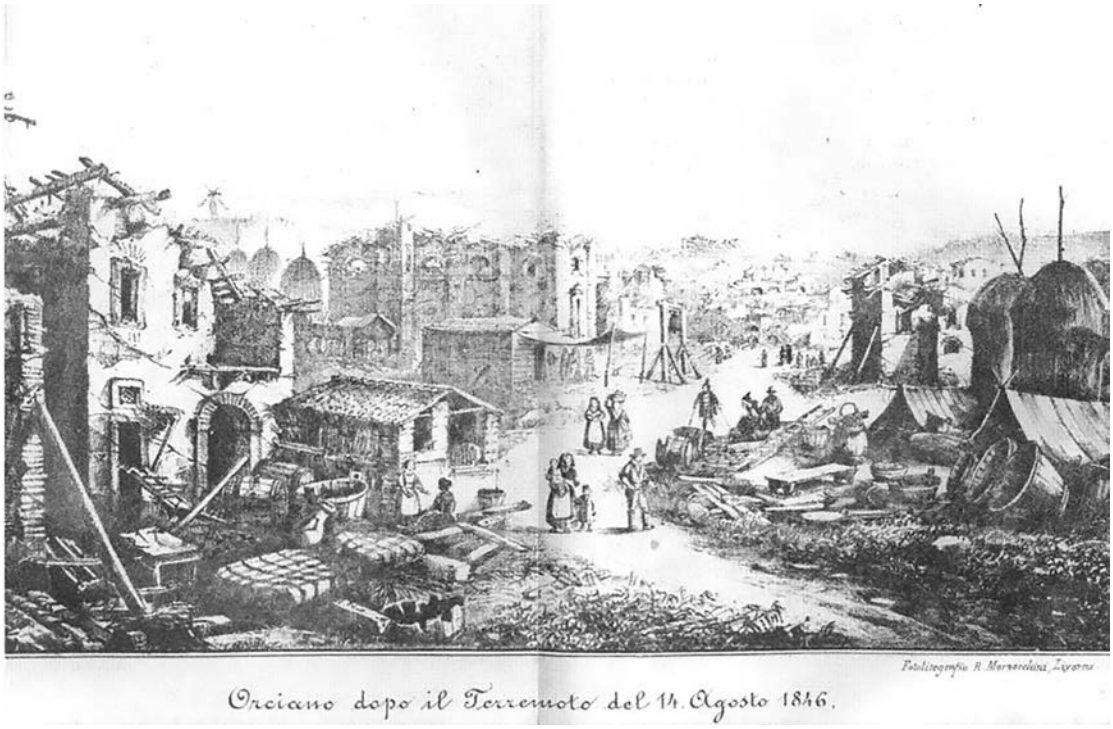


Figura 3 La distruzione nel paese di Orciano Pisano in un'incisione dell'epoca.

In una ventina di altre località, fra cui **Montescudaio**, **Casale Marittimo**, **Casciana Alta** e **Fauglia**, ci furono gravi danni, per lo più crolli parziali e dissesti strutturali estesi a gran parte del patrimonio edilizio. In particolare, a Montescudaio il terremoto causò il crollo dell'antico castello e degli edifici adiacenti, nella parte alta del paese. Fra i centri del livornese maggiormente colpiti ci furono alcune frazioni dell'attuale comune di Collesalvetti (Castell'Anselmo, Parrana San Martino, Nugola, Torretta Vecchia) e del comune di Rosignano Marittimo (Castelnuovo della Misericordia).
In numerosi centri della Toscana occidentale, fra cui Pisa e Livorno, ci furono danni meno gravi, ma comunque estesi. **A Livorno molte case rimasero lesionate, in particolare nella parte più vecchia della città**; furono danneggiati i campanili del duomo e della chiesa della Misericordia. Danni interessarono anche alcune ville sui fianchi del Monte Nero, soprastante la città. Enorme fu il panico tra la popolazione, che trascorse la notte all'aperto dormendo nelle pubbliche piazze o sulle barche, oppure accampata sotto tende e ripari di fortuna eretti nelle campagne e colline circostanti.
Per quanto riguarda **Pisa**, Leopoldo Pilla [1846a] attesta una durata della scossa principale tra i 20 e i 30 secondi; **i danni in città furono diffusi, anche se prevalentemente leggeri**. Molti edifici riportarono fenditure, lesioni e sconnessioni varie. Crollò l'arcata centrale della **chiesa di San Michele in Borgo** e un'arcata della chiesa di **San Francesco ai Ferri**. Danni lievi si ebbero anche nel duomo e nel battistero.
Il terremoto causò **danni ingenti anche a Volterra**, località posta su un colle che domina tutta l'alta Val di Cecina. Nelle sue memorie Leopoldo II di Lorena scrisse che il podestà gli aveva comunicato che a Volterra erano state danneggiate le carceri (era caduta la volta di una camerata di detenuti, causando 8 feriti). Le torri annesse al palazzo dei Priori e del Pretorio furono gravemente danneggiate; è attestata una vittima a causa della caduta di una pietra dal palazzo dei Priori.
Danni moderati interessarono **Fucecchio**, **San Miniato** e **Santa Croce sull'Arno**, paesi del Valdarno inferiore situati al confine tra le attuali province di Firenze e di Pisa, ad oltre 30 km dall'area dei massimi effetti verso nord-est. **Danni più leggeri si ebbero in Versilia** (Pietrasanta) fino a **Massa**, e a **Lucca.** Verso sud l'intensità del terremoto decrebbe più rapidamente: a **Cecina**, situata una ventina di chilometri a sud di Orciano, ci furono danni per lo più leggeri; a Donoratico, a meno di 40 km dall'area epicentrale, addirittura la scossa fu solo avvertita. La scossa principale fu avvertita più o meno sensibilmente in una vasta area dell'Italia centro-settentrionale.
Numerose repliche di minore intensità furono sentite per circa 4 mesi, fino alla metà di dicembre 1846. Oltre a quella avvertita alle 22 dello stesso giorno e una più forte alle ore 15 del giorno successivo, un'altra importante replica avvenne il 27 agosto, alle ore 9.50.
Secondo le fonti ufficiali vi furono complessivamente 60 morti, di cui 18 a Orciano Pisano (su 761 abitanti). Il numero dei feriti fu di circa 400, di cui 170 a Orciano. Nel solo ospedale di Pisa furono ricoverati 150 feriti provenienti dai paesi vicini.

Il terremoto e i suoi effetti sull'ambiente

I molti trattati pubblicati subito dopo il terremoto (si veda più avanti) descrivono dettagliatamente anche gli effetti sul terreno prodotti dall'evento, estesi a molte località come la magnitudo stimata fa immaginare. Quelli più comunemente osservati furono **fenditure nel terreno, movimenti franosi e smottamenti**, nonché cambiamenti nel regime delle acque sotterranee, con formazione di nuove sorgenti minerali e variazioni di colore delle acque termali. Sulla costa livornese e nel porto di Livorno è segnalato anche un lieve effetto che potrebbe far pensare ad un maremoto: citando fonti coeve, viene riportato come il mare salì velocemente e l'acqua coprì le banchine del porto [Tinti e Maramai, 1996]. Non si hanno però elementi per confermare che si tratti per certo di un maremoto.
Il fenomeno più interessante, che molti hanno imparato a conoscere dopo **il terremoto**

dell'Emilia del 2012,è quello della **liquefazione**, descritto da Pilla [1846b] come segue:
"*Ne' lati della strada che conduce a Lorenzana sono alcuni campi coltivi, in mezzo a' quali si osservavano in più siti alcune strisce rilevate di terreno di un bel colore azzurrognolo, che facea contrasto col colore grigio smorto de' campi. In quelle strisce si vedeano aperte numerose e piccole cavità in forma d'imbutini regolari, di un diametro variabile fra un pollice ed un piede. Alcuni di questi imbuti versavano a modo di pollìni [piccole polle; NdR] dell'acqua mista con sabbia azzurra. [...] L'acqua che versavano era fredda, potabile, ed in qualche sito leggermente ferruginosa.*"
Il fenomeno si verifica nella località oggi conosciuta come Acciaiolo (nel comune di Fauglia, prov. di Pisa) ed è così curioso e nuovo per Pilla che lo rappresenta con la figura che segue.

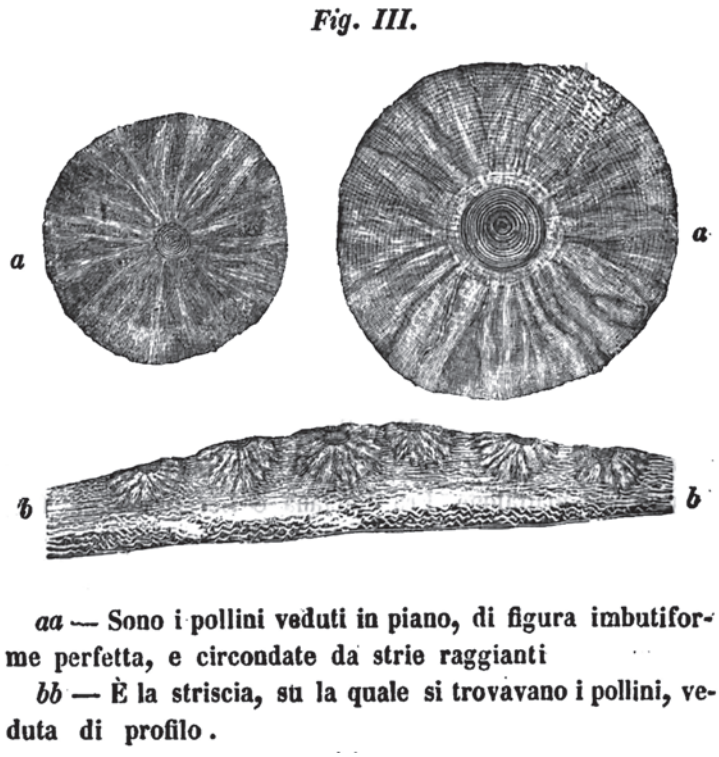


Figura 4 Il disegno rappresenta i "vulcanetti" di fango dovuti alla liquefazione [Pilla, 1846b].

Recentemente una tesi di laurea inedita svolta presso l'Università di Pisa ha rianalizzato gli effetti del terremoto, tra cui la liquefazione e ha valutato l'effetto di risonanza che potrebbe aver interessato la collina su cui sorge Orciano [Bendinelli, 2012].

Il terremoto e il suo contesto geologico-strutturale

Dal punto di vista dell'inquadramento geologico-strutturale e sismologico il terremoto del 1846 sembra essere ben spiegato dalle conoscenze di carattere generale che si hanno dell'area, per quanto non si siano avute evidenze di fagliazione superficiale che potrebbero supportare l'interpretazione. A partire dal Tortoniano superiore (circa gli ultimi 8 milioni di anni) l'area è caratterizzata da una tettonica distensiva che dal Tirreno si estende fino all'Appennino Settentrionale e che forma una serie di depressioni circa orientate Nord-Sud, parallele tra loro, corrispondenti alle attuali Val di Fine, Valdera, Valdelsa, secondo quella che dai vecchi autori veniva definita una struttura a ***horst*** e ***graben***, ma più precisamente viene interpretata oggi come una gradinata di faglie normali immergenti verso il Tirreno, all'interno delle quali faglie antitetiche fanno collassare e ruotare blocchi minori.

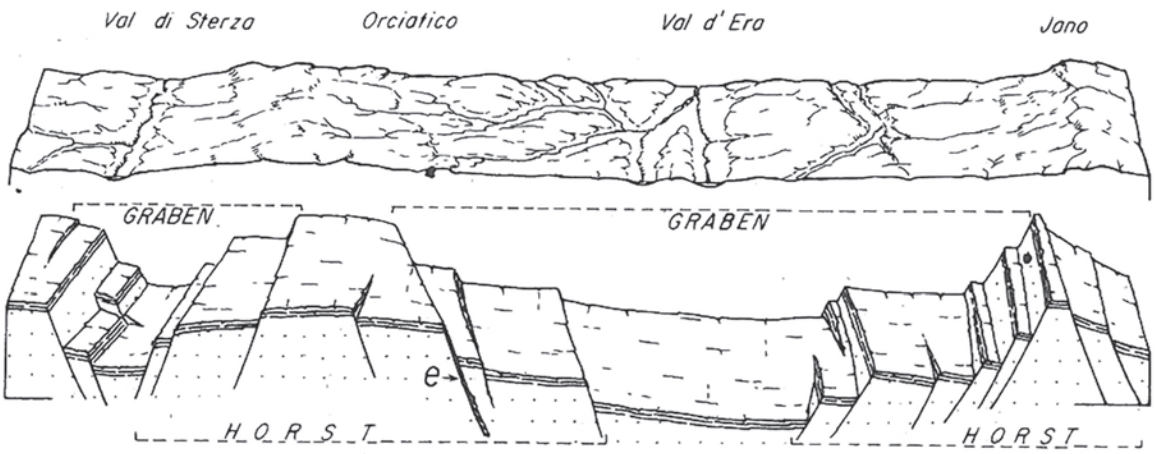


Fig. 117 - Graben e Horst lungo una fascia estesa da Castellina Marittima a Jano (Pisa) per una lunghezza di 27 km. Una delle faglie è stata la via di ascesa di roccia eruttiva *e*.

Figura 5 Morfologia e assetto geologico della struttura a Horst e Graben della Toscana Occidentale, nei disegni del prof. Livio Trevisan (da Trevisan e Giglia [1978]).

Le evidenze sulla probabile **struttura sismogenetica responsabile di questo terremoto** sono riassunte nel Database delle sorgenti sismogenetiche individuali (**DISS)** a cui si rimanda per il dettaglio (sorgente **ITIS066).**

Quello che resta ancora completamente da spiegare è la magnitudo elevata, **Mw 5.9**. Infatti, per quanto si tratti di una valutazione basata sulla distribuzione e l'entità degli effetti macrosismici (stimanti secondo la scala di intensità MCS), tale valore appare attendibile e costituisce il massimo evento di un'area interessata da elevato flusso di calore dal sottosuolo (ci troviamo ancora all'interno, per quanto ai bordi, dell'area geotermica di Larderello) dove non ci si aspetterebbe la presenza di strutture così estese da poter produrre una magnitudo così elevata.

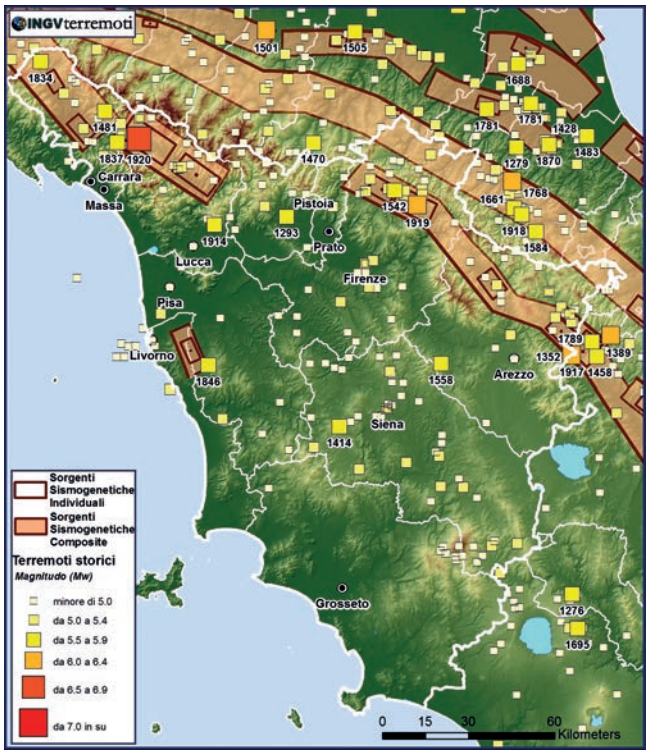


Figura 6 Sorgenti sismogenetiche della Toscana e epicentri del catalogo CPTI11. La sorgente vicino alla costa al centro della figura è quella ritenuta responsabile del terremoto del 14 agosto 1846.

La risposta scientifica

Quello attorno alla metà dell'800 è un periodo in cui il mondo accademico e scientifico era in grande fermento e sviluppo. Nell'ottobre del 1839 fu organizzata a Pisa la Prima Riunione degli Scienziati Italiani, ben 22 anni prima della proclamazione del Regno d'Italia. In qualche modo gli scienziati avevano già abbattuto le frontiere e si erano proclamati appartenenti ad uno stato che ancora non esisteva.
Tra i protagonisti di quella riunione, vi fu senz'altro **Paolo Savi**, ordinario di Zoologia e forse primo geologo dell'ateneo pisano, che presentò relazioni sulla geologia dei Monti Pisani e sui combustibili fossili in Toscana. Il tema dei combustibili fossili era di primaria importanza per il Granduca: servivano fonti di energia per lo sviluppo della Toscana e si guardava ai depositi di lignite di Montebamboli (provincia di Grosseto) come possibile area di estrazione.



Figura 7 Il manifesto della prima riunione degli scienziati italiani, tenutasi a Pisa nel 1839. Al centro il Granduca Leopoldo II, in alto Galileo Galilei. Sei le sessioni scientifiche: medicina; geologia, geografia e mineralogia; fisica, chimica e matematica; agronomia; botanica; zoologia.

Nel 1842 fu chiamato a Pisa da Napoli **Leopoldo Pilla** e gli venne affidata la prima vera cattedra di geologia, mentre Savi mantenne le discipline biologiche [Corsi, 2001]. Tra i due iniziò un vivace dibattito scientifico sulla qualità ed estensione del giacimento di ligniti, dibattito che poi si estese ad altri argomenti, compreso il terremoto di Orciano.
Come detto, Pilla si trovava all'Università quando il terremoto avviene; ripresosi dallo spavento, scese per strada:

"escii dal Museo, e trovai le strade della città ingombre di gente, la quale nel volto portava dipinto tutto il terrore che avea dentro provato. Era da per tutto quel silenzio, di cui parla Tacito, che si vede espresso nel popolo quando è agitato da un forte pensiero comune. Dopo essermi assicurato della salvezza delle persone più care, il mio primo pensiero corse al Campanile del Duomo. Trassi subito a vedere che cosa ne fosse. Quale fu la mia sorpresa nel vederlo ritto e stabile come innanzi!" [Pilla, 1846a].
Il suo libretto "Poche parole sul tremuoto che ha desolato i paesi della costa toscana", scritto immediatamente dopo l'evento, ebbe un grosso successo commerciale (oltre 1000 copie vendute in pochi giorni) e Pilla fu per questo accusato dai colleghi di aver lucrato sulla disgrazia [Corsi, 2001]. Ma anche la descrizione del terremoto e la sua interpretazione furono oggetto di accuse dei colleghi e di Savi in particolare: Pilla non si era mai mosso da Pisa e attribuì il terremoto ad un vulcano posto in Italia del Sud, facendo presagire che un vulcano stesse sorgendo nell'area del terremoto; gli effetti distruttivi del terremoto non indicherebbero l'"epicentro" ma sarebbero dovuti a fenomeni di propagazione. Savi, che conosceva meglio le zone, a seguito di una ricognizione sul posto scrisse una sua lunga memoria [Savi, 1846] in cui riconosce l'origine "tettonica" del terremoto e individua l'"epicentro" nella Val di Fine (i termini tra virgolette sono quelli che usiamo oggi ma che al tempo non esistevano). Pilla a sua volta compì una lunga ricerca sul terreno lasciando un trattato [Pilla, 1846b] che descrive minuziosamente, località per località, gli effetti e i danni del terremoto.
Insomma, la diatriba tra i due luminari aveva prodotto quelli che possiamo considerare **i più antichi esempi di analisi moderna di un evento sismico**.
Leopoldo Pilla morì due anni dopo alla guida del battaglione di studenti dell'Università di Pisa nella **battaglia di Curtatone** della Prima Guerra di Indipendenza.

La risposta del Granduca



Figura 8 Il Granduca Leopoldo II di Toscana.

Il Granduca di Toscana, **Leopoldo II**, si adoperò subito dopo il terremoto per organizzare **il soccorso alle popolazioni** colpite dal terremoto. La settimana successiva si recò in visita nei paesi devastati e già dopo 15 giorni dall'evento emanò un decreto che regolava i provvedimenti da

attuare, secondo due linee guida: attuare un pronto intervento e evitare il rischio che scoppiassero tumulti popolari dovuti al panico.
Utilizzando la struttura amministrativa esistente, senza creare nuovi organismi, **venne avviato un rapido censimento dei danni** che dopo soli 3 mesi consentì di stimare l'ammontare dei costi per la riparazione degli edifici nei 15 comuni maggiormente colpiti. Alla fine di ottobre dello stesso anno iniziò la ricostruzione e la popolazione cominciò ad abbandonare le baracche. **Gli aiuti furono distribuiti anche in base alle condizioni economiche**: si tenne in considerazione se una famiglia fosse stata in grado di provvedere da sola a ricostruire o riparare la propria abitazione, oppure se poteva contribuire in parte o infine se non era assolutamente in grado a contribuire economicamente. Insomma, secondo quanto ricordato da Della Pina [2004] **fu un esempio di buongoverno**, decisamente moderno considerata l'epoca.

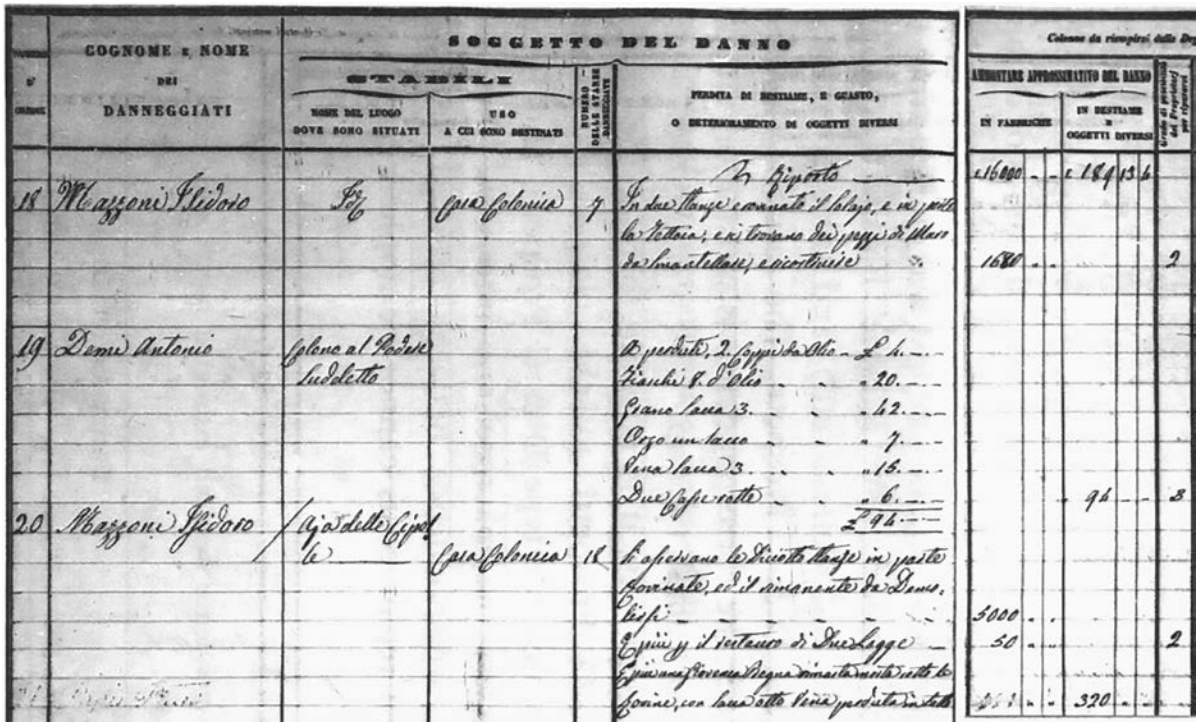


Figura 9 Riproduzione parziale di una pagina dei Prospetti del censimento dei danni del terremoto (Tratta da Albini et al., [1991]). Il primo riferimento è ad una casa colonica in cui "in due stanze è rovinato il solaio, e in parte la tettoia, e si trovano dei pezzi di muro da smantellare e ricostruire", per un danno di 1680 lire. Nel secondo caso il colono ha perso 2 coppi d'olio, 8 fiaschi d'olio, 3 sacchi di grano, 1 sacco d'orzo, 3 sacchi d'avena e 2 casse rotte, per 94 lire di danno. Il terzo caso è di una casa colonica in cui le 18 stanze "sono in parte rovinate, il rimanente da demolirsi" per un danno di 5000 lire; due logge da restaurare per 50 lire; "e più la giovenca pregna rimasta morta sotto le rovine" e 8 sacchi di avena per un danno di 320 lire. L'ultima colonna indica la capacità dei singoli di sostenere economicamente il danno.

Il terremoto del 14 agosto 1846 venne estesamente ricordato nelle memorie del granduca **Leopoldo II** di Lorena, che visitò personalmente i paesi più colpiti. Il granduca, una volta abbandonata la Toscana in seguito all'unità d'Italia, nelle sue memorie raccontò quanto fosse stato un regnante illuminato. Anche il terremoto fu un'occasione per mostrarsi un buon amministratore e lo ricordò nei suoi diari. **Vogliamo però citare un curioso aneddoto**, riportato in un libro che approfondisce l'analisi sulle memorie di Leopoldo. Secondo Aurelio Pellegrini in "Le certezze del Granduca. Leopoldo II e le sue troppe memorie" [Pellegrini, 2009] confrontando

i taccuini originali scritti dal granduca e la versione pubblicata si notano differenze talvolta importanti su come vengono raccontati alcuni avvenimenti importanti. Per quanto riguarda il terremoto, i taccuini scritti sul momento rappresentano una situazione più caotica di quella poi tramandata, in cui qualcuno prova ad approfittarne. Si narra, per esempio, che a **Montescudaio** la chiesa danneggiata, ma non distrutta, venne individuata come ricovero per la popolazione; ma improvvisamente la chiesa non esisteva più: **l'Abate Quirino Bussotti la fece abbattere** per farsi costruire una chiesa nuova e più bella. Il Granduca non riportò questo fatto nelle memorie, ma si ricorderà dell'abate di Montescudaio, tanto che sarà l'ultima chiesa a essere ricostruita, ben 10 anni dopo il terremoto.

Quel che resta del terremoto nella memoria popolare

A 169 anni dal terremoto del 1846 si potrebbe pensare che ne resti ben poco, tranne i documenti d'archivio e qualche vecchio libro. In realtà basta guardarsi in giro con un po' di attenzione per accorgersi che non è così. **Sono parecchie le lapidi commemorative** erette dall'iniziativa di comunità, gruppi professionali e singoli cittadini per ricordare la ricostruzione di edifici pubblici, case e chiese o per lasciare una traccia tangibile della propria riconoscenza per lo scampato pericolo. Il sito **Lapicidata** propone una piccola antologia di queste iscrizioni. Ma non sono solo le pietre a conservare il ricordo del terremoto del 1846. Ci sono anche i «**rituali sismici collettivi**» praticati annualmente da diverse comunità [Castelli, 2011]. Il fenomeno delle manifestazioni commemorative di terremoti (celebrate un po' dappertutto in Italia e spesso senza interruzioni da secoli e secoli) è un fenomeno che tende a restare pressoché ignorato al di fuori dei luoghi che ne sono teatro. Eppure il valore di queste manifestazioni è grandissimo, non solo dal punto di vista storico, spirituale e culturale ma anche perché ex voto, processioni e feste patronali sono elementi preziosi per la ricostruzione della storia sismica del nostro paese. Al momento si sono potute individuare almeno cinque località (Casciana Terme, Fucecchio, Ponsacco, Ripafratta e Siena) dove **ancora oggi ogni 14 agosto**, alle ore 13 locali, **si celebrano messe, processioni o pellegrinaggi** per conservare la memoria della grazia dello scampato pericolo ricevuta in occasione del terremoto del 1846 e trasmetterla alle future generazioni.

Bibliografia

Albini P., Moroni A., and Bellani A., (1991). *The 1846 Orciano (Pisa) earthquake in published sources and government survey documents*. Tectonophysics, vol. 193, pp. 117-130.

Baratta M., (1901). *I terremoti d'Italia*. Torino (rist. anast., Bologna 1979), 950 pp.

Bendinelli F., (2012). *Il terremoto delle Colline Pisane del 1846: rilettura degli eventi alla luce delle nuove conoscenze e della normativa sismica vigente: microzonazione sismica di Livello 1 nelle aree di Acciaiolo, Luciana e S.Regolo*. Tesi di Laurea Magistrale, Università di Pisa.

Castelli V., (2011). *Per non dimenticare. Un censimento di rituali sismici collettivi in Italia*. In: Ambiente, rischio sismico e prevenzione nella storia d'Italia, a cura di Gianni Silei, Manduria, 248 pp.

Corsi P., (2001). *La scuola geologica pisana*. In Storia dell'Università di Pisa, 2° vol., t. 3, Edizioni PIUS, Pisa, pp. 889-927.

Della Pina M., (2004). *Il terremoto del 1846. Un esempio di buongoverno, razionalità scientifica e "uso politico" delle catastrofi nella Toscana dell'Ottocento*. In: Il terremoto delle Colline Pisane del 1846, Cinque testimonianze coeve, Tagete Edizioni 2004.

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., and Valensise G., (2007). *CFTI4Med*,

Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500). INGV-SGA. https://storing.ingv.it/cfti/cfti4/

Pellegrini A., (2009). *Le certezze del Granduca. Leopoldo II e le sue troppe memorie*. Felici Editore Pisa, 116 pagine.

Pilla L., (1846a). *Poche parole sul tremuoto che ha desolato i paesi della costa toscana*. Pisa, Vannucchi editore, 1846.

Pilla L., (1846b). *Istoria del tremuoto che ha devastato i paesi della costa toscana il dì 14 agosto 1846*. Pisa, Vannucchi editore, 1846.

Savi P., (1846). *Relazione de fenomeni presentati dai terremoti di Toscana dell'agosto 1846*. Considerazioni teoretiche sopra i medesimi. Pisa, tipografia Nistri, 1846;

Tinti S., Maramai A., (1996). *Catalogue of tsunamis generated in Italy and in Côte d'Azur, France: a step towards a unified catalogue of tsunamis in Europe*. Ann. Geophys., 39(6).

Trevisan L., Giglia G., (1978). *Introduzione alla Geologia*. Pacini editore Pisa.

Pubblicato il 14 agosto 2015

La “catastrofe sismica” del 28 dicembre 1908

Dante Mariotti

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna


LA DOMENICA DEL CORRIERE

Si pubblica a Milano ogni Domenica

Dono agli Abbonati del "Corriere della Sera"

Anno XI. — Num. 4. 24-31 Gennaio 1909. Centesimi 10 il numero

Salvamento di tre fratelli trovati ancora vivi sotto le rovine del terremoto a Messina dopo diciotto giorni di sepoltura.

Figura 1 Militari impegnati a Messina nell’opera di soccorso (La Domenica del Corriere, 24 gennaio 1909).

«Ormai in quel lido, non altra opera umana si compie che lultima; il seppellimento. Non si aggirano tra le rovine se non fossori. E i fossori sono militi, come dopo una battaglia. E fu invero una battaglia quale mai non si raccontò nella storia degli uomini. Una immensa torma di cavalli [...] sembrò passare al galoppo, sottoterra, nella fragorosa carica di un minuto. Una bocca di fuoco sparò [...] col rombo di cento cannoni in uno, nel cupo silenzio della notte. E il mare si alzò di cinquanta metri, e la terra si abbassò e poi balzò su. E un soffio vastissimo di luce rossa, come un'improvvisa aurora boreale, alitò dal lido opposto; e un astro o più astri si sgretolarono in cielo. Fu una battaglia davvero, ma di Titani, ridesti dal loro sonno millenario in fondo agli abissi, e ritrovatisi in cuore la terribile loro collera primordiale. Ora in quel campo di battaglia, battaglia durata un attimo, dopo quindici giorni si procede all'opera ultima e postuma».

Con queste parole commosse ***Giovanni Pascoli*** commemorò nel gennaio 1909 all'Università di Bologna le vittime causate dal **terremoto e dal maremoto che il 28 dicembre 1908 avevano devastato entrambe le sponde dello Stretto di Messina**. Fu quella la più grave catastrofe che il giovane Stato italiano si trovò ad affrontare per l'altissimo numero di morti e le distruzioni subite da centinaia di centri abitati. Il suo impatto sulla pubblica opinione fu straordinario e lasciò un'impronta indelebile non solo nella realtà delle aree colpite, ma anche nella coscienza e nella memoria storica del Paese e dell'intera Europa. Al di là dell'emozione suscitata dalle molte migliaia di vittime, questa fama si spiega col fatto che **furono distrutte due città importanti** come **Reggio Calabria** e, soprattutto, **Messina**, che era il capoluogo economico e geografico dello Stretto e il cui porto era d'importanza strategica e commerciale lungo le rotte che collegavano i bacini del Tirreno e del Mediterraneo centrale con il canale di Suez.

Ciò che oggi sappiamo sugli effetti del terremoto e del maremoto del 28 dicembre 1908 deriva da un insieme di fonti di vario tipo (giornalistiche, istituzionali e scientifiche) e la ricostruzione più recente e completa del quadro complessivo di tali effetti è contenuta nell'articolo di Guidoboni e Mariotti [2008], di cui questo *post* rappresenta una breve sintesi. Tale articolo è parte del volume antologico *Il terremoto e il maremoto del 28 dicembre 1908* [2008], pubblicato nel centenario dell'evento dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e dal Dipartimento della Protezione Civile, che fa il punto a un secolo di distanza sulle conoscenze di carattere storico e scientifico accumulate su questo evento epocale.

Anche le dinamiche a lungo termine della grande opera di ricostruzione sono state estesamente indagate dal punto di vista economico e sociale. Una notevole raccolta di contributi riguardanti la storia urbanistica, la progettazione architettonica e il restauro è contenuta nel volume antologico *28 dicembre 1908: la grande ricostruzione dopo il terremoto del 1908 nell'area dello Stretto* [2008], pubblicato anch'esso in occasione del centenario.

Le principali fonti storiche e scientifiche

Per quanto riguarda il versante scientifico, il terremoto del 1908 fu oggetto di una serie innumerevole di studi sismologici. Molti dei maggiori studiosi mondiali di scienze della Terra se ne occuparono all'epoca e da allora sono centinaia i lavori specifici che l'hanno indagato da diversi punti di vista disciplinari: dalle modalità di propagazione delle onde sismiche, all'analisi degli aspetti geologici, alle ricadute in campo ingegneristico. **Le indagini più dettagliate sugli effetti furono condotte da tre scienziati di chiara fama**: l'abate **Giuseppe Mercalli**, che ha dato il nome alla nota scala d'intensità per classificare gli effetti dei terremoti; **Mario Baratta**, illustre fondatore della sismologia storica italiana; **Giovanni Platania**, docente di Fisica terrestre all'Università di Catania, che studiò a fondo gli effetti del maremoto.



Figura 2 Frontespizio dell'opera di Mario Baratta "La catastrofe sismica calabro messinese" [1910], fonte essenziale per la conoscenza degli effetti del terremoto del 28 dicembre 1908.

Mario Baratta

Fu autore del lavoro più completo e autorevole per conoscere da osservazioni dirette il terremoto del 1908. La sua grande opera, ***La catastrofe sismica calabro messinese*** [1910], rappresenta un punto di riferimento metodologico nell'ambito degli studi di sismologia e ancora oggi si impone all'attenzione degli studiosi per la qualità e la sistematicità delle informazioni, unite a una grande chiarezza di esposizione, motivata dall'intenzione di divulgare il più possibile quei dati. **Baratta compì due missioni nei luoghi devastati dal terremoto**: **la prima, dal 5 al 20 gennaio 1909**, durante la quale fu impegnato soprattutto a **Messina**; **la seconda, nel mese di febbraio,** quando visitò **Reggio Calabria e il litorale tirrenico della Calabria**. Terminate le missioni sul campo, lavorò poi per circa un anno a organizzare i dati raccolti — avvalendosi, oltre che delle sue osservazioni, dei numerosi rapporti che aveva ricevuto da sottoprefetti, sindaci, parroci e altre autorità delle zone colpite — e alla redazione del testo definitivo che fu pronto per la stampa nel marzo 1910.

Giuseppe Mercalli

Compì una ricognizione più limitata: **nell'aprile 1909, visitò personalmente Messina, Reggio e alcune delle località calabresi più colpite.** Ricevette inoltre molti dati dalle prefetture e dagli uffici tecnici della Finanza e del Genio civile. Nonostante alcune imprecisioni, la sua relazione è ricca di osservazioni sui danni materiali, sugli effetti sui suoli, sul grande maremoto che colpì le coste della Sicilia e della Calabria. **Mercalli [1909] fu inoltre il primo studioso a elaborare un elenco di località classificate con i gradi di intensità, utilizzando la sua scala macrosismica, a**

cui proprio in questa occasione, di fronte alle immani dimensioni delle distruzioni, aggiunse il grado XI ("catastrofe").

Giovanni Platania
Le informazioni più importanti sugli effetti del maremoto che si abbatté sulle sponde dello Stretto subito dopo la grande scossa furono raccolte da **Giovanni Platania** [1909] che le rese note in uno studio pubblicato nel *Bollettino della Società Sismologica Italiana*. **L'autore visitò direttamente tutti i siti colpiti sulla costa orientale della Sicilia e alcune delle località più devastate sulla costa calabrese.** Raccolse i racconti dei testimoni diretti dell'accaduto e valutò l'altezza raggiunta dalle onde misurando i segni lasciati sui muri o sul terreno mediante precisi strumenti ottici.

Tra le molte rilevanti fonti istituzionali, va segnalata l'ampia relazione della *Direzione generale dei servizi speciali del Ministero dei Lavori Pubblici* [1912], pubblicata al termine della fase dell'emergenza. Tale relazione traccia il consuntivo dell'attività svolta dal governo nei comuni colpiti per la messa in sicurezza degli edifici pericolanti e per la costruzione di baracche per i senzatetto e gli uffici pubblici rimasti privi di sede. Allegata a questa relazione vi è una dettagliata tabella riassuntiva dei danni e delle vittime relativa a tutti i Comuni delle province più colpite.
Un contributo rilevante all'analisi di dettaglio degli effetti è fornito dalla vasta documentazione fotografica, che ci è pervenuta grazie al lavoro di un gran numero di fotografi italiani e stranieri nell'area del disastro. Va ricordato, in particolare, il volume curato dalla Società Fotografica Italiana [1909], un'eccezionale raccolta di oltre 600 fotografie, che documentano in modo realistico ed efficace il "prima" e il "dopo" delle città di Messina, di Reggio e di molti paesi della Calabria. **Pensato all'epoca come un mezzo per trasmettere la memoria dell'antico aspetto delle località e degli edifici monumentali azzerati dal terremoto, questa raccolta è oggi uno strumento straordinario per lo studio degli effetti del terremoto e del maremoto su paesi e singoli edifici.** Le devastazioni causate dal terremoto e la situazione di emergenza estrema in cui versavano le popolazioni subito dopo la catastrofe sono documentate anche da alcuni rarissimi filmati cinematografici.

Il terremoto

Il grande terremoto avvenne all'alba del 28 dicembre, alle ore 5:20:27 locali. L'ora esatta risulta dal sismogramma registrato all'Osservatorio di Messina, salvato dal sismologo Emilio Oddone, che fu tra i primi studiosi a giungere sui luoghi del disastro. La durata della scossa percepita dalle persone fu di 30-40 secondi e, secondo la maggioranza dei testimoni, fu divisa in due o tre fasi distinte, di cui l'ultima molto più violenta. **Il valore di magnitudo fu di 7.1**, secondo i dati convergenti risultanti dalle analisi delle registrazioni strumentali e delle stime macrosismiche.
I danni più gravi (equivalenti a effetti di **XI e X grado della scala MCS**) **furono rilevati in un'area di circa 600 km²**: in **76 località della provincia di Reggio Calabria** e in **14 della provincia di Messina** ci furono **distruzioni devastanti, estese dal 70 al 100% delle costruzioni**. Nel Messinese l'area delle distruzioni pressoché totali fu ristretta al territorio del comune di Messina e comprese, oltre alla città, diverse frazioni litoranee o dell'immediato entroterra. **A Messina il terremoto fu catastrofico e distrusse completamente il tessuto urbano**: abitazioni, edifici pubblici civili ed ecclesiastici, infrastrutture. Le costruzioni che resistettero furono incredibilmente poche: secondo i dati del Ministero dei Lavori Pubblici soltanto due case risultarono illese. Tutte le altre crollarono totalmente o ne rimasero in piedi solo le pareti esterne, mentre collassarono tetti, solai, muri divisori e scale.

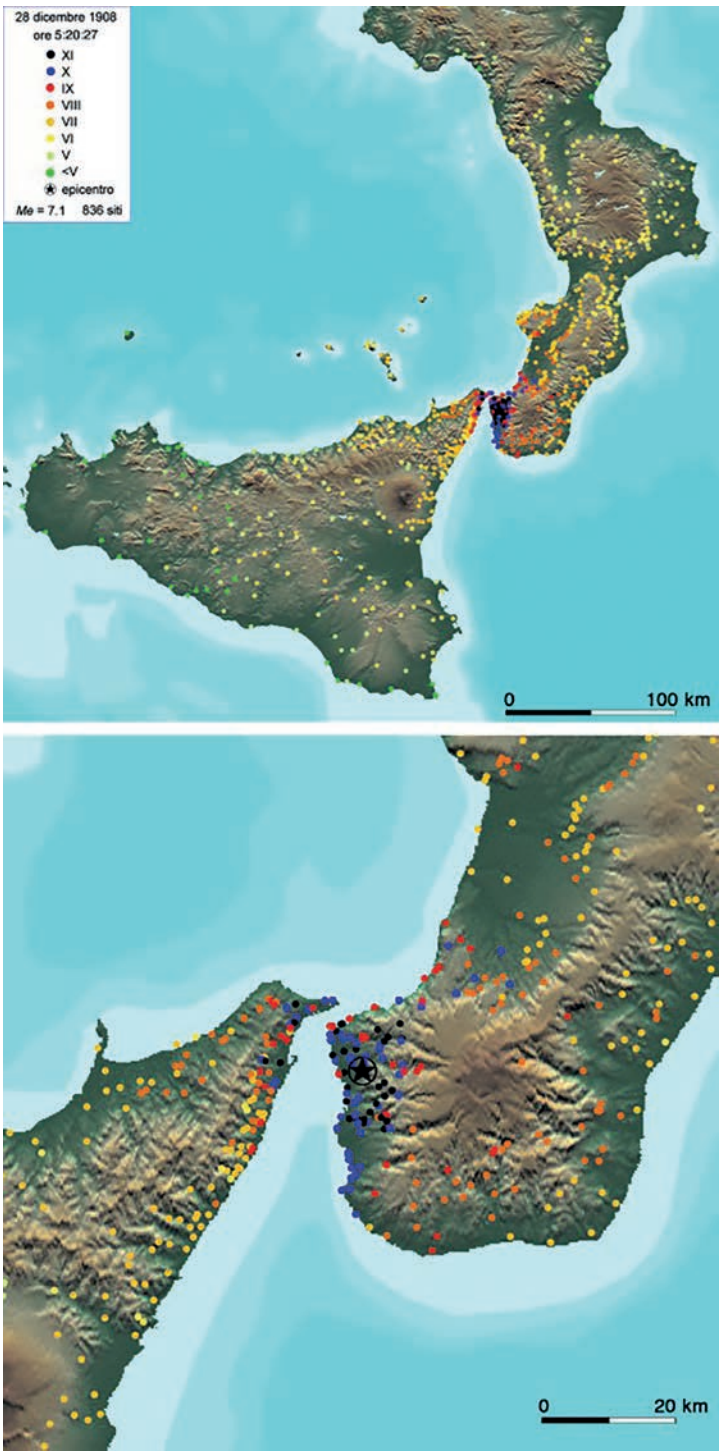


Figura 3 Localizzazione degli effetti classificati del terremoto del 28 dicembre 1908 [Guidoboni e Mariotti, 2008].

Pure in questo quadro di distruzione generale, fu rilevato che gli effetti furono più catastrofici nei quartieri antichi e più bassi della zona centrale della città, fondati su terreni alluvionali poco stabili e dove la qualità del patrimonio edilizio era generalmente pessima. Gli edifici erano infatti troppo alti, quasi sempre non in seguito a un progetto di edificazione organico, ma a causa di successive sproporzionate soprelevazioni, senza un adeguato rafforzamento delle fondazioni, che risultavano dunque insufficienti. I muri erano troppo sottili in relazione all'altezza, spesso costruiti con ciottoli di fiume o con mattoni tenuti insieme da scarso cemento. I tetti e i solai risultavano eccessivamente pesanti e mal connessi con i muri maestri: per questo in molti casi sprofondarono anche quando le murature esterne rimasero in piedi. Gli effetti furono un po' meno disastrosi nella parte alta più periferica della città, dove gli edifici erano fondati su terreni più stabili e compatti, e nei quartieri nuovi dove la qualità delle costruzioni era migliore.



Figura 4 Messina: edifici distrutti in via Cardines.



Figura 5 Messina: piazza del Duomo ingombra di macerie.

In Calabria il terremoto ebbe effetti distruttivi in un'area molto più estesa di quella siciliana, comprendente tutto il versante occidentale del massiccio dell'Aspromonte. In molte località, inoltre, i danni del 1908 si sovrapposero a quelli non adeguatamente riparati causati dai **precedenti terremoti del 1894**, **1905** e **1907**. Oltre che a Reggio Calabria, la scossa fu disastrosa in diversi centri abitati importanti, come Calanna, Sant'Alessio in Aspromonte, Sant'Eufemia in Aspromonte, Villa San Giovanni, e in tutte le località della costa, a nord e a sud di Reggio, rimaste poi devastate anche dallo tsunami che seguì la scossa.



Figura 6 Sant'Eufemia d'Aspromonte (RC): abitazioni distrutte.



Figura 7 Villa San Giovanni (RC): macerie di case crollate.

A Reggio le distruzioni, di entità inferiore rispetto a Messina, risultarono estese a circa l'80% degli edifici. Anche in questo caso, il disastro fu causato non solo dall'estrema violenza della scossa, ma anche da fattori di debolezza strutturale dell'edilizia urbana. Tutta la parte bassa della città vicina al mare era infatti fondata su terreni alluvionali poco consistenti; inoltre, durante la fase di ricostruzione seguita ai terremoti del 1783, l'andamento altimetrico originario delle vie era stato corretto con estesi lavori di sterro e livellazione a causa dei quali, in diverse zone dell'area urbana, gli edifici erano fondati su terreno di riporto.



Figura 8 Reggio Calabria: rovine della caserma Luigi Mezzacapo.

Le condizioni statiche degli edifici erano poi in genere scadenti per la cattiva qualità dei materiali utilizzati e per la scarsa manutenzione. Il crollo della caserma Mezzacapo, in cui morirono oltre 270 militari, fu indicato da tutti gli osservatori dell'epoca come l'esempio più emblematico della pessima costruzione degli edifici, anche di quelli pubblici. I muri di questo grande fabbricato a due piani risultarono infatti costruiti con grossi ciottoli e frammenti di mattoni, legati da cemento con poca calce e molta sabbia terrosa; i soffitti erano sostenuti da travicelli di sezione troppo sottile e poco incastrati nei muri di sostegno. Questi evidenti difetti di costruzione erano già stati segnalati in occasione del terremoto del 1894, che aveva gravemente danneggiato la caserma, senza che le autorità competenti intervenissero per sanare la situazione.

Sia a Messina sia a Reggio Calabria fu quasi azzerato il patrimonio storico-monumentale. La scomparsa di chiese, monasteri e palazzi, distrutti o demoliti dopo il terremoto, cancellò pressoché totalmente l'eredità storica urbana delle due città, già depauperata da precedenti terremoti (su questo specifico aspetto si veda il contributo di Ciuccarelli, [2008]).



Figura 9 Reggio Calabria: crolli in corso Garibaldi.



Figura 10 Reggio Calabria: rovine della chiesa di San Francesco da Paola.

Distruzioni estese fino al 50% circa degli edifici (equivalenti a effetti di **IX grado**) **furono rilevate complessivamente in 38 paesi**: **27 in Calabria**, fra cui alcuni paesi del versante ionico dell'Aspromonte; **11 in Sicilia**, comprese alcune località delle estreme propaggini settentrionali dei monti Peloritani. **L'area all'interno della quale gli effetti del terremoto furono gravi, con crolli totali limitati, ma con molti edifici gravemente lesionati e resi inagibili** (equivalenti a effetti di **VIII** o **VII-VIII grado**) **fu molto vasta e comprese oltre 170 località.** Tale area include, in Calabria, la piana di Gioia Tauro, la Grecanica, la Locride e arriva fino alla penisola di capo Vaticano e alle

località dell'istmo di Marcellinara, in provincia di Catanzaro; in Sicilia, comprende tutto il versante ionico dei Peloritani fino alle pendici nord orientali dell'Etna.

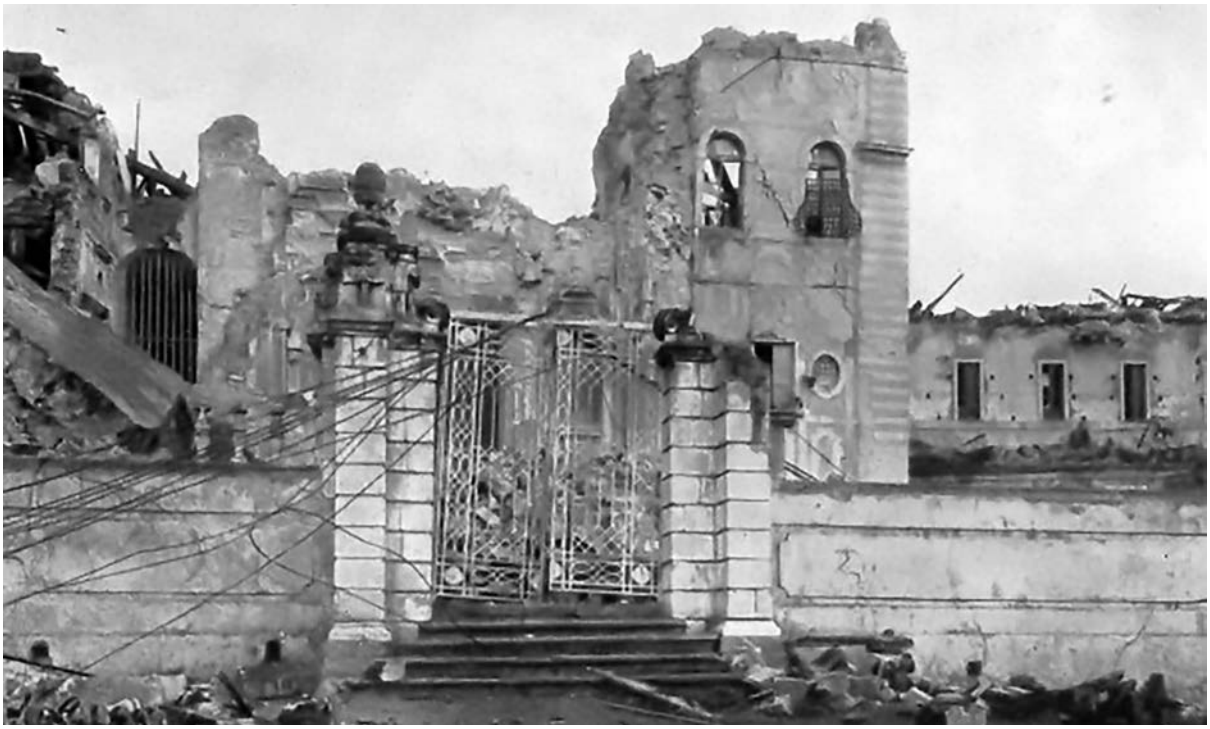


Figura 11 Messina: rovine della chiesa di San Gregorio.

Secondo i dati statistici rilevati dal Ministero dei Lavori Pubblici [1912], approssimati per difetto, nelle tre province di Messina, Reggio Calabria e Catanzaro (che all'epoca comprendeva anche l'attuale provincia di Vibo Valentia), le case distrutte o demolite furono oltre 40.000; quelle gravemente danneggiate e rese totalmente o parzialmente inabitabili circa 33.000; quelle lesionate circa 68.000. Danni più leggeri, con crolli sporadici e lesioni in un numero complessivamente limitato di case o edifici pubblici, furono rilevati in oltre 400 paesi sparsi su un'area estesa, in Calabria, fino alle province di Crotone e Cosenza, e in Sicilia fino ad alcune località delle province di Enna, Caltanissetta, Agrigento e Ragusa.
La scossa fu percepita dalle persone in un'area vastissima: in direzione nord fino all'isola d'Ischia e alla provincia di Campobasso; verso est fino al Montenegro, all'Albania e alle isole Ionie della Grecia; in direzione sud fino all'arcipelago maltese; a ovest fino a Ustica e ad alcune località della provincia di Trapani.
Per la descrizione degli effetti in tutte le 802 località della Calabria (462) e della Sicilia (240) in cui furono rilevati danni (fino al VI grado di intensità), si veda il contributo di Guidoboni e Mariotti ([2008] pp. 39-108).

Il maremoto

Segnalato dai testimoni da 5 a 10 minuti dopo il terremoto, il maremoto fu di violenza straordinaria e lasciò in desolazione entrambe le coste dello Stretto. Sulla costa orientale della Sicilia **l'altezza massima delle onde fu compresa tra 6 e 9.50 metri circa** e fu rilevata nel tratto compreso tra la foce della fiumara Portalegni, subito a sud del porto di Messina, e Giardini Naxos, con una punta

estrema di 11.70 metri a Sant'Alessio Siculo, dovuta alla particolare conformazione della costa in quel punto. Più a sud, fino a Capo Passero, l'altezza delle onde decrebbe progressivamente, ma fu comunque notevole fino a Ognina, oggi quartiere periferico della città di Catania, dove fu di circa 5 metri. **Nel porto di Messina l'altezza delle onde non superò i 3 metri** e nelle località a nord della città fino a Torre Faro fu in genere minore. Sulla costa settentrionale della Sicilia, il maremoto fu meno sensibile e l'altezza fu sempre minore di un metro. Sulla costa meridionale dell'isola e più a sud, nell'arcipelago maltese, furono invece rilevate altezze comprese tra 0.70 e 2 metri.



Figura 12 Messina: rottami trascinati dal maremoto sulla spiaggia di Maregrosso, a sud del porto, dove l'onda raggiunse un'altezza di circa 6 metri.

Sulla costa calabrese l'altezza massima delle onde fu compresa tra i 6 e gli 11 metri circa nel tratto da Gallico Marina a Lazzaro, con un **massimo di circa 13 metri** rilevato in un punto poco a sud del paese di **Pellaro**. A nord di quest'area, il maremoto ebbe dimensioni ancora rilevanti sulle coste reggine dello Stretto fino alla Punta Pezzo, e fu invece molto ridotto lungo il litorale tirrenico della Calabria. Anche verso sud, tra Capo dell'Armi e Capo Spartivento, e lungo tutta la costa ionica calabrese, le onde di maremoto furono progressivamente meno alte e violente, con l'eccezione dei dati, forse errati, rilevati a Roccella Jonica e Cirò Marina dove l'altezza delle onde avrebbe superato i 6 metri.

In alcune delle località il maremoto aggravò enormemente le distruzioni causate dal terremoto e fece molte vittime tra le persone scampate ai crolli. In questi paesi le devastazioni furono dovute alla posizione degli abitati edificati a breve distanza da basse spiagge sabbiose. In altre località, come Alì Terme, Fondachello o Giampilieri Marina, dove pure lo tsunami raggiunse altezze impressionanti, i danni furono limitati e non ci furono vittime perché non c'erano case edificate vicino alla spiaggia. In Guidoboni e Mariotti ([2008] pp. 109-122), sono riportate le

descrizioni sintetiche degli effetti del maremoto in tutte le 104 località della Calabria, della Sicilia e dell'arcipelago maltese per cui sono state reperite informazioni specifiche.



Figura 13 Pellaro (RC): una barca trascinata dal maremoto all'interno della chiesa della Madonnella, crollata a causa del terremoto. Poco a sud di questo paese lo tsunami raggiunse l'altezza massima rilevata di circa 13 metri.

Effetti sull'ambiente naturale

Importanti sconvolgimenti segnarono il paesaggio soprattutto nell'area dello Stretto dove lo scuotimento fu maggiore. Fu misurato un **abbassamento del suolo** della parte bassa di Messina; un fenomeno simile fu osservato anche a Reggio Calabria e a Villa San Giovanni. Notevoli variazioni della linea di costa furono riscontrate in numerose località calabresi, dove il terremoto e il maremoto accelerarono la lenta immersione del litorale già in atto. Presso Pellaro la costa arretrò in alcuni punti di 50 m circa; a Gallico Marina la spiaggia perse 10 m di larghezza. In un'area molto vasta della Calabria e della Sicilia il terremoto attivò **frane**, **smottamenti e scoscendimenti**, si aprirono spaccature nel suolo, in generale limitate ai terreni superficiali, e ci furono parziali spostamenti e lenti o rapidi scivolamenti dei terreni. Non furono tuttavia rilevati fenomeni interpretabili con certezza come effetti di fagliazione superficiale (su questi aspetti si veda il contributo specifico di Caciagli [2008]).
Dopo il terremoto in molte località ci furono variazioni di breve durata nella portata delle sorgenti. Gli effetti più rilevanti sulle acque sotterranee furono osservati nel territorio di Termini Imerese (PA), a notevole distanza (170 km circa) dall'area più colpita.

L’impatto del terremoto sull’uomo

Il mancato recupero di molti cadaveri, rimasti sepolti sotto le macerie o scomparsi in mare a causa del maremoto, i flussi migratori successivi, la perdita dei registri di stato civile, non consentirono di stabilire con precisione il numero complessivo dei morti. **Si può tuttavia affermare che il terremoto del 1908 costituì un episodio di mortalità catastrofica: la stima più accreditata valuta infatti le vittime in tutta l’area colpita attorno alle 80.000 unità.**
Le perdite umane furono ingentissime soprattutto a Messina e a Reggio Calabria. Secondo stime di massima della Prefettura, nel comune di Messina il numero delle persone decedute era di 65.000, circa il 42% della popolazione totale; secondo i dati raccolti dal Ministero dei Lavori Pubblici, nella sola città di Messina i morti furono circa 50.000, cioè il 45% degli abitanti della città. Il comune di Reggio Calabria stimò in 15.000 il numero dei morti in tutto il territorio comunale, pari al 34% della popolazione; secondo il Ministero dei Lavori Pubblici le vittime furono complessivamente 12.000 (27%). Nelle zone rurali dello Stretto e nei centri più colpiti dell’Aspromonte la mortalità fu in genere inferiore. Solo in tre paesi la percentuale delle vittime superò il 30%: a Cannitello (RC) fu del 44%, a Faro Superiore (ME) del 33%, a Salice Calabro (RC) del 31%. In altri tre paesi superò il 20%: Gallico (RC) 24%, Pace (ME) 21%, Sant’Alessio in Aspromonte (RC) 21%. In 12 località, 11 in provincia di Reggio Calabria e una in provincia di Messina, fu rilevata una percentuale di perdite umane tra il 15 e il 20% della popolazione censita. Non è possibile determinare quanti furono i morti causati direttamente dal maremoto. Quelli esplicitamente dichiarati si aggirano attorno ai 300, ma probabilmente furono molto più numerosi.



Figura 14 Palmi (RC): superstiti accampati all’aperto in attesa della distribuzione del pane.

Furono devastate sia aree urbanizzate, caratterizzate da moderne dinamiche di sviluppo economico, sia aree di agricoltura arcaica, emarginate dai flussi commerciali. La ricostruzione dell’enorme patrimonio edilizio distrutto o lesionato fu seguita dalla stampa e dall’opinione pubblica nazionale soprattutto per quanto riguarda la città di Messina, a cui non mancarono mezzi economici e competenze per avviare la fase di ripresa. Reggio Calabria trovò minore

attenzione, elemento che pesò nella fase di ricostruzione della città, avviata concretamente solo una decina d'anni dopo l'evento. Tuttavia, fu soprattutto nei contesti economici più arretrati che il terremoto ridusse le già scarse opportunità di uscire dall'isolamento, generando un sentimento di disfatta collettiva che ha segnato per decenni quelle zone e pesato negativamente sui destini sociali delle popolazioni.

Bibliografia

Baratta M., (1910). *La catastrofe sismica calabro messinese (28 dicembre 1908)*. Relazione alla Società Geografica Italiana, 2 voll., Roma (riproduzione integrale nel DVD-Rom allegato a Il terremoto e il maremoto del 28 dicembre 1908...).

Caciagli M., (2008). *Le tracce del terremoto del 1908 nell'ambiente naturale*. In Il terremoto e il maremoto del 28 dicembre 1908..., DPC-INGV, Roma-Bologna 2008, pp. 197-214. https://www.earth-prints.org/handle/2122/4367

Ciuccarelli C., (2008). *Messina e Reggio Calabria: monumenti perduti*. In Il terremoto e il maremoto del 28 dicembre 1908..., DPC-INGV, Roma-Bologna 2008, pp. 333-392. https://www.earth-prints.org/handle/2122/4864

Guidoboni E., e Mariotti D., (2008). *Il terremoto e il maremoto del 1908: effetti e parametri sismici*. In "Il terremoto e il maremoto del 28 dicembre 1908...", DPC-INGV, Roma-Bologna, 2008, pp. 17-136. https://www.earth-prints.org/handle/2122/4865

Bertolaso G., Boschi E., Guidoboni E., e Valensise G., (a cura di), (2008). *Il terremoto e il maremoto del 28 dicembre 1908: analisi sismologica, impatto, prospettive*. INGV-DPC, Roma-Bologna (con allegato DVD-Rom contenente la riproduzione di relazioni scientifiche e tecniche, fotografie e due filmati d'epoca).

Mercalli G., (1909). *Contributo allo studio del terremoto calabro-messinese del 28 dicembre 1908*. Atti del Regio Istituto di Incoraggiamento di Napoli, s.VI, 7 (1909), pp. 249-292 (riproduzione integrale nel DVD-Rom allegato a Il terremoto e il maremoto del 28 dicembre 1908...).

Ministero dei Lavori Pubblici – Direzione generale dei Servizi speciali (1912). *L'opera del Ministero dei Lavori pubblici nei comuni colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908*. 3 voll., Roma.

Platania G., (1909). *Il maremoto dello Stretto di Messina del 28 dicembre 1908*. Bollettino della Società Sismologica Italiana, 13 (1908-1909), pp. 369-458 (riproduzione integrale nel DVD-Rom allegato a Il terremoto e il maremoto del 28 dicembre 1908...).

Società Fotografica Italiana (1909). *Messina e Reggio prima e dopo il terremoto del 28 dicembre 1908*. Firenze.

Valtieri S., (a cura di), (2008). *28 dicembre 1908: la grande ricostruzione dopo il terremoto del 1908 nell'area dello Stretto*. Roma.

Pubblicato il 28 dicembre 2015

I terremoti riminesi del 1916

Romano Camassi

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna

"IL TERREMOTO DI RIMINI. Quattro morti - Trenta feriti - Enormi danni - I soccorsi - L'opera del Governo. Il flagello. Pochi secondi di cieco furore della natura, in uno di quei terribili sconvolgimenti che la scienza non sa spiegare e tanto meno prevedere, hanno piombato la nostra città, così duramente già provata dalle conseguenze della guerra, nella più tragica rovina. Non occorrono aggettivi per ampliare l'articolo; basta un semplice sguardo alle torri smantellate, ai tetti scoperchiati, alle mura rovinanti, alla popolazione attendata, nelle piazze e nelle campagne, per rendersi conto dell'immane disastro [...]". [Corriere Riminese, 27 agosto 1916]



IL TERREMOTO DI RIMINI

Quattro morti - Trenta feriti - Enormi danni - I soccorsi

L'opera del Governo

Il flagello

Pochi secondi di cieco furore della natura, in uno di quei terribili sconvolgimenti che la scienza non sa spiegare e tanto meno prevedere, hanno piombata la nostra città, così duramente già provata dalle conseguenze della guerra, nella più tragica rovina.

man mano riprendere il ritorno della vita normale al bene perduto. Già i rancori e le antipatie, in alto i cuori e le menti per l'avvenire della nostra città derelitta dove siam nati, cresciuti, dove abbiamo sofferto e gioito, dove riposano i nostri morti, dove fino a ieri brillavano tutte le nostre speranze, il cui lume si è d'un tratto quasi interamente oscurato, ma Dio, no, non vorrà che

dividono in cento, in mille per portare soccorsi. Ad essi si uniscono i bravi soldati che non si risparmiano per dare un qualche aiuto. Si corre da tutte le parti ove è segnalata la necessità dell'opera loro. È una gara nobilissima che commuove. Si vedono soldati con bimbi in braccio che discendono dalle scale « Porta » non potendo valersi delle scale di casa.

L'arrivo delle Autorità

Delle autorità di fuori primo ad arrivare è il tenente generale

la tua bella città posso assicurarti che è già stata e sarà cura del governo di provvedere nel modo più efficace e rapido.

I colleghi Boncelli e De Vito sono già partiti per recarsi costà per provvedere ai primi soccorsi e organizzare opera d'assistenza. Ho provveduto perchè conveniente numero funzionari si rechi dalle provincie limitrofe sui luoghi colpiti, mentre direzione Sanità ha già disposto invio personale sanitario e padiglioni. Sono stati presi accordi con amministrazioni ferroviaria affinchè provveda essa pure

affettuosa parola di conforto e di augurio.

Dopo lo sbalordimento e l'enorme impressione del primo momento la vita riprende.

Il servizio postale e specialmente quello telegrafico non s'interruppe mai. L'intero personale con a capo l'egregio Direttore Signor Alfredo Zigarelli rimase a compiere il proprio dovere. Gli uffici di Prefettura pure funzionarono senza interruzione.

Giovedì si riaprirono i primi l'Ufficio Leva, e di Stato Civile, di

Figura 1 I titoli di prima pagina del settimanale Corriere Riminese del 27 agosto 1916.

Con questi toni drammatici il settimanale "Corriere Riminese" inizia un lungo resoconto sul forte terremoto che il **16 agosto 1916** poco dopo le 9 del mattino (ora locale, ore 7.06 GMT) colpisce Rimini e la costa Adriatica.

Il giorno precedente, martedì 15, non era stato, per i riminesi e i pesaresi, un ordinario giorno di Ferragosto. Alcune decine di scosse (una cinquantina, di cui una decina molto sensibili secondo Baratta [1917]) erano state avvertite a Pesaro e Rimini:

"tutta la giornata di martedì sulla spiaggia da Bellaria a Pesaro fu un succedersi di scosse di terremoto con un sensibile progresso di intensità. Nullostante, Rimini – provata a ben maggiori tormenti – non cessava dalle abituali occupazioni, già avvezza da qualche mese al ripetersi di più o meno intensi movimenti tellurici: alla spiaggia continuava nella solita vita di gioconda animazione..." (Il Resto del Carlino, 1916.08.18).

"Verso le ore 23 le ire del sottosuolo si placarono [...] ma la gente non si azzardò di dormire nelle case e nelle ville e si accampò alla meglio, su materassi gettati dove vi fosse un poco di riparo dal vento e dalla guazza, oppure si ricoverò più comodamente nei capanni a mare. Coloro i quali erano venuti per qualche giorno, approfittando del Ferragosto, rifecero in fretta e furia le valigie e scapparono a Bologna" (L'Avvenire d'Italia, 1916.08.18).

Mercoledì 16 a Rimini era giornata di mercato settimanale e la città cominciava ad animarsi dopo una notte passata dai più all'aperto quando arrivò la scossa più forte dell'intera sequenza, preceduta da una scossa sensibile una ventina di minuti prima.

La sequenza

La prima scossa che aveva dato inizio alla sequenza si era verificata il **17 maggio**, con effetti molto gravi a Rimini e a Cattolica.


I gravissimi danni del terremoto del 17 Maggio
A RIMINI E CIRCONDARIO
Oltre mille fabbricati danneggiati - L'opera di soccorso - I primi provvedimenti

Figura 2 I titoli del resoconto del settimanale Corriere Riminese del 31 maggio 1916 sugli effetti della scossa del 17 maggio.

A Rimini, in particolare, centinaia di edifici furono danneggiati: *"moltissime case presentano profonde lesioni ai muri portanti, ai muri divisori, ai soffitti, ai cornicioni; i tetti di moltissime abitazioni, si sono mossi e spostati, i cornicioni distaccati dai muri maestri, in parte precipitati ed in parte pericolanti, i camini minacciano di precipitare nelle vie"* (Corriere Riminese, 1916.05.31).
I danni più gravi e diffusi interessarono il rione Montecavallo e le case lungo la via Flaminia.
Fra gli edifici monumentali, minuziosamente descritti dal lungo reportage corredato da fotografie del settimanale riminese, lesioni si ebbero al palazzo comunale, al Teatro Vittorio Emanuele, alla Rocca Malatestiana e al palazzo Gambalunga.
Numerose chiese furono danneggiate, alcune in modo grave: in particolare le chiese di S. Bartolomeo, di S. Giovanni Battista, della Colonnella, di S. Agostino, di S. Bernardino.

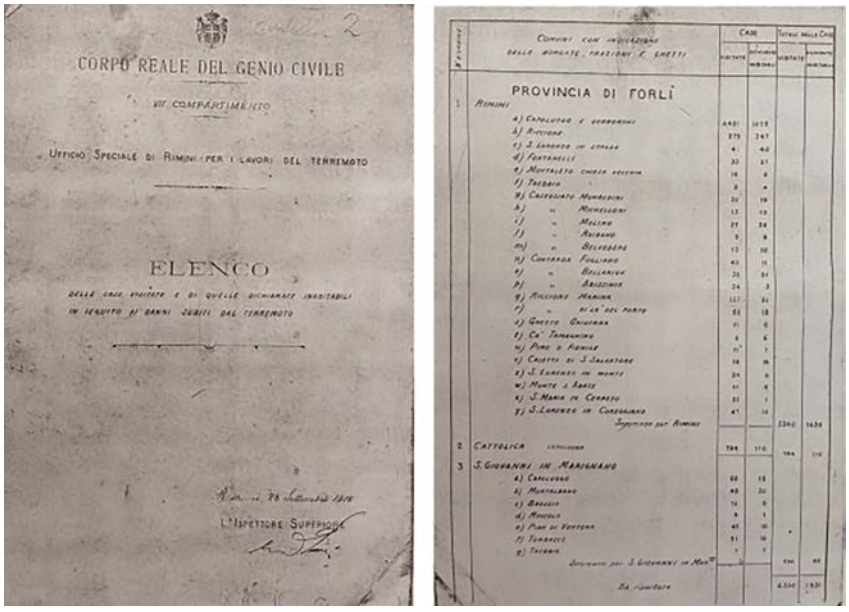


Figura 3 Distribuzione degli effetti del terremoto del 17 maggio 1916 secondo lo studio di Guidoboni et al. [2007] (Fonte: DBMI15).

Un'altra forte scossa, meno violenta di quella di maggio, si verificò il **16 giugno**, **causando nuovi danni** (e una decina di feriti) ad alcuni edifici di Rimini (palazzo comunale, Teatro, Sottoprefettura, chiesa di S. Bartolomeo, dove crollò il soffitto a cassettoni), oltre che a Cattolica e Gabicce, più sporadici a Savignano di Romagna, San Mauro Pascoli, Gatteo, Sant'Arcangelo e nel territorio della Repubblica di San Marino. Anche a Pesaro produsse nuove lesioni e caduta di tegole e camini, così come a Fano.

Gli studi e le fonti

I terremoti del 1916 sono stati studiati da diversi autori, da Camassi et al. [1991], un lavoro dedicato alla revisione delle conoscenze sulla sismicità di interesse per il territorio della Repubblica di San Marino, a Guidoboni et al. [2007], che è l'attuale studio di riferimento da cui derivano i parametri del catalogo [Rovida et al., 2016] e da cui deriva anche la scheda inclusa nel volume "Il peso economico e sociale dei disastri sismici negli ultimi 150 anni" di Guidoboni e Valensise [2011].
Nonostante la contemporaneità delle vicende belliche, **le fonti** disponibili per lo studio di questo terremoto **si sono rivelate numerose**.
Innanzitutto è significativa la disponibilità della **stampa nazionale e locale**, che **consente di tratteggiare con una certa precisione l'entità del danneggiamento nell'area epicentrale**, grazie soprattutto alla disponibilità di diversi periodici riminesi. Gli interventi di censura sono riscontrabili, ma generalmente non compromettono il carattere informativo dei testi.
A integrare le informazioni desumibili dalla stampa periodica, sono disponibili presso l'Archivio Centrale dello Stato di Roma i **dispacci** trasmessi dall'Agenzia di stampa Stefani, che consentono di controllare l'immagine di questo terremoto, così come ricostruibile dai quotidiani nazionali; presso lo stesso Archivio sono disponibili le serie di dispacci telegrafici trasmessi dalle autorità locali (sindaci, prefetti, funzionari, ufficiali dei carabinieri, ecc.) al Ministero dell'Interno.
Nell'archivio dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia sono conservate le **cartoline macrosismiche pervenute all'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica** in occasione di questo periodo sismico, particolarmente interessanti per la definizione delle aree di risentimento.


CORPO REALE DEL GENIO CIVILE

VII COMPARTIMENTO

UFFICIO SPECIALE DI RIMINI PER I LAVORI DEL TERREMOTO

ELENCO

DELLE CASE VISITATE E DI QUELLE DICHIARATE INABITABILI IN SEGUITO AI DANNI SUBITI DAL TERREMOTO

L'ISPETTORE SUPERIORE

PROVINCIA DI FORLÌ

Figura 4 Elenco delle case visitate e di quelle dichiarate inabitabili in seguito ai danni subiti dal terremoto, Archivio di Stato di Forlì, Genio Civile, b. 1.

Il fondo archivistico più significativo per lo studio di questo terremoto è quello del Genio Civile di Forlì, depositato presso il locale Archivio di Stato.
All'indomani della scossa del 16 agosto venne creato un Ufficio Speciale per i lavori del terremoto, con il compito di redigere **le perizie tecniche dei danni prodotti dal terremoto sui singoli edifici** e di coordinare gli interventi urgenti di riparazione. La quantità di documentazione disponibile è imponente e di non semplice utilizzo, considerando anche che i danni rappresentati sono necessariamente cumulativi dell'intero periodo sismico.
Insieme alla singole perizie tecniche sono disponibili alcuni materiali a carattere riassuntivo che consentono un bilancio molto realistico e dettagliato dell'impatto complessivo di questi terremoti sul patrimonio edilizio.
Altro tipo di documentazione di un certo interesse, soprattutto per l'area urbana di Rimini, **è quello fotografico**; le principali raccolte note sono quelle dei Vigili del Fuoco, conservate presso la Biblioteca Gambalunga di Rimini, e quella dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione di Roma, ma anche nell'ambito del collezionismo antiquario esistono fotografie relative agli effetti di questi terremoti.
Nella ricostruzione complessiva degli effetti delle diverse scosse di questa sequenza sismica occorre tenere presente un certo **effetto di "saturazione" delle fonti**, un meccanismo che fa sì che l'attenzione degli organi di informazione, ma anche dei corrispondenti del Servizio Geodinamico dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica tenda ad allentarsi dopo le prime scosse. La cosa è particolarmente vistosa per le **cartoline macrosismiche** che per la scossa del 17 maggio forniscono informazioni per 111 località, per la scossa del 16 giugno documentano gli effetti per 23 località e infine forniscono notizie relativamente alla scossa del 16 agosto per sole 50 località, nonostante si tratti della scossa di entità più elevata.

Gli effetti

Il terremoto del **16 agosto** colpì un'area già danneggiata e indebolita, fattore che ne incrementò la portata distruttiva: accentuò i danni causati dalle scosse precedenti e ne causò di nuovi e, in qualche caso, molto gravi.



Figura 5 Alcuni crolli parziali a Rimini (Fonte: https://riminisparita.it/).

Una quarantina di località lungo la fascia costiera tra Rimini e Pesaro e nell'entroterra subirono crolli e gravi lesioni negli edifici. Particolarmente colpita fu **Riccione**, dove molte case, specialmente nella parte alta della cittadina, andarono distrutte.

A **Rimini** la scossa aggravò ulteriormente i danni causati dal terremoto del 17 maggio: "nessuna casa di Rimini, dalla più modesta alla più sontuosa, è stata risparmiata" [Baratta, 1917].
In un'ottantina di altri centri, compresa **Pesaro**, molti edifici rimasero seriamente lesionati e divennero inagibili. Danni più lievi furono rilevati in tutta l'area compresa tra Fano, Cesena e Urbino. L'avvertimento si estese ad un'area molto vasta dell'Italia centro settentrionale: la scossa fu avvertita fortemente fino a Venezia, verso nord, a Bologna e a Modena verso nord-ovest, ad Ancona, Macerata e Tolentino, verso sud-est, e a Città di Castello verso sud-ovest.
Fu risentita fino a Milano e a Genova, nelle città della Toscana settentrionale fino a Livorno, nelle Marche meridionali e in alcune località del Lazio.

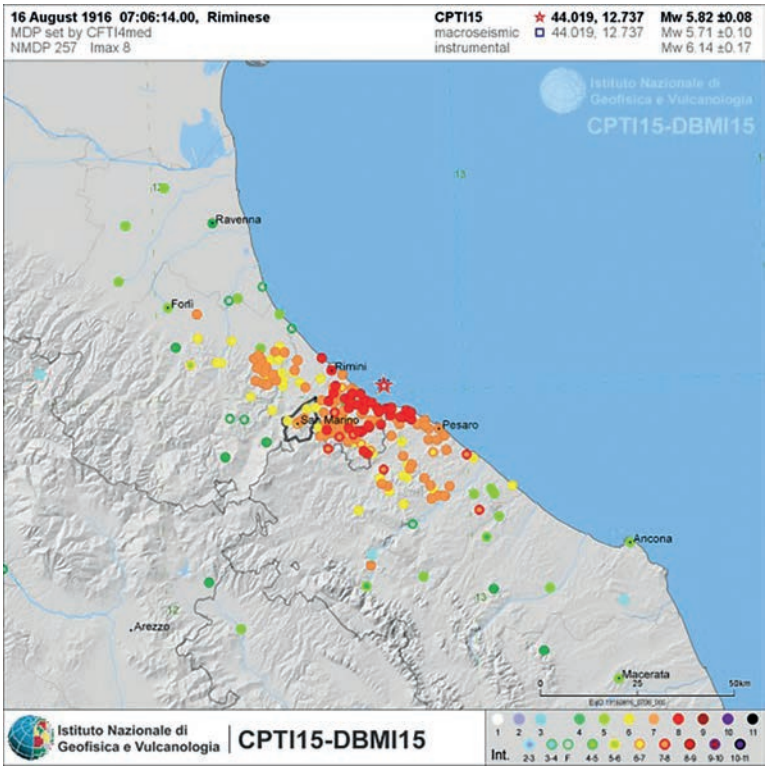


Figura 6 Distribuzione degli effetti del terremoto del 16 agosto 1916 secondo lo studio di Guidoboni et al. [2007] (Immagine da DBMI15).

Perché questi effetti

I danni prodotti da questa lunga e complessa sequenza sismica furono gravi e diffusi, seppure non comparabili a quelli di terremoti molto più forti che a inizio del secolo scorso hanno interessato altre parti del Paese.
Le ragioni di questi effetti sono imputabili a diverse ragioni. Prima di tutto il quadro complessivo rappresenta, come abbiamo visto, l'esito di una sequenza di alcuni mesi di terremoti, con due eventi principali il 17 maggio e il 16 agosto e almeno una quindicina di scosse di magnitudo Mw ≥4.5. Questa stessa area, inoltre, era stata colpita appena una quarantina di anni prima, 17 marzo 1875, da un altro forte terremoto (Mw 5.7), i cui danni erano stati riparati in qualche caso in modo approssimativo. Ma un elemento fondamentale per comprendere le dimensioni dell'impatto dei terremoti del 1916 è nella particolare **vulnerabilità sismica** del patrimonio costruito. Di questo scrive il geografo Mario Baratta, dopo aver svolto un'indagine accurata:

"Un esame atto circa i metodi usati per le costruzioni delle case ci chiarisce che il disastro di Rimini, più che alla forza distruttiva del terremoto, è dovuto a notevoli difetti di costruzione e di manutenzione degli edifizi. Nei più antichi e modesti predominano come elementi delle strutture murarie grossi ciottoli collegati da malte abbondanti, che però si possono giudicare di qualità scadentissima. I tetti in genere sono pesanti e spingenti sopra i muri perimetrali: mancano quasi ovunque chiavi che garantiscano un efficace collegamento fra le diverse parti delle costruzioni. Bastano questi semplici accertamenti per metterci sull'avviso che case sì fatte hanno condizioni strutturali tutt'altro che atte a resistere a violenti concussioni del suolo..."
E relativamente agli edifici più antichi e prestigiosi, apparentemente solidi e ben costruiti, aggiunge: *"spesso si deve ricercare la causa dei danni subiti nelle sopraelevazioni e nelle aggiunte non ben connesse con il corpo principale: negli adattamenti posteriormente eseguiti, che hanno indebolita la resistenza delle strutture murarie: nella mancanza di un razionale collegamento delle varie parti dell'edifizio stesso [...] e in altri difetti provenienti dalla trascurata manutenzione degli stabili" [Baratta, 1917].*

Ipotesi scientifiche, previsioni, dicerie

Una sequenza sismica così lunga e complessa, in un momento storico tanto particolare, non poteva non aumentare insicurezze, ansie e paure, come racconta il bel libro "Rimini negli anni della Grande Guerra" [Bagnaresi, 2015].
Questo fa sì che **il dibattito pubblico sulla localizzazione del terremoto, sulle sue cause, sulla possibile durata della sequenza e sui precedenti storici sia molto vivace e coinvolga i principali scienziati del tempo**. Oltre a Mario Baratta, che l'anno successivo pubblicherà un approfondito articolo su questa sequenza [Baratta, 1917], l'area colpita è visitata, in tempi diversi, da Padre Venanzio Vari, direttore dell'Osservatorio di Benevento, da Padre Guido Alfani, sismologo e direttore dell'Osservatorio Ximeniano di Firenze, da Luigi Palazzo, fisico e direttore dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica e altri ancora.
Frequenti e approfonditi sui giornali locali sono i riferimenti alla **storia sismica riminese e pesarese**. Fra i tanti il più dettagliato è un articolo *intitolato "L'attuale terremoto e le sue analogie con quello del 1786"* (Corriere Riminese, 1916.09.03) che, riprendendo il testo di un opuscolo sul terremoto del 1786, osserva come la ricorrenza di forti terremoti riminesi sia pressoché secolare, ricordando i terremoti del 1308, del 1584, del 1672, del 1786 e del 1875.
Il clima di incertezza e l'osservazione di fenomeni di non semplice interpretazione (i boati che precedono l'avvertimento delle scosse, la fuoriuscita di acqua dal terreno) pongono interrogativi e alimentano in qualche caso la proliferazione di vere e proprie **dicerie** sulle cause del terremoto. In una corrispondenza non firmata da Fano del 20 agosto 1916, pubblicata dal Resto del Carlino, intitolato *"origine e cause delle attuali scosse"* l'autore ipotizza che il terremoto sia localizzato poco al largo della costa fra Pesaro e Riccione. *"Il rombo cupo che preavvisava le scosse più forti indicava chiaramente il punto preciso ove avveniva l'esplosione del gas [...] trattasi certamente di un vulcano in eruzione sotto l'acqua del mare, e ciò è provato dalle fenditure del suolo che eruttavano melma e acqua bollente, osservata dall'onorevole Sitta lungo la spiaggia nelle vicinanze di Riccione..."* (Il Resto del Carlino, 1916.08.21).
L'ipotesi della presenza di un **vulcano a mare** è contestata puntigliosamente dal Presidente della Società Operaia di Mutuo Soccorso di Riccione, tal Primo Galavolti, che il 22 agosto scrive al giornale. Nel testo fornisce una spiegazione molto semplice, ma efficace, del fenomeno della liquefazione, smentendo drasticamente - sulla base di testimonianze dirette - che l'acqua avesse temperatura diversa dal normale e imputando la fuoriuscita dell'acqua in buona parte alla rottura di una conduttura (Il Resto del Carlino, 1916.08.23).

Queste stesse considerazioni sono sostenute da tutti gli scienziati che visitano l'area. In un articolo del Corriere Riminese viene riportato il parere del prof. Palazzo sulle **caratteristiche della sequenza**, la sua **localizzazione a mare** e il **carattere tettonico** di questi eventi.
In questo testo c'è anche un riferimento alla diceria sulla presunta presenza di un vulcano: *"a proposito della notizia pubblicata da un giornale di Bologna circa la esistenza di un vulcano tra Pesaro e Riccione, lo stesso prof. Palazzo l'ha smentita nel modo più esplicito […]* ***non ha fondamento alcuno****"* (Corriere Riminese, 1916.09.03), e a sostegno di questa conclusione sono riportati i rilievi effettuati dal prof. Martinelli, capo della sezione sismica dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica.
La diffusione di dicerie non è solo questione di opinioni e dibattito scientifico, ma ha una forte rilevanza sociale, alimentando incertezze e paure, soprattutto fra le persone più deboli. Di questo è ben consapevole Primo Galavolti quando scrive: *"Era mio desiderio il rettificare l'inesatta interpretazione di un fenomeno, giacché da una tale inesattezza erano sorte ovunque serie preoccupazioni non solo fra tutti coloro che oggi accampati all'aperto vivono fra le privazioni, coll'impressione del terribile passato e nell'angoscia dell'ignoto domani, ma anche fra quelli che […] essendo affezionati a questa spiaggia sulla quale vengono a riposarsi durante i mesi estivi leggono con ansia le notizie che si riferiscono a Riccione"* (Il Resto del Carlino, 1916.08.23).
Una consapevolezza rara, di cui tener conto anche oggi.

Pericolosità e rischio, cento anni dopo

Un motivo che rende importante ricordare **un forte terremoto riminese** è nella rilevanza che ha il terremoto nelle **valutazioni di rischio di quest'area**, in considerazione anche della forte presenza turistica nel periodo estivo**.**
I Comuni colpiti dai terremoti del 1916, e dai successivi terremoti dell'Appennino Settentrionale, sono stati classificati sismici nel 1927. **Ma solo una decina di anni dopo** (Decreti Ministeriali n. 1193 del 27/07/1938, n. 33 del 18/11/1938 e n. 287 del 7/08/1941) **Rimini, Riccione e altri comuni del riminese e pesarese sono stati cancellati dall'elenco dei Comuni nei quali era obbligatoria l'osservanza delle speciali norme sismiche**, con la seguente motivazione: *"…l'assoggettamento delle norme del decreto citato costituisce un notevole intralcio allo sviluppo edilizio di quella zona, di cui vari centri sono importanti stazioni balneari"*.
Questa paradossale vicenda ha fatto sì che **fino al 1983**, anno in cui questi Comuni sono stati di nuovo classificati sismici (vedi https://ingvterremoti.com/wp-content/uploads/2015/06/3-emilia_romagna_20-06_web.pdf), **lo sviluppo edilizio dell'area sia avvenuta in assenza di normativa sismica.**

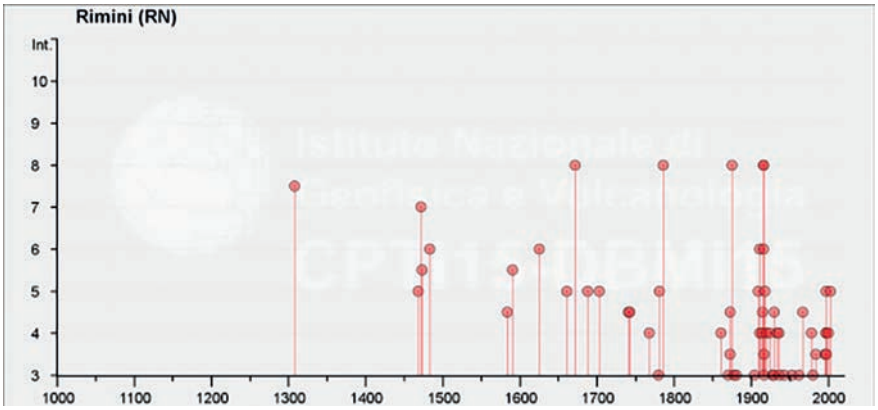


Figura 7 Storia sismica di Rimini dall'anno 1000 al 2015 (Fonte: DBMI15).

Il terremoto del 1916 oltre ad essere uno dei più forti terremoti della storia sismica del Riminese, che ha come precedenti più importanti i terremoti del 14 aprile 1672 (Mw 5.6), del 25 dicembre 1786 (Mw 5.7) e del 17 marzo 1875 (Mw 5.7), **è anche l'inizio di alcuni dei più forti terremoti della storia sismica dell'Appenino Settentrionale**: rispettivamente i terremoti del **26 aprile 1917** in **Valtiberina** (Mw 6.0), del **10 novembre 1918** in **Appennino romagnolo** (Mw 6.0), del **29 giugno 1919** nel **Mugello** (Mw 6.4), del **7 settembre 1920** in **Garfagnana** (Mw 6.5).

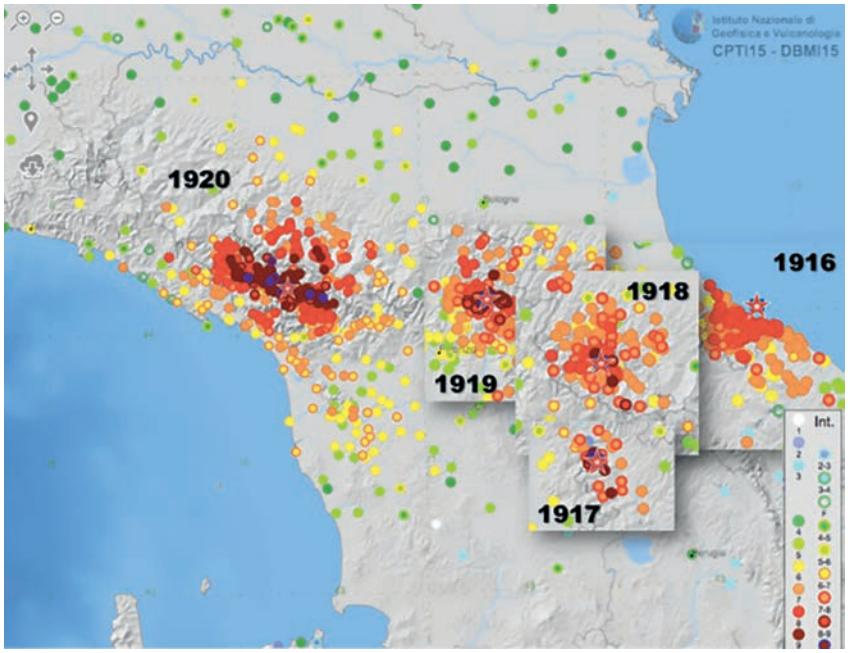


Figura 8 L'area interessata dalla serie di forti terremoti fra 1916 e 1920 (Fonte: DBMI15).

Questa serie di ricorrenze è un'opportunità per sensibilizzare le comunità locali su un tema che rischia di essere rimosso dalla memoria e dalla pratica quotidiana di cittadini e istituzioni locali, dalle scelte che possono influire sulla vulnerabilità materiale e sociale e aumentare (invece che ridurre) il rischio.

Che un processo di rimozione sia in atto è comprensibile, ma qualche indizio fa pensare che in questo momento sia particolarmente forte. Su quotidiani locali, anche di recente, non sono mancate dichiarazioni di scetticismo sull'effettiva pericolosità dell'area e sull'opportunità di ricordare i terremoti del 1916, avvenuti in un momento e un contesto troppo diverso dall'attuale.



Terremoti, tocchiamo ferro

HANNO proprio stufato questi che invitano a non tremare. Certo che io non tremo, non è zona di terremoti questa, altrimenti il sito riminese non sarebbe stato abitato da millenni! Gli unici beneficiari della prove di terremoto saranno quelli che adeguano la casa antisismica. Terremoto primi '900: due vittime da Rimini a Pesaro, quando le case erano di fango o quasi. Terremoti del passato, uno famoso nel '600, un altro nel '700, qualche vittima, immaginate però l'abitazione tipica di quegli anni. Quindi per il mio sentire continuare ad agitare lo spettro di un sisma che farebbe vittime è una cosa inutile e allarma la popolazione su un pericolo assolutamente inesistente, parlando in termini di milioni di anni se ci sarà un terremoto che possa fare vittime nessun può dirlo ma il passato dimostra che questa è zona sicura. L'unica testimonianza visiva del terremoto del 1916 sono due tende piantate davanti alla Rocca, quindi se non ci sono documenti fu una cosa all'acqua di rose, secondo le costruzioni che si fanno da almeno 100 anni sotto il profilo dei movimenti tellurici. Parlando su scala nazionale vi è un eccesso di prevenzione su cose che non accadranno mai perchè tutto l'apparato ormai è ipertrofico, pieno di imbucati che dicono di voler fare per gli altri mentre pensano di fare per sè.

n.p.

****

***CI HANNO** raccontano che a Rimini vale le regola dei cent'anni. Almeno è stato così negli ultimi tre secoli, quindi dovremmo esserci. Ma vogliamo darle retta, anche se, me lo permetterà, stacco la mano dalla tastiera per toccare ferro. A dire il vero la nostra è una zona a rischio sismico, moderato ma non così tanto da escludere eventi di una certa importanza. Parliamone pure per esorcizzare le paure, ma non abbassiamo la guardia. Gran parte del patrimonio edilizio risale agli anni del boom, tempi in cui le norme erano meno rigide e il mattone tirava. Mi dia retta: facciamole le prove a scuola e quando serve adeguiamo le nostre case. Non si sa mai.*

Figura 9 "Terremoti, tocchiamo ferro", lettera a un quotidiano riminese, giugno 2016.

Il punto è che la pericolosità sismica del Riminese e del Pesarese è indiscutibilmente rilevante (certo, ci sono zone più pericolose in Italia), **quell'area ha un livello di esposizione molto più elevato** (soprattutto in certi periodi dell'anno) **rispetto a quello di inizio secolo scorso** e la **vulnerabilità di parte del patrimonio edilizio**, per le ragioni ricordate sopra, **potrebbe essere alta**. Per tutte queste ragioni è necessario e urgente **sensibilizzare tutti i cittadini** perché da oggi in poi facciano scelte consapevoli per la riduzione del rischio.
Per questa ragione a partire dal mese di settembre 2016 **avvieremo un ambizioso progetto che collegherà tali ricorrenze attraverso una serie di iniziative** non celebrative ma coinvolgenti e attivanti, rivolte alle scuole e alle comunità locali del Riminese e del Pesarese e successivamente, in una sorta di ideale passaggio di consegne, nei territori interessati dalle successive ricorrenze centenarie.
Il 15 e 16 ottobre prossimi, inoltre, volontari di associazioni di protezione civile, dopo essersi preparati per mesi, allestiranno in piazza a Rimini, Riccione e in altre settecento località italiane, un punto informativo della campagna nazionale "Io Non Rischio", per dare a tutti i loro concittadini la possibilità di avere informazioni e sapere cosa possono fare, fin da subito, per ridurre il rischio ed essere preparati.

Bibliografia

Bagnaresi D., (2015). *Vivere a Rimini negli anni della Grande Guerra. La quotidianità tra bombardamenti, terremoti, fame e profughi*. Rimini, Panozzo Editore.

Baratta M., (1917). *Il periodo sismico di Pesaro del maggio-settembre 1916*. La Geografia, A. V, luglio-ottobre 1917, N. 7-8, Novara, pp. 263-291.

Camassi R., Meloni F., Postpischl D., e Sangiorgi A., (1991). *I terremoti riminesi del 1916*. In: Postpischl D. (ed.), San Marino e il terremoto, Bologna, pp. 167-187.

Cavasino A., (1935). *I terremoti d'Italia nel trentacinquennio 1899-1933*, Roma.

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)*. INGV-SGA (https://storing.ingv.it/cfti/cfti4/).

Guidoboni E., Valensise G., (2011). *Il peso economico e sociale dei disastri sismici negli ultimi 150 anni*. Bologna, Ingv-Bononia University Press, 550 pp.

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E., (2016). *DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. https://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), (2016). *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. https://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15

Pubblicato il 16 agosto 2016

Terremoto in Italia centrale: Misure dello spostamento del suolo tramite interferometria satellitare

Gruppo di Lavoro INGV/IREA-CNR: Giuseppe Pezzo[1], Christian Bignami[1], Cristiano Tolomei[1], Simone Atzori[1], Andrea Antonioli[1], Salvatore Stramondo[1], Stefano Salvi[1], Manuela Bonano[2], Raffaele Castaldo[2], Francesco Casu[2], Claudio De Luca[2], Vincenzo De Novellis[2], Riccardo Lanari[2], Mariarosaria Manzo[2], Michele Manunta[2], Antonio Pepe[2], Susi Pepe[2], Pietro Tizzani[2], Ivana Zinno[2] (IREA-CNR)

[1]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Nazionale Terremoti
[2]CNR | Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente

Sin dalle primissime ore dopo il terremoto, il **Gruppo di Lavoro INGV/IREA-CNR**, costituito dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente, CNR-IREA di Napoli) come centri di competenza del Dipartimento della Protezione Civile nei settori della sismologia e dell'elaborazione dei dati radar satellitari, si è attivato per un'analisi di dati satellitari volta alla misura dei movimenti permanenti del suolo prodotti dal terremoto ed allo studio delle sorgenti sismiche. Verranno quindi pubblicati due articoli che descrivono i risultati ottenuti dal Gruppo.
L'utilizzo di **immagini satellitari radar ad apertura sintetica** (Syntetic Aperture Radar, SAR) permette di misurare **la deformazione permanente del suolo causata dal terremoto del 24 agosto 2016**.
La tecnica utilizzata per effettuare tali tipi di misure è quella nota **interferometria differenziale DInSAR**, e già utilizzata per effettuare le misure di spostamenti in molti altri terremoti, come quello dell'Emilia del 2012, della Lunigiana del 2013 e dell'Aquila del 2009.

La tecnica

Utilizzando una coppia di immagini radar acquisite dal satellite dalla medesima posizione, prima e dopo un evento sismico è possibile produrre un **interferogramma (Figura 1a)**, cioè una **mappa di spostamento espressa in termini di differenze di fase, tra le due immagini radar pre e post evento sismico, del segnale elettromagnetico emesso dal satellite, "riflesso" dalla superficie terrestre e catturato dal sensore (rappresentato con diversi cicli di colore)**. Ogni ciclo, o frangia, rappresenta uno spostamento della superficie terrestre lungo la linea di vista del satellite di mezza lunghezza d'onda del segnale emesso.
Rappresentando ogni frangia un incremento noto di spostamento rispetto la frangia precedente è possibile misurare lo spostamento totale dell'area partendo dalle zone in cui non sono state misurate deformazioni (zone dove non compaiono frange intefirferometriche) sino ad arrivare alla zona più deformata (parte centrale dell'ellissi disegnata dalle frange stesse). **Questa operazione è detta "srotolamento" delle frange interferometriche e permette di ottenere una mappa dello spostamento del suolo avvenuto durante il sisma** (Figura 1b).

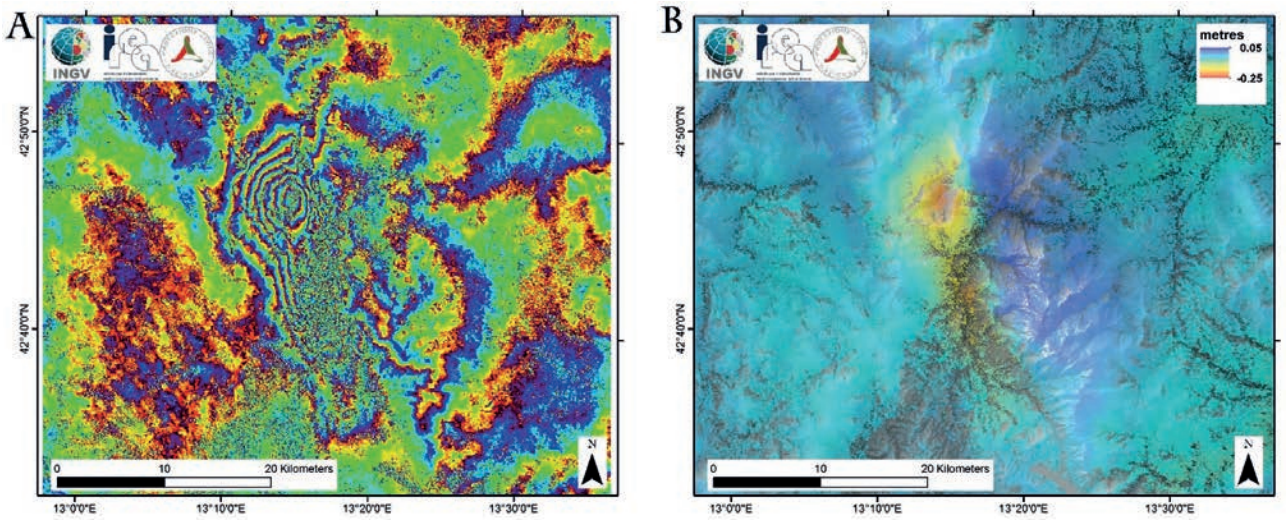


Figura 1 esempio di interferogramma (A) ottenuto dall'elaborazione di due immagini SAR del satellite Sentinel-1. Nel pannello B si riporta la corrispondente mappa delle spostamento del suolo dovuto al terremoto del 24 agosto 2016. Le immagini utilizzate sono relative alle date 21 e 27 agosto 2016.

I dati disponibili

Durante l'emergenza sismica iniziata con il terremoto del 24 agosto, l'analisi interferometrica satellitare ha beneficiato di un gran numero d'immagini SAR acquisite, a cavallo dell'evento sismico, dal satellite giapponese *ALOS-2 (Japan Aerospace Esploration Agency, JAXA)*, operante in banda L (lunghezza d'onda 23.6 cm), dai sensori in banda C (lunghezza d'onda 5.6 cm) della costellazione *Sentinel-1 del Programma Europeo Copernicus* (Agenzia Spaziale Eurpoea, ESA) e da quelli in banda X (lunghezza d'onda 3.1 cm) della costellazione italiana *COSMO-SkyMed*, sviluppata dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) in cooperazione con il Ministero della Difesa.

I risultati

In Figura 2 sono riportate alcune delle mappe di deformazione co-sismica in linea di vista generate a partire dalle coppie disponibili sfruttando la tecnica dell'Interferometria SAR Differenziale (DInSAR).
Le mappe di spostamento sono espresse in cm e calcolate lungo la linea di vista del satellite (LoS), inclinata di circa 35° rispetto alla verticale.
Relativamente ai dati Sentinel-1, grazie alla disponibilità dell'ESA, si è avuta la possibilità di ottenere i dati del satellite Sentinel-1B nonostante lo stesso sia ancora in fase di *commissioning* e quindi non pienamente operativo. Ciò ha permesso di sfruttare in maniera congiunta i dati acquisiti dai due satelliti e di generare coppie interferometriche "cross-sensor" (cioè con un'immagine acquisita da Sentinel-1A e una acquisita da Sentinel-1B) con un intervallo temporale fra le acquisizioni pre- e post- evento di soli 6 giorni (rispetto ai 12 possibili con l'utilizzo di un solo sensore), riducendo i tempi di risposta. Inoltre, grazie all'utilizzo congiunto delle immagini SAR acquisite lungo orbite ascendenti (da sud a nord) e discendenti (da nord a sud), è stato possibile ricavare le componenti verticale ed est-ovest degli spostamenti del suolo (Figura 3).

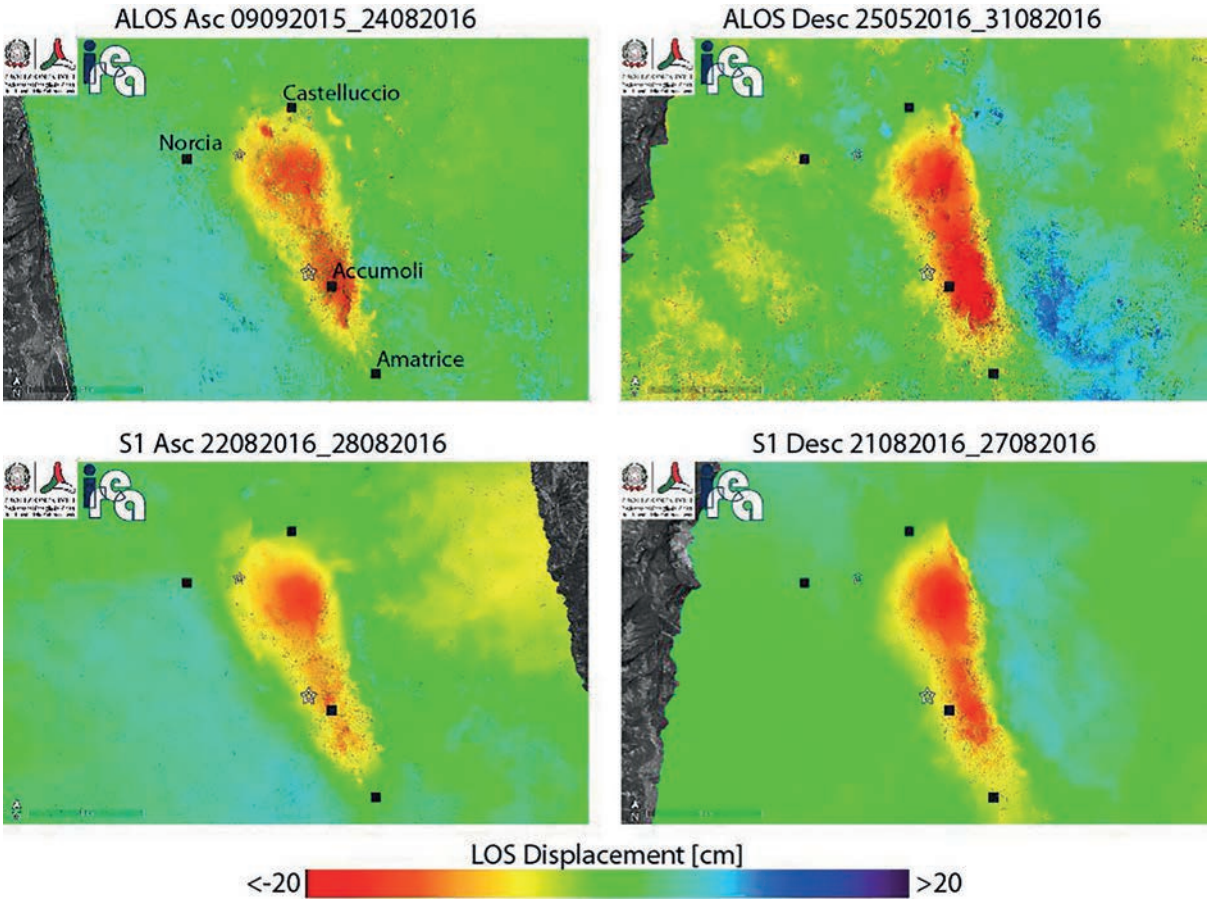


Figura 2 Mappe di spostamento del suolo co-sismico (nelle linee di vista del radar) ottenute a partire dai dati radar ALOS 2 e Sentinel-1 acquisiti a cavallo dell'evento sismico del 24 agosto da orbite sia ascendenti sia discendenti. Le mappe di spostamento sono espresse in cm e calcolate lungo la linea di vista del satellite (LoS), inclinata di circa 35° rispetto alla verticale.

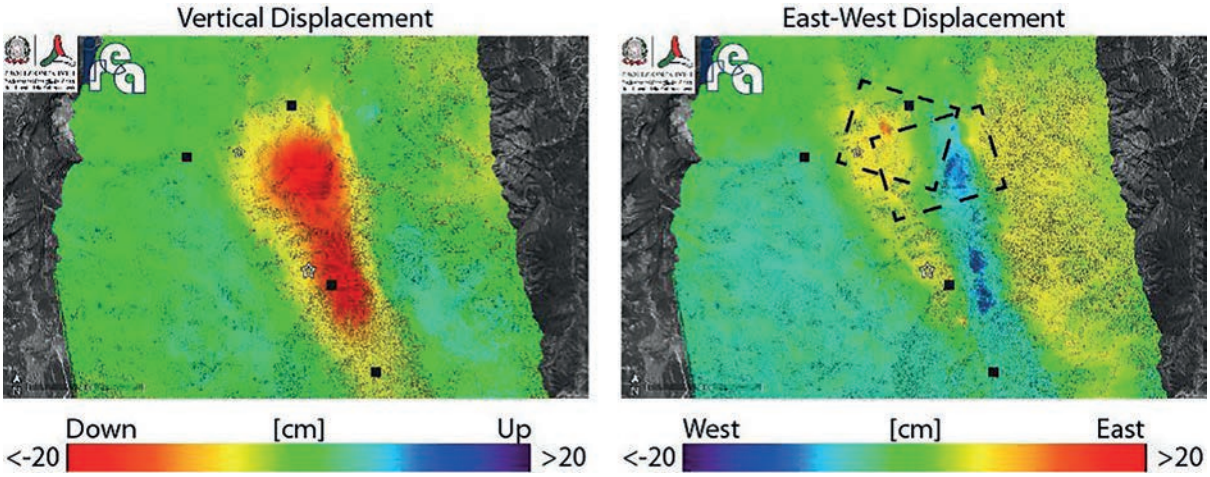


Figura 3 Mappe delle componenti verticale (sinistra) ed est-ovest (destra) dello spostamento del suolo, ottenute sfruttando congiuntamente i passaggi ascendenti (sud-nord) e discendenti (nord-sud) dei dati radar ALOS 2 e Sentinel-1 acquisiti a cavallo dell'evento sismico. Nella mappa relativa alla componente est-ovest (destra) sono indicate due aree in cui sono stati rilevati degli spostamenti localizzati e di cui si fornisce maggiore dettaglio in Figura 4.

I risultati ottenuti mostrano **un abbassamento del suolo dalla caratteristica forma a "cucchiaio" che si estende per circa 20 km in direzione NNW. Il valore massimo dello spostamento del suolo verticale è di circa 20 cm in corrispondenza dell'area di Accumoli.** Si nota inoltre che **la zona deformata visibile sulla componente est-ovest interessa un'area più estesa rispetto a quella verticale** (circa 20 x 25 km^2) ed è caratterizzata dalla presenza di **quattro aree alternate di spostamento, con valori massimi di deformazione di circa 16 cm verso ovest**.

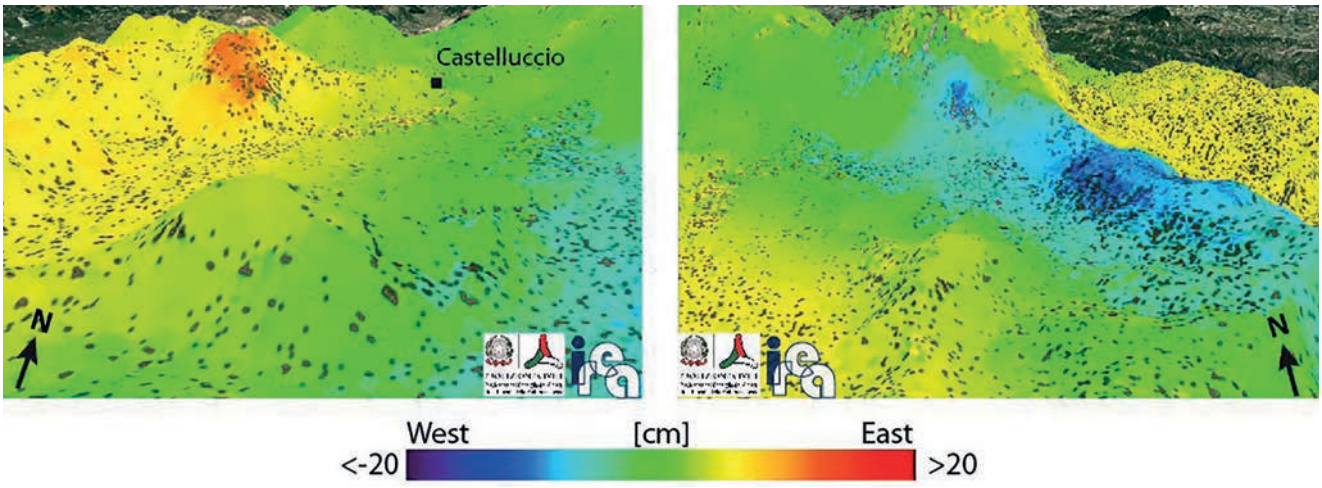


Figura 4 Dettaglio della mappa della componente est-ovest (Figura 2) per due aree interessate da spostamenti localizzati. A sinistra si evidenzia uno spostamento lungo est localizzato su un versante ad ovest dell'abitato di Castelluccio. A destra, invece è indicato il movimento verso ovest del versante ovest del Monte Vettore (si veda anche l'analisi dei dati del satellite COSMO-SkyMed in Figura 5).

Dall'analisi delle mappe di deformazione lungo la linea di vista del satellite e delle componenti verticale ed est-ovest dello spostamento, è possibile ricavare informazioni più di dettaglio su alcuni effetti localizzati, probabilmente legati a **fenomeni di instabilità di versante** (Figura 4). È infatti possibile che lo scuotimento del suolo dovuto al terremoto abbia innescato il movimento di alcune porzioni di versante interessate da instabilità. A seconda dell'entità del movimento e dell'estensione dell'area interessata, **il movimento può essere osservato e misurato attraverso l'interferometria.**

Tali fenomeni sono, inoltre, visibili anche nella mappa di deformazione co-sismica relativa ai dati SAR COSMO-SkyMed (CSK) che, grazie alle elevate risoluzioni spaziali del sistema, permette di stimare gli spostamenti del suolo con grande dettaglio spaziale. A tal riguardo, nell'immagine in alto della Figura 5 è riportata la mappa di deformazione co-sismica CSK in LOS, relativa alla zona che si estende tra Tufo e Pescara del Tronto fino all'area di Castelluccio. Si noti come la migliore risoluzione spaziale consenta di analizzare nel dettaglio anche **lo spostamento del suolo di un'area relativamente piccola che si estende per circa 800 m x 600 m sul fianco del Monte Vettore, verosimilmente legato ad un fenomeno di instabilità di versante. Quest'ultimo è probabilmente legato a frane sismo-indotte o a faglie riattivate**, visto che l'analisi dei dati CSK acquisiti nel periodo precedente all'evento sismico (immagine in basso della Figura 5) non mostra segnali deformativi significativi.

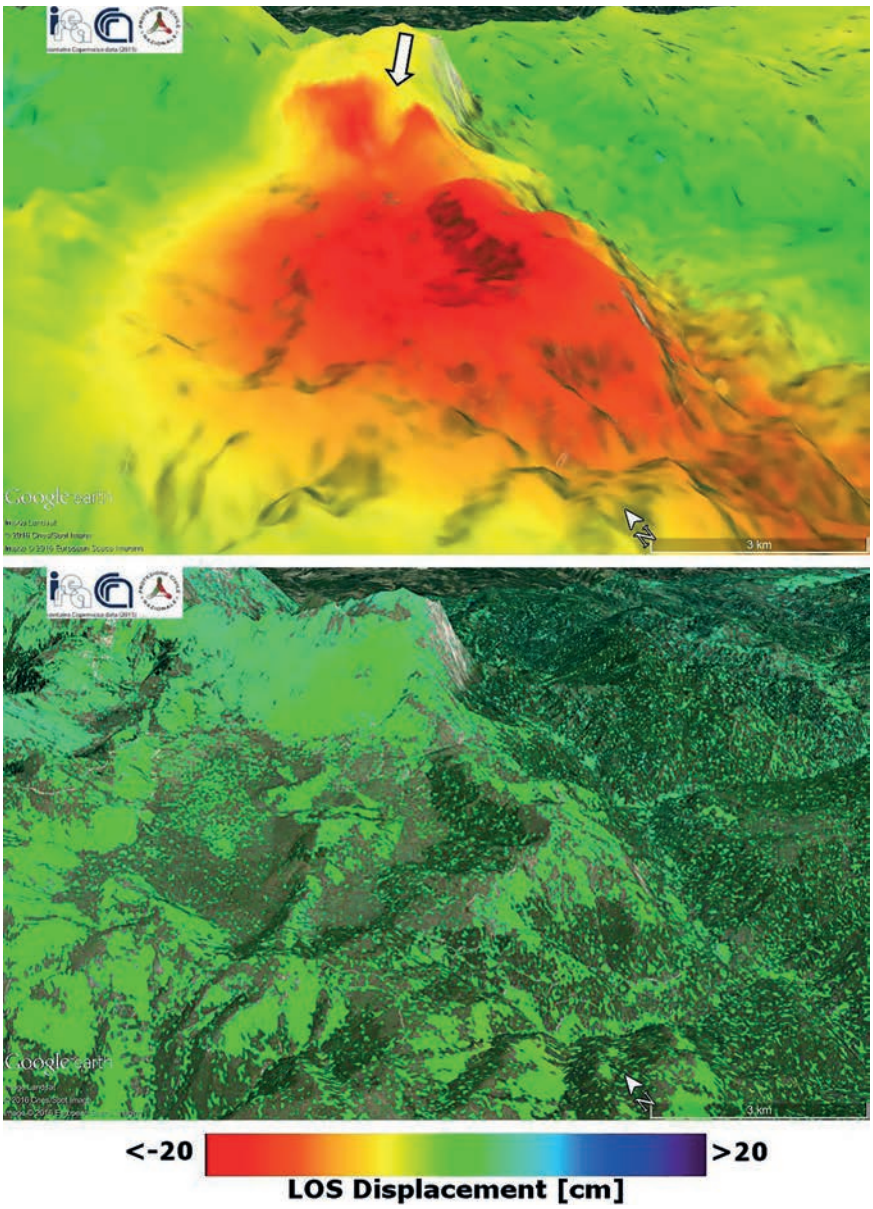


Figura 5 Mappa della deformazione co-sismica (in alto) ottenuta a partire dai dati radar satellitari acquisiti dalla costellazione COSMO-SkyMed, il 20 agosto 2016 (immagine pre-evento) e il 28 agosto 2016 (immagine post-evento). La freccia indica una deformazione localizzata in corrispondenza del fianco del Monte Vettore, probabilmente legata a un fenomeno d'instabilità di versante. In basso è riportata la mappa di deformazione ottenuta da dati CSK acquisiti precedentemente al sisma (coppia interferometrica 03072016CSK-20082016CSK), dove non si notano segnali deformativi significativi.

Articolo estratto da: ***Gruppo di lavoro IREA-CNR & INGV, 2016****, Sequenza sismica di Amatrice: aggiornamento delle analisi interferometriche satellitari e modelli di sorgente. doi: 10.5281/zenodo.61682*

Pubblicato il 16 settembre 2016

Sequenza sismica in Italia centrale: i vulcanelli di fango in provincia di Fermo

Tullio Ricci, Alessandra Sciarra

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Roma 1

Dopo la scossa di terremoto del 30 ottobre alle ore 7.40 di magnitudo M 6.5, sono state rilevate **emissioni di fango** (vulcanelli) in alcune località in provincia di Fermo. I geologi del **Gruppo EMERGEO**, uno dei gruppi operativi di emergenza sismica dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), **si sono attivati per effettuare indagini preliminari di questo fenomeno** che rappresenta uno degli **effetti secondari dei terremoti sul territorio**.

Cosa sono i vulcanelli di fango?

Sono un fenomeno poco noto ma estremamente diffuso in varie parti della Terra. I vulcani di fango sono presenti anche in Italia lungo tutto l'Appennino, con manifestazioni più spettacolari soprattutto in Emilia-Romagna e in Sicilia. **I vulcanelli di fango sono strutture geologiche che si formano in seguito alla fuoruscita di materiale argilloso sulla superficie terrestre**, generalmente **presenti in contesti tettonici compressivi**. Il **materiale** emesso dai vulcani di fango è composto principalmente da **argilla mista a una miscela di acqua e gas**.
L'emissione di questi fluidi verso la superficie è legata a un processo geologico noto come "vulcanismo sedimentario". Uno dei requisiti fondamentali per la formazione dei vulcani di fango è la presenza in profondità di spesse successioni di sedimento fine poco consolidato, ossia caratterizzato da una densità minore rispetto alle rocce sovrastanti, tale da permetterne la risalita. successioni di sedimento che, deposte in condizioni di veloce ed abbondante sedimentazione, non consentono la totale espulsione dei fluidi interstiziali presenti. Con la pressione litostatica, causata dal materiale soprastante, aumenta la pressione interstiziale che genera a sua volta la migrazione dei fluidi presenti nel sedimento stesso. **In natura esistono vari meccanismi in grado di produrre un aumento della pressione interstiziale tale da generare la formazione di un vulcano di fango**: dalle spinte tettoniche, soprattutto quelle compressive, alla deidratazione della componente argillosa, fino alla formazione di idrocarburi. Gli idrocarburi gassosi, migrando dalla zona di produzione verso la superficie, vengono sottoposti ad una separazione in funzione della massa molecolare. Il metano, essendo dotato di una massa molto minore rispetto agli altri idrocarburi, raggiunge la superficie più velocemente. Quando questo avviene, il materiale sepolto e non consolidato tende a risalire fino a raggiungere la superficie, dando origine a vere e proprie colate assimilabili a quelle prodotte dai vulcani "veri". In caso di forte emissione di metano l'attività dei vulcani di fango può essere accompagnata da esplosioni di gas.
Il sopralluogo alle emissioni di fango, effettuato il 3 novembre, ha interessato i territori comunali di **Santa Vittoria in Matenano** e **Monteleone di Fermo** (Figura 1), situati tra 38 e 44 km dall'epicentro del terremoto di magnitudo M 6.5 del 30 ottobre. Un nuovo punto di emissione di fango si è attivato in prossimità di alcune abitazioni in Contrada San Salvatore, nel comune di Santa Vittoria in Matenano.
I punti di emissione, indicati con SV1 e SV2 (Figure 2, 3 e 4), sono di neoformazione e sono ubicati in un terreno agricolo. Il punto di emissione SV2, la manifestazione più a monte (299 m s.l.m.), si trova 56 m a sud-sud ovest rispetto a SV1 (296 m s.l.m.), mentre il fabbricato a uso abitativo (298 m s.l.m.) più prossimo all'emissione di fango si trova 78 m a ovest di SV1.

Manifestazioni di vulcanismo sedimentario simili a quelle di neoformazione osservate sono presenti da tempo 500 m a sud-est e poco più di 3 km in direzione nord-est.
Secondo le testimonianze raccolte durante il sopralluogo, **l'attività di emissione di fango dal vulcanello SV1 è iniziata nella tarda mattinata del 1° novembre verso le ore 12.00**. La prima documentazione diretta è delle ore 14.00, durante una fase di emissione di fango conclusasi alle 14.15 (Video 1 per gentile concessione di Alessandro Cameli). L'attività è poi ripresa alle 15.20 per circa 10 minuti e, ad intervalli irregolari, fino alla mattina del 3 novembre.

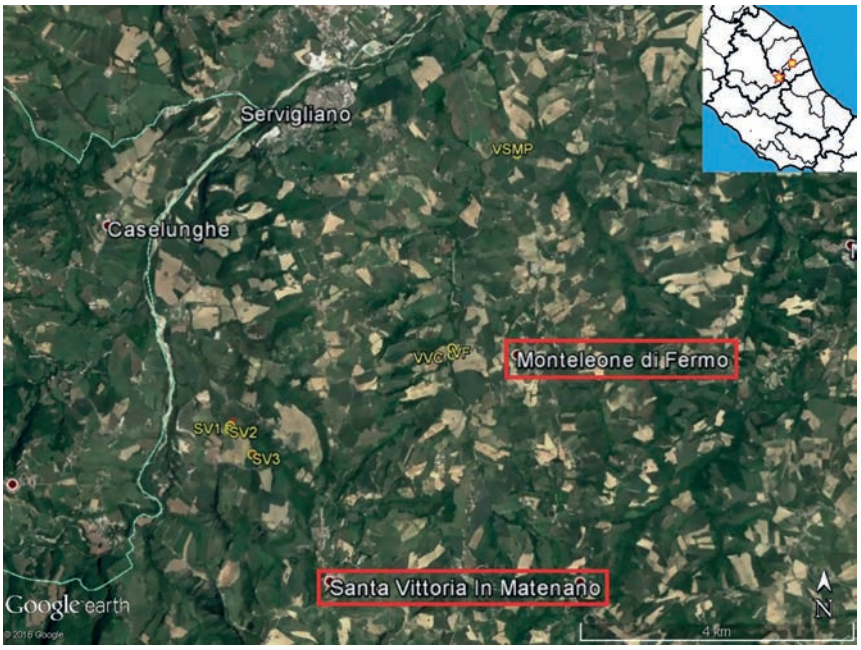


Figura 1 Posizione dei punti di emissione e loro localizzazione rispetto all'epicentro del terremoto del 30 ottobre (stella nel riquadro in alto a destra).

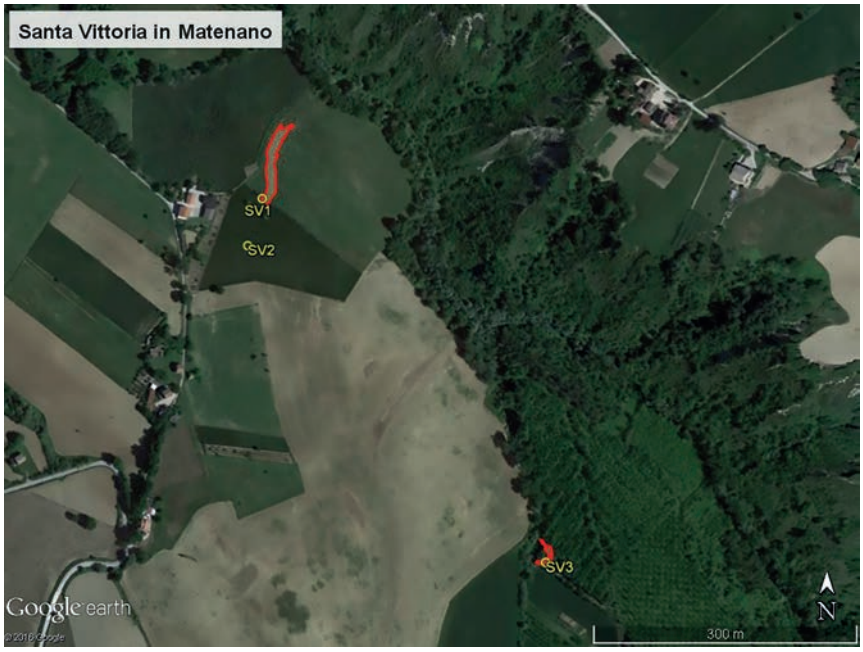


Figura 2 Posizione dei punti di emissione in Contrada San Salvatore nel Comune di Santa Vittoria in Matenano.



Video 1 https://ingvterremoti.com/wp-content/uploads/2016/11/video_vulcanelli_blog.mpg

L'analisi delle immagini della telecamera, posta a monitoraggio di SV1 all'inizio del sopralluogo (per 64 minuti), ha permesso di individuare debolissime emissioni di fango denso quantificabili in circa 0.02 m^3/ora.
I rilievi GPS (Figura 4) hanno permesso di quantificare in 994 m^2 l'area ricoperta dai prodotti emessi da SV1 fino alle ore 13.30 del 3 novembre. Settantacinque misure di spessore del deposito di fango effettuate lungo numerosi transetti attraversanti la colata e nell'area circostante SV1 hanno permesso di stabilire uno spessore medio di circa 7 cm (min 3, max 43), per un volume totale di circa 75 m^3 emessi al momento del sopralluogo.
La distanza massima percorsa dalla colata raggiunge i 94 m da SV1 a una quota di 283 m s.l.m. in direzione nord, verso un fosso, mentre la larghezza massima della stessa è di 12 m.
Il vulcanello di fango (SV1) è alto circa 85 cm rispetto al piano campagna ed è costituito quasi interamente da terreno fratturato e sollevato dalla pressione esercitata dal fango al momento dell'apertura. La deformazione dovuta alla costruzione del vulcanello interessa il settore a ovest del vulcanello per circa 5.70 m e a nord per circa 3.60 m. Non è possibile, invece, effettuare una stima per gli altri settori a causa del deposito di fango che ricopre tali aree.
Durante il periodo di massima attività, presumibilmente nelle fasi iniziali dell'emissione, **brandelli di fango sono stati espulsi dal vulcanello fino a circa 3 m dal punto di emissione**, il cui diametro è di 26 cm. **L'altezza massima raggiunta**, stimata da tracce di fango presenti sulle foglie di un albero di ulivo immediatamente a ridosso del vulcanello, **è di circa 1.10 m**.
Il punto di emissione del secondo vulcanello (SV2), caratterizzato dall'assenza di deformazione del terreno e da tre punti di emissione di pochi centimetri (max 3 cm), presenta una debolissima fuoriuscita di acqua grigio marrone (stimata in meno di 0.10 l/minuto) e assorbita dal terreno entro 20 m all'interno di una canaletta di scolo pre-esistente.
Contestualmente sono stati effettuati (vedi Figura 4): campionamenti del fango in prossimità del vulcanello; campionamento di gas nei suoli per analisi di laboratorio; misure di flusso dal suolo di anidride carbonica e metano; misure di concentrazione nel suolo di anidride carbonica (CO_2), metano (CH_4), ossigeno (O_2) e idrogeno (H_2); misure di temperatura al suolo nei punti di emissione ed esternamente a essi e, infine, misure di attività nel suolo di radon (Rn) e thoron (Th).



Figura 3 Dettaglio delle emissioni di fango in Contrada San Salvatore: a-b) vulcanello di fango di neoformazione SV1; c-g) colata di fango di SV1; h) SV2 in primo piano e SV1 sullo sfondo; i) SV2, dettaglio dei punti di emissione; j) colata di SV1 vista da nord; k) punto di emissione SV3; l) colata di SV3.

I valori di flusso di anidride carbonica dal suolo rientrano nell'ambito del fenomeno noto come respirazione del suolo. I valori di temperatura, trattandosi di manifestazioni fredde, sono piuttosto costanti e solo una misura di flusso di metano dal suolo, effettuata in prossimità del punto di emissione (SV2), mostra un valore al di sopra della media ma comunque basso. La temperatura del fango, misurata nel punto di emissione è 14.9 °C mentre quella dell'aria è 18.6 °C. Il valore di attività di radon (444 Bq/m^3), misurato a 80 cm di profondità nel terreno in prossimità di SV1, è piuttosto basso mentre i valori elevati di thoron (6780 Bq/m^3) e del rapporto thoron/radon (15.27) suggeriscono una origine e una circolazione piuttosto superficiali.
Contestualmente, altro personale INGV ha effettuato il campionamento delle acque e alcune misure speditive dei parametri chimico-fisici.

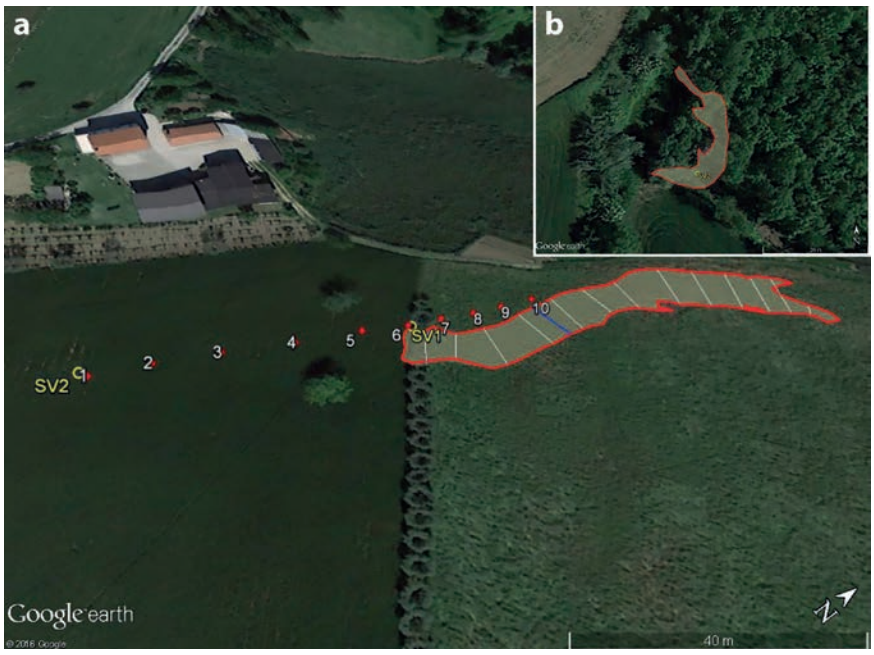


Figura 4 Dettaglio dei rilievi effettuati in Contrada San Salvatore. a) 1-10: ubicazione delle misure di flusso di CO_2 e CH_4 e temperatura del suolo (SV1-SV2). 6: misura delle attività di radon e thoron, ubicazione della telecamera di monitoraggio e prelievo di fango (SV1). Linea rossa continua: area invasa dalla colata (SV1). Linee bianche: transetti di misura dello spessore del deposito (SV1). Linea blu: posizione del fronte della colata alle ore 14.00 del 1° novembre (SV1). b) Linea rossa continua: area invasa dalla colata recente (SV3).

In Contrada San Salvatore è stato effettuato un sopralluogo presso un terzo vulcanetto (SV3 in Figura 2) **attivo da circa 15 anni.** Non è stato possibile effettuare stime di volumi del deposito connesso all'attività iniziata il 1° novembre, dal momento che il fango emesso nelle settimane precedenti il sopralluogo si è riversato in un fosso inaccessibile. È stata comunque stimata in 147 m^2 la superficie ricoperta dai prodotti emessi dal vulcanello a partire dal 1° novembre fino al punto di immissione nel fosso situato a nord di SV3.
Ulteriori sopralluoghi, incluso un campionamento di fango, sono stati effettuati presso tre dei sei vulcanelli presenti nel territorio del Comune di Monteleone di Fermo (Figura 5). In questo caso il vulcanismo sedimentario è noto da tempo ma le manifestazioni si sono riattivate dopo il terremoto di magnitudo M 6.5 del 30 ottobre, in particolare il vulcanello di Santa Maria in Paganico (VSMP nelle Figure 5 e 6), che però al momento del sopralluogo mostrava una attività di modesta emissione di fango.

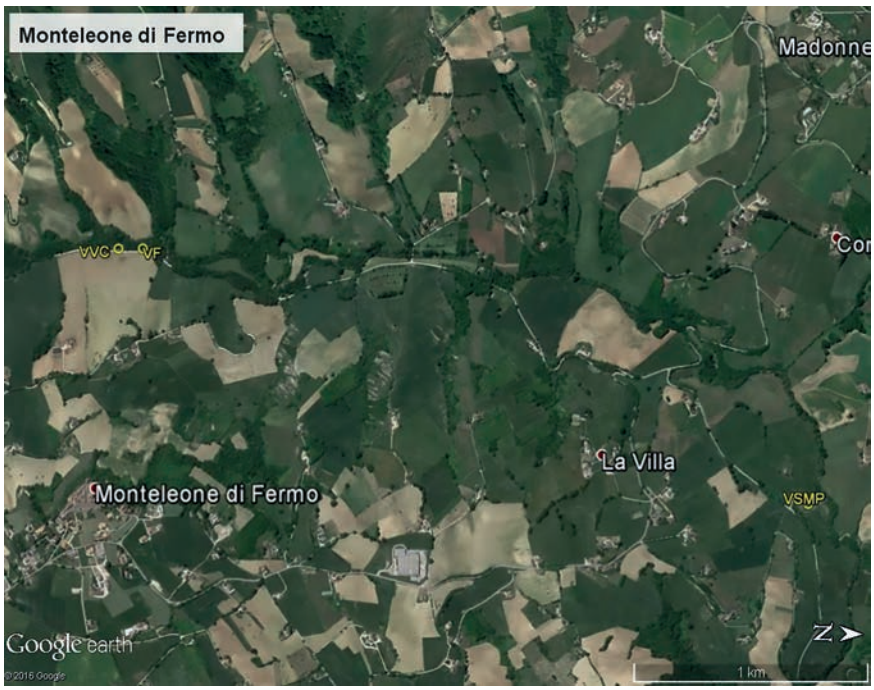


Figura 5 Posizione dei punti di emissione nel Comune di Monteleone di Fermo.

Il vulcanello di Valle Corvone (VVC nelle Figure 5 e 6) **dal giorno del terremoto ha mostrato una evidente inflazione (rigonfiamento) caratterizzata dall'apertura di fratture radiali lunghe fino a 14 m, larghe fino a 38 cm e profonde fino a 80 cm che attraversano tutta la struttura di emissione.** Sono state prese misure di deformazione e sono state installate cinque coppie di capisaldi (punti di riferimento nel terreno) per verificare la dinamica delle fratture in questione.



Figura 6 Dettaglio dei punti di emissione di Monteleone di Fermo: a) VSMP, collasso recente lungo fratture anulari intorno al punto di emissione; b) VSMP, percorso del fango tra VSMP e il fiume Ete Vivo; c) VSMP, punto di emissione; d-e) VVC; f-h) fratture del vulcano di fango formatesi dopo il sisma del 30 ottobre; j-k) VVC, particolare dei capisaldi; l) VF, emissione di fango sul letto del fiume Ete Vivo.

In considerazione dell'instabilità del vulcanello di Valle Corvone è stato consigliato al Sindaco di delimitare l'area e di apporre cartelli per segnalare la situazione di pericolo.
È stato infine osservato a distanza un terzo punto di emissione di fango (VF, Figure 5 e 6), apparentemente attivo, del quale però non è stato possibile effettuare il campionamento dei prodotti data l'impossibilità di avvicinarsi ulteriormente a causa della sua ubicazione sul letto del fiume Ete Vivo e della scarsa visibilità dovuta all'ora e alla pioggia.

Pubblicato l'11 novembre 2016

Il terremoto della Liguria del 23 febbraio 1887

Stefano Solarino

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Nazionale Terremoti

Il **23 febbraio 1887** alle ore 06:22, 06:29 e 08:51 tre forti terremoti interessarono la **Liguria Occidentale**, anticipati il giorno precedente e fino alla prima mattina da una serie di scosse leggere. Secondo le ricostruzioni, **la scossa delle 6.22 e quella delle 8.51 furono particolarmente intense.** I comuni nella **fascia costiera tra Sanremo ed Alassio**, più vicini all'epicentro, presumibilmente situato in mare al largo di Imperia, subirono gravissimi danni: Diano Castello, Diano Marina (Figura 2), Bussana, Albisola Marina, Baiardo, Castellaro, Ceriana, Laigueglia, San Remo e Taggia patirono la distruzione di molti edifici e soprattutto delle chiese [CFTI4 Med]. Ma le scosse fecero danni anche in molti altri comuni, fino alla provincia di Genova, che allora comprendeva i paesi ora sotto la gestione amministrativa di Savona, istituita provincia solo nel 1927. Anche nel capoluogo genovese si verificarono scene di panico e danni. La festa del "martedì grasso", ancora in corso al Teatro Carlo Felice, fu bruscamente interrotta e la gente scappò via per la caduta di alcuni grossi lampadari.



Figura 1 Foto dei danni ad Oneglia. Nella cittadina, che in futuro si sarebbe fusa con porto Maurizio sotto il nome comune di Imperia, si contarono 20 morti e 70 feriti. i danni furono ingenti, al punto che le case rimaste agibili furono meno del 3%.



Figura 2 Foto dei danni a Diano Marina, uno dei comuni più colpiti. Il contributo in vittime fu molto alto: morirono infatti 190 persone.

La scossa principale fu avvertita in un'area di 568.000 km^2, in pratica **in tutta l'Italia settentrionale, la Francia meridionale e centrale, la Svizzera e il Tirolo**. Vi furono **631 vittime** di cui ben 220 a Bajardo e 190 a Diano Marina. Anche Bussana Vecchia, dove si contarono 53 salme, fu seriamente danneggiata al punto da essere abbandonata e ricostruita più a sud nel 1894, allungando la lista delle città fantasma svuotate in seguito ad importanti fenomeni naturali. All'elevato numero di vittime concorse anche la coincidenza con la celebrazione delle ceneri. Infatti molti fedeli, a differenza di quanto accadeva normalmente, erano riuniti nelle chiese per la cerimonia dell'aspersione. A Bajardo, ad esempio, tutte le 220 vittime partecipavano alla celebrazione e, spaventate dal sisma, si ammassarono verso l'uscita dove rimasero sepolte dalle macerie della volta. Ai tre eventi principali seguirono 9 scosse di assestamento solo quel giorno. **La crisi sismica continuò nei mesi a seguire e durò sicuramente fino all'ottobre del 1887**; in totale nel periodo si contarono almeno una ottantina di repliche.

Effetti sull'ambiente e sul contesto sociale

A seguito delle prime scosse si verificò anche **un maremoto**, di intensità 3 nella scala Sieberg-Ambraseys, con un **ritiro orizzontale delle acque sulla battigia fino a 10 metri nel porto di Genova** ma che fu ingente anche sulle coste dell'imperiese, dove testimoni ricordano di aver trovato molti pesci morti per la lunga esposizione all'aria. **La dimensione del run-up fu di circa 2 metri sulle coste francesi e 1 metro a Genova**, valore validato dall'unica registrazione mareografica esistente per il fenomeno (Figura 3).

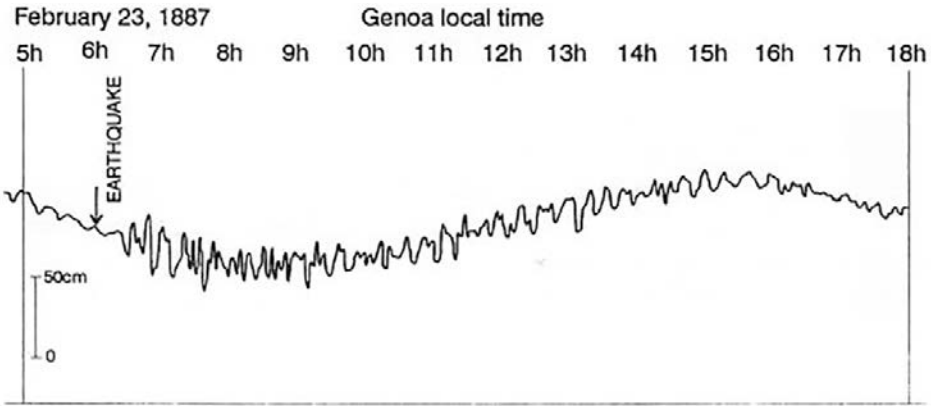


Figura 3 Registrazione del mareografo nel porto di Genova relativa al giorno 23 febbraio 1887. Nel grafico si osserva un abbassamento del livello del mare di alcuni decimetri, circa mezz'ora dopo il terremoto, causata da un ritiro delle acque verso il largo. In seguito il mare tornò a crescere invadendo le spiagge di tutta la parte occidentale della regione. Questo di Genova è l'unico mareogramma italiano, probabilmente in Francia esiste una registrazione del porto di Nizza (Fonte: Eva C., Rabinovich A.B.The February 23, 1887 tsunami recorded on the Ligurian Coast, western Mediterranean -1997 - Geophysical Research Letters, Vol. 24, Issue 17, 2211-2214).

Si stima che gli sfollati furono circa 20000. A fronte di questo numero le strutture locali non furono in grado di reagire prontamente e nelle prime 48 ore la situazione fu decisamente difficile. Mancavano i materiali per costruire baracche e rifugi, e gli aiuti tardavano ad arrivare sia per la situazione delle strade che per le continue scosse che compromettevano l'organizzazione degli interventi. La situazione migliorò decisamente solo a seguito dell'emanazione di un decreto pro-terremotati del Regno d'Italia, promulgato il 31 maggio del 1887.

Due importanti sismologi, **Torquato Taramelli** e il sacerdote **Giuseppe Mercalli**, si recarono nell'area della catastrofe su incarico del Ministro Grimaldi che aveva richiesto una relazione su quanto accaduto. I due scienziati trascorsero molti giorni sui luoghi del disastro raccogliendo preziose informazioni. In particolare a Mercalli fu subito chiaro che le scale del danno in uso fino a quel momento erano insufficienti a descrivere la varietà di situazioni che si presentavano ai suoi occhi, e questo fu motivo per elaborare la omonima scala più complessa e completa, che pubblicò agli inizi del '900. L'opera dei due tecnici ha una importante valenza perché nella relazione che compilarono al termine del loro studio [Taramelli e Mercalli, 1888] si trovano anche descrizioni relative agli effetti sull'ambiente, che forse sarebbero sfuggiti ad un semplice cronista. Così sappiamo che vi furono alcuni episodi di liquefazione, scomparsa o comparsa di sorgenti, fratture nel terreno e numerose frane. Secondo alcuni studi, non è da escludere che proprio una frana sottomarina sia stata la principale causa del maremoto


RENDICONTI DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

ALCUNI RISULTATI DI UNO STUDIO SUL TERREMOTO LIGURE

DEL 23 FEBBRAIO 1887

N O T A

DI

T. TARAMELLI e G. MERCALLI

ROMA

1888

Figura 4 Copertina della memoria compilata da Torquato Taramelli e Giuseppe Mercalli sul terremoto del 1887. Si tratta di un importante ed esaustivo documento che descrive con testimonianze dirette le conseguenze del sisma sull'ambiente e sui centri abitati.

Localizzazione e magnitudo

Si può ragionevolmente pensare che la **magnitudo** del terremoto del 23 febbraio 1887 fosse compresa tra **6.4 Mw** e **7.0 Mw**. Ce ne danno conferma molti studi intrapresi negli anni utilizzando diverse tecniche. La variabilità nei valori dipende da molti fattori: occorre infatti osservare che tutte le magnitudo calcolate a partire dalle intensità sono in qualche maniera sovrastimate dalla sovrapposizione degli effetti di tre scosse. Inoltre, per un evento in mare, la posizione epicentrale è meno accurata, e questo si riflette sulla stima della magnitudo.
Per quanto riguarda la **posizione origine dell'evento**, nel tempo si sono succedute diverse ipotesi, suffragate da altrettanti studi con risultati spesso discordanti in funzione dei dati considerati per l'elaborazione. Il terremoto fu in effetti registrato negli **osservatori meteo-**

sismici allora esistenti, tuttavia molte di quelle registrazioni, comunque insufficienti a vincolare una localizzazione dell'evento, sono andate perse. Rappresenta un' importante eccezione la registrazione del **sismometro Cecchi** installato presso l'**Osservatorio di Moncalieri**, conservata grazie alla diffusa pratica di "ricopiare" a mano la traccia sismica per consentirne la conservazione e la massima condivisione con altri osservatori. Le diverse proposte sulla posizione dell'evento derivano quindi da informazioni non strettamente strumentali.

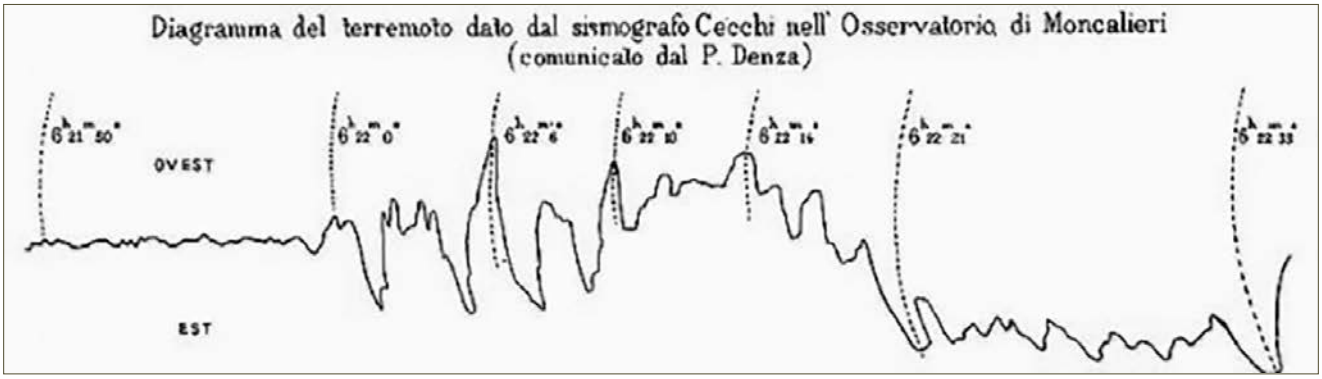


Figura 5 Sismogramma del terremoto del 1887 registrato all'Osservatorio di Moncalieri. Fu conservato solo grazie alla pratica di ricopiare l'originale per consentirne una più ampia diffusione tra gli studiosi.

Mercalli e Taramelli, riferendo dei loro studi sulle direzioni dei movimenti di oggetti e strutture durante il sisma, proponevano: "*la grande maggioranza di esse convergono in mare tra Oneglia e Sanremo, tra 15 e 25 chilometri a sud della spiaggia. In quest'area riteniamo quindi doversi collocare l'epicentro principale del terremoto*" ed in merito alla profondità: "*Dunque non riteniamo di andare molto lontano dal vero, ritenendo di circa 17 chilometri e mezzo…..come valore approssimato della profondità del centro del terremoto ligure*".

Al contrario, però, la maggior parte dei cataloghi macrosismici [Sisfrance; Rovida et al., 2016] compilati negli ultimi 20 anni, con l'unica eccezione del catalogo CPTI 11 [Rovida et al., 2011], situano l'evento sulla costa. A questo proposito occorre rimarcare che nessuna evidenza sismotettonica conferma la presenza di una faglia di dimensioni tali da giustificare un terremoto di magnitudo superiore a 6 in quell'area della costa ligure [Eva et al., 2000; Turino et al, 2009]. Un recente lavoro [Larroque et al., 2012] ripropone la localizzazione al largo di Imperia, ad una profondità di circa 15 km nella crosta continentale, su una faglia parallela alla costa. È noto che il Mar Ligure è inciso da un fitto sistema di faglie sia perpendicolari che parallele alla costa: le prime hanno carattere trascorrente, le seconde sono faglie inverse. La posizione proposta sarebbe in grado di spiegare il livello di danno sulla costa assumendo una magnitudo intorno a 6.8 Mw ed il successivo verificarsi del maremoto. Tuttavia la sismicità recente, pur confermando la presenza di quella faglia, suggerisce una geometria diversa da quella proposta dai colleghi francesi. Molte questioni rimangono aperte e si estendono anche alla sismicità recente e soprattutto al potenziale sismogenetico (e quindi alla pericolosità) di quel settore del Mar Ligure. Le difficoltà nel condurre uno studio in quell'area sono evidenti. Al momento non esistono registrazioni effettuate da strumenti di fondo marino (se non in brevi campagne oceanografiche) e la distanza con la Corsica non permette il pieno utilizzo dei dati registrati sull'isola, almeno per gli eventi di magnitudo minore, che sono i più frequenti.

Distribuzione dei danni

A proposito della distribuzione dei danni occorre ricordare che quell'area era stata interessata, nello stesso secolo, da quattro terremoti almeno parzialmente distruttivi nel 1818, nel 1819, nel 1831 e nel 1854. La ricostruzione in molti casi era stata approssimativa, come lo stesso Mercalli ricorda: *"una gran parte delle rovine e specialmente delle vittime umane si sarebbero risparmiate se dopo i violenti terremoti del 1818 e del 1831 si fossero presi provvedimenti per rendere le case della Liguria più solide e più resistenti all'urto di nuovi movimenti sismici"*.
Infine vale la pena di ricordare che la distribuzione spaziale delle intensità mostra una grande variabilità, in seguito attribuita ad effetti morfologici e di sito. Infatti considerando che molti paesi sono coevi oppure addirittura ricostruiti, almeno in parte, nello stesso periodo, alla base delle differenze nelle intensità non ci possono essere solo stili costruttivi e materiali. Così si constata che paesi molto vicini (per esempio Castel Vittorio e Pigna, distanti meno di un chilometro) hanno subito gradi diversi di danni (VII-VIII contro VI). Castel Vittorio, a 420 mt di altezza, è su un alto morfologico.
La ricostruzione post-terremoto fu molto sofferta, e durò a lungo. Questo evento sismico rappresentò, più dei precedenti, una svolta epocale nella storia della regione. A seguito della ricostruzione la Liguria impostò la vocazione turistica che ancora ora la contraddistingue.

Bibliografia

CFTI4 Med. https://storing.ingv.it/cfti/cfti4/

Eva C., Augliera P., Eva E., Solarino S., e Spallarossa D., (2000). *Sintesi delle conoscenze sulla sismotettonica della Liguria Occidentale ed influenza sui parametri di hazard*. A cura di Galadini F., Meletti C., e Rebez A. Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti: le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999). Tipografia ESAGRAFICA, pp. 59-71.

Larroque C., Scotti O., e Joualalen M., (2012). *Reappraisal of the 1887 Ligurian earthquake (western Mediterranean) from macroseismicity, active tectonics and tsunami modelling*. Geophysical Journal International, Vol. 190, 1, 87-104.

Rovida A., Camassi R., Gasperini P., e Stucchi M., (a cura di), (2011). *CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano, Bologna. https://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI11

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., (eds), (2016). *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. https://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15

Sisfrance. https://www.sisfrance.net/

Taramelli T., e Mercalli G., (1888). *Il terremoto ligure del 23 febbraio 1887*. Memoria. Estratto dagli Annali dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e di Geodinamica. Parte IV, Volume VIII, Roma, Tipografia Metastasio.

Turino C., Scafidi D., Eva E., e Solarino S., (2009). *Inferences on active faults at the Southern Alps-Liguria basin junction from accurate analysis of low energy seismicity*. Tectonophysics, Vol. 475, Issue 3, pp. 470-479.

Pubblicato il 2 marzo 2018

Nel 1117 il più forte terremoto dell'area padana colpiva Verona e la pianura centro-occidentale

Paola Vannoli

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Roma 1

Novecento anni fa, nel **1117**, si è verificato **il più forte terremoto dell'area padana** di cui si abbia notizia. Nonostante siano trascorsi ben nove secoli e il terremoto si sia verificato in un'area caratterizzata all'epoca da sporadici nuclei abitati situati tra zone paludose e foreste, disponiamo di un gran numero di informazioni su questo evento. **Grazie anche alla fitta rete di monasteri benedettini presenti nel XII secolo, esiste infatti un'ampia tipologia di fonti coeve, quali annali monastici, documenti di varia tipologia ed epigrafi, che ci forniscono differenziate e puntuali informazioni su questo terremoto.**



Figura 1 Lunetta e architrave del portale dell'Abbazia di Nonantola (Modena) con l'iscrizione relativa al rifacimento dell'edificio avvenuto in seguito al terremoto del 1117.

Si trattò di un evento assai importante per la società del tempo, contraddistinta da un contesto di generale sviluppo economico, infatti le città in quegli anni attraversavano una fase di ripresa economica e demografica e venivano edificati edifici pubblici e chiese. **Il terremoto del 1117 si impresse a lungo nella memoria delle popolazioni colpite divenendo un elemento di riferimento cronologico per datare altri avvenimenti**, come testimoniato da numerosi documenti successivi. **Il terremoto ebbe una grande fama in tutta l'Europa medievale** ed è ricordato in quasi tutti gli annali monastici europei del tempo anche perché molto probabilmente si è trattato di un evento multiplo [Guidoboni e Comastri, 2005; Guidoboni et al., 2007]. **L'ampia e accurata ricerca cronachistica e archivistica svolta ha solo parzialmente fatto luce sulla grande complessità di questo evento**; da

alcuni ricercatori sono state individuate **tre diverse scosse**: la **prima** avvenuta nella notte **tra il 2 e il 3 gennaio**, la **seconda**, **la più forte, avvenuta nel primo pomeriggio (alle ore 15:15 GMT) del 3 gennaio** in concomitanza con una **terza scossa di minore entità** [Guidoboni et al., 2005]. La prima scossa si sarebbe verificata nella Germania meridionale causando danneggiamenti in particolare nell'area di Augusta e Costanza. La **seconda scossa** ha duramente colpito **la Pianura Padana**, ed è stata caratterizzata da un'area di danneggiamento molto ampia, comprendente il Veneto, la Lombardia e l'Emilia. Il terzo evento avrebbe interessato l'Alta Toscana, causando il crollo di torri, edifici e campanili nel territorio di Pisa e Lucca [Guidoboni et al., 2005; Rovida et al., 2016].

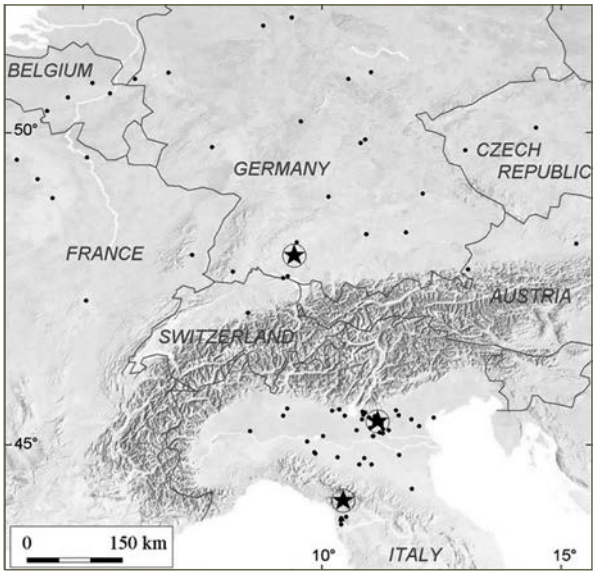


Figura 2 Epicentri attribuiti ai tre eventi del gennaio 1117 da Guidoboni et al., [2005].

L'evento più forte della sequenza si è quindi verificato nel primo pomeriggio del 3 gennaio 1117 e ha duramente colpito l'area della Pianura Padana veronese, causando danni da Piacenza sino alla costa adriatica. Parte di questi danni sono stati identificati per mezzo di un'estesa ricerca su restauri e ricostruzioni, in edilizia ecclesiastica, successivi al 1117.

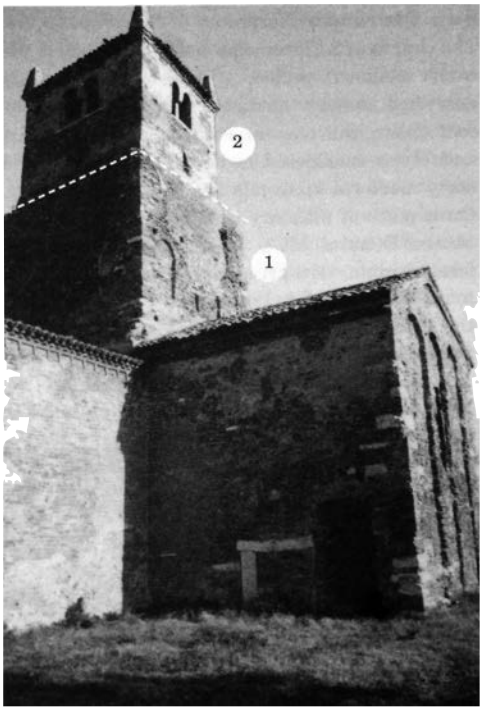


Figura 3 Chiesa di San Pietro a San Pietro in Valle (Verona). Le differenti tipologie di muratura testimoniano il periodo di costruzione. Il transetto e la base della torre (1) sono databili all'alto Medioevo; la sommità della torre (2) invece risale al XII secolo, molto probabilmente è stata ricostruita dopo il terremoto del 1117 [Guidoboni e Comastri, 2005].

I dati di **intensità macrosismica** mostrano che l'area dei maggiori danneggiamenti è localizzata nella **valle del Fiume Adige, a sud di Verona** [Guidoboni et al., 2005]. Nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani **la magnitudo stimata di questo evento è pari a 6.5** [Rovida et al., 2016].

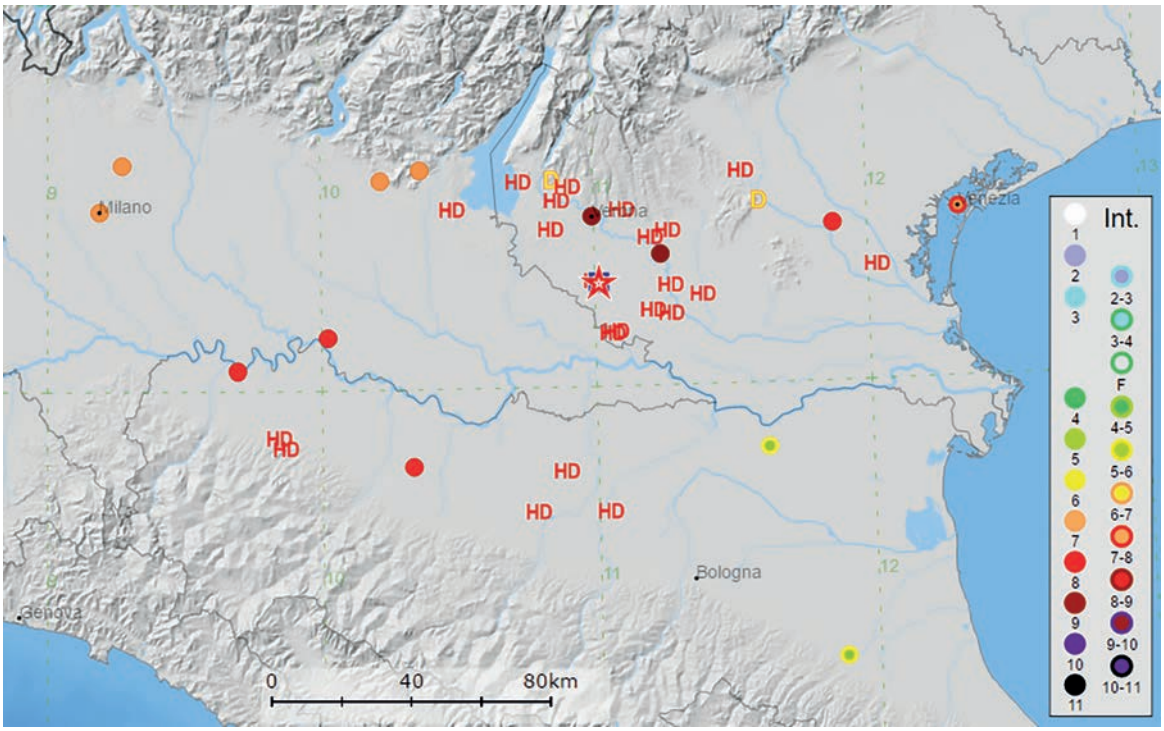


Figura 4 Valori di intensità del terremoto Veronese del 3 gennaio 1117 [Guidoboni et al, 2007; Rovida et al., 2016].

Diversi elementi rendono complessa l'individuazione geologica della/delle faglie responsabili dell'evento in questione, vediamo solo i principali:

- le intensità macrosismiche più elevate sono distribuite su di una porzione molto ampia di pianura;
- non possiamo escludere che il forte evento denominato *Veronese* del 3 gennaio sia stato in realtà una sequenza di più scosse molto ravvicinate nel tempo;
- l'area epicentrale è sede oggi di pochi terremoti strumentali di bassa magnitudo;
- l'epicentro macrosismico è localizzato in un'area pianeggiante ritenuta usualmente "indeformata" dal punto di vista sismotettonico;
- le faglie della Pianura Padana non arrivano a tagliare la superficie terrestre ma si fermano in profondità, sono infatti definite *faglie cieche*. Pertanto possono essere rilevate solo grazie allo studio di prospezioni geofisiche o attraverso altri metodi indiretti.

Nell'articolo pubblicato in questo volume a pag. 65, abbiamo descritto **il complesso e articolato paesaggio della Pianura Padana**, sia quello visibile in superficie sia quello sepolto sotto i sedimenti di origine marina e fluviale. Le strutture compressive, o *thrust*, delle Alpi Meridionali, a nord, e dell'Appennino Settentrionale, a sud, proseguono al di sotto dei sedimenti della Pianura Padana e sono attualmente in avvicinamento, come mostrano i dati geodetici satellitari. In profondità questo raccorciamento si trasforma in uno sforzo di caricamento di faglie di tipo compressivo localizzate al piede delle Alpi e al piede dell'Appennino. **Identificare la faglia responsabile del terremoto del 1117 richiede che si prenda in dovuta considerazione sia l'assetto delle due catene montuose sia l'assetto paleogeografico preesistente.** L'avvicinamento delle due catene

è infatti fortemente condizionato dalla presenza di un contesto geologico "ereditato". **Quando affermiamo che l'area epicentrale del terremoto del 1117 è localizzata in una zona ritenuta "indeformata", ci riferiamo a quella porzione di territorio che non è ancora stata apparentemente raggiunta, in profondità, dai *thrust* delle due catene montuose in avvicinamento.**
A causa di queste oggettive complessità sono state ipotizzate negli anni numerose - e poco vincolate - **strutture sismogenetiche responsabili del forte terremoto del 3 gennaio 1117**:

- fronte alpino e struttura delle Giudicarie, attivazione contemporanea del *thrust* dei M.ti Lessini (indicato come **1a** nella Figura sottostante) e del *thrust* del M.te Baldo (indicato come **1b**; Galadini e Galli, [2001]);
- fronte alpino, *thrust* Thiene-Bassano (indicato come **2**; Galadini et al., [2001]; Galadini et al., [2005]);
- struttura appenninica sepolta, *thrust* di Piadena (indicato come **3**; Galli, [2005]);
- struttura ereditata Mesozoica riattivata nell'attuale regime tettonico compressivo (indicato come **4**; DISS Working Group, [2010]; Vannoli et al., [2015]);
- strutture ereditate Mesozoiche, le faglie trascorrenti destre di Nogara (indicato come **5a** in figura) e di S. Ambrogio (indicato come **5b**; Scardia et al., [2015]);
- struttura basata su evidenze di geomorfologia tettonica. Lungo i corsi dei fiumi Mincio e Adige sono state identificate diverse "anomalie di drenaggio" compatibili con il sollevamento della superficie topografica causato dal movimento in profondità della faglia (indicato come **6** in figura; Burrato et al., [2003]; DISS Working Group, [2015]).

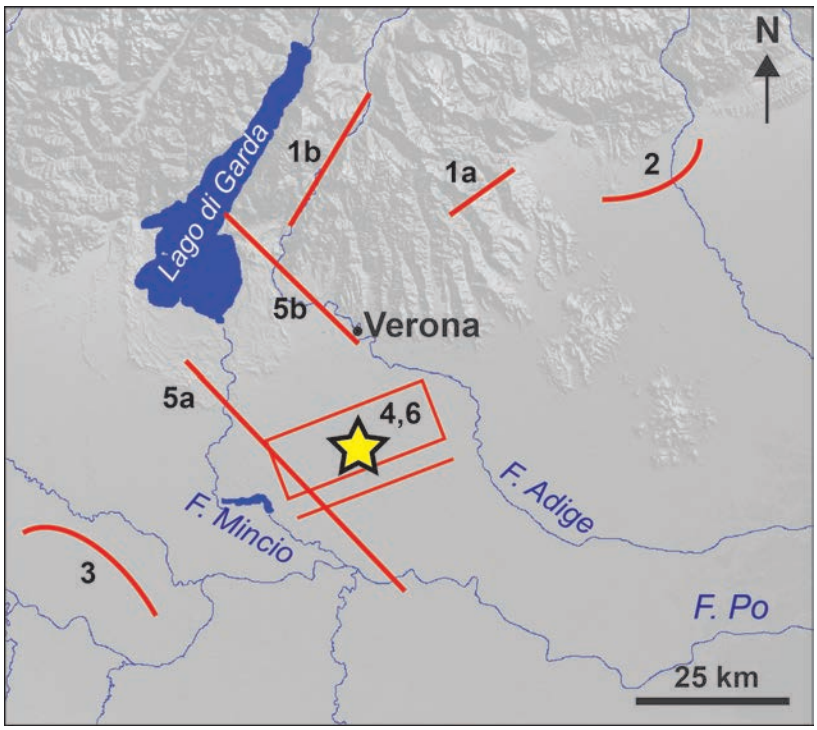


Figura 5 Sorgenti sismiche responsabili del terremoto Veronese del 3 gennaio 1117 proposte nella letteratura scientifica nel corso degli anni (rappresentate in rosso, vedere il testo sopra per la spiegazione). Da notare come negli articoli stessi venga sottolineato come queste sorgenti siano delle mere proposte. In giallo l'epicentro macrosismico dell'evento [Guidoboni et al, 2007; Rovida et al., 2016].

La presenza in letteratura di tante differenti ipotesi conferma come l'individuazione della sorgente responsabile del forte terremoto del 1117 sia ancora oggi un problema aperto.

L'*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia* con l'*Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti* e il *Centro euro-mediterraneo di documentazione Eventi Estremi e Disastri* hanno organizzato, nel gennaio scorso, una **giornata di studio** per fare il punto delle conoscenze su questo terremoto e sul suo impatto, alla luce delle conoscenze scientifiche attuali. Dal sito web del Convegno è possibile visualizzare il programma, scaricare le presentazioni dei diversi ricercatori invitati e vedere i video delle presentazioni (https://www.youtube.com/playlist?list=PLfcFPNXyAOqYA9ie8eeoPU2ziSQFhHtQi).

Bibliografia

Burrato P., Ciucci F., Valensise G. (2003). *An inventory of river anomalies in the Po Plain, Northern Italy: evidence for active blind thrust faulting*. Ann. Geophys. 5, pp. 865-882. https://doi.org/10.4401/ag-3459

DISS Working Group (2010). *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. https://diss.ingv.it/, © INGV 2010, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: 10.6092/INGV.IT-DISS3.1.1

DISS Working Group (2015). *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. https://diss.ingv.it/, © INGV 2015, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: 10.6092/INGV.IT-DISS3.2.0

Galadini F., Galli P., (2001). *Archaeoseismology in Italy: case studies and implications on long-term seismicity*. J. of Earthquake Engineering, 5, pp. 35-68.

Galadini F., Galli P., Molin D., Ciurletti G., (2001). *Searching for the source of the 1117 earthquake in northern Italy: a multidisciplinary approach*. T. Glade et al. (eds.), The use of historical data in natural hazard assessments, Kluwer Academic Publisher, pp. 3-27.

Galadini F., Poli M.E., Zanferrari A., (2005). *Seismogenic sources potentially responsible for earthquakes with M C 6 in the eastern Southern Alps (Thiene-Udine sector, NE Italy)*. Geophys. J. Int., 161, pp. 739-762. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02571.x

Galli P., (2005). *I terremoti del gennaio 1117. Ipotesi di un epicentro nel cremonese*. Il Quaternario (It. J. Quat. Sci.) 18, 2, pp. 87-100.

Guidoboni E., Comastri A., (2005). *Catalogue of earthquakes and tsunamis in the Mediterranean area from the 11th to the 15th century*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia-Storia, Geofisica, Ambiente srl, Roma-Bologna.

Guidoboni E., Comastri A., Boschi E., (2005). *The "exceptional" earthquake of 3 January 1117 in the Verona area (northern Italy): a critical time review and detection of two lost earthquakes (lower Germany and Tuscany)*. J. Geophys. Res. 110, B12309. https://doi.org/10.1029/2005JB003683

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)*. INGV-SGA. Available from http://storing.ingv.it/cfti4med/

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., (eds), (2016). *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. https://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15

Vannoli P., Burrato P., Valensise G., (2015). *The seismotectonics of the Po Plain (northern Italy): tectonic diversity in a blind faulting domain*. Pure and Applied Geophysics, 172, 5, 1105-1142. https://doi.org/10.1007/s00024-014-0873-0

Pubblicato il 24 marzo 2017

Il terremoto del 15 gennaio 1968 nella Valle del Belice

Emanuela Guidoboni[1], Gianluca Valensise[2]

[1]EEDIS | Centro Euromediterraneo di Documentazione Eventi Estremi e Disastri
[2]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Roma 1

Anatomia di una catastrofe

Il terremoto colpì con numerose e violente scosse una vasta area della Sicilia occidentale compresa tra le province di Agrigento, Palermo e Trapani: un'area ritenuta non sismica dalle conoscenze scientifiche del tempo. Nel breve volgere di dieci giorni furono distrutte 9.000 case, numerose antiche chiese, vetusti palazzi e castelli. Si contarono alcune centinaia di vittime e oltre 100.000 senzatetto, 12.000 dei quali emigrarono quasi subito verso l'Italia del nord.
Contrasti istituzionali, una gestione delle risorse non controllata, denunce e conflitti resero difficile e lenta l'opera di ricostruzione. Errori, speculazioni, ma anche idee e preziosità si alternano in questa grande opera di recupero, non ancora conclusa dopo ormai cinquanta anni.

Gli effetti del terremoto

La sequenza sismica iniziò nel pomeriggio del 14 gennaio 1968 con una prima forte scossa alle ore 13:28 locali, che causò danni notevoli a **Montevago**, **Gibellina**, **Salaparuta** e **Poggioreale**, nonché lesioni in alcuni edifici a Santa Margherita di Belice, Menfi, Roccamena e Camporeale. Meno di un'ora dopo, **alle 14:15, nelle stesse località ci fu un'altra scossa molto forte, sentita anche a Palermo, Trapani e Sciacca**. Due ore e mezza più tardi, **alle 16:48, ci fu una terza scossa, che causò danni gravi a Gibellina, Menfi, Montevago, Partanna, Poggioreale, Salaparuta, Salemi, Santa Margherita di Belice e Santa Ninfa**. Lesioni di varia entità si aprirono in molti edifici di Alcamo, Calatafimi, Camporeale, Corleone e Roccamena; a Palermo ci furono danni in edifici di vecchia costruzione. A Gibellina e Salaparuta, in particolare, tutte le scosse precedenti quella più violenta – che accadde il giorno dopo – causarono serie lesioni e compromisero la stabilità degli edifici. Dopo queste prime scosse, il generale Carlo Alberto Dalla Chiesa, all'epoca comandante dei Carabinieri di Palermo, visitando nel pomeriggio del 14 gennaio i centri più colpiti, raccomandò alla popolazione di pernottare all'aperto.
Nella notte tra il 14 e il 15 gennaio, alle ore 2:33 locali, una scossa molto violenta causò gravissimi danni e il crollo di alcuni edifici a Poggioreale, Gibellina, Salaparuta, Montevago e Santa Margherita di Belice; fu fortissima a Contessa Entellina e a Corleone, dove causò danni rilevanti, e fu sentita molto forte a Palermo, a Trapani e in tutta la Sicilia occidentale e centrale, compresa l'isola di Pantelleria.
La scossa più forte dell'intera sequenza avvenne poco dopo, alle ore 3:01, ed ebbe effetti disastrosi: crolli e distruzioni diffuse in un numero di località ben superiore a quello delle località già menzionate. Frequentissime e forti repliche non diedero tregua. **I morti accertati ufficialmente furono complessivamente 231 e i feriti oltre 600**. Fonti indipendenti ritennero, tuttavia, che il bilancio delle vittime fosse molto più alto: oltre 400 morti e più di 1.000 feriti[2].
Il numero relativamente contenuto delle vittime, se paragonato all'enorme portata delle distruzioni, fu dovuto principalmente all'allerta lanciato dal generale Dalla Chiesa.

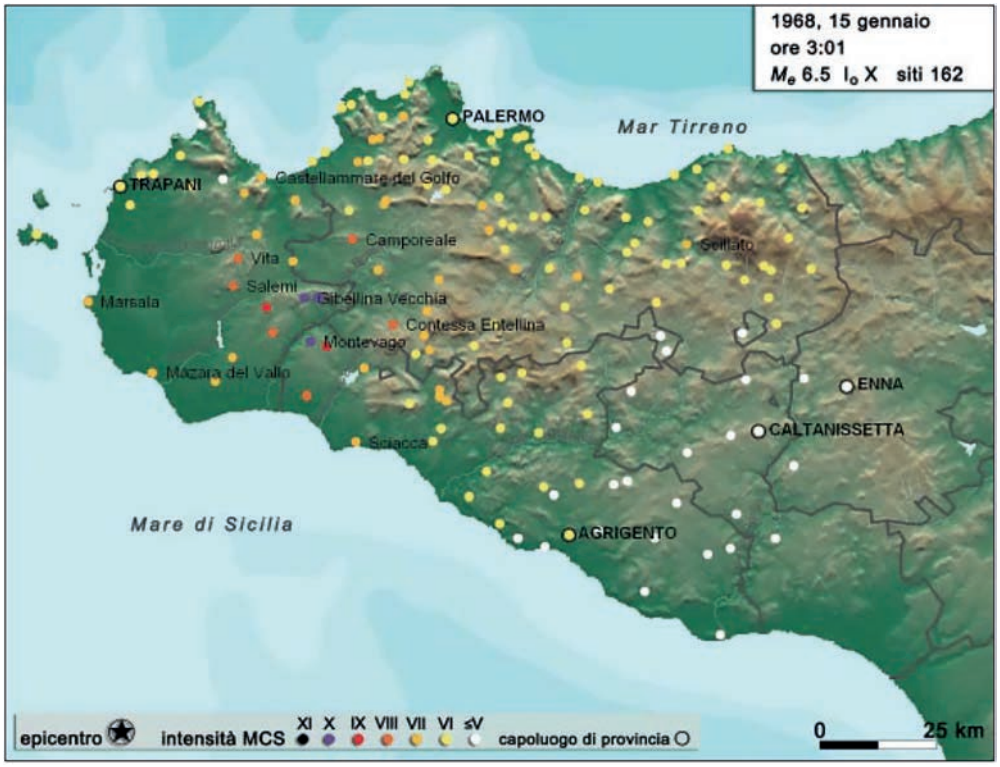


Figura 1 Effetti complessivi del terremoto del 15 gennaio 1968 [Guidoboni et al., 2007].

Quasi tutta la zona collinare della Sicilia sud occidentale – circa 6.200 km^2 – **fu coinvolta nella disastrosa sequenza sismica del gennaio 1968. L'area dei massimi effetti fu localizzata nel medio e basso bacino del fiume Belice**: includeva 12 comuni delle province di Trapani, Agrigento e Palermo, per una superficie di circa mille km^2. **Questo territorio non figurava allora tra quelli considerati a rischio sismico.**

I paesi di **Gibellina**, **Poggioreale** e **Salaparuta**, in provincia di Trapani, e **Montevago**, in provincia di Agrigento, **furono quasi totalmente rasi al suolo, con effetti valutati di grado X MCS**. A Gibellina fu distrutto quasi il 100% delle unità immobiliari, pari a 1.980 edifici. Anche a Poggioreale e a Salaparuta fu distrutto il 100% del patrimonio immobiliare, rispettivamente formato da 993 edifici e a circa mille edifici. A Montevago fu distrutto il 99% delle unità immobiliari e fu danneggiato gravemente l'1% rimanente, su un totale di 1.393 edifici. **In tutti questi paesi i pochi muri ancora rimasti in piedi crollarono completamente in seguito alla fortissima replica del 25 gennaio, alle ore 10:56 locali.** Dopo questa nuova scossa rovinosa, che causò qualche altra vittima, fu proibito l'ingresso nei paesi di Gibellina, Montevago e Salaparuta. **Gravi distruzioni, con dissesti e crolli diffusi, colpirono i paesi e i territori comunali di Santa Margherita di Belice, Santa Ninfa, Partanna e Salemi, a cui è stato assegnato il grado VIII-IX o IX MCS.** Santa Margherita di Belice aveva 3.646 edifici: le scosse distrussero il 70-80% delle unità immobiliari e lesionarono leggermente le rimanenti. Gravi lesioni danneggiarono anche il palazzo Filangeri di Cutò e la chiesa madre. La replica del 25 gennaio fece crollare un'altra decina di case.

Santa Ninfa aveva 1.928 edifici: ne fu distrutto più del 43%; il 47% fu danneggiato gravemente e solo il 9% risultò lesionato in modo più leggero. La replica del 25 gennaio causò nuovi, gravi danni agli edifici. Partanna aveva 4.345 unità immobiliari: il 30% fu completamente distrutto, il 42% danneggiato gravemente, il 19% lesionato. La replica del 25 gennaio causò il crollo di numerosi edifici.

A Salemi, su 4.402 edifici il 24% fu distrutto, il 45% danneggiato gravemente e il 29% lesionato

leggermente. La replica del 25 gennaio causò il crollo di una delle torri del castello di Federico II e danneggiò la chiesa madre, la Biblioteca Civica e il Museo del Risorgimento; crollò anche il ponte della strada per Agrigento. Nelle campagne di questi comuni andarono distrutte anche molte costruzioni rurali.
Oltre una decina di altre località subirono crolli totali più limitati, ma danni ingenti, gravi dissesti e crolli parziali estesi a parte del patrimonio edilizio (grado VIII MCS o appena inferiore).
Menfi aveva 5.978 edifici: la scossa fu rovinosa e danneggiò gravemente il 40-50% delle unità immobiliari, lesionandone lievemente una percentuale analoga. Gravi lesioni si aprirono nel castello medievale, in alcune chiese e nell'ospedale. La replica del 25 gennaio causò nuovi crolli.
Nel comune di **Vita**, su un totale di 1.446 edifici, quelli distrutti furono il 10%, il 15% fu danneggiato gravemente e il 16% circa lesionato in modo leggero; si aprirono lesioni anche nei muri della chiesa madre, che crollò definitivamente con la replica del 25 gennaio.
Danni gravi ed estesi furono rilevati a Camporeale, Contessa Entellina e San Giuseppe Jato, in provincia di Palermo; a Sambuca di Sicilia, in provincia di Agrigento; ad Alcamo, Campobello di Mazara, Castellammare del Golfo e frazione di Castello Inici, Castelvetrano e Gallitello Stazione, frazione del comune di Calatafimi.
Interruzioni delle linee ferroviarie furono rilevate tra Castelvetrano e Alcamo, e tra Castelvetrano e Salaparuta, dove al Km 29 crollò parzialmente una galleria.
In quasi cinquanta altre località, tra cui Mazara del Vallo, Corleone, Marsala, Sciacca e la stessa Palermo, le distruzioni e i crolli furono pochi, ma una parte consistente del patrimonio edilizio riportò comunque danni (effetti di grado VI-VII e VII MCS). In decine di altre località, incluse Agrigento e Trapani, ci furono danni leggeri.
La scossa principale del 15 gennaio 1968 fu avvertita in quasi tutta la Sicilia, fino a Catania, Messina e Milazzo; fu seguita da una lunga serie di repliche, alcune delle quali molto forti, che si protrassero sino al febbraio del 1969.

Perché tanti danni?

Le relazioni scientifiche e gli studi sugli effetti di questo terremoto, svolte da ingegneri, geologi e sismologi, concordarono nell'assegnare alle **scadenti condizioni in cui si trovava gran parte del patrimonio edilizio un ruolo importante nella definizione qualitativa e quantitativa dei danni**. Ancora una volta era sotto accusa l'edilizia tradizionale, priva di regole, realizzata male e ancor peggio mantenuta. La pessima esecuzione delle murature, tenute assieme con malte di scarsa qualità, l'assenza o l'insufficienza delle fondazioni e la presenza di tetti spingenti mal raccordati con le pareti esterne furono tutti fattori che contribuirono in larga misura a rendere catastrofici gli effetti delle scosse su edifici deboli e sostanzialmente fragili. A questi elementi macroscopici si aggiunsero i risultati delle prove di laboratorio relative al comportamento meccanico dei materiali da costruzione maggiormente impiegati nell'area danneggiata: i blocchi di tufo, tagliati con specifiche misure secondo l'uso della zona, e le malte dimostrarono, in generale, una scarsissima resistenza alle sollecitazioni sismiche.
Dalle indagini sul campo emerse che i pochi edifici correttamente costruiti con strutture di cemento armato avevano superato quasi indenni l'impatto delle scosse persino nell'area dei massimi effetti; infatti gli edifici ben costruiti furono esenti da danni, ma erano una minoranza.
L'edilizia prevalente nei paesi distrutti era il risultato di un contesto economico povero, in cui l'agricoltura diffusa era condotta con metodi non intensivi e quasi arcaici, in piccoli appezzamenti familiari. L'economia monetaria era scarsa, i mercati scoraggiati da una pessima viabilità, e a fronte di tutto questo vi era un costo elevato dei materiali da costruzione di buona qualità, difficili da reperire sul posto.

In tutta l'area, che come si è detto all'epoca non era ritenuta a rischio sismico, non erano state adottate misure di sicurezza e di prevenzione, benché, come si ricorderà, la legge del 1935 richiedesse criteri edilizi "moderni" per tutti gli edifici costruiti sul territorio nazionale. Due anni dopo, nel 1970, l'avvio istituzionale delle amministrazioni regionali previste dalla Costituzione delegò alle singole regioni il controllo per l'applicazione delle norme di sicurezza.

Gli effetti sull'ambiente: frane, smottamenti e nuove sorgenti di acqua calda

A seguito del terremoto si attivarono frane e si aprirono spaccature nel terreno, spesso accompagnate da fuoriuscita di fango e, in taluni casi, da esalazioni gassose. Furono rilevate anche variazioni nel regime delle acque sotterranee. La maggioranza degli effetti fu osservata nelle zone di Gibellina, Montevago, Partanna, Camporeale, Contessa Entellina e Bisacquino. Le frane per crollo direttamente innescate dalle scosse furono di portata limitata e per lo più peggiorarono situazioni di instabilità preesistenti. Alcune frane interruppero le strade che portavano ad Agrigento e a Sciacca, rallentando l'arrivo degli aiuti.
Nei terreni circostanti le Terme di Segesta scaturirono nuove sorgenti di acqua calda, alcune delle quali furono temporanee e di breve durata; due sorgenti preesistenti aumentarono la loro portata.
La forte replica delle ore 17:43 del 16 gennaio fu avvertita anche in mare da un peschereccio di Sciacca, in navigazione nel Canale di Sicilia a una decina di chilometri dalla costa. I pescatori dichiararono che nell'istante della scossa un movimento vorticoso delle acque del mare aveva reso loro impossibile governare la barca.

L'impatto disastroso

Il terremoto interessò complessivamente un'area di circa 5.500 km^2, popolata da oltre 1.300.000 persone, comprendente anche le aree urbane di Palermo, Trapani, Mazara del Vallo e Marsala. L'area più colpita era nell'entroterra collinare della Sicilia sud-occidentale, che all'epoca presentava, in parte, i caratteri tipici di una regione marginale nell'economia e nella vita sociale sia regionali sia nazionali. La base produttiva di quest'area, essenzialmente agricola (più della metà della popolazione attiva era impiegata nell'agricoltura), comprendeva zone caratterizzate da sistemi di conduzione e assetti quasi arcaici e zone dove prevaleva la viticoltura specializzata. Quest'ultime erano collegate ad alcune infrastrutture agro-industriali. Notevoli furono i danni nel settore viticolo, che rappresentava un elemento trainante dello sviluppo economico della regione e una notevole fonte di reddito.
I contadini erano per lo più residenti nei vecchi paesi collinari e non abitavano che in minima parte sui fondi agricoli. Oltre alle abitazioni e agli edifici rurali di servizio, il terremoto distrusse anche molte infrastrutture e uccise numerosi capi di bestiame. Le stime dei danni elaborate dal governo, rese note prima della rovinosa replica del 25 gennaio, indicarono in 200 miliardi di lire le spese necessarie per riparare i danni. La stessa fonte governativa stimò in 5.200 gli alloggi completamente distrutti nella sola provincia di Trapani; questa cifra saliva a circa 9.000 per tutta l'area danneggiata. Complessivamente la popolazione rimasta senzatetto fu di circa 100.000 unità, delle quali 20.000 nella sola provincia di Agrigento.
Il terremoto causò gravi danni anche alle attività commerciali: circa 500 commercianti residenti nell'area danneggiata ebbero gli esercizi distrutti e 3.000 aziende commerciali siciliane videro diminuire notevolmente il loro giro d'affari. L'attività commerciale e industriale fu particolarmente colpita nell'agrigentino, area che non si era ancora ripresa dai disastrosi eventi franosi che avevano colpito il capoluogo il 19 luglio 1966.



Figura 2 Gibellina prima del terremoto: veduta del paese in una foto del 1965 scattata dalla stazione ferroviaria.

Dalla grande paura a un'emergenza disordinata

Al sopraggiungere delle due violente scosse della notte del 15 gennaio la popolazione di una vasta area della Sicilia occidentale abbandonò le abitazioni rifugiandosi nei luoghi aperti e pernottando all'addiaccio o nelle automobili. Nei maggiori centri urbani, soprattutto a Palermo e a Trapani, ci furono scene di panico ed ingorghi stradali. Migliaia di persone, nelle più popolose città, abbandonarono le case ed i loro posti di lavoro causando la paralisi dei servizi e delle attività economiche. La scossa del 15 gennaio e la forte replica del 25 causarono molto panico anche ad Agrigento, dove la popolazione abbandonò le abitazioni per trascorrere diverse notti all'aperto nella Valle dei Templi.

Le condizioni delle popolazioni colpite si presentarono subito estremamente precarie e furono aggravate anche dalla lentezza e della disorganizzazione dei primi soccorsi. La scossa principale aveva gravemente danneggiato, fra l'altro, anche la rete di erogazione elettrica. In alcuni centri gravemente colpiti, secondo la stampa siciliana, per tutta la giornata seguente alla scossa principale la popolazione non ricevette alcun soccorso organizzato; molte persone, fuggite dai paesi, vagarono per ore nelle campagne circostanti. Per parecchi giorni molte famiglie rifugiatesi in piena campagna, nei pressi delle case coloniche e lontano dalle tendopoli, non ricevettero che aiuti sporadici.

Nelle tendopoli le condizioni igienico-sanitarie si fecero molto serie e i problemi di sovraffollamento nelle tende, abitate in media da 28-30 persone a fronte di una capienza prevista di 10 unità, erano gravi. Molte furono le morti causate dall'insorgere di malattie polmonari; gli sfollati dai centri danneggiati preferivano alloggiare in condizioni di sovraffollamento piuttosto che separare il nucleo familiare o abbandonare i propri averi trasferendosi negli alloggi requisiti in località distanti.

A Palermo il panico generato dal terremoto fu enorme; nella serata del giorno 15 si svolsero processioni nelle strade dei rioni maggiormente danneggiati; riti religiosi furono indetti anche

in altre località della Sicilia occidentale nei giorni successivi all'evento principale. Il succedersi delle scosse alimentò una costante paura di vivere in edifici in muratura lesionati.



Figura 3 Gibellina: veduta area del paese distrutto dalla scossa del 15 gennaio 1968.



Figura 4 Gibellina: particolare della devastazione nell'antico centro del paese.



Figura 5 Salaparuta: crolli e distruzioni all'entrata del paese.

La scarsa organizzazione dei soccorsi e il proliferare di interventi di beneficenza non coordinati costituirono un altro fattore di limitazione dei trasferimenti dalle tendopoli ed alimentarono episodi di accaparramento, spesso ad opera di individui provenienti da località non danneggiate. Non mancarono episodi di speculazione e strozzinaggio sugli averi delle popolazioni scampate che, viste le impellenti necessità, erano costrette a vendere sottocosto bestiame e beni vari, spesso per procurarsi il denaro necessario per abbandonare definitivamente il luogo d'origine.
A due settimane dal terremoto del 15 gennaio, secondo le dichiarazioni dei sindaci dei paesi sinistrati, mancavano viveri, tende, medicinali, e le baracche che erano già state costruite erano insufficienti. Pane e acqua scarseggiarono fin dai primi giorni nelle tendopoli e in alcune località solo parzialmente danneggiate. Oltre ai medicinali mancavano le attrezzature, il sangue e persino le maschere per proteggere i soccorritori dalle esalazioni dei cadaveri e delle carogne di animali in via di decomposizione.
Le prime autocolonne di soccorsi partite da Agrigento e da Sciacca furono ostacolate dalle interruzioni di alcune strade causate da frane e crolli di ponti in seguito alle scosse. Tra le località maggiormente danneggiate furono predisposti dei ponti aerei con l'ausilio degli elicotteri dei Carabinieri e della Guardia di Finanza. Per ordine del Ministro dell'Interno, il Prefetto di Agrigento decretò la requisizione di tutti gli automezzi e autotrasporti disponibili.
Da più di venti anni la Sicilia godeva di una speciale autonomia politico-amministrativa nei confronti del governo nazionale italiano. Tuttavia, in alcuni settori d'intervento le decisioni del governo centrale furono prevalenti. Furono, infatti, gli uffici del Genio Civile e il Provveditorato alle opere pubbliche della Sicilia, con sede a Palermo, posto alle dirette dipendenze del Ministero dei Lavori Pubblici, ad espletare gran parte delle operazioni di verifica dei danni e di programmazione degli interventi di ricostruzione.

Dai soccorsi alla ricostruzione

Nei giorni immediatamente successivi al terremoto tutti gli organi di stampa posero unanimemente l'accento sulla mancanza di qualsiasi piano d'intervento. Alcuni opinionisti

evidenziarono le ricorrenti sovrapposizioni di competenze e i conflitti, o le competizioni incomprensibili tra le autorità civili e quelle militari, o tra esponenti del governo regionale e funzionari del governo nazionale, nell'organizzare l'opera di soccorso. Le disfunzioni ebbero conseguenze gravi: quantità enormi di generi alimentari ed attrezzature di soccorso furono concentrate dove non vi erano particolari bisogni, mentre dalle località più colpite si levavano drammatiche richieste di invio di soccorsi e materiali. Le disfunzioni e i ritardi ebbero tuttavia il merito di offrire lo spunto per avviare sulla stampa nazionale un vasto dibattito sulla legge di riordino del settore della protezione civile, la cui discussione era bloccata in Parlamento per contrasti fra diversi gruppi politici.

A dieci giorni dalla violenta scossa del 15 gennaio erano state impiantate 11 tendopoli, che accoglievano più di 16.000 persone: circa 9.500 in provincia di Trapani, 4.000 nella provincia di Agrigento e 2.600 in quella di Palermo. Gli sfollati ricoverati nei centri di raccolta (scuole, alberghi, edifici pubblici e case private) erano, alla stessa data, 10.650 in provincia di Trapani e 3.050 in quella di Palermo, per un totale di quasi 14.000 persone. Molti posti letto in edifici in muratura, messi a disposizione delle autorità, non potevano essere utilizzati perché mancavano i materassi. Testimonianze di alcuni abitanti di Santa Ninfa, riportate dalla stampa nazionale, e in particolare le dichiarazioni rilasciate da don Antonio Riboldi, all'epoca parroco del paese e in seguito coraggioso accusatore di interessi illegali sulla ricostruzione, resero pubblico il fatto che i primi soccorsi erano giunti da militari statunitensi nel pomeriggio del lunedì 15 gennaio. **Solo dopo cinque giorni dalla scossa principale, ossia il 20 gennaio, erano giunti i primi soccorsi organizzati, portati dalla Marina Militare italiana, che aveva ricevuto disposizioni in tal senso solo il giorno precedente.**

La situazione di disorganizzazione causò proteste sia in Sicilia sia a Roma, e vari episodi di intolleranza. A Palermo le scosse del 15 e del 25 gennaio resero drammatico il problema delle abitazioni per gli sfollati dai fatiscenti quartieri del centro storico, che avevano largamente risentito degli effetti sismici. Le comunicazioni ufficiali del governo (terzo mandato di Aldo Moro) durante la seduta parlamentare del 22 gennaio 1968 attribuirono le difficoltà incontrate nel portare soccorsi alle popolazioni ad avversità climatiche, all'interruzione delle strade o alla loro mancanza, e all'atteggiamento *non collaborativo* delle popolazioni. Da più parti fu denunciato l'uso strumentale del terremoto sia da parte delle forze politiche di opposizione, sia da parte di quelle di governo. Lo scontro politico ebbe conseguenze negative sull'opera complessiva di soccorso e di ricostruzione. In realtà la quantità di aiuti e di concessioni elargite dallo Stato era stata notevole, ma era mancato quasi completamente una piano per una loro razionale ed efficace ripartizione. A tutto ciò si aggiunse una strisciante polemica sulla reale entità dei danni causati dal terremoto tra i rappresentanti del governo regionale siciliano e quelli del governo nazionale.



Figura 6 Santa Ninfa: i resti della chiesa Madre.

Verso la fine di gennaio 1968 i medici presenti nella zona terremotata dichiararono a più riprese sulla stampa nazionale che le tendopoli dovevano essere al più presto smontate, per evitare che le precarie condizioni igieniche, unite all'inclemenza della stagione invernale, causassero l'insorgere di epidemie e la morte degli individui più deboli. Se ai dati relativi alla popolazione nelle tendopoli e nei centri di raccolta si aggiunge il numero di coloro che se ne erano andati - circa 10.000 persone - si ha un totale di circa 40.000 individui che avevano perso la residenza, su di un totale di 80.000 residenti nelle aree maggiormente danneggiate.
A Vita, il giorno immediatamente successivo alla scossa principale, gli abitanti si erano accampati in luoghi aperti, costruendo da soli capanne di frasche e di canne con tetti di paglia. Il 22 gennaio si era diffusa la notizia che il Provveditorato regionale alle Opere Pubbliche della Sicilia, su disposizione del Ministro dei Lavori Pubblici, aveva ordinato 5.235 baracche, la cui fornitura era prevista nell'arco di 20-40 giorni. Il 2 marzo seguente le baracche impiantate, secondo i dati pubblicati, erano solo 92.



Figura 7 Poggioreale: i resti della chiesa oggi, nel sito abbandonato.

Le autorità facilitarono in ogni modo il movimento migratorio, concedendo biglietti ferroviari gratuiti e rilasciando, senza formalità o intralci burocratici, i passaporti. Con questa linea di condotta si accolsero le richieste dalla gente, ma soprattutto si percorreva la strada più semplice per attenuare la pressione sociale nei paesi devastati. Contro questa strategia dell'abbandono si pronunciarono le organizzazioni locali degli agricoltori e le associazioni sindacali. Dopo la rovinosa replica del 25 gennaio 1968 le autorità proclamarono i paesi di Gibellina, Montevago e Salaparuta "zone proibite all'ingresso".
Le perizie dell'ufficio tecnico del Genio Civile di Agrigento negli ultimi giorni del gennaio 1968 riportarono le cifre dei senzatetto per nuclei familiari: 750 famiglie a Montevago, 2.100 a Santa Margherita di Belice, 200 a Sciacca, per un totale di circa 80.000 persone. A circa un mese di distanza dall'inizio del terremoto, attorno alla metà del febbraio 1968, nella sola provincia di

Trapani circa 9.000 senzatetto erano ricoverati in edifici pubblici, 6.000 in tendopoli, 3.200 in tende sparse e 5.000 in carri ferroviari, mentre 10.000 persone erano emigrate in altre province. Rimanevano da sistemare circa 47.000 persone.



Figura 8 I superstiti in cammino verso i campi di accoglienza.

Una folla di terremotati prende la via del nord

L'impatto degli eventi sismici sulla dinamica demografica complessiva delle zone colpite si evidenziò attraverso una brusca accelerazione del già consistente fenomeno migratorio, soprattutto della popolazione maschile in età lavorativa, verso il nord d'Italia e i paesi dell'Europa settentrionale. Solo i provvedimenti restrittivi dell'immigrazione adottati dalla Svizzera negli ultimi giorni di gennaio, la progressiva saturazione delle aree di accoglienza nel nord d'Italia, la rassegnazione e la volontà di ricostruire rallentarono momentaneamente il flusso migratorio, che era cresciuto notevolmente dopo la replica del 25 gennaio 1968.
Il 29 gennaio, secondo le dichiarazioni rilasciate alla stampa dai sindaci dei comuni maggiormente danneggiati, erano quasi 10.000 le persone che avevano lasciato i luoghi di residenza o avevano fatto richiesta in tal senso. **Complessivamente si valutò in circa 12.000 il numero delle persone che lasciarono le zone terremotate partendo dalla stazione ferroviaria di Palermo.** A Milano il 28 gennaio si stimava intorno a 1.300 il numero dei profughi giunti dalle località siciliane danneggiate dal terremoto, di cui 900 circa furono posti completamente a carico dell'assistenza pubblica.
A Santa Margherita di Belice gli emigrati furono un migliaio, e a fine gennaio nelle tendopoli allestite nei pressi dell'abitato distrutto erano rimaste 3.000 persone, rispetto ai 7.841 abitanti costituenti la popolazione presente prima del terremoto.
A Camporeale, in seguito al disastro, abbandonarono il paese in direzione di altre località siciliane

o dell'Italia settentrionale ben 2.600 abitanti su 6.093. Solo 350 persone, alla fine del gennaio 1968, erano rimaste nelle tendopoli e in ripari di fortuna nella zona di Montevago.
Nei 14 comuni dell'area maggiormente danneggiata la popolazione presente scese dalle 96.417 unità del censimento 1961 alle 85.415 rilevate nel 1971. A circa un mese dal terremoto circa 10.000 persone residenti nella provincia di Trapani si erano trasferite in altre province. Tra le conseguenze a medio termine si accentuò la tendenza all'accentramento della popolazione nelle città e lo spopolamento nelle campagne. Iniziò l'afflusso di manodopera nordafricana impiegata nei lavori agricoli stagionali, che colmò i vuoti causati dall'emigrazione nelle schiere del bracciantato agricolo [2].



Figura 9 Una delle tendopoli approntate ai bordi delle strade.

Interventi statali ingenti, mal distribuiti e corrosi da interessi illegali

I primi provvedimenti del governo nazionale furono adottati nel corso della seduta del Consiglio dei Ministri svoltasi il 20 gennaio 1968. Tra le misure d'emergenza adottate figurarono: la sospensione del pagamento delle imposte nelle zone danneggiate fino al 31 dicembre 1968; una moratoria sui debiti e le cambiali; la sospensione del pagamento dei canoni di locazione di immobili urbani e rurali; l'elargizione di un contributo di 500.000 lire *una tantum* a beneficio dei capifamiglia, previa presentazione di un certificato rilasciato dalla Prefettura o dal Genio Civile, che attestasse la perdita di ogni avere; l'aumento dei sussidi di disoccupazione e l'avvio di una politica di investimenti in opere pubbliche per assorbire la disoccupazione.
Contributi ed esenzioni dalle imposte furono adottati per i lavoratori autonomi; fu decisa l'erogazione di un finanziamento a fondo perduto dell'importo massimo di 500.000 lire per le riparazioni urgenti dei fabbricati rurali. Si stanziarono 6 miliardi per l'acquisto di baracche e 15 miliardi per la costruzione di case di edilizia economico-popolare nelle province di Trapani, di Palermo e di Agrigento. Complessivamente l'impegno finanziario previsto ammontava a 45 miliardi e 360 milioni [3]. Contemporaneamente anche l'Assemblea Regionale Siciliana approvò una legge di intervento nelle aree danneggiate.



Figura 10 Santa Ninfa: baraccopoli costruita in contrada Acquanova.

Una ricostruzione importante, benché offuscata e non conclusa

Le competenze in materia di indennità di esproprio delle aree e di costruzione degli alloggi furono assegnate al Provveditorato alle Opere Pubbliche di Palermo, controllato dal ministero dei Lavori Pubblici. Per programmare la propria azione questo ente adottò **gli indici di danno calcolati per ciascuna località dal Genio Civile nei giorni immediatamente successivi alla scossa del 15 gennaio**. **Tali indicatori non tenevano però conto dei danni, anche molto gravi, causati dalle forti repliche successive, e furono quindi giudicati ampiamente sottostimati.**
I decreti legge e la legge-quadro per la ricostruzione (n. 241 del 18 marzo 1968) indicarono le località di Montevago, Gibellina, Poggioreale e di Salaparuta come centri da trasferire completamente; furono, invece, classificati come paesi soggetti a parziale trasferimento dell'abitato Santa Margherita di Belice, Santa Ninfa, Sambuca di Sicilia, Calatafimi, Salemi, Vita, Camporeale e Contessa Entellina [2].
Ostacoli di natura sociale e politica si incontrarono anche nella scelta dei terreni su cui edificare i nuovi centri abitati. La nuova Gibellina fu localizzata in prossimità della stazione ferroviaria di Salemi e dello svincolo autostradale, nella convinzione che ciò facilitasse il decollo industriale dell'area e il risveglio della vita economica, ancora fortemente legata ad attività agricole. **La scelta delle nuove localizzazioni per i centri di Salaparuta e Poggioreale fu dettata da motivi connessi alla disponibilità di terreni pianeggianti o in lieve pendenza, che permettessero l'ulteriore espansione dei paesi, evitando i rischi di instabilità a causa di pendenze accentuate.**
Non sempre però le scelte operate si dimostrarono valide e svariati fattori contribuirono ad accentuare le difficoltà della ricostruzione. Molti furono gli operatori, pubblici e privati, ai quali furono affidate competenze, causando sovrapposizioni e conflitti che ebbero l'effetto negativo di rallentare le operazioni svalutando, di fatto, l'entità dei finanziamenti concessi della Stato. La precaria situazione economica delle zone danneggiate, venendo a mancare l'effetto volano dei capitali locali e dei consumi, non favorì il formarsi di un nuovo tessuto socio-economico integrato.
La mancanza *in loco* di materiali da costruzione fondamentali, quali ferro e cemento, ritardò

ulteriormente l'opera di ricostruzione. Sul finire del 1973, solo il 10% degli alloggi necessari era stato edificato; per di più, questi alloggi non potevano essere assegnati in quanto non erano state ultimate le necessarie opere di urbanizzazione primaria (strade, acquedotti, reti elettriche) ed erano completamente assenti i servizi amministrativi e commerciali. Secondo i dati del censimento del 1971, nell'area maggiormente danneggiata le abitazioni precarie ammontavano a 15.056; nel 1973, a cinque anni dal terremoto, i baraccati erano ancora 48.182. La realizzazione delle nuove infrastrutture procedeva a rilento.
Manifestazioni di protesta e interpellanze parlamentari si succedettero a partire dal 1970. **Nel 1976**, secondo i dati riportati da un'inchiesta conoscitiva promossa dalla Commissione Lavori Pubblici della Camera dei Deputati (quinto governo Moro/quinto governo Andreotti), **oltre 47.000 cittadini delle zone terremotate risiedevano ancora nelle baraccopoli.** Solo 225 abitazioni erano state assegnate e molte delle infrastrutture, le opere sulle quali si erano concentrati gli interventi, giacevano inutilizzate; il loro destino di "cattedrali nel deserto" era irrimediabilmente segnato. Un coacervo di fattori fece di fatto fallire l'"utopia urbanistica" dei progettisti della ricostruzione.
Nonostante le tante difficoltà, ma grazie alla volontà e alla forza di resistenza dei sindaci e dei residenti rimasti, alla fine i paesi furono ricostruiti. I modelli adottati nelle ricostruzioni furono diversi e spesso opposti. In alcuni casi si tese a riprendere e a conservare l'antico volto storico dell'abitato, integrando anche parti delle rovine nello scenario urbano (Santa Margherita Belice); in altri prevalsero idee di modernizzazione, con l'adozione di forme urbanistiche lontane e non storiche (la città giardino, la città comunitaria), fuori contesto, ma non prive di una certa idealità, che oggi però appare muta e svuotata da quella complessa temperie.
Nel Belice hanno operato architetti, urbanisti e artisti, che hanno portato all'opera di ricostruzione un contributo importante. Il Belice divenne anche il luogo di un pensiero sociologico critico e vigile, contro collusioni fra istituzioni e interessi malavitosi. Protagonisti di primo piano furono Danilo Dolce (1924–1997), poeta ed educatore, teorico della non-violenza (definito il *Gandhi italiano*), e don Antonio Riboldi (1923-2017), allora parroco di Santa Ninfa, autorevole e coraggioso testimone della vita pubblica italiana (fino a tempi recentissimi) per la sue aperte e reiterate denunce contro interessi illegali politico-mafiosi. In quegli anni della ricostruzione don Riboldi aveva trovato l'appoggio del deputato siciliano Piersanti Mattarella, divenuto nel 1978 presidente della Regione Siciliana, e del generale Carlo Alberto della Chiesa, entrambi poi assassinati da *Cosa Nostra*, rispettivamente il 6 gennaio 1980 e il 3 settembre 1982.
La legislazione adottata nei decenni consentì un miglioramento delle condizioni generali dell'attività vitivinicola, ma non riuscì nel breve e medio termine a fare evolvere con decisione lo stato di arretratezza e la frammentazione delle aziende agricole operanti nelle aree più lontane dalla costa. Fu vicino al mare che decollò poi, dopo alcuni decenni, un'economia turistica, ancora in via di consolidamento. Nelle regioni collinari interne l'impatto del terremoto sulla vita e sulle attività degli abitanti fu paragonabile a una drammatica cesura, che interruppe modi consolidati di abitare e di coltivare la terra.

L'arte salva la memoria

I vecchi paesi distrutti della valle del Belice sono in gran parte ancora visibili, come cicatrici su quel bellissimo e fertile territorio. Rappresentano oggi quel *paesaggio delle rovine* che segna spesso il centro e il sud dell'Italia e di altri paesi del Mediterraneo. Qui le rovine sono presenti da tempo immemorabile, testimonianze di civiltà scomparse o di paesi abbandonati anche di recente. Gli abitanti le tollerano da sempre e ci convivono. **Le rovine diventano un veicolo di memoria, un segno di radici, che il disuso dei luoghi non sempre cancella.**



Figura 11 Gibellina: veduta del grande cretto di Alberto Burri, la prima rovina sismica divenuta un monumento alla memoria.

In alcuni paesi ricostruiti del Belice, in quelli che hanno vicinanza stretta con i vecchi siti abbandonati, sono stati allestiti in anni recenti dei percorsi pedonali definiti "della memoria", portandovi illuminazione pubblica e panchine, come se fossero un parco dei ricordi o dei ponti verso il passato. In questi luoghi, che solo il nostro profondo sud sa concepire, si comunica con la storia del posto, con i resti di vecchie case squarciate, con un passato che la cultura diffusa del Paese stenta a ricordare. In queste strani percorsi si distinguono qua e là fra le macerie eleganti portoncini, fini modanature architettoniche, assieme a poveri muri semicrollati fatti di ciottoli, che lasciano intravvedere misere stanzette. Le tracce di grandi fatiche della sopravvivenza e di piccoli o grandi privilegi o soprusi sociali emergono nello stesso modo dal loro azzeramento. La percezione di questi luoghi non è lontana da quella di un'opera d'arte.
Verso le colline della vecchia Gibellina distrutta e abbandonata, sotto il sole o nelle notti di luna, si vede biancheggiare in lontananza una sorta di fantasma: è il grande cretto di Alberto Burri, un'enorme colata di cemento bianco che compatta dodici ettari di macerie del centro storico di Gibellina. Il progetto fu avviato nel 1984 e terminato nel 1989. Le macerie furono raccolte con i bulldozer, compattate e tenute insieme da reti metalliche. Sopra questi blocchi omogenei, alti circa un metro e 60, si colò il cemento bianco. Il tracciato dei blocchi e delle fenditure ricalca l'impianto urbanistico di Gibellina. Qui l'arte salva la memoria. Una parte delle rovine, fatte di antichi vicoletti e contorti percorsi medievali, sono stati monumentalizzati e resi iconici dal cemento bianco. È il primo monumento alle rovine di un terremoto di tutta l'area mediterranea. Ha la forza e la semplicità di un segno alla coscienza del Paese.

Bibliografia

[1] Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A, Tarabusi G., e Valensise G., (2007). *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*. INGV-SGA. https://storing.ingv.it/cfti/cfti4/

[2] Caldo C. (1973). *L'insediamento nella valle del Belice (Sicilia) in relazione al terremoto del 1968*. In "Rivista Geografica Italiana", vol. 80, pp. 294-312; C. Caldo, Sottosviluppo e terremoto..., cit., 1975; G. Giarrizzo, Sicilia oggi (1950-86), in "Storia d'Italia. Le Regioni dall'Unità ad oggi. La Sicilia", Torino 1987, pp. 603-696.

[3] Camera dei Deputati, IV Legislatura. Atti Parlamentari dell'Assemblea, Documenti, vol. 102 (1963-68), Legge n. 4797, Conversione in legge del decreto-legge 22 gennaio 1968, n. 12, concernente provvidenze a favore delle popolazioni dei Comuni della Sicilia colpiti dai terremoti del gennaio 1968, Roma 1968.

Pubblicato il 29 marzo 2018

Alcune riflessioni in caso di una sequenza sismica come quella di Sora-Balsorano del 7 novembre 2019

Alessandro Amato

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Nazionale Terremoti

Ogni volta che si attiva una sequenza sismica da qualche parte in Italia, specialmente se accade in qualche area ad alta pericolosità, ci poniamo delle domande sulla sua possibile evoluzione. Spesso queste domande sono stimolate dalle persone impaurite che vivono vicino all'area epicentrale o che hanno vissuto in precedenza esperienze di forti terremoti, o ancora da giornalisti.
Abbiamo provato qui a raccogliere alcune delle riflessioni che facciamo in questi casi, provando a dare delle risposte ad alcuni quesiti ricorrenti. Molte delle domande che ci vengono poste sono purtroppo senza risposta, o hanno delle risposte caratterizzate da un elevato grado di incertezza. Alcune delle informazioni qui riassunte sono state riportate più in dettaglio in precedenti post sul terremoto del 7 novembre 2019, sull'inquadramento sismotettonico di questo evento, su un precedente evento sismico di qualche anno fa.

Cosa succede quando c'è uno sciame sismico come quello di questi giorni a Sora-Balsorano?

Si attiva una piccola faglia (o una porzione piccola di una faglia più grande), in un'area notoriamente sismica. Niente di anomalo, in fondo. Di terremoti e sequenze così ce ne sono molti ogni anno in Italia, soprattutto nelle zone più sismiche.

Quali sono le domande più ricorrenti in questi casi?

È normale che si verifichino terremoti?
Sì, quell'area come tantissime altre del territorio nazionale sono sismiche.
È collegato con altri terremoti, per es. con quelli del 2016 o del 2009?
No, in questo caso sono sistemi di faglia differenti e non collegati direttamente.
Cosa succederà?
Non lo sappiamo. Nessuno lo sa … a parte tirare a indovinare.
Ce ne saranno altri?
Sì. Dalla notte del 6 novembre ad oggi (ore 21.00, 11 novembre) sono stati 124 i terremoti localizzati in quell'area: oltre al più forte (magnitudo Mw 4.4) del 7 novembre alle ore 18:35 italiane, solo 1 ha avuto M>3, 13 hanno avuto magnitudo M>2.
Ce ne possono essere di più forti?
Sì.
È probabile che ci siano terremoti più forti?
È poco probabile.
È possibile che ci siano terremoti più forti?
Sì. Anche se la probabilità è bassa, non possiamo escludere che avvengano.
Quando?
Non si sa… allo stato delle conoscenze attuali non è possibile prevedere un terremoto.

È uno sciame precursore?

Molto probabilmente no (si stima tra il 95% e il 99% la probabilità che non ci sia un terremoto più forte), ma potrebbe diventarlo. Da notare che si definirebbe precursore solo dopo un eventuale terremoto più forte. Non c'è modo di capirlo prima.

Cosa si può dire di questa sequenza?

Storia

In quest'area ci sono stati in passato terremoti di magnitudo anche superiore a 6, come nel 1654. Più a sud e a nord anche più forti (1349, 1915) di magnitudo vicina o superiore a 7. Non ci sono elementi sufficienti per calcolare un periodo di ritorno di questi eventi e fare previsioni anche a lungo termine sui futuri terremoti.

Geologia

Ci sono numerose faglie attive nella zona, studiate e catalogate (vedi https://ingvterremoti.com/2019/11/09/inquadramento-sismotettonico-del-terremoto-di-magnitudo-mw-4-4-del-7-novembre-2019/). Si tratta di faglie "normali" (o dirette), cioè faglie che rispondono a un processo di estensione crostale, ben noto in Appennino e misurato anche dai satelliti. Il terremoto del 7 novembre 2019 ha avuto un movimento per faglia normale appunto, con una piccola componente trascorrente (ossia di movimento laterale), coerente con la geologia recente nota e con altri terremoti dell'Appennino centrale (1984, 2009, 2016). Questo significa che questo pezzetto di faglia si comporta, in piccolo, come quelle più grandi e note. Maggiori dettagli sono disponibili nel post sull'inquadramento sismotettonico.
La profondità ipocentrale (~15 km) è caratteristica degli eventi di questo settore. Nel caso dei grandi terremoti, le faglie che si attivano lo fanno per la loro intera estensione, da 10-15 km in profondità fino a rompere la superficie.

Pericolosità

La pericolosità dell'area è molto alta, in conseguenza dei dati, sismici e geologici, descritti sopra. La pericolosità stimata non da però informazioni su quando potrebbe verificarsi il prossimo terremoto.

Le sequenze di questo tipo in Italia

La maggior parte delle sequenze in Italia con eventi di questa magnitudo (4-4.5) tende a durare da qualche giorno fino ad alcune settimane. La maggior parte finisce senza eventi più forti. In qualche raro caso, invece, si è osservata una scossa maggiore dopo qualche mese (es. L'Aquila 2009, ma ricordiamo che in altri casi, come ad Amatrice nel 2016, l'evento distruttivo iniziale, quello del 24 agosto, non è stato preceduto da alcun *foreshock*).

Precedenti recenti nella zona

Considerando il catalogo strumentale dei terremoti italiani dal 1985, in un'area di raggio 30 km

centrato su Sora, si trovano 6 eventi di magnitudo M≥4, compreso l'ultimo del 7 novembre 2019. Tre di questi eventi, di magnitudo 4.0, 4.0 e 4.1, sono stati scosse isolate, senza repliche. In un caso, in occasione del terremoto del 1 gennaio 2019 (M 4.1) l'attività si è protratta per alcuni giorni, circa 5; in un altro, in occasione del terremoto del 16 febbraio 2013, il più forte del periodo (M 4.8), la sequenza è durata circa due settimane. In nessuno dei 5 casi precedenti si è osservato un aumento della magnitudo dopo gli eventi di M≥4.

Data e Ora (Italia)	Magnitudo	Zona	Prof.	Lat.	Long.
2019/11/7 18:35	Mw 4.4	5 km SE Balsorano (AQ)	16	41.78	13.60
2019/1/1 19:37	Mw 4.1	3 km W Collelongo (AQ)	17	41.88	13.55
2015/2/28 4:16	Mw 4.1	1 km SW Trasacco (AQ)	11	41.95	13.53
2013/2/16 22:16	Mw 4.8	4 km W Sora (FR)	17	41.71	13.57
2009/8/6 17:36	Mw 4.0	3 km S Fontechiari (FR)	16	41.65	13.67
2007/7/22 19:26	ML 4.0	4 km SW LecceMarsi (AQ)	16	41.91	13.67

Se guardiamo una mappa degli epicentri localizzati finora, l'area interessata si estende per circa 3 km in senso est-ovest e circa 2 km in senso nord-sud.

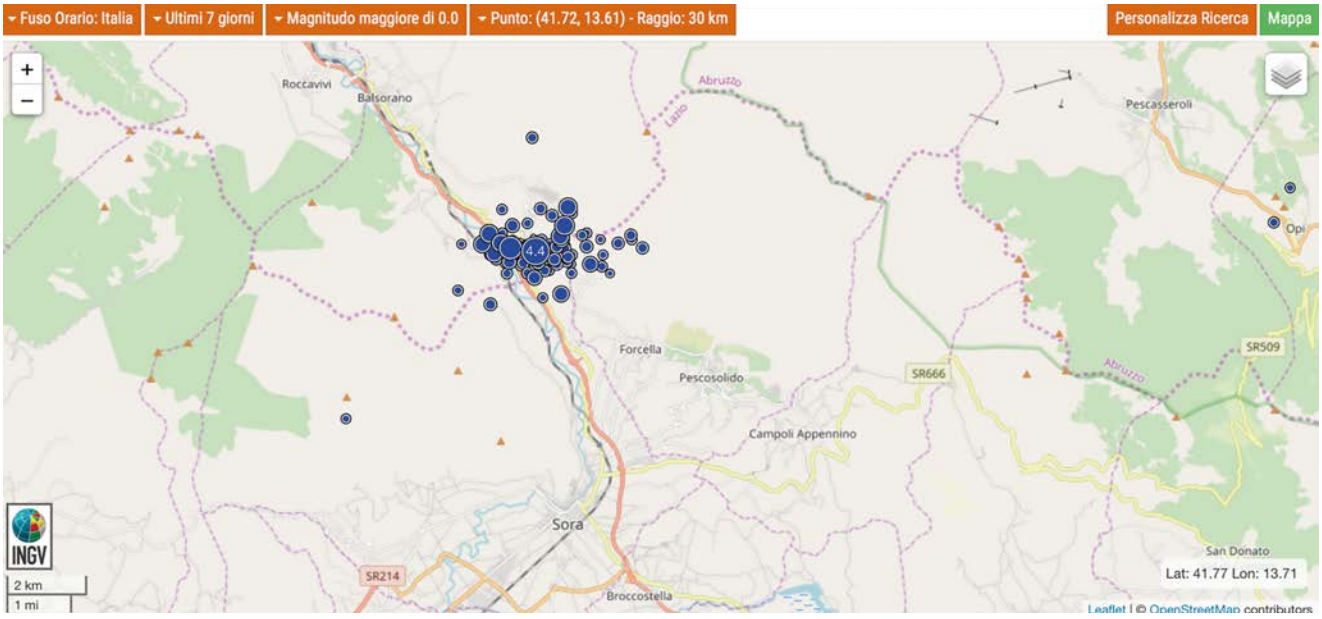


Figura 1 Epicentri della sequenza iniziata il 6 novembre 2019 al confine tra Lazio e Abruzzo. Sono riportati gli epicentri di 124 eventi di magnitudo compresa tra 0.5 e 4.4 (dati da terremoti.ingv.it).

L'area colpita

Considerando che le localizzazioni epicentrali mostrano sempre una dispersione degli epicentri maggiore del reale (pur avendo in quest'area la rete nazionale INGV un'ottima performance, con errori sui parametri contenuti), l'area interessata è verosimilmente anche più piccola di 3 km per 2 km, una dimensione appropriata per un evento di magnitudo 4.4 (sia la magnitudo M_L che quella Mw hanno questo valore). Stiamo quindi osservando l'attivazione di una porzione di faglia molto piccola; non sappiamo come questa sia collegata con le grandi faglie presenti nel sottosuolo e visibili in superficie che sono probabilmente l'origine dei grandi terremoti del passato (come quello del 1349, del 1654 ecc.). Queste devono avere avuto un'estensione di centinaia di km^2. Questo non significa che non possano "rompersi" per intero nuovamente (anzi prima o poi lo faranno di sicuro), ma per il momento l'attività è confinata in un volume piuttosto ristretto. Va detto comunque che nei casi di forti terremoti preceduti da altri eventi sismici (*foreshocks)*, l'attività precedente i forti terremoti è generalmente contenuta in un volume ristretto. In sostanza quindi la sequenza di questi giorni non può dirci molto più di quello che sappiamo sull'attivazione di un eventuale forte terremoto. Secondo alcuni modelli statistici c'è un aumento di probabilità di un forte terremoto quando avviene un evento anche piccolo come quello del 7 novembre, ma le probabilità calcolate restano comunque basse. È assodato che la stragrande maggioranza di queste sequenze (tra il 95% e il 99%) finisce dopo alcuni giorni o settimane senza un forte terremoto.

Cosa fare?

Comprensibile la paura. L'unico modo per vincerla è essere sicuri delle case in cui si vive, delle scuole dove mandiamo i nostri figli, dei posti di lavoro, ecc. Approfittiamo di queste occasioni (eventi forti ma sotto la soglia del danno) per ricordarci che viviamo in una terra sismica e mettiamoci in sicurezza prima che arrivi quello forte (che prima o poi arriva, speriamo tra un po' di anni così abbiamo il tempo per ridurre il rischio).

Pubblicato l'11 novembre 2019

Una sorgente sismogenetica particolare: la subduzione

Mara Monica Tiberti, Francesco Emanuele Maesano, Roberto Basili

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Roma 1

Il guscio più esterno della Terra, chiamato litosfera, è composto da diversi frammenti che vengono chiamati **placche**. Queste placche sono in movimento, per cui i loro bordi sono soggetti a scorrimento, trazione o compressione. Laddove avviene compressione, può accadere che una delle due placche scorra al di sotto dell'altra. Questo processo si chiama **subduzione** e genera terremoti, talvolta anche molto forti, sia per l'attrito all'interfaccia tra le due placche, sia per le deformazioni cui sono soggette entrambe le placche.
Questi **terremoti** sono di diverso tipo in funzione della posizione in cui avvengono rispetto alla subduzione stessa [Satake e Tanioka, 1999].
Al contatto tra le due placche avremo terremoti "di interfaccia", mentre nella parte di placca che scende al di sotto dell'altra, chiamata ***slab***, si generano terremoti detti *intraslab* o intraplacca. Nella parte della placca di fronte al margine della placca superiore, dove lo *slab* è più alto perché non ancora sceso al di sotto dell'altra placca, si possono avere i terremoti di *outer-rise*. Infine, altri terremoti avvengono sugli *splays*, faglie che si propagano all'interno della placca superiore partendo dall'interfaccia.

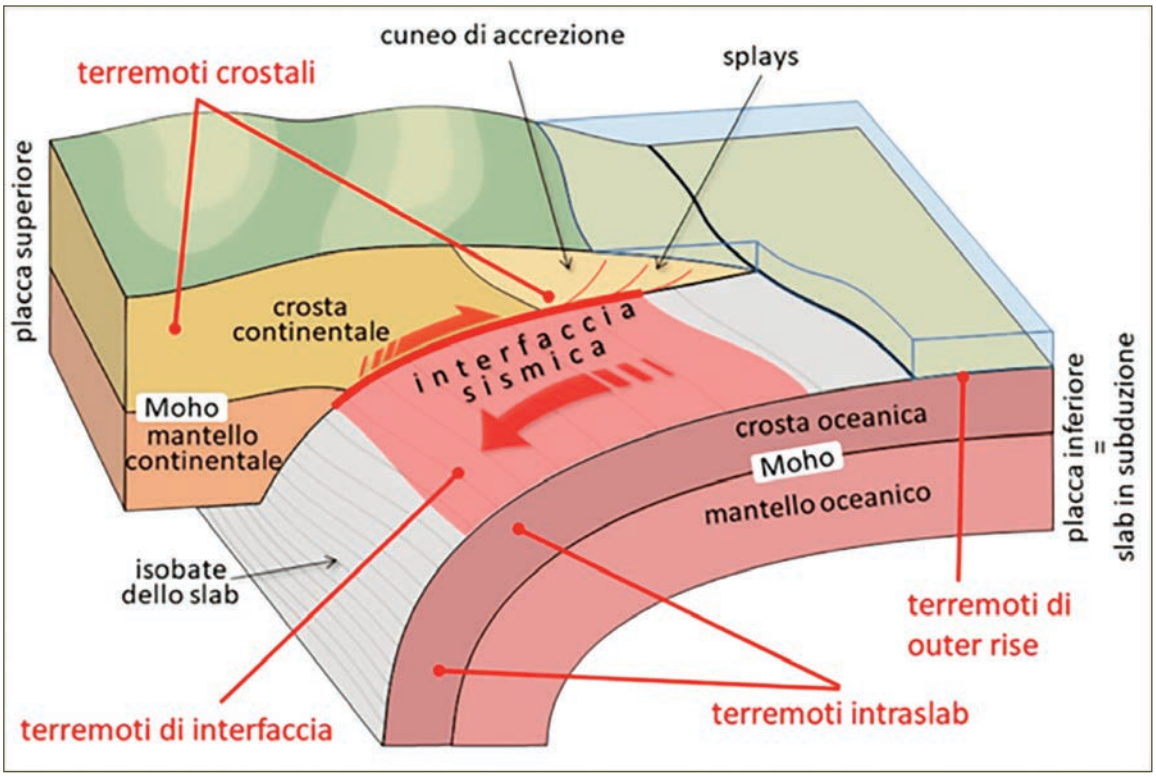


Figura 1 Schema di una subduzione e dei terremoti che vi si generano.

Anche la cinematica (cioè il tipo di movimento relativo tra le due parti della faglia) di questi terremoti sarà funzione della posizione in cui avvengono. Terremoti sull'interfaccia o sugli *splays* avranno cinematica inversa, mentre sarà normale ed eventualmente anche trascorrente la

cinematica dei terremoti che avvengono nel resto della placca superiore. Nella placca subdotta i terremoti (*intraslab*) avranno una cinematica variabile in funzione delle forze che agiscono sullo slab mentre scende in profondità.
Per caratterizzare i terremoti che si possono sviluppare in una zona di subduzione è quindi molto importante **definire accuratamente la geometria di tutto il sistema di subduzione**. Tanto più è accurata la ricostruzione geometrica tanto maggiore sarà la nostra capacità di modellare gli effetti di un terremoto che si potrebbe generare nella zona di subduzione. Considerato che la maggior parte dei processi di subduzione avviene sotto gli oceani, in queste aree i terremoti possono anche causare **tsunami** (https://www.youtube.com/watch?v=MlczRq0zZp0). Conoscere i possibili effetti di terremoti e tsunami significa avere la possibilità di mettere in atto le opportune azioni di prevenzione.
Dal punto di vista geologico, l'**Italia** è in gran parte il frutto della subduzione della placca africana al di sotto della placca europea, con conseguente deformazione e sollevamento dei sedimenti che si trovavano sul fondale oceanico e sul margine continentale.

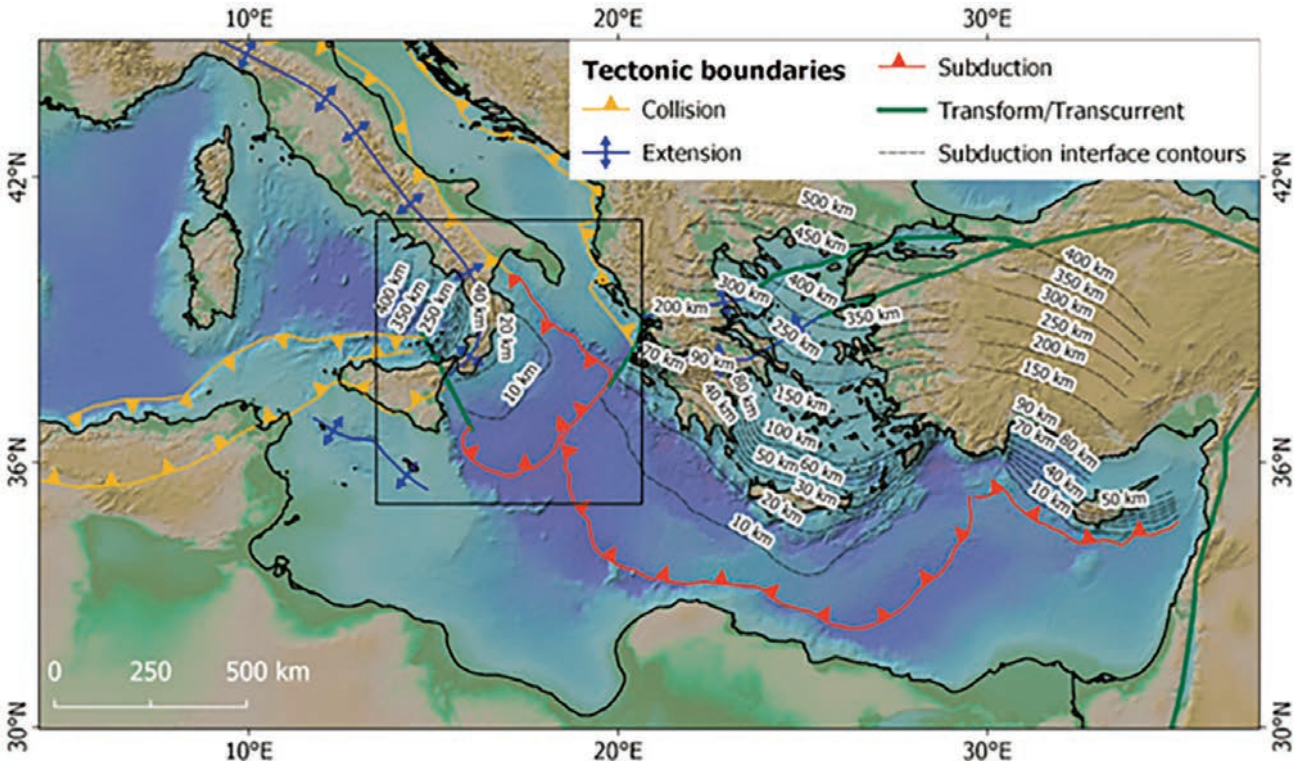


Figura 2 Schema geologico del Mediterraneo e profondità degli slab.

Il processo di subduzione è ancora in corso al di sotto della Calabria. Il fondale del mar Ionio è infatti costituito da una crosta oceanica molto antica che sta sprofondando al di sotto dell'Arco Calabro, con un meccanismo definito di *roll-back*. Lo sprofondamento dello *slab* è confinato lateralmente dalla presenza di due blocchi di crosta continentale, affioranti in Sicilia e in Puglia. Il *roll-back* causa l'arretramento dello *slab* con il conseguente spostamento verso sud-est dell'Arco Calabro, come evidenziato dalle **misure geodetiche** (Figura 3a).
Nel passato la Calabria è stata interessata da numerosi terremoti, anche forti (Figura 3b). Attualmente si registrano numerosi terremoti, fino a 400 km di profondità, la cui posizione ci fornisce le prove dell'esistenza di uno *slab* ben sviluppato al di sotto della Calabria (Figura 3c, Chiarabba et al. [2005]).

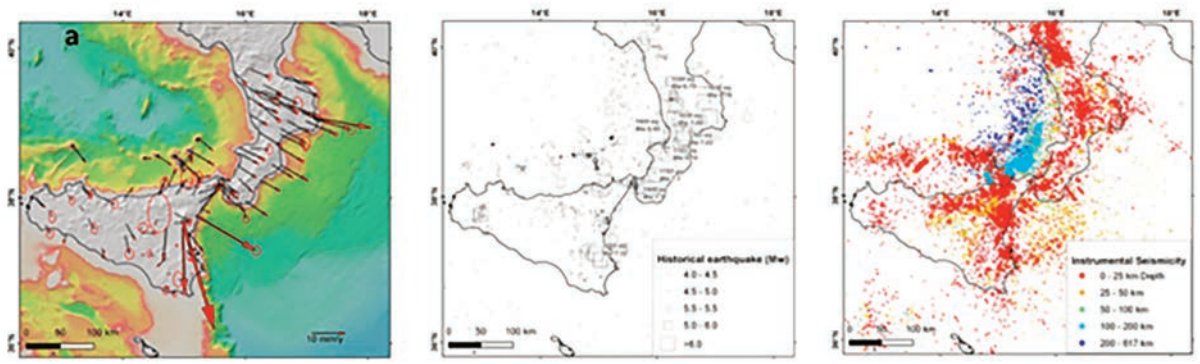


Figura 3 a) Direzione e quantità dello spostamento verso sud-est in relazione alla placca africana, misurato tramite stazioni dotate di sistema GPS [Devoti et al., 2011]; b) Terremoti in epoca storica [Rovida et al., 2016]: la dimensione dei quadrati è proporzionale alla magnitudo stimata; c) terremoti registrati dal 2005 al 2016, colorati diversamente in funzione della loro profondità [ISIDE Working Group, 2016].

Per un approfondimento sulla **sismicità profonda dell'Arco Calabro** è possibile leggere il post al seguente link https://ingvterremoti.com/2015/01/02/terremoti-profondi-in-italia-stanno-aumentando/#more-6528 e vedere il video sul canale YouTUBE di INGVterremoti (https://www.youtube.com/watch?v=gqbgOa29Ojk).

I dati raccolti con la tecnica della tomografia sismica ci permettono di sapere che **lo *slab* raggiunge profondità ancora più elevate all'interno del mantello** (oltre 600 km; Piromallo e Morelli, [2003]).

Grazie alla disponibilità di una grande mole di dati di sismica a riflessione, cioè immagini simili a ecografie della crosta terrestre ottenute con tecniche geofisiche, è stato possibile integrare le informazioni già ottenute da vari autori (ad esempio: Merlini et al., [2000]; Minelli e Faccenna, [2010]) per indagare le strutture sepolte della crosta terrestre fino a circa 18 km di profondità. Ciò ha permesso di ricostruire, con una accuratezza finora mai raggiunta, la geometria dell'interfaccia di subduzione tra la placca africana – costituita da crosta oceanica – e dei sedimenti soprastanti che sono stati deformati e "aggiunti" alla placca europea con un meccanismo noto come **accrezione** (Maesano et al. [2017], Figure 1 e 4).

Come abbiamo visto, anche lo *slab* subdotto provoca terremoti, per cui è importante definire accuratamente come la subduzione prosegue in profondità. Per questo è necessario affidarsi alle localizzazioni dei terremoti recenti [ISIDe Working Group, 2016]. Man mano che passano gli anni, il numero dei terremoti registrati aumenta e migliora l'accuratezza delle localizzazioni, per cui i risultati dell'analisi sono via via più robusti. La loro distribuzione conferma quanto descritto dai dati di tomografia sismica [Neri et al., 2009].

I dati confermano che lo *slab* non è più continuo nella sua porzione più settentrionale, ma si interrompe a una profondità di circa 70 km a causa di uno "strappo" che sembra propagarsi orizzontalmente. Solo una stretta porzione dello *slab* può, al momento, considerarsi ancora continua dalla superficie fino a 600 km di profondità. Il fenomeno della subduzione al di sotto della Calabria sembra quindi destinato a esaurirsi "presto", geologicamente parlando.

Le due porzioni della subduzione, quella più superficiale ottenuta mediante l'interpretazione dei profili sismici e quella più profonda ottenuta dalla localizzazione dei terremoti, sono state interpolate insieme per ottenere una unica immagine 3D della subduzione (Figura 5).

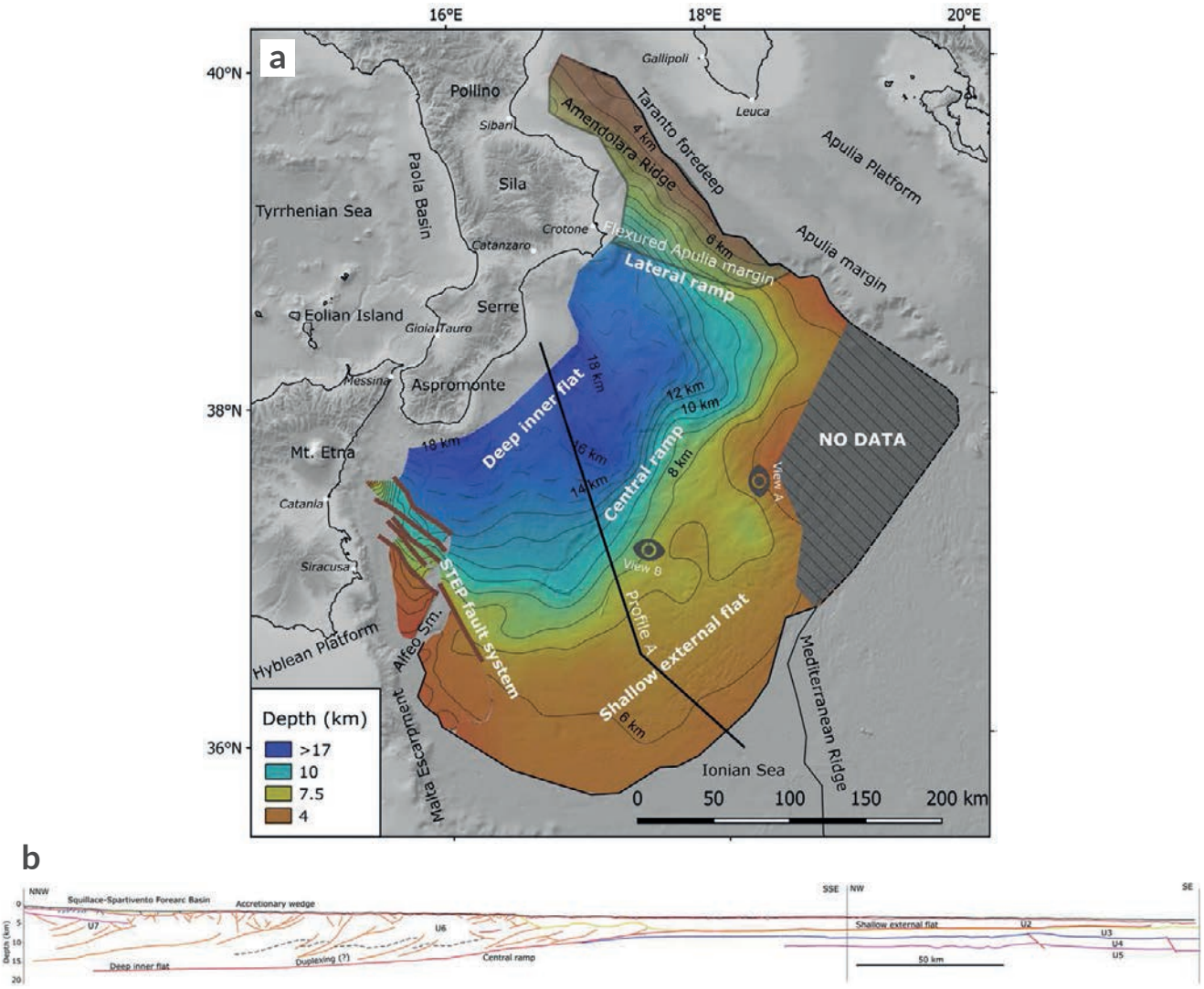


Figura 4 a) Ricostruzione geometrica della porzione più superficiale dell'interfaccia di subduzione, ottenuta dall'interpretazione dei profili sismici. La linea nera è la traccia del profilo. b) L'interfaccia di subduzione e le altre strutture del cuneo di accrezione (i sedimenti della placca inferiore, deformati e aggiunti alla placca superiore) così come appaiono nei profili sismici Maesano et al. [2017].

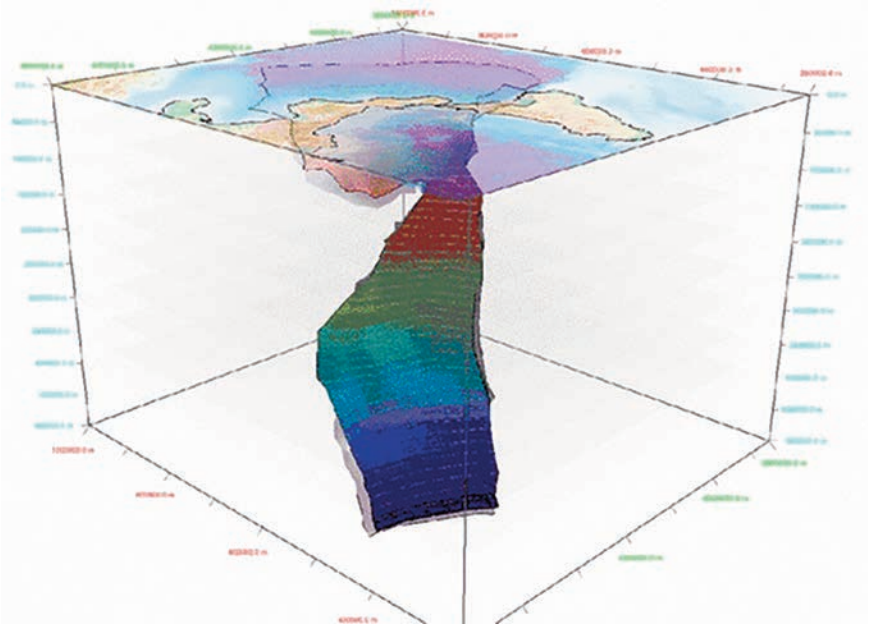


Figura 5 Immagine raffigurante l'andamento dello *slab* in profondità. A partire da 70 km di profondità è visibile lo "strappo", che lascia intatta solo una piccola parte dello *slab*.

Anche se il processo di subduzione al di sotto della Calabria sembrerebbe destinato a esaurirsi, la sua fine definitiva è ancora lontana (vicina in termini geologici, ma lontana se paragonata all'esistenza umana), per cui è importante comprenderne il potenziale sismogenetico anche attraverso l'utilizzo di un modello geometrico. La **ricostruzione 3D dell'interfaccia di subduzione**, insieme ai dati disponibili sulla sismicità storica della Calabria e ai tassi di deformazione attuali misurati dai GPS, ha evidenziato che **la deformazione misurata attraverso i dati satellitari è inferiore a quella attesa calcolata sulla base del rilascio di energia dovuto ai terremoti del passato** [Carafa et al., 2018]. Tale evidenza ha portato a ipotizzare che l'interfaccia di subduzione possa essere attualmente, almeno in parte, "bloccata", cioè che stia oggi accumulando deformazione che potrebbe essere rilasciata in futuro.

In ogni caso la conoscenza del sistema subduzione consente di meglio comprendere la sismotettonica della regione Calabria (Tiberti et al. [2017], vedi anche questo **post:** https://ingvterremoti.com/2019/10/09/il-terremoto-del-7-ottobre-2019-mw-4-0-in-provincia-di-catanzaro-approfondimento-geologico/).

Nel caso di un oggetto grande come una subduzione, l'accuratezza geometrica diventa determinante qualora si debbano modellare lo scuotimento oppure la dislocazione di un terremoto potenzialmente in grado di generare uno tsunami. Le approssimazioni che si introdurrebbero utilizzando un modello troppo semplificato, infatti, potrebbero portare a risultati anche significativamente diversi dalla realtà [Tonini et al., 2017].

La subduzione della Calabria, insieme alle altre subduzioni presenti nel Mediterraneo, è stata introdotta nel Database delle Sorgenti Sismogenetiche dell'INGV **DISS**, https://diss.ingv.it. Un approfondimento sul DISS è disponibile in questo articolo https://ingvterremoti.com/2019/01/16/diss-ovvero-il-database-delle-sorgenti-sismogenetiche-italiane/.

Bibliografia

Carafa M.M.C., Kastelic V., Bird P., Maesano F.E., Valensise G., (2018). *A "geodetic gap" in the Calabrian Arc: Evidence for a locked subduction megathrust?* Geophysical Research Letters, 45, pp. 1794-1804. https://doi.org/10.1002/2017GL076554

Chiarabba C., Jovane L., Di Stefano R., (2005). *A new view of Italian seismicity using 20 years of instrumental recordings*. Tectonophysics, 395(3), pp. 251-268, https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.09.013

Devoti R., Esposito A., Pietrantonio G., Pisani A.R., Riguzzi F., (2011). *Evidence of large scale deformation patterns from GPS data in the Italian subduction boundary*. Earth and Planetary Science Letters, 311(3-4), pp. 230-241. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.09.034

ISIDe Working Group, (2016). *ISIDe, Italian Seismological Instrumental and Parametric Database*. Version 1.0. doi: 10.13127/ISIDe

Maesano F.E., Tiberti M.M., Basili R., (2017). *The Calabrian Arc: three-dimensional modelling of the subduction interface*. Sci. Rep., 7(1), 8887. https://doi.org/10.1038/s41598-017-09074-8

Merlini S., Cantarella G., Doglioni C., (2000). *On the seismic profile Crop M5 in the Ionian Sea*. Boll. Soc. Geol. It., 119, 2, pp. 227-236.

Minelli L., Faccenna C., (2010). *Evolution of the Calabrian accretionary wedge (central Mediterranean)*. Tectonics, 29(4), TC4004. https://doi.org/10.1029/2009TC002562

Neri G., Orecchio B., Totaro C., Falcone G., Presti D., (2009). *Subduction Beneath Southern Italy Close the Ending*. Results from Seismic Tomography: Seismological Research Letters, 80(1), pp. 63-70. https://doi.org/10.1785/gssrl.80.1.63

Piromallo C., Morelli A., (2003). *Pwave tomography of the mantle under the Alpine-Mediterranean*

area. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 108(B2). https://doi.org/10.1029/2002JB001757

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., (eds), (2016). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15)*. Versione 1.5. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). doi: 10.6092/INGV.IT-CPTI15

Satake K., Tanioka Y., (1999). *Sources of tsunami and tsunamigenic earthquakes in subduction zones*. Pure and Applied Geophysics, 154(3-4), pp. 467-483.

Tiberti M.M., Vannoli P., Fracassi U., Burrato P., Kastelic V., and Valensise G., (2017). *Understanding seismogenic processes in the southern Calabrian Arc: a geodynamic perspective*. Italian Journal of Geosciences, 136(3), pp. 365-388. https://doi.org/10.3301/IJG.2016.12

Tonini R., Maesano F.E., Tiberti, M.M., Romano F., Scala A., Lorito S., Volpe M., Basili R., (2017). *How much does geometry of seismic sources matter in tsunami modeling? A sensitivity analysis for the Calabrian subduction interface*. American Geophysical Union, Fall Meeting 2017, abstract #NH23A-0214.

Pubblicato il 14 maggio 2020

Il terremoto del 1980 in Irpinia e Basilicata e la nascita degli studi di Geologia del Terremoto e di Tettonica Attiva in Italia

Daniela Pantosti, Gianluca Valensise

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Roma 1

Il quarantesimo anniversario del catastrofico terremoto del 23 novembre 1980 è certamente un'occasione per alcune riflessioni **su come quell'evento**, oltre ad aver profondamente modificato l'assetto urbanistico, economico e sociale della regione che ha colpito, **ha modificato il corso della ricerca in campo sismologico, e non solo in Italia**. Il terremoto ha in effetti agito come un potente volano nei confronti di una ricerca che nei decenni precedenti aveva stentato a riprendere il ruolo e il peso che avrebbe meritato, in un Paese ad elevato rischio sismico e vulcanico quale è l'Italia. La disponibilità di dati strumentali di buona qualità e registrati in *real-time* ha dato un forte impulso alla sismologia strumentale, che a sua volta poggiava su una lunga tradizione avviata già all'indomani del terremoto del Belìce del 1968. Ma il particolare momento storico, che tra il 1973 e il 1980 aveva visto anche il riavvio del Piano Nucleare nazionale, e dunque la urgente necessità di comprendere meglio il potenziale sismogenetico delle diverse aree del Paese, convinse Enzo Boschi, salito alla guida dell'ING nel 1982, a proporre un sostanziale ampliamento dello spettro delle attività di ricerca svolte dall'Istituto.
Il primo settore disciplinare a beneficiarne fu la **Sismologia Storica**, che pure poteva contare su una solida tradizione tutta interna all'ING. A partire dal 1987 fu la volta degli studi di **Tettonica Attiva**, allora sostenuti quasi solo dagli autori di questa nota. Eravamo due ricercatori meno che trentenni, arrivati all'ING seguendo percorsi distinti in un momento storico in cui l'Istituto era in piena espansione; le nostre proposte scientifiche, in buona misura nuove per i nostri colleghi più anziani, venivano recepite da tutti – a partire da Enzo Boschi stesso – con entusiasmo e curiosità. Certamente ci aiutava il fatto di esserci entrambi formati alla scuola di Renato Funiciello e Maurizio Parotto presso l'Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Roma, allora l'unico ateneo della Capitale: due grandi geologi che godevano di grande rispetto all'ING, al punto che Renato Funiciello ne fu per anni il vicepresidente.
Ma fu subito chiaro che l'obiettivo che ci eravamo dati, con l'incoscienza tipica di chi è entrato da poco nel mondo del lavoro, non era facilmente raggiungibile. L'Italia aveva già una lunga e solidissima tradizione di studi geologici, condotti e varie scale e per diverse finalità, ma in quegli anni la ricerca in Tettonica Attiva era decisamente agli albori. I soli corsi universitari che potevano fornire alcuni degli strumenti che poi ci sarebbero serviti erano quelli di Geologia Strutturale, Geologia e Paleontologia del Quaternario, Sedimentologia e Geocronologia, e la ricerca più pertinente si svolgeva prevalentemente fuori dagli atenei.

Il terremoto del 1980: nella tragedia, uno straordinario caso di scuola

Il terremoto del 1980 fu dunque il nostro primo banco di prova, in omaggio a un principio che ancora oggi consideriamo basilare:
Per il geologo un forte terremoto è quell'occasione unica durante cui vengono illustrati in modo istantaneo l'andamento e l'entità degli effetti in superficie della dislocazione su una faglia profonda.
Da sempre i grandi terremoti illustrano elementi della geologia e dell'evoluzione tettonica che

sarebbe molto difficile cogliere in altra maniera; e non vi è dubbio che a partire dalla seconda metà degli anni '80 lo studio dei terremoti ha consentito di comprendere aspetti dell'evoluzione geologica recente della penisola che non erano stati colti nella loro interezza – o non erano stati colti affatto – dalla geologia tradizionale.

Il dibattito sulle **faglie attive** e sulla **sismogenesi** (il processo di generazione dei terremoti) è approdato in Italia solo tra la fine degli anni '60 e la metà degli anni '70, soprattutto grazie alle ricerche per il *siting* delle centrali nucleari. Un posto d'onore in questo dibattito pionieristico spetta a Carlo Bosi, che nel 1975 propose di **avviare un'azione di riconoscimento sistematico di faglie attive sulla base della loro espressione superficiale** [Bosi, 1975]: una proposta forse troppo avanzata per i tempi, e che purtroppo non fece molta strada. Ciononostante negli stessi anni, sotto l'egida del Progetto Finalizzato Geodinamica, veniva ultimata la compilazione del **Modello Strutturale d'Italia**, della **Carta Tettonica d'Italia** e della **Carta Neotettonica dell'Italia meridionale**: esperienze importanti, che gettavano **un primo ponte tra l'evidenza geologica di superficie, quella accessibile a ogni geologo di terreno, e il verificarsi di grandi terremoti**, così come si riteneva logico che fosse e così come avveniva con successo nelle aree a più elevata sismicità del mondo occidentale.

Ma il clima di generale ottimismo riguardo alla capacità del geologo di identificare i principali elementi della tettonica attiva e di anticipare l'esistenza di faglie sismogenetiche stava per essere offuscato dalle prime delusioni. **Gli studi sui forti terremoti italiani di quegli anni**, e segnatamente quelli del Belìce del 1968 e del Friuli del 1976, **sembravano infatti dimostrare che quegli eventi non avevano interessato nessuna delle faglie note**; **sembrava addirittura impossibile identificare una faglia** – per quanto fino ad allora ignota – **che potesse esserne considerata la sorgente**.

Anche il terremoto del 1980, decisamente più energetico (Mw 6.9) dei due eventi che lo avevano preceduto nel 1968 e nel 1976, **apparve ai primi geologi che si recarono sul terreno per osservarne gli effetti geologici come l'ennesima dimostrazione di quella che stava diventando una curiosa "anomalia italiana"**; l'assenza – quantomeno apparente – di tracce superficiali delle faglie sismogenetiche, anche per terremoti di magnitudo ben superiore a 6.0. Questo spinse molti a ritenere che in Italia la geologia, la tettonica attiva e la sismologia fossero insiemi disciplinari ad intersezione nulla. La California, la faglia di San Andreas e tutta la letteratura sismo-geologica anglosassone di quegli anni apparivano lontanissime, in tutti i sensi, anche se gli stessi sismologi statunitensi avevano attraversato una fase simile: fu lo stesso Charles Richter, infatti, ad asserire profeticamente che "*... Because of the dispersion of seismological literature, geologists often overlook or ignore it. A recent paper on the geomorphology of a highly seismic region discusses rift valleys and faults, but ignores well-described faulting on two historical occasions, omits study of earthquake locations... and ends with an airy generality to the effect that the frequent earthquakes show that block movements are still going on...*" (Richter [1958], Pag. 7).

1984: ha inizio la svolta

Ma le cose cambiarono presto. Nel 1984 Westaway e Jackson, due sismologi inglesi che avevano ricevuto da Vittorio Cagnetti, un sismologo dell'ENEA, foto molto eloquenti sugli **effetti geologici del terremoto dell'Irpinia**, pubblicarono sulla prestigiosa rivista *Nature* un **resoconto degli effetti più evidenti osservabili nell'area epicentrale**. Si apriva così, seppure con ritardo, una fase di studio che avrebbe dato vita a un settore disciplinare fino ad allora sostanzialmente assente in Italia.



Figura 1 Due chiari esempi di come si presentava la scarpata di faglia generata dal terremoto del 1980 (nella foto a destra è ritratto il Prof. Funiciello accanto a Daniela Pantosti, che appare anche nella foto a sinistra). In entrambi i casi la scarpata produce una contro-topografia, cioè solleva il versante nel settore SO rispetto al settore NE, che include la cima del rilievo. Questo anomalo rapporto tra la geometria della faglia e il paesaggio, osservato per la gran parte della rottura fu del tutto inaspettato, ed è stato una delle cause della lentezza nel riconoscimento della fagliazione superficiale in Irpinia.



Figura 2 Altri scorci della scarpata di faglia, che localmente presenta un assetto "normale" e produce il ribassamento del piede del versante rispetto alla cima del rilievo, contrariamente a quello che si vede negli esempi "anomali" mostrati sopra. Si tratta però di un caso del tutto isolato, che avviene solo grazie alla presenza del piccolo bacino di Piano di Pecore. Nella foto di destra Gianluca Valensise mostra la tecnica con cui veniva misurata l'altezza della scarpata.

A partire dal novembre del 1986 anche noi cominciammo a esplorare il quadro delle rotture superficiali causate da quel terremoto. Il lavoro di terreno non era agevole, per più di una ragione:

- **le rotture di superficie che stavamo ricostruendo** non correvano al piede di un versante, come ci saremmo aspettati per una faglia estensionale, ma **correvano principalmente lungo pendii di montagna, a quote spesso superiori ai 1.000 metri**, in aree che, con poche eccezioni, erano raggiungibili solo a piedi o con mezzi fuoristrada (di cui l'ING a quell'epoca non disponeva);
- **le rotture si erano create ormai sei anni prima**, un tempo sufficiente perché **perdessero** molta della loro freschezza, e quindi della **loro visibilità**. Questo avveniva anche perché **molte di esse**, contrariamente a quanto avviene comunemente nelle faglie estensionali, **si opponevano al pendio topografico ed erano quindi facile preda dell'erosione dovuta allo scorrimento delle acque superficiali**;
- **le nostre dotazioni di terreno erano quelle degli anni '80**; non esistevano gli strumenti che oggi sono di uso comune nel rilevamento geologico, come le immagini digitali, i *tablets* e i navigatori GPS tascabili, e la registrazione dei dati avveniva solo su supporto cartaceo;
- **la logistica dell'area era particolarmente difficoltosa**: le poche strutture ricettive esistenti erano generalmente utilizzate dagli operai dei numerosi cantieri aperti, il che ci costringeva ad alloggiare a decine di chilometri da dove poi ci saremmo recati per il lavoro sul terreno.

Un elemento molto importante a nostro favore era però la benevolenza di tutti coloro che incontravamo: pastori, agricoltori, addetti alla ricostruzione. **Molti di loro si prodigavano per indicarci il luogo esatto in cui cercare le rotture, dando un contributo fondamentale al successo della nostra ricerca.**
Missione dopo missione, i risultati iniziarono ad arrivare. Il nostro primo obiettivo era stato **Piano di Pecore**, una piccola depressione intermontana posta a circa 1.180 metri di quota, **dove una spettacolare scarpata alta fino a un metro si seguiva con facilità, sia nell'area pianeggiante che lungo i rilievi circostanti**. Nei mesi successivi ci spingemmo progressivamente più a nordovest e a sudest, fino a ricostruire **la scarpata di faglia per un'estensione di oltre 40 km**.

1986: nuove idee e nuovi modelli per vecchi terremoti

In quegli stessi anni ci fu una decisa ripresa di interesse per gli effetti in superficie dei grandi terremoti del passato, come nel caso dello studio condotto da Serva et al. [1986] sul terremoto di Avezzano del 1915, e fiorirono nuove ricerche sui terremoti dello Stretto di Messina del 1908, di Gubbio del 1984 e della Val Comino (confine Lazio-Abruzzo), sempre del 1984. Ma **il vero elemento di rottura restava il terremoto dell'Irpinia, che in pochi secondi aveva messo sotto gli occhi del geologo una serie di testimonianze della tettonica attiva assolutamente incontrovertibili, ma al tempo stesso quasi impossibili da ricavare da un'analisi geologica convenzionale** (Figura 3).
Nel 1988 presentammo una prima ricostruzione di quanto era avvenuto in Irpinia al congresso della Società Geologica Italiana, che si svolgeva a Sorrento [Funiciello et al., 1988], proponendo una interpretazione decisamente "di rottura" rispetto alle convinzioni della gran parte dei colleghi, e **ricevendo per questo una accoglienza decisamente fredda**. In un lavoro che apparve sul *Journal of Geophysical Research* due anni dopo [Pantosti e Valensise, 1990] **sostenemmo** con dovizia di dettagli, aiutandoci **anche attraverso l'elaborazione di dati di livellazione geodetica**:

- che **il terremoto era stato generato da una faglia che per gran parte della sua lunghezza non coincideva con faglie mappate in precedenza**, ma che nonostante questo

interessava anche la superficie topografica, formando una **scarpata cosismica** (ovvero formatasi durante il terremoto, come ci dissero i locali) **che in alcuni tratti mostrava attivazioni precedenti**;

- che **questa faglia mostrava una sorprendente ma chiara tendenza a "rovesciare" la topografia, sollevando le valli e ribassando le dorsali**;
- che **con l'unica eccezione del versante NE del Monte Cervialto**, **il terremoto non aveva riattivato neppure passivamente le faglie note**, mostrando di essere stato generato da una faglia "giovane", figlia di una tettonica "nuova";
- che **la faglia pendeva verso NE, in contrasto con il modello di fagliazione estensionale "a gradinata" verso SW, ovvero verso il Tirreno, che dominava i modelli geodinamici dell'epoca**; questa conclusione avrebbe poi dato impulso a una riconsiderazione complessiva della natura principalmente regionale del sollevamento dell'Appennino.

C'è forse da chiedersi perché **questa sintesi**, che fu poi largamente accettata e condivisa, **sia arrivata a maturazione quasi un decennio dopo il terremoto**. La spiegazione è forse nel fatto che in quegli anni i modelli geodinamici a grande scala, in genere abbastanza astratti, tendevano a prevalere sulle oggettivamente modeste e talora "timide" tracce di fagliazione superficiale lasciate dal terremoto. Ad esempio, **la pendenza verso NE del piano di faglia principale, messa subito in evidenza dai sismologi, venne contestata a lungo sulla base della diffusa convinzione che l'Appennino meridionale fosse separato dal Tirreno da una gradinata di faglie necessariamente pendenti verso Sud-Ovest**.

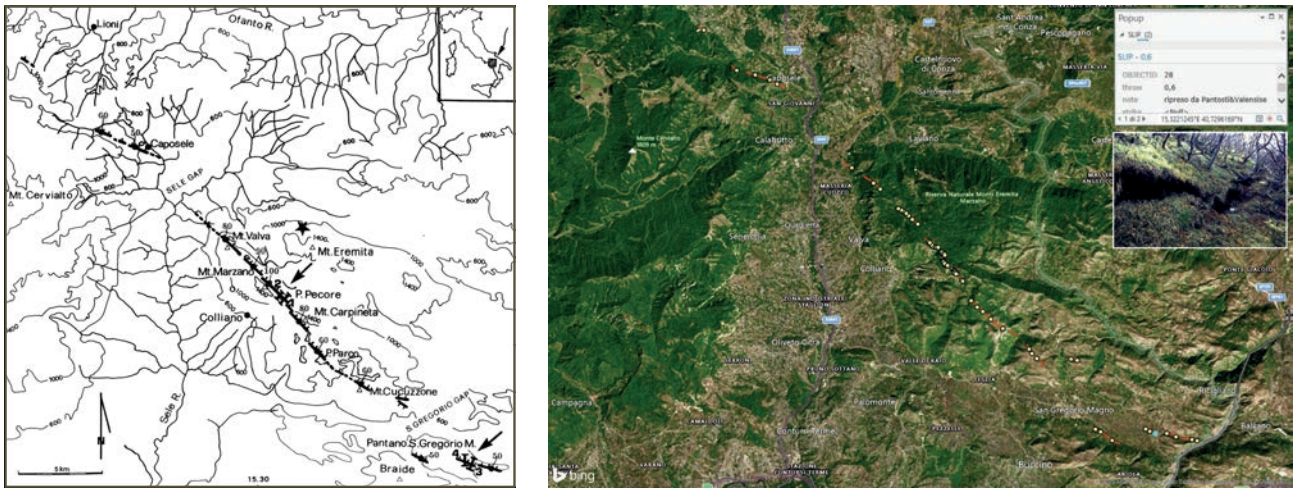


Figura 3 A sinistra: mappa sintetica originale della scarpata, come da noi ricostruita a partire dal 1986; in totale, la faglia si estende per circa 40 km in piena area epicentrale, tra Lioni e San Gregorio Magno. Si noti la riproduzione realizzata completamente a mano libera, con pennino, china, retini e lettere trasferibili, su una base topografica minimale. A destra: la stessa traccia, ma riportata in un sistema georeferenziato con una topografia 3D e la possibilità di includere o collegare tutte le informazioni utili quali base geologica, foto, sistema viario, centri abitati ecc.

In sintesi, **il terremoto del 1980 ha messo in moto un nuovo modo di pensare la Geologia del Terremoto e la Tettonica Attiva**, portando alla **scoperta di molte altre faglie attive potenzialmente generatrici di forti terremoti** e creando le premesse per una crescita, straordinariamente rapida, di questo settore disciplinare. **Dai forti terremoti del XX secolo abbiamo appreso che il rapporto tra le faglie sismogenetiche e la loro espressione nella geologia**

e nel paesaggio è molto più complessa di quanto non si ritenesse in passato, perché:

- **la tettonica in atto lungo la catena appenninica è geologicamente giovane**;
- in un **sistema tettonico giovane**, **le faglie attive hanno bisogno di tempo per dare al paesaggio un'impronta caratteristica** e manifestarsi chiaramente in modo fragile;
- nel frattempo, **la geologia regionale e il paesaggio a grande scala saranno dominati da faglie legate a sistemi tettonici preesistenti** (estinti);
- a seconda dei casi, **le faglie antiche potranno essere sepolte dalla sedimentazione**, o **ringiovanite grazie al sollevamento regionale**;
- le **evidenze delle faglie oggi attive possono essere comunque riconosciute grazie a studi di dettaglio e alle nuove tecnologie di terreno**, che ci permettono di apprezzare anche piccolissime deformazioni;
- le **faglie di superficie ci illustrano ciò che accade sulla faglia a profondità sismogenetica**; queste informazioni sono preziose, perché **integrano** e **vincolano** le **tradizionali osservazioni strumentali, sismologiche e geodetiche**.

1989: la nascita della Paleosismologia in Italia

La nascita della **Geologia del Terremoto** in Italia ha rappresentato una pietra miliare, perché ha aperto la possibilità di studiare **le impronte lasciate dai terremoti del passato nel paesaggio e nella geologia**, in **epoca storica** e **preistorica**. Questo ha consentito di **ricostruire la storia sismica di una faglia o di una regione per diversi millenni**, in alcuni casi anche per decine di millenni, e di estendere il record della sismicità ben oltre il periodo storico, che in genere non supera i due millenni. **Queste storie sismiche estese sono utilizzate per costruire scenari realistici dei terremoti che avverranno in un futuro più o meno lontano.**
Quindi, **studiare il passato come chiave per il futuro**. **Due** sono gli **ingredienti** principali che ci permettono di percorrere questa strada:

- **l'osservazione, tutt'altro che scontata in quegli anni, che i forti terremoti si ripetono nel tempo lungo la stessa faglia**;
- **la comprensione del legame tra deformazioni cosismiche in profondità** (dove si genera il terremoto) e **deformazioni in superficie**, sia lungo la faglia che in un'area circostante di decine o centinaia di km^2.

Da questa consapevolezza è nata la **Paleosismologia**, che inizialmente – negli anni '70 – era stata la risposta alle necessità dell'industria nucleare in Giappone e negli Stati Uniti, ma che successivamente **si è evoluta come un contributo vero e proprio alle stime di pericolosità sismica**.
Il terremoto del 1980 è stato il trampolino di lancio anche per la Paleosismologia, in Italia, ma anche in Europa. **Il nostro banco di prova è stato Piano di Pecore**, il **bacino intramontano da cui è iniziata la nostra ricostruzione della scarpata di faglia del 1980**. Nel bacino, **la scarpata interrompeva il drenaggio verso la sottostante Valle del Sele**, rendendolo di fatto endoreico[1] e trasformandolo episodicamente in un piccolo pantano, fino al colmamento deposizionale della depressione creata dal terremoto stesso: **un caso decisamente unico ed estremamente favorevole alla registrazione geologica dei terremoti del passato**.
In un giorno nebbioso dei primi di giugno del 1989, esattamente nelle ore in cui a Pechino si consumava la tragedia di Piazza Tienanmen, a bordo di un Ducato bianco dell'Istituto abbiamo nuovamente raggiunto Piano di Pecore. Erano con noi David Schwartz, un ricercatore del Servizio Geologico degli Stati Uniti, uno dei pionieri della Paleosismologia, e Mustapha Megraoui,

[1]Un bacino idrografico o una regione le cui acque non hanno scolo al mare.

un collega algerino nostro coetaneo, che aveva appena concluso la sua prima "esperienza paleosismologica" sulla faglia di El Asnam (Algeria): una faglia che aveva prodotto un grande terremoto (Mw 7.3) neanche due mesi prima della faglia dell'Irpinia, nell'ottobre del 1980.
David è stato la nostra guida in questo studio; la sua esperienza ci ha permesso di apprendere in breve tempo tutto ciò che i corsi universitari non ci avevano potuto insegnare, ovvero **le tecniche e gli approcci all'avanguardia per stabilire come intercettare la scarpata di faglia con una trincea** e **come riconoscere i paleoterremoti registrati dalla sequenza deposizionale così messa in luce**. Ci seguiva un enorme e minaccioso scavatore che con la sua pala aveva il compito di aprire uno scavo lungo una trentina di metri, largo quattro e profondo altrettanto, attraverso la scarpata di faglia che ancora attraversava Piano di Pecore in modo molto evidente.



Figura 4 Trincea di Piano di Pecore. Sinistra: le prime operazioni di scavo della trincea. Il paletto indica la scarpata di faglia del 1980: la superficie su cui si trova lo scavatore è rialzata rispetto a quella su cui si trova Gianluca Valensise. Destra: la parete della trincea ripulita dal materiale di scavo; le bandierine colorate mettono in evidenza i livelli stratigrafici più importanti, mentre i riquadri vengono utilizzati per riportare graficamente gli elementi stratigrafici e tettonici. La scarpata del 1980 appare come uno scalino ben smussato alto circa un metro che interrompe la superficie piana del bacino (davanti al furgone bianco). Gli strati grigi contengono ceneri vulcaniche e sono intercalati a strati ricchi di sostanza organica tipici di un bacino intramontano. La sequenza è deformata in corrispondenza della scarpata in un'ampia flessura, e contiene la registrazione di ben quattro terremoti che hanno prodotto una scarpata in superficie del tutto simile e nella stessa posizione di quella che si è creata nel 1980.

Perché uno scavo attraverso la faglia?

Come nelle pagine di un libro, **le pareti di una trincea ci raccontano una complessa storia di eventi deposizionali, erosivi, tettonici**; eventi che vanno prima compresi nel loro susseguirsi e nelle loro mutue interazioni, e che possono poi essere datati grazie alle moderne tecniche radiometriche.
Come fu del tutto chiaro solo dopo, **il sito di Piano di Pecore conservava una testimonianza eccezionale della storia sismica recente della faglia che aveva generato il terremoto del 1980**.
Nelle pareti delle **trincee aperte a Piano di Pecor**e riconoscemmo **eventi di fagliazione**

superficiale del tutto simili a quanto osservato nel 1980: eventi che hanno interessato gli strati formati dall'accumulo di depositi sottili rimossi dalle pendici dei rilievi circostanti e ceneri vulcaniche originate dalle eruzioni dei vulcani campani. In un ciclo che si ripete almeno quattro volte uguale a sé stesso, periodi di deposizione indisturbata si alternano a eventi istantanei di deformazione (terremoti) che interessano tutti gli strati deposti fino a quell'istante. Subito dopo la deposizione riprende indisturbata, finché un nuovo terremoto deforma nuovamente tutta la sequenza. Il risultato di questi eventi è mostrato nell'immagine qui di seguito. I depositi in basso (gialli), più antichi, hanno subìto più terremoti, e quindi le deformazioni prodotte da ciascun evento si sono cumulate; a loro volta i depositi più in alto nella sequenza (arancioni) sono più giovani, e quindi meno o per nulla deformati.

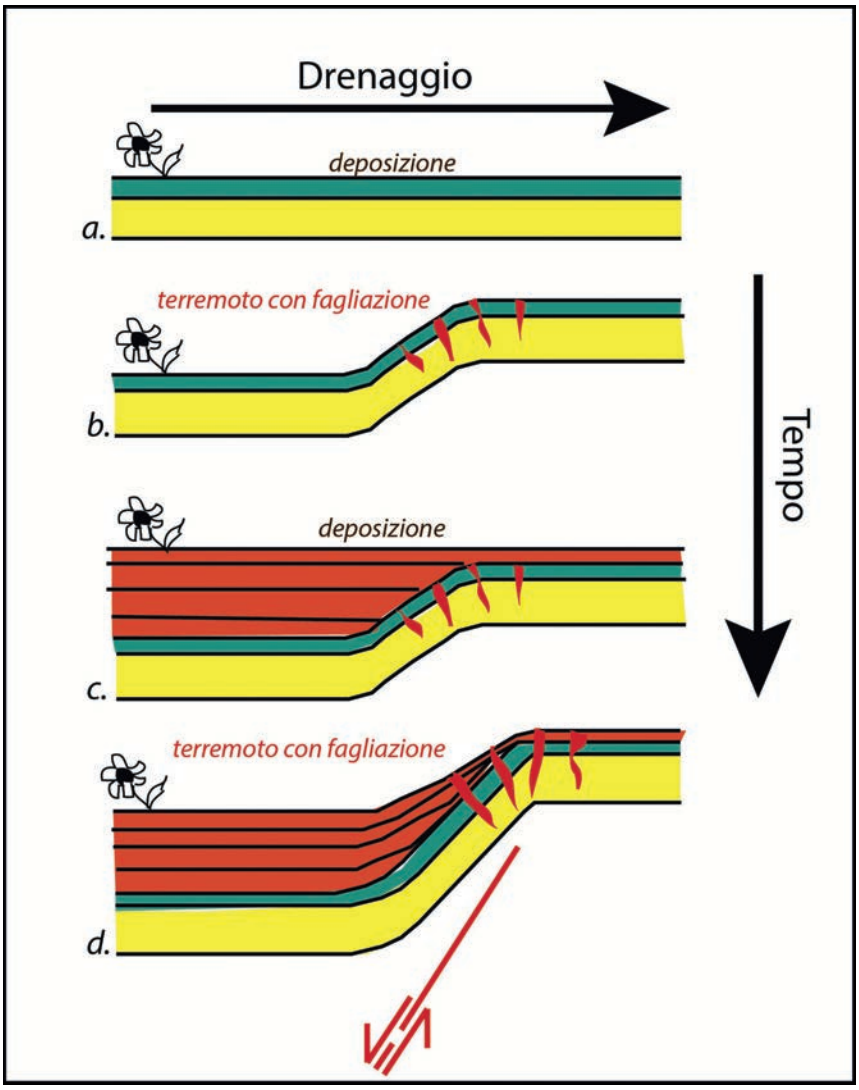


Figura 5 Ricostruzione schematica degli eventi di deposizione e fagliazione a Piano di Pecore. Gli strati giallo-verde, indisturbati (a) vengono deformati (b) in una ampia flessura in occasione di un terremoto. Un scarpata simile a quella del 1980 interrompe la superficie del Piano; c) la deposizione di sedimenti nel bacino tende a riempire la zona ribassata e a nascondere la scarpata di faglia; d) un nuovo terremoto produce una nuova scarpata di faglia in superficie e la deformazione di tutta la sequenza sedimentaria. Gli strati giallo verdi appaiono molto più deformati di quelli arancioni: i primi hanno registrato 2 terremoti, gli altri solo uno.

Ma dopo averli riconosciuti nella stratigrafia, come si datavano i paleoterremoti? Un altro attore fondamentale nella nostra esperienza è stato Gilberto Calderoni, dell'allora Istituto di Geochimica dell'Università la Sapienza di Roma. Gilberto ci ha guidato nel mondo della geocronologia, e in particolare ci ha aperto le porte alla comprensione dei complessi processi che portano alle datazioni col metodo del Radiocarbonio. Oggi le nuove tecnologie permettono di datare anche campioni minuscoli, mentre allora avevamo bisogno di grandi quantità di depositi ricchi in carbonio, ad esempio materiali torbosi, il che rendeva molto più difficile datare i paleoterremoti.



Figura 6 Trincea aperta alla base del versante che scende dalla cima della dorsale Monte Marzano-Monte Carpineta verso il Piano di Pecore. La scarpata di faglia del 1980 si trova nella parte alta dello scavo, in corrispondenza della faglia (in rosso) che pende verso la parte antistante e produce il ribassamento di questo settore (vedi movimento indicato dalle frecce). La faglia separa depositi massivi di pendio, di colore marrone chiaro, da depositi stratificati con intercalazioni organiche, in marrone scuro, livelli vulcanici grigi, e depositi di pendio. I livelli organici contengono frammenti di carbone e legno o sono ricchi in torba, e sono stati datati grazie al radiocarbonio presente in quantità significativa in questi materiali.

Ma l'impresa è riuscita: tra il 1989 e il 1991 abbiamo scavato e studiato quattro trincee attraverso la faglia dell'Irpinia, nelle quali, oltre al terremoto del 1980, **abbiamo individuato quattro paleoterremoti di dimensioni confrontabili all'ultimo, avvenuti nell'arco degli ultimi 10.000 anni circa** (vedi Tabella 1). Anche questi risultati sono stati oggetto di diverse pubblicazioni, e a distanza di oltre tre decenni possono essere considerati le fondamenta della Paleosismologia italiana.

Terremoto	Età
1	1980 AD
2	540 AD-820 BC
3	1520 BC-2400 BC
4	2340 BC-4810 BC
5	5480 BC-7030 BC

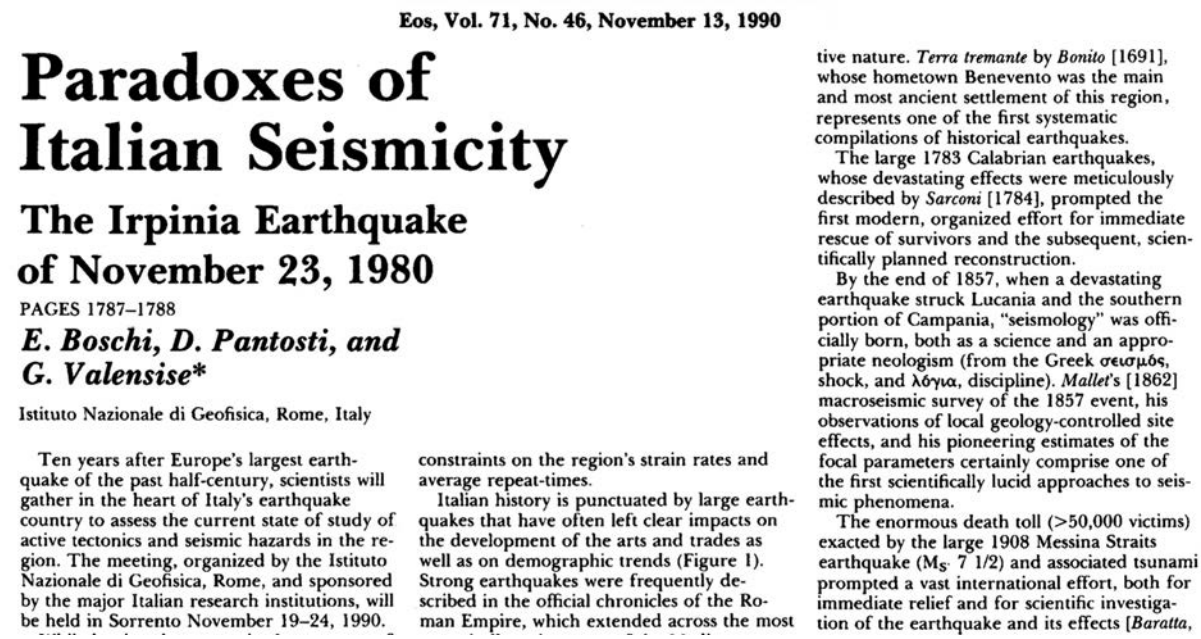
Tabella 1 La tabella riporta i terremoti che hanno prodotto fagliazione superficiale lungo la faglia dell'Irpinia e i cui effetti sono stati riconosciuti nelle trincee. L'età di ogni paleoterremoto cade in un intervallo molto ampio, sia a causa di limiti intrinseci del metodo di datazione stesso, sia perché i campioni datati non sono mai esattamente localizzati nella stratigrafia in corrispondenza del paleoterremoto. Oggi, grazie all'avanzamento nei metodi di datazione e alla modellazione statistica, questi intervalli possono essere sostanzialmente ridotti.

Da allora, la Paleosismologia ha iniziato la sua strada in Italia. Oggi **lo scavo di trincee e la loro interpretazione continua ad essere sicuramente il metodo più utilizzato ed efficace per le ricerche paleosismologiche**: ma, a seconda del contesto geologico, logistico e tettonico, per studiare la faglia e le zone limitrofe potenzialmente sotto l'influenza delle deformazioni cosismiche si ricorre ad approcci diversi, e talora innovativi. Si utilizzano quindi **sondaggi**, **analisi topografiche ad alta risoluzione** e **analisi geochimiche di superfici di faglia**, **analisi geomorfologiche** di elementi quali **incisioni fluviali**, **piane** e **conoidi alluvionali oloceniche**, **analisi multidisciplinari** per la ricostruzione 3D di geometrie profonde e superficiali.
In questi trenta anni, lentamente, ma con continuità, **numerosi piccoli gruppi di ricercatori hanno caratterizzato la storia sismica di alcune decine di faglie che dissecano l'Appennino**. Ad oggi sono state aperte in Italia circa **200 trincee paleosismologiche**, che hanno dato luogo a numerosi articoli pubblicati su riviste scientifiche e report. La cosa più importante che abbiamo imparato è che **i grandi terremoti (M6+) si ripetono sulle faglie appenniniche con cadenza generalmente millenaria o plurimillenaria**, in accordo con i relativamente limitati *strain rates* (tassi di deformazione) che caratterizzano la nostra penisola. **Le grandi faglie però sono numerose e producono risentimento in zone molto ampie**, il che implica che il *tempo di ritorno* di forti scuotimenti a un singolo sito – da non confondere con il *tempo di ricorrenza*, che è una caratteristica della singola faglia – è al massimo plurisecolare (Figure 7 e 8).



Figura 7 Questa epigrafe, che si trova nel Duomo di Ariano Irpino (AV), ricorda otto grandi terremoti che hanno colpito la città. Gli eventi sono datati 858 (probabilmente un errore per 848), 8 settembre 1349, 5 dicembre 1456, 17 marzo 1517, 5 giugno 1688, 8 settembre 1694, 14 marzo 1702 e 29 novembre 1732: quest'ultimo distrusse o danneggiò gravemente la chiesa. L'epigrafe, che rappresenta un monito permanente sulla pericolosità dell'area irpina, ricorda tutti coloro che hanno promosso prima i restauri e poi la completa ricostruzione della chiesa, completata nel 1736 sotto il patrocinio di Filippo Tipaldi, vescovo di Napoli e Ariano Irpino.

C'è ancora molta strada da fare perché gli studi paleosismologici siano diffusi su tutto il territorio nazionale e possano essere realmente utilizzati per estendere indietro nel tempo i cataloghi di sismicità, strumento essenziale per le analisi di pericolosità sismica. Al momento, in Italia, il contributo della storia paleosismica domina in numerose importanti aree – ad esempio lungo l'intera dorsale appenninica – consentendo di valutare sia la pericolosità convenzionale, quella da scuotimento, sia la pericolosità da fagliazione superficiale; una informazione che può essere cruciale per siti sensibili quali dighe, centrali per la produzione di energia e grandi infrastrutture per il trasporto di persone e merci.



Eos, Vol. 71, No. 46, November 13, 1990

Paradoxes of Italian Seismicity

The Irpinia Earthquake of November 23, 1980

PAGES 1787–1788

*E. Boschi, D. Pantosti, and G. Valensise**

Istituto Nazionale di Geofisica, Rome, Italy

Ten years after Europe's largest earthquake of the past half-century, scientists will gather in the heart of Italy's earthquake country to assess the current state of study of active tectonics and seismic hazards in the region. The meeting, organized by the Istituto Nazionale di Geofisica, Rome, and sponsored by the major Italian research institutions, will be held in Sorrento November 19–24, 1990.

constraints on the region's strain rates and average repeat-times.

Italian history is punctuated by large earthquakes that have often left clear impacts on the development of the arts and trades as well as on demographic trends (Figure 1). Strong earthquakes were frequently described in the official chronicles of the Roman Empire, which extended across the most

tive nature. *Terra tremante* by *Bonito* [1691], whose hometown Benevento was the main and most ancient settlement of this region, represents one of the first systematic compilations of historical earthquakes.

The large 1783 Calabrian earthquakes, whose devastating effects were meticulously described by *Sarconi* [1784], prompted the first modern, organized effort for immediate rescue of survivors and the subsequent, scientifically planned reconstruction.

By the end of 1857, when a devastating earthquake struck Lucania and the southern portion of Campania, "seismology" was officially born, both as a science and an appropriate neologism (from the Greek σεισμός, shock, and λόγια, discipline). *Mallet*'s [1862] macroseismic survey of the 1857 event, his observations of local geology-controlled site effects, and his pioneering estimates of the focal parameters certainly comprise one of the first scientifically lucid approaches to seismic phenomena.

The enormous death toll (>50,000 victims) exacted by the large 1908 Messina Straits earthquake (M_S 7 1/2) and associated tsunami prompted a vast international effort, both for immediate relief and for scientific investigation of the earthquake and its effects [*Baratta*,

Figura 8 Frontespizio di un articolo apparso su EOS nel novembre 1990, in vista di un evento celebrativo del primo decennale del terremoto dell'Irpinia, che si svolse a Sorrento dal 19 al 24 novembre di quello stesso anno. L'articolo riferiva brevemente i primi risultati paleosismologici, discutendo il paradosso che nasce dal contrasto tra la ricorrenza ultramillenaria dei forti terremoti rivelata dalle trincee, e la frequenza con cui l'Appennino meridionale viene scosso da terremoti disastrosi (a riguardo si veda l'epigrafe riportata nell'immagine precedente).

Bibliografia

Boschi E., Pantosti D., e Valensise G., (1990). *Paradoxes of Italian seismicity*. EOS Transactions, American Geophysical Union, 71, pp. 1787-1788.

Bosi C., (1975). *Osservazioni preliminari su faglie probabilmente attive nell'Appennino Centrale*. Boll. Soc. Geol. It., 94, pp. 827-859.

Funiciello R., Pantosti D., e Valensise G., (1988). *Fagliazione superficiale associata al terremoto irpino del 23 novembre 1980*. Memorie della Società Geologica Italiana, 1988, 41(2), 1.139-1.144.

Pantosti D., e Valensise G., (1990). *Faulting mechanism and complexity of the 23 November 1980, Campania-Lucania earthquake, inferred from surface observations*. Journal of Geophysical Research, 95, 15.319-15.341.

Pantosti D., Schwartz D.P., e Valensise G., (1993). *Paleoseismology along the 1980 surface rupture of the Irpinia fault: implications for earthquake recurrence in the southern Apennines, Italy*. Journal of Geophysical Research, 98, 6.561-6.577.

Richter C.F., (1958). *Elementary seismology*. Freeman & Co. (editore.), San Francisco, 768 pp.

Serva L., Blumetti A.M., e 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, pp. 893-907.

Westaway R., e Jackson J., (1984). *Surface faulting in the southern Italian Campania-Basilicata earthquake of 23 November 1980*. Nature, 312, pp. 436-438.

Pubblicato il 24 novembre 2020

Il forte terremoto e maremoto in Giappone dell'11 marzo 2011

Centro Allerta Tsunami

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

L'**11 marzo 2011**, alle ore 6:46 italiane (le ore 14:46 in Giappone), una parte piuttosto grande della faglia che separa la placca oceanica pacifica da quella chiamata di Okhotsk (sulla quale si trovano le isole del Giappone) si è mossa improvvisamente, producendo **un terremoto di magnitudo Mw 9.1**. Il terremoto del 2011 è **uno dei cinque terremoti più forti avvenuti nel mondo dal 1900** e il più forte registrato in Giappone. La regione più colpita è stata quella di Tohoku, da cui poi ha preso il nome questo evento. Si tratta di una delle zone sismicamente più attive della Terra dove le **placche convergono alla velocità di circa 9 cm/anno**, generando il processo noto come **subduzione**, che è responsabile dei terremoti più forti che avvengono sulla Terra.

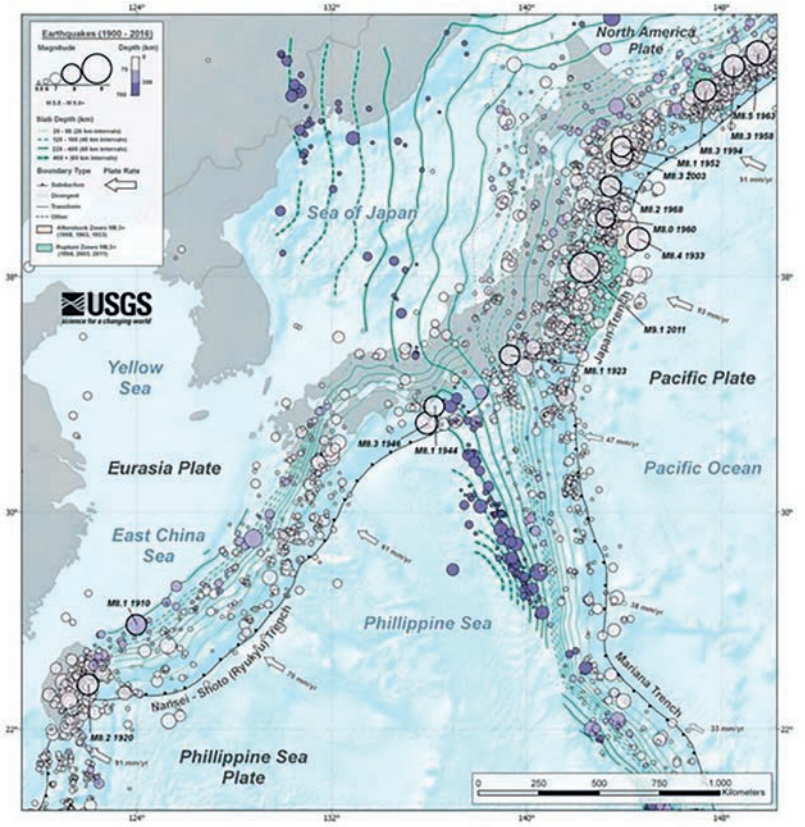


Figura 1 Assetto sismo-tettonico del Giappone (da USGS).

Il terremoto è avvenuto al largo delle coste di Honshu, l'isola più grande del Giappone, e **ha generato uno tsunami devastante**.
I forti terremoti (M>8.5) che avvengono lungo le interfacce di subduzione sono caratterizzati da un'area di rottura lungo il piano di faglia estesa per centinaia di chilometri e sono definiti terremoti *megathrust*. Poiché avvengono in mare aperto o vicini alla costa, questi terremoti generano uno spostamento repentino del fondo del mare che può causare uno tsunami, proprio come accadde per il terremoto giapponese dell'11 marzo 2011. La stessa area era stata interessata **nei secoli precedenti da almeno quattro terremoti di magnitudo maggiore di 8** che avevano generato degli tsunami distruttivi. L'ultimo era avvenuto nel 1933.

Il terremoto di Tohoku è uno degli eventi sismici più studiati dai ricercatori di tutto il mondo, grazie all'enorme mole di dati a disposizione, tra cui i dati sismici, quelli geodetici e naturalmente i dati delle variazioni di livello del mare, misurate sulle coste e in *offshore*.

Quali sono stati gli effetti del terremoto?

Un terremoto come quello di Tohoku rilascia un'energia enorme (8000 volte quella del terremoto di Norcia del 2016 di magnitudo Mw 6.5). Tuttavia, essendo la faglia responsabile dell'evento molto lontana dalla terraferma, i danni maggiori sono stati causati dallo tsunami che ha seguito il terremoto. Le prime inondazioni si sono avute pochi minuti dopo le ore 14:46 locali.

Data e ora evento	Magnitudo	Localizzazione	Altezza massima raggiunta dallo tsunami (m)	Vittime	Feriti	Abitazioni distrutte	Abitazioni danneggiate
11/03/2011	9.1	Honshu Island	39,26	18429	6157	123661	280920

Lo tsunami è stato osservato in tutto l'Oceano Pacifico ed ha causato gravi danni in Giappone e danni minori ma diffusi in altri Paesi.
Nella **prefettura di Iwate** (regione di Tōhoku) le onde dello tsunami hanno raggiunto **ampiezze maggiori di 10 metri** davanti alle coste delle prefetture di Iwate, Miyagi e Fukushima, con ***run-up***[1] **fino a 38 m**, e **penetrando in terra anche fino a 5 km** nella piana di Sendai. Le onde di tsunami hanno la caratteristica di muovere l'intera colonna d'acqua, dal fondo alla superficie e, in mare aperto, dove il fondale è molto profondo, sono difficilmente osservabili e viaggiano a velocità molto sostenute.



Figura 4 Lo tsunami ha spazzato via la stazione di servizio provocando un incendio che ha bruciato l'intera città.

[1]Altezza topografica massima raggiunta dall'acqua durante un maremoto, rispetto al livello del mare.

Nel caso dello tsunami del Giappone, anche le boe collocate nell'Oceano Pacifico, a circa 500 miglia dalla costa hanno registrato variazioni notevoli del livello del mare (in particolare, la boa DART 21418 collocata a Nord Est di Tokyo ha registrato un ampiezza massima di circa 1.80 m). **Lo tsunami ha raggiunto le coste di tutti i Paesi prospicienti l'Oceano Pacifico**. A Coquimbo in Cile, a oltre 16000 km di distanza, sono state osservate onde di oltre due metri; a Crescent City in California, a 7500 km di distanza, si sono registrati *run-up* di oltre due metri e mezzo. Anche in Russia, Sud America, Hawaii e Stati Uniti sono stati osservati *run-up* fino a 2 metri.

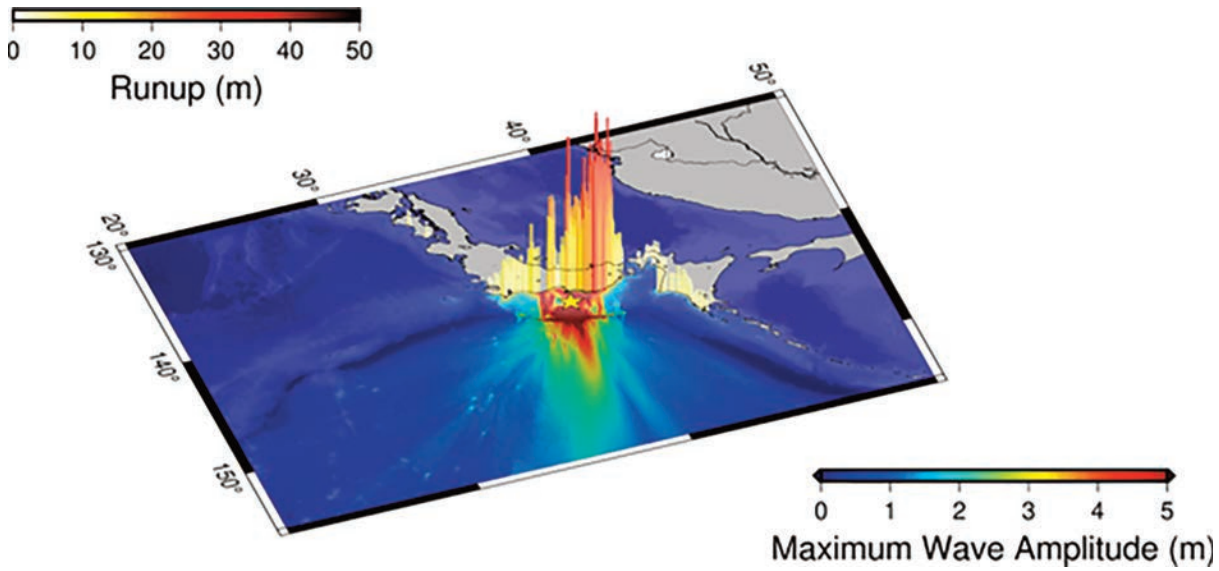


Figura 5 Visione prospettica della zona di faglia del terremoto del 2011. La stella gialla è l'epicentro dell'evento. I colori sull'Oceano Pacifico rappresentano la massima ampiezza dello tsunami così come ricostruite dalla simulazione numerica [Romano et al., 2014]. Si nota la concentrazione di valori elevati dell'ampiezza lungo la zona dove la faglia ha deformato il fondale oceanico (scala in basso a destra). Le colonnine colorate lungo la costa del Giappone indicano le altezze di run-up dello tsunami nei vari punti (scala in alto a sinistra). I valori massimi osservati hanno raggiunto quasi i 40 metri.

Cosa abbiamo imparato dall'evento del 2011?

Il terremoto di Tohoku ha evidenziato l'**importanza di un approccio multidisciplinare** per comprendere i processi fisici alla base dei forti terremoti nelle aree di subduzione. In questo contesto, le reti osservative assumono un ruolo sempre più importante. **Dopo il 2011, il Giappone ha incrementato drasticamente il numero di strumenti installati sul fondo del mare, sia sismometri, sia geodetici e sensori per la misura del passaggio delle onde.** Inoltre, le **campagne di perforazione della faglia sul fondo dell'oceano** (come il progetto *Japan Trench Fast Drilling Project* – JFAST) si sono rivelate fondamentali per la comprensione del comportamento dei materiali che compongono la parte più superficiale del contatto tra le placche nella zona di subduzione, e degli effetti di questo comportamenti sulla dimensione degli tsunami.
Lo studio e la comprensione delle caratteristiche del terremoto sono risultati molto importanti per migliorare il funzionamento dei sistemi di allerta tsunami e per la valutazione della pericolosità da tsunami.

Pubblicato l'11 marzo 2021

Il terremoto del 30 ottobre 1930 a Senigallia tra “casette asismiche” e modernizzazione urbanistica

Viviana Castelli, Filippo Bernardini

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna

Il contesto sismologico

Nelle Marche la sismicità storica più rilevante e frequente si concentra lungo gli Appennini e sulla costa centro-settentrionale, dall’area del Conero al pesarese. Quest’ultima, oltre agli effetti della sismicità locale, risente anche quelli dei forti terremoti “riminesi”, come quelli del 1672, 1786, 1916, i cui epicentri potrebbero essere in effetti localizzati in mare al confine tra Romagna e Marche, anche se la scarsa qualità dei dati strumentali – disponibili ovviamente solo per gli eventi novecenteschi – non permette di stabilirlo con certezza.
La fascia collinare che divide la montagna dall’Adriatico è invece sede di sismicità storica meno frequente e mediamente meno forte, con isolati eventi di rilievo, come quelli del 24 aprile 1741, nel fabrianese e del 3 ottobre 1943, nelle Marche meridionali. La costa meridionale, dal Conero al confine abruzzese, è sede di sismicità più occasionale e relativamente lieve: l’ultimo evento significativo è quello di Porto San Giorgio del 3 luglio 1987 con magnitudo Mw 5.1.
Dal punto di vista temporale la sismicità marchigiana appenninica è caratterizzata da una concentrazione di forti terremoti soprattutto nel Settecento. Invece **il più significativo terremoto della costa settentrionale è avvenuto alla fine del primo trentennio del Novecento, il 30 ottobre 1930**.

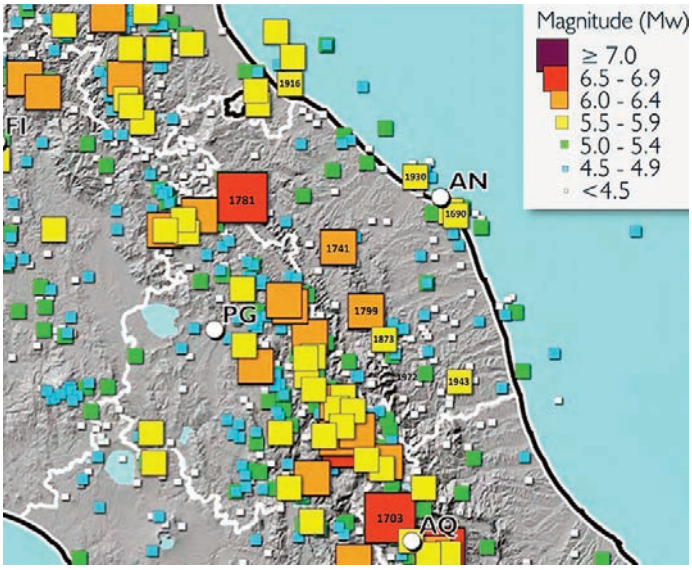


Figura 1 Sismicità storica delle Marche [Rovida et al., 2021].

Il terremoto del 30 ottobre 1930

La sequenza sismica che colpì la costa anconetana nell’ottobre-novembre 1930 fu nel complesso modesta per numero di scosse e per durata del periodo sismico. Non sono ricordate scosse precedenti all’evento principale, mentre le repliche (*aftershocks*) furono alcune decine, registrate soprattutto nell’arco dello stesso 30 ottobre e nei primi giorni di novembre. Scosse con frequenza

e intensità via via decrescenti vennero poi avvertite fino alla fine del novembre 1930.
La sequenza invece fu tutt'altro che modesta in termini di impatto sul territorio. La scossa principale, infatti, avvertita alle 8:13 ora locale (ore 7:13 GMT), ebbe **effetti molto gravi lungo tutta la costa adriatica tra Sirolo e Fano**, il che fa ipotizzare un epicentro con ogni probabilità localizzato nel mare Adriatico nei pressi del litorale di Senigallia, il centro più colpito.
Nonostante la magnitudo media (la magnitudo Mw è stata stimata pari a 5.8), **il campo di risentimento fu molto vasto**, probabilmente per una origine relativamente profonda dell'evento (Molin e Mucci, nel loro lavoro del [1992], ipotizzano un ipocentro a qualche decina di km di profondità) e per la presenza della piattaforma adriatica, che avrebbe favorito la propagazione delle onde sismiche senza forti attenuazioni soprattutto verso N e verso S-SE.
La scossa infatti fu avvertita a notevoli distanze epicentrali, fino alla Puglia settentrionale e a Napoli verso sud, in tutto il Veneto e fino al Friuli Venezia Giulia verso nord, fino alla Lombardia e alla Liguria orientale verso nord-ovest, oltre che in buona parte della allora Jugoslavia verso est e nord-est. Una marcata attenuazione delle intensità invece fu osservata verso ovest e sud-ovest, tanto che l'evento fu avvertito solo debolmente in Umbria e nella Toscana orientale, ad appena un centinaio di chilometri dall'area epicentrale.

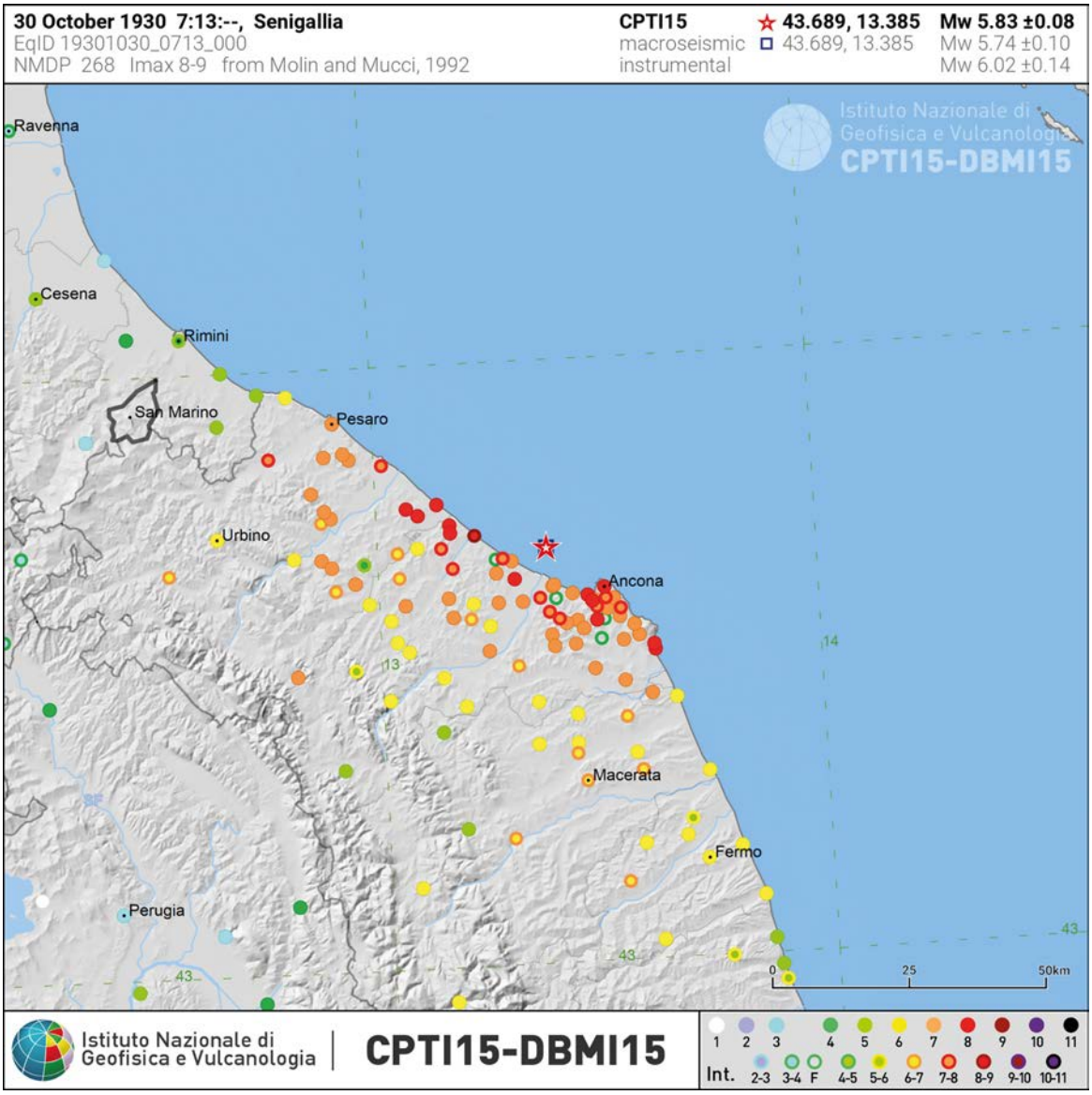


Figura 2 Distribuzione degli effetti macrosismici del terremoto del 30 ottobre 1930 [Rovida et al., 2021].

Il terremoto del 30 ottobre è ricordato nella storia sismica come “terremoto di Senigallia” perché è proprio a **Senigallia** che causò gli effetti più distruttivi, valutati tra i gradi VIII e IX della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) da Molin e Mucci [1992] e al IX MCS da Guidoboni et al. [2018]. Oltre 300 edifici crollarono o divennero pericolanti, altri 2.000 circa furono lesionati gravemente. Fra gli edifici che divennero inagibili ci furono anche il Duomo, la porta Lambertini e l’ospedale cittadino, mentre la chiesa di San Martino crollò durante una funzione religiosa causando alcune vittime. I morti a Senigallia furono 14.



Figura 3 Danni nel centro storico di Senigallia [Santoni, 2017].

Molti altri centri costieri delle Marche riportarono danni gravi: fra questi **Fano**, **Numana**, **Sirolo**, **Mondolfo**, **Marotta**, **Montemarciano**, con case crollate o gravemente lesionate e inagibili, e feriti tra la popolazione.
Gravemente colpita fu anche **Ancona**, con effetti che sono stati stimati pari al **grado VIII della scala MCS**: nel capoluogo crollarono parzialmente o divennero pericolanti oltre 400 edifici e altre migliaia furono lesionati gravemente. Le abitazioni non riparabili e che dovettero essere in seguito abbattute furono circa 500. Tutti gli edifici pubblici rimasero più o meno danneggiati. I danni furono distribuiti su tutta l’area urbana ma non in modo uniforme: in genere i danni da moderati a gravi furono rilevati nelle parti lungo il mare – ad esempio, lungo il porto ma anche nella frazione Torrette – e nelle zone terminali delle valli Pennocchiara e di Miano – ad esempio, nel quartiere di Piano San Lazzaro o nella frazione Le Grazie-, dove prevalgono terreni sedimentari marini o alluvionali, incoerenti, che potrebbero aver amplificato lo scuotimento generato delle onde sismiche. Tuttavia ci furono danni gravi anche in zone collinari come quella del vecchio rione Capodimonte, interessate anche da fenomeni franosi. Questi, insieme al cattivo stato di molti edifici, contribuirono alla gravità degli effetti di danno.



Figura 4 Sfollati a Fano (Collezione Maria Arceci, dal blog sanmichelealfiume.it).

Ad Ancona morirono 4 persone e una cinquantina rimasero ferite. Nel porto della città si verificarono deformazioni e ampie fenditure lungo le banchine e furono osservati anche deboli **effetti di maremoto**, consistenti in un inusuale movimento repentino della superficie marina che causò la rottura degli ormeggi di qualche imbarcazione. Le improvvise ondate spaventarono molti equipaggi a bordo delle navi al punto da spingerli a scendere in tutta fretta a terra.

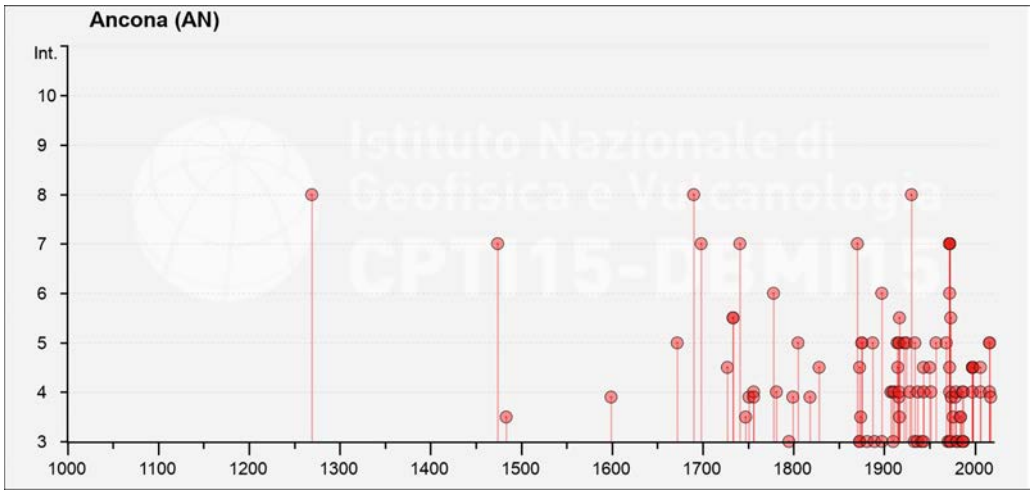


Figura 5 Grafico della storia sismica di Ancona [Locati et al., 2021]. I massimi livelli di intensità macrosismica (VIII MCS) sono stati raggiunti a seguito dei terremoti del 1269, 1690 e 1930. Nella sequenza del gennaio-giugno 1972 invece l'intensità osservata nel capoluogo regionale nel suo complesso non ha superato il grado VII MCS, anche se limitatamente al centro storico si è toccato il grado VIII MCS.

L'evento del 1930 è responsabile del massimo livello di effetti macrosismici (VIII MCS) osservati storicamente nel capoluogo regionale. Nella storia sismica di Ancona (Figura 5) la stessa intensità è stata raggiunta soltanto in altre due occasioni, a seguito dei terremoti del settembre 1269 e del dicembre 1690, ma in questi casi si tratta di eventi locali i cui epicentri con molta probabilità si situano in mare poco al largo della città e del promontorio del Conero: l'ultimo evento significativo in questa zona è quello del 21 luglio 2013, con magnitudo Mw 5.1 e epicentro a largo di Numana e Sirolo.

Confronto con i terremoti del 1972

L'intensità raggiunta ad Ancona dal terremoto del 1930 è anche superiore a quella massima raggiunta nel corso della sequenza sismica del gennaio-giugno 1972, ancora estremamente viva nella memoria degli anconetani e l'ultima, in ordine cronologico, ad aver causato danni seri e diffusi alla città. A differenza del periodo sismico del 1930, che come abbiamo visto fu caratterizzato da una forte scossa principale seguita da poche repliche di intensità molto minore, la sequenza del 1972 fu costituita da un elevato numero di scosse, anche se di magnitudo decisamente minore rispetto al terremoto del 1930. L'impatto degli eventi del 1972 fu infatti prevalentemente dovuto al ripetersi martellante di numerosissime scosse succedutesi per settimane, soprattutto tra la fine di gennaio e i primi di febbraio, con riprese significative a giugno: l'evento più grave, per la città, fu quello del 14 giugno. I danni alla città di Ancona, soprattutto al suo centro storico, furono determinati per lo più dal cumulo degli effetti delle numerose scosse che non dettero tregua, ma le cui magnitudo si attestano – anche nel caso delle più forti – su un ordine di grandezza più piccolo rispetto al 5.8 del terremoto dell'ottobre 1930; il terremoto del 14 giugno ebbe magnitudo Mw 4.7, ma con epicentro a ridosso dell'abitato e profondità ipocentrale molto superficiale, fattori questi che aumentarono l'impatto sul territorio. L'intensità macrosismica osservata ad Ancona a seguito degli eventi del 1972 – VII MCS per la città nel suo complesso, VIII MCS per il solo centro storico – è dunque un'intensità risultante dalla sequenza nel suo insieme, come effetto cumulativo. Il grado VIII MCS invece osservato nel 1930 fu causato da un'unica grande scossa.

Due forti terremoti in tre mesi e il problema degli sfollati

Secondo la più recente versione del catalogo sismico CPTI15 [Rovida et al., 2021] in Italia nel 1930 ci furono poco più di venti terremoti al di sopra della soglia di danno, tra cui due con magnitudo Mw ≥ 5.8 (Figura 6). Di questi, il primo e più distruttivo (Irpinia, Mw 6.7, Io X MCS) era avvenuto poco più di tre mesi prima del terremoto che stiamo descrivendo in questo articolo, nelle prime ore della notte del 23 luglio. All'epoca fu detto "terremoto del Vulture", dall'omonimo massiccio montuoso situato nel nord della Basilicata. Ben più energetico del successivo evento marchigiano, questo terremoto portò la distruzione in numerose località minori dell'alta Irpinia causando inoltre danni gravi e diffusi nelle province di Benevento, Avellino e Foggia. Le vittime furono circa 1400, numero di per sé altissimo ma che avrebbe potuto essere molto peggiore se il terremoto fosse avvenuto in circostanze diverse. Infatti, complice anche la povertà dell'edilizia abitativa media, nelle località più colpite (Aquilonia, Lacedonia, Villanova del Battista, Trevico e altre) almeno tre quarti delle case crollarono del tutto e anche in città come Avellino, Benevento e Napoli ci furono gravi lesioni, crolli totali o parziali e alcune vittime. Ma si era in piena estate e moltissimi abitanti dei comuni più colpiti pernottavano in aperta campagna per poter partecipare ai lavori della trebbiatura. La stagione e la vocazione agricola delle aree più colpite

limitarono le perdite umane. La devastazione dei centri abitati lasciava però centinaia di migliaia di persone senza tetto.

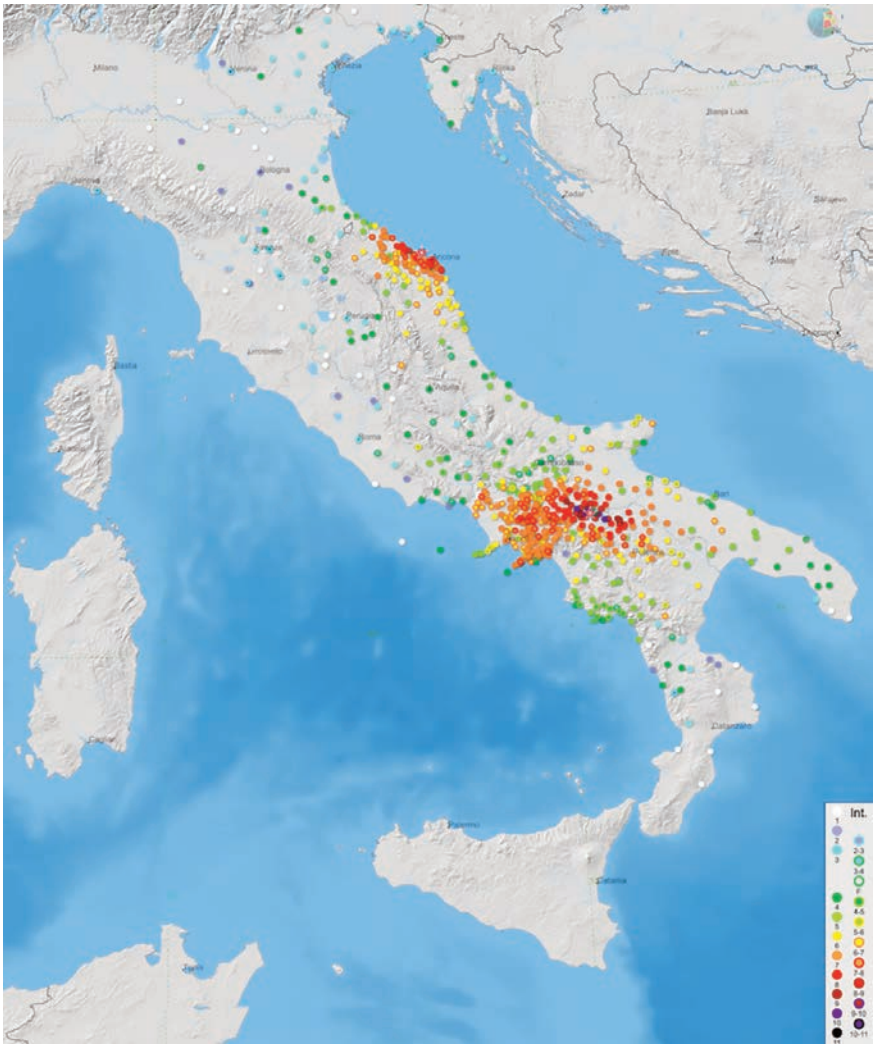


Figura 6 I due più forti terremoti italiani del 1930: quello del 23 luglio in Irpinia e quello del 30 ottobre sulla costa anconetana [Rovida et al., 2021].

La soluzione da dare al problema degli sfollati in Irpinia fu l'elemento caratterizzante dell'intervento post terremoto, gestito da un ministro dei Lavori pubblici di fresca nomina e piglio interventista come Araldo di Crollalanza (1892-1986), futuro protagonista della campagna di nuove fondazioni urbane censite nel 2003-2008 da Antonio Pennacchi. Si volle a ogni costo evitare il ripetersi della situazione – indegna di una nazione moderna come l'Italia fascista aspirava a accreditarsi nel consesso internazionale – in cui versavano da oltre vent'anni gli scampati al grande terremoto calabro-messinese del dicembre 1908, ancora alloggiati in baracche "temporanee" e che, a dire il vero, avrebbero continuato ad abitarvi ancora molto a lungo in futuro. **Un Regio Decreto del 3 agosto 1930 stabilì la costruzione di lotti di "casette asismiche" in cemento armato e mattoni rispondenti alle norme di edilizia antisismica dell'epoca.** Erano strutture a un piano, dalle dimensioni standard (17.5×7.20×3.40 m) della capienza di quattro alloggi ciascuna, da ubicare in siti selezionati da una commissione di geologi e tecnici del Genio Civile. La soluzione in sé non era nuova, perché di "casette asismiche" ne erano già state costruite nel decennio precedente sia in alcuni dei paesi devastati dal terremoto

della Marsica del 1915 [Galadini e Varagnoli, 2016] sia nel Mugello dopo il terremoto del 1919 [Bernardini e Camassi, 2019]. L'elemento di novità era l'adozione sistematica della formula e il breve termine entro cui predisporre le casette (ottobre 1930). Anche se si sarebbe poi rivelato impossibile sopperire ai bisogni di tutti e si dovette comunque ricorrere a tende e baracche per ricoverare parte degli sfollati: 961 casette, per un totale di 3746 appartamenti furono assegnate il 28 ottobre 1930. **Situate per quanto possibile in prossimità dei vecchi centri storici terremotati, le "casette" costituirono spesso il nucleo originario di nuove espansioni urbanistiche**. Riassorbiti poi nel tessuto urbano e in molti casi demoliti o abbandonati in epoca recente, gli insediamenti asismici, di cui si segnala un recente censimento fotografico a cura di Efisio Spiga e Sabina Porfido [2020], sono ancora oggi riconoscibili per l'impianto su reticolo viario regolare o per la sopravvivenza del toponimo "Via Casette asismiche".

Due giorni dopo la consegna delle prime "casette asismiche" in Irpinia, nelle Marche settentrionali cominciava una nuova emergenza sismica, più contenuta per livello ed estensione dei danni, e che venne affrontata con criteri più "misti" di quelli adottati in Irpinia. **A Senigallia, per esempio, il problema degli sfollati fu risolto alloggiando i meno abbienti e le scuole nelle "colonie marine" del litorale e in alcuni edifici pubblici cittadini**, mentre i benestanti si trasferivano nelle loro ville "*della zona balneare fortunatamente intatta*" e le attività commerciali e di servizio riprendevano nelle "classiche" baracche. Il 7 novembre fu approvato il primo stanziamento (30 milioni di lire) per gli interventi di ricostruzione e riparazione che cominciarono poco dopo. Oltre al riattamento delle case danneggiate più lievemente, a spese del ministero dei Lavori pubblici, era prevista la costruzione di case popolari "asismiche" da parte dell'Istituto delle Case Popolari (ICP). Il primo lotto di "casette" – da 37 a 45 mq ciascuna, formate da una/due stanze più cucina e bagno più un piccolo orto – fu inaugurato il 21 aprile 1931 ma molti degli aventi diritto preferirono restare negli alloggi di fortuna, lamentandosi delle rate di affitto elevate e della lontananza delle "casette" dal centro storico. Quest'ultimo aspetto non era casuale: il 21 aprile 1931 veniva pubblicato anche il nuovo *Piano Regolatore e di Ampliamento della città di Senigallia*, che prevedeva l'estensione della città dai meno di trenta ettari occupati dalla città antica a circa 80 ettari con la costruzione di quello che sarebbe stato ribattezzato popolarmente "quartiere del Piano Regolatore".



Figura 7 Casette "asismiche" a Senigallia.

Il nuovo Piano regolatore avrebbe mutato radicalmente l'aspetto di Senigallia e le abitudini della popolazione, gran parte della quale, entro il 1935 si trasferì a vivere fuori dalla cinta muraria settecentesca, in parte demolita. Sfortuna volle, però, che l'area scelta per l'ampliamento fosse quella di un'antica palude prosciugata alla fine del Cinquecento e situata parte a livello del mare e parte anche al di sotto, quindi a rischio inondazione in caso di forti piogge e dell'esondazione del fiume Misa. Non a caso l'alluvione del maggio 2014 ha notevolmente danneggiato proprio il "quartiere del Piano Regolatore".
La formula abitativa delle "casette asismiche" fu applicata, in modo molto circoscritto, anche ad Ancona. Qui – per iniziativa, sembra, di Alberto Calza Bini (1881-1957) il "triarca dell'architettura italiana del Ventennio" come lo ha definito Antonio Pennacchi [2008] – ai margini del Rione di Montirozzo, non lontano dal porto e dalla stazione ferroviaria centrale, sorse per gli sfollati del terremoto del 1930 un piccolo quartiere popolare modello formato da 21 "casette" (126 alloggi in tutto) immerse nel verde. Curiosamente, quarant'anni dopo queste costruzioni sarebbero tornate a ospitare altri sfollati, quelli del terremoto del 1972, che secondo i giornali del tempo vi furono temporaneamente alloggiati durante l'ultima significativa sequenza sismica che abbia afflitto Ancona nel Novecento.



Figura 8 Tracce delle "case asismiche" di Ancona.

Oggi il piccolo insediamento in stile razionalista, molto segnato dal tempo e dall'incuria e sottoposto a "un progressivo processo di ghettizzazione dei residenti, in massima parte anziani ed extracomunitari" (Comune di Ancona, 2012) è pressoché invisibile in mezzo al veloce traffico del capoluogo marchigiano. Non resta che augurarsi – anche se sarebbe senz'altro molto complesso – che si possa trovare una via per recuperare e valorizzare questo scampolo di memoria storica e sismica locale. È quanto sta tentando di fare – ormai da alcuni anni – il

benemerito comitato civico attivatosi a difesa delle "casette asismiche" di Aquilonia, in provincia di Avellino, dopo che nel 2017 la locale amministrazione aveva deciso di demolirle. L'iniziativa di Aquilonia contro la dispersione di una importante testimonianza di storia urbanistica e sociale ha ottenuto il sostegno di intellettuali particolarmente sensibili al tema della "paesologia", come Franco Arminio e Vito Teti, e di associazioni nazionali, come Italia Nostra, Legambiente, Touring Club Italiano. Forse si potrebbe fare qualcosa di simile anche nelle Marche.

Ringraziamenti

Ringraziamo il prof. Giuseppe Santoni e Piero Livi, coordinatore del blog sanmichelealfiume.it per il permesso di riprodurre foto originali.

Bibliografia

Bernardini F., Camassi R., (2019). *Il terremoto del 29 giugno 1919 nel Mugello, INGV Terremoti.*

«Casette asismiche di Aquilonia, Sì di Legambiente, Italia Nostra e Touring». La Nuova Irpinia, 21 maggio 2021.

Comune di Ancona, (2012). *Piano nazionale per le città – art. 12 DL 83/2012: progetto di riqualificazione del Fronte mare delle eccellenze di Ancona*.

Galadini F., Varagnoli C., (2016). *Marsica 1915-L'Aquila 2009. Un secolo di ricostruzioni*. Roma, 367 pp.

Gizzi F.T., N. Masini, M.R. Potenza, C. Zotta, (2010). La risposta istituzionale all'evento: modalità, tempi ed aspetti economici. In: Gizzi F.T., Masini N., (a cura di). Dalle fonti all'evento: percorsi, strumenti e metodi per l'analisi del terremoto del 23 luglio 1930 nell'area del Vulture, Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, pp. 254-266.

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). https://doi.org/10.6092/ingv.it-cfti5

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A., (2021). *Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 3.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.3

Molin D., Mucci L., (1992). Il *terremoto di Senigallia del 30 Ottobre 1930. Risposta dell'area urbana di Ancona*. Atti del 9° Convegno Annuale del GNGTS, Roma 1992.

Pennacchi A., (2008). Fascio e martello: *Viaggio per le città del Duce, Bari-Roma*. Laterza, 346 pp.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A., (2021). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 3.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.3

Santoni G., (2017). *Il terremoto di Senigallia del 1930 e il Piano Regolatore e di Ampliamento della città del 1931: foto, planimetrie, epigrafi, tabelle e documenti inediti*, Senigallia.

Spiga E., Porfido S., (2020). *Via Casette asismiche*.

Pubblicato il 29 ottobre 2021

I terremoti del 1972 nell'Anconetano

Massimiliano Stucchi[1], Rodolfo Console[2], Fabio Giannattasio[3], Paolo Rossi[4]

[1]INGV | Roma. Già dirigente di ricerca presso INGV
[2]INGV | Bologna. Già dirigente di ricerca presso CNR e INGV
[3]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna
[4]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Roma 1

Ricorre in questi mesi il cinquantesimo anniversario della sequenza sismica che colpì il territorio anconetano nel primo semestre del **1972**. Il **primo evento forte** (**Mw 4.5**, CPTI15) si verificò il **25 gennaio** e provocò danni soprattutto a Ancona e Falconara; seguirono, tra il 4 e l'8 febbraio, ben **sette eventi** con **magnitudo Mw compresa fra 4.4 e 4.6** che compromisero la stabilità di molti fabbricati, soprattutto a Ancona, ma anche nel circondario. Gli ultimi due terremoti rilevanti si verificarono il **14 giugno**; in particolare il primo, con magnitudo **Mw 4.7**, risultò il più forte di tutta la sequenza.

Data	Ora	Lat.	Long.	Prof.	Mw	N. osserv	Imax
25/01/1972	20:24:35	43,74	13,46	-	4,5	24	VII
04/02/1972	02:42:18	43,72	13,44	25	4,6	75	VIII
04/02/1972	09:18:30	43,73	13,37	25	4,4	56	VII-VIII
05/02/1972	01:26:29	43,72	13,40	17,4	4,4	2	VII
05/02/1972	07:08:11	43,74	13,37	33	4,5	6	VII
05/02/1972	15:14:48	43,64	13,41	35	4,4	3	VII
06/02/1972	01:34:18	43,71	13,43	30	4,4	1	VII
08/02/1972	12:19:09	43,67	13,40	-	4,5	-	-
14/06/1972	18:55:52	43,69	13,47	3	4,7	17	VIII
14/06/1972	21:01:02	43,67	13,41	21	4,4	-	-

Tabella 1 Parametri dei terremoti della sequenza secondo il catalogo CPTI15.

La sequenza del 1972 non è stata certo l'unico evento sismico che Ancona abbia subito nella sua lunga storia. Nell'ultimo millennio la città è stata interessata da vari eventi distruttivi (Figura 1); in particolare in occasione del **terremoto di Senigallia del 1930** la città ha subito, in un colpo solo, danni paragonabili a quelli subiti nel 1972.
Tuttavia nell'immaginario

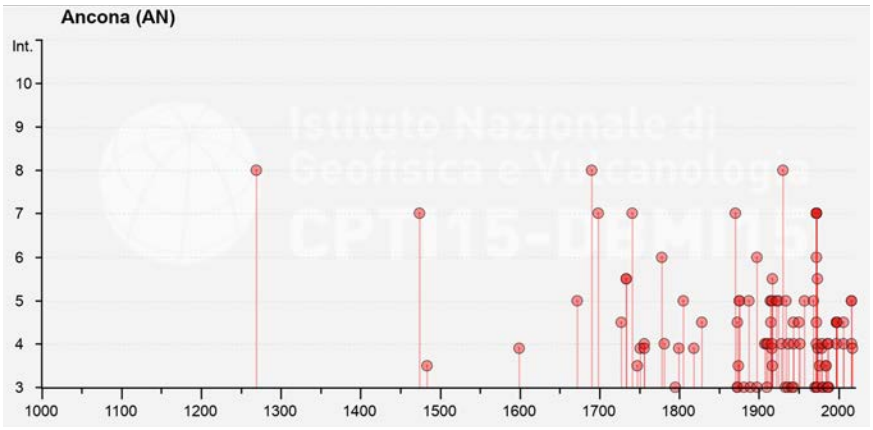


Figura 1 Storia sismica di Ancona da DBMI15 [Locati et al., 2022].

collettivo dell'epoca e nella narrazione pubblica tuttora dominante, la sequenza del 1972 è saldamente radicata come la massima catastrofe sismica mai subita da Ancona. Questa convinzione fu determinata dal **ripetersi delle scosse**, che provocarono **danneggiamenti diffusi ad Ancona e in diverse località della provincia** e che costrinsero molti abitanti ad abbandonare le proprie case e a vivere in alloggi di fortuna (tende, vagoni ferroviari ecc.) per diversi mesi. Fu determinata anche dalla tipologia delle informazioni diffuse in quel periodo (l'intensità veniva assegnata secondo la cosiddetta scala "Mercalli-Sieberg"), unitamente alla consueta esagerazione da parte dei media (ad esempio, per l'evento del 14 giugno ad Ancona si parla ancora di intensità I pari a 9 o addirittura 10, e di magnitudo paragonabile a quella del terremoto di Amatrice del 2016). In realtà, se ad esempio si mette a confronto l'area interessata dal terremoto del 1930 con quella interessata dall'evento del 4 febbraio 1972 (i cui effetti maggiori, peraltro, rappresentano il cumulo di quanto sperimentato fino a quel momento) si può vedere che la prima è nettamente più estesa della seconda e che gli effetti del primo terremoto sono molto più rilevanti (Figura 2).

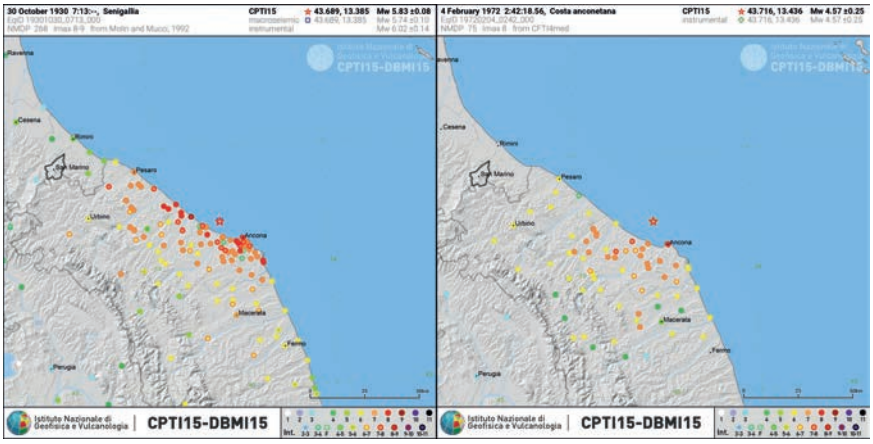


Figura 2 Distribuzione di intensità dei terremoti del 30 ottobre 1930 e del 4 febbraio 1972 (Da Locati et al.[2022]).

Infine, a causa della concomitante polemica [Caracciolo e Castelli, 2016] sulla **possibile responsabilità dei terremoti da parte attività di prospezione dell'AGIP in Adriatico** ("trivellazioni petrolifere"), la sequenza di terremoti – e in particolare la ripresa del 14 giugno - determinò molte polemiche nella popolazione, che sfociarono nell'organizzazione di alcune **conferenze pubbliche con la partecipazione di ricercatori**. Tra queste una conferenza internazionale [Kisslinger, 1972] che, escludendo la connessione fra terremoti e trivellazioni, propose una serie di iniziative.
Nonostante l'impegno scientifico dedicato alla sequenza sismica, la comprensione della medesima presenta ancora diverse incertezze, soprattutto per quanto riguarda la localizzazione degli eventi. Nel seguito si ricordano le iniziative scientifiche e si fa il punto sulle conoscenze disponibili.

L'intervento dell'Istituto Nazionale di Geofisica

La storia e le caratteristiche dell'**intervento di monitoraggio sismologico e accelerometrico** dell'Istituto Nazionale di Geofisica (ING[1]) sono raccontate nella monografia di Console et. al. [1973] "Relazione sui fenomeni sismici dell'Anconitano".

[1]ING dal 1999 (Decreto legislativo 29 settembre 1999, n. 381) è confluito nell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) insieme ad altri quattro istituti già operanti nell'ambito delle discipline geofisiche e vulcanologiche: l'Osservatorio Vesuviano (OV), l'Istituto Internazionale di Vulcanologia di Catania (IIV), l'Istituto di Geochimica dei Fluidi di Palermo (IGF) e l'Istituto di Ricerca sul Rischio Sismico di Milano (IRRS).

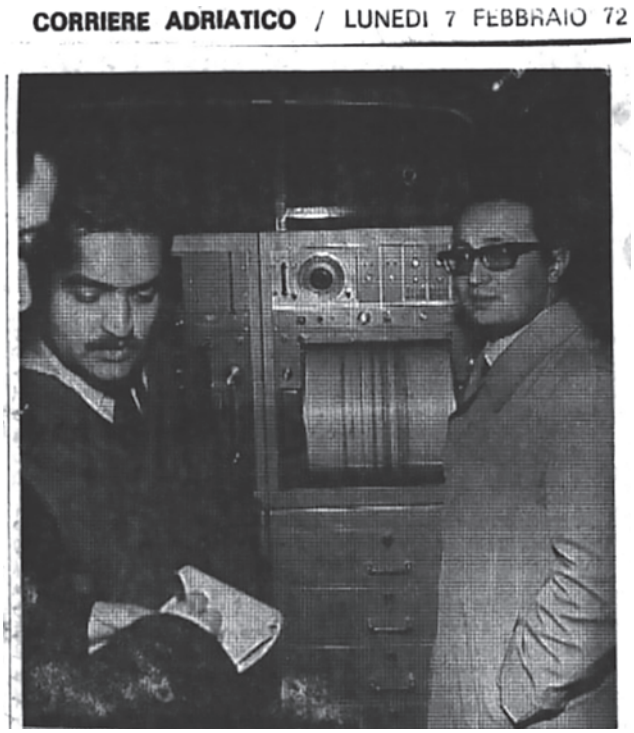

CORRIERE ADRIATICO / LUNEDI 7 FEBBRAIO 72

Figura 3 Due degli autori del lavoro Console et al. [1973] in una foto pubblicata nel 1972 dal "Corriere Adriatico".

Dopo i tre eventi avvertiti dalla popolazione il 25 e il 26 gennaio 1972, alla ripresa della sequenza con tre terremoti di magnitudo 4.4 nella sola giornata del 4 febbraio fu deciso l'intervento ad Ancona della **stazione sismica mobile**, allora approntata dall'ING. Tale stazione era composta da tre sismometri Teledyne Geotech S-13 con periodo proprio di 1 s, un sistema di amplificazione elettronica e tre registratori a tamburo su carta termosensibile "Helicorder" della stessa casa costruttrice (Figura 4). **Il sistema di registrazione e i registratori si potevano montare sul furgone "Alfa F20" per consentirne il rapido trasporto e l'immediato utilizzo in qualunque luogo.**

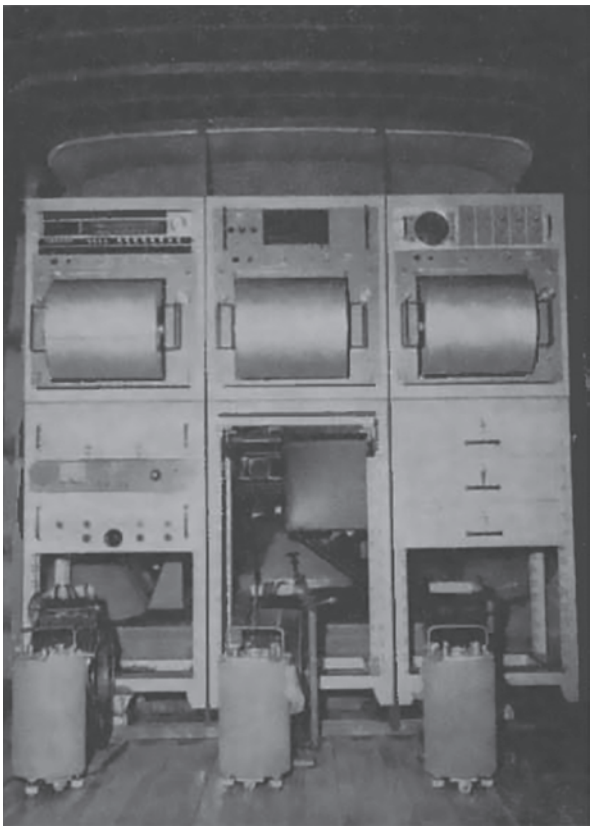


Figura 4 La stazione sismica mobile dell'ING.

La squadra dell'ING, composta da due ricercatori e due tecnici, arrivò nella città semiabbandonata di Ancona nella tarda serata del 4 febbraio. La stazione fu installata presso la locale caserma dei Vigili del Fuoco ed iniziò a registrare verso la mezzanotte. **La sensibilità delle apparecchiature consentì di osservare immediatamente la sequenza ininterrotta di numerose repliche di magnitudo inferiore a 2.0.**
La stessa notte, a complemento di un accelerometro del Ministero LL.PP. già installato ad Ancona prima della sequenza, un accelerografo MO_2 fu posto in funzione al terzo piano dell'hotel Excelsior di Ancona, dove registrò tre eventi di magnitudo superiore a 4.0 nelle primissime ore della mattina.
Il 5 febbraio, la squadra dell'ING installò altri tre accelerografi MO_2 in località circostanti Ancona (Senigallia, Jesi e Osimo). In Figura 5 è presentata la disposizione degli strumenti temporanei e permanenti durante il periodo sismico.

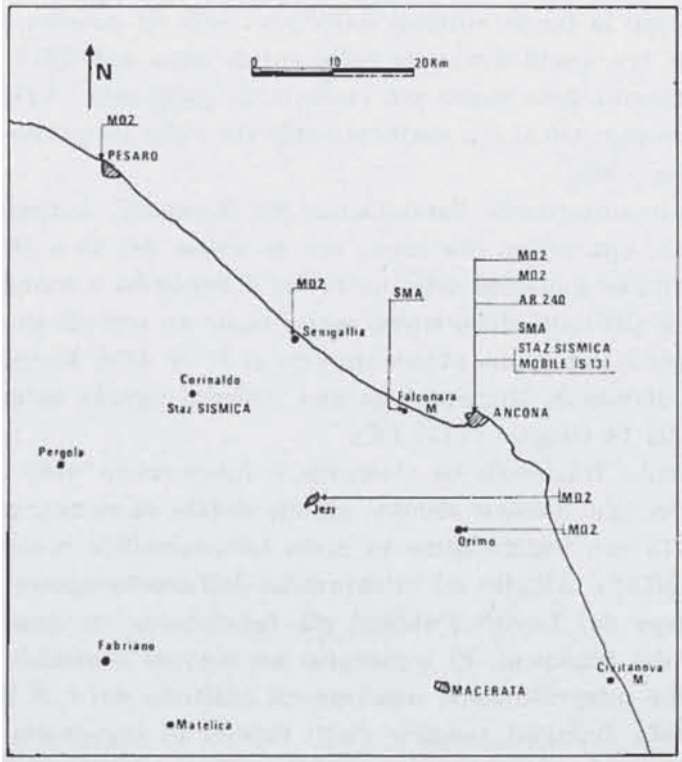


Figura 5 Disposizione degli strumenti temporanei e permanenti durante il periodo sismico (Da Console et al. [1973]).

In seguito alla diminuzione dell'attività sismica, la stazione mobile fu rimossa la mattina dell'11 febbraio e al suo posto fu posta in funzione **una stazione permanente a tre componenti**, a registrazione fotografica, presso l'Osservatorio Geofisico di Corinaldo dell'ING. Allo stesso tempo l'ING installò anche un sismografo meccanico Wiechert da 200 kg nel basamento dei locali della Provincia di Ancona, lasciandone la gestione al personale tecnico dell'Amministrazione.

Dati accelerometrici

Un consistente capitolo dello studio di Console et al. [1973] è dedicato alle **registrazioni accelerometriche**, delle quali viene presentato un quadro riassuntivo di 41 registrazioni. Tali registrazioni sono suddivise fra quelle dello strumento modello MO_2 (a pellicola fotografica) installato presso il Genio Civile di Ancona pochi mesi prima del gennaio 1972, e quelle dello

strumento modello AR240 (a carta fotografica) installato presso la caserma dei Vigili del Fuoco di Ancona nella notte tra il 4 e il 5 febbraio 1972. Nella stessa notte, oltre a queste 41 registrazioni ne furono ottenute altre tre dal già citato strumento temporaneamente posizionato al terzo piano dell'Hotel Excelsior.
L'articolo è corredato dall'immagine delle principali **registrazioni accelerometriche** (Figura 6). **È importante rilevare che quelle registrazioni erano all'epoca fra le prime e le più significative mai ottenute in Italia**.

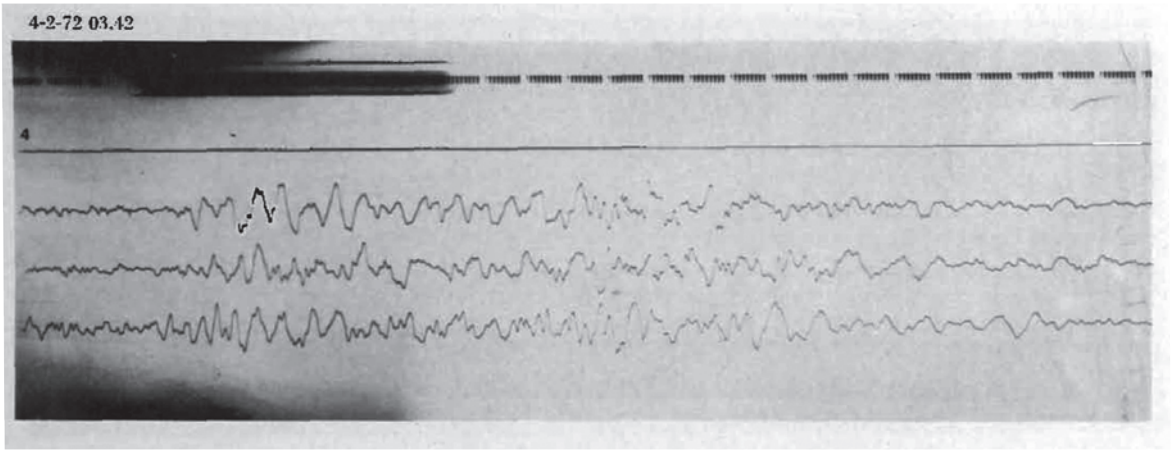
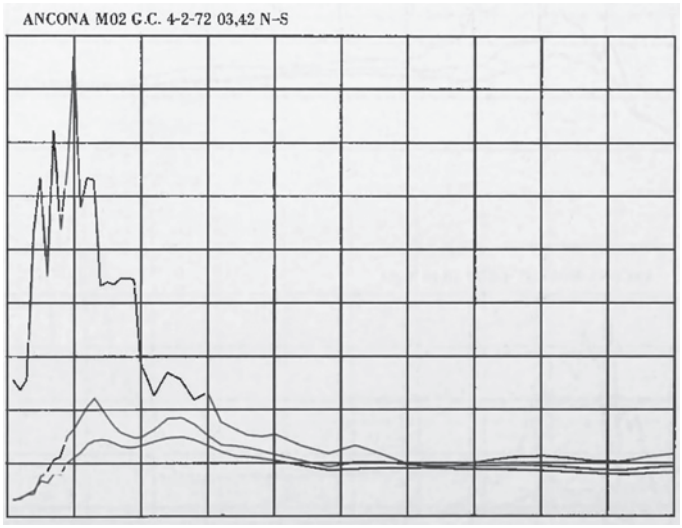


Figura 6 Una registrazione accelerometrica dell'evento più forte del 4 febbraio (Da Console et al. [1973]).

Gli spettri di risposta (Figura 7) mostrano valori di picco a periodi di oscillazione (tra 0 e 0.5 s) particolarmente piccoli rispetti a quelli di progetto nella normativa sismica vigente all'epoca, sostanzialmente basata su dati americani riguardanti terremoti di magnitudo più elevata.

Figura 7 Un esempio di spettro di risposta (Da Console et al. [1973]).



Anche il CNEN (Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare, in seguito ENEA) installò due strumenti di tipo SMA1 (stazioni di Ancona Rocca, ANR, e Ancona Palombina, ANP). Alcune delle registrazioni furono in seguito utilizzate da Calza et al. [1981] per proporre uno spettro di normativa più adeguato alle caratteristiche degli scuotimenti dell'Anconetano.
Quanto "forti" sono stati questi terremoti?

I valori di magnitudo relativi agli eventi più significativi trovano un discreto accordo fra le varie elaborazioni ottenute negli anni. Console et al. [1973] presentano i valori di magnitudo relativi a 507 terremoti, stimati dalle registrazioni del sismografo Wood-Anderson installato all'Osservatorio di Monte Porzio o da quelle della stazione mobile, che era stata appositamente calibrata per confronto con lo stesso Wood-Anderson; si deve assumere che questi valori si possano considerare equivalenti alla magnitudo Richter ML. **I valori vanno da un minimo di 2.2 a un massimo di 4.7 per il terremoto del 14 giugno**; per questo evento Kisslinger [1972] riporta magnitudo M 4.9 dal NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, USA). CPTI15 [Rovida et al., 2022] per l'**evento del 25 gennaio** fornisce una magnitudo pari a **Mw 4.5**, valore ottenuto dalla media pesata delle stime macrosismiche e strumentali; per gli altri eventi, stante la difficoltà di interpretare i dati macrosismici in presenza degli effetti di cumulo, fornisce la sola magnitudo Mw strumentale proposta da ISC, con **valori compresi fra 4.4** e **4.7**. L'incertezza varia fra 0.2 e 0.3.

Dove sono localizzati gli epicentri?

Le localizzazioni epicentrali fornite dai vari studi presentano delle differenze. Per l'evento del **25 gennaio** la localizzazione proposta dal Bollettino Sismico Definitivo ING (BSD) - proveniente da BCIS (Bureau Central International de Seismologie, Strasburgo, Francia), coincidente con quella di ISC (International Seismological Centre, Thatcham, UK) e ripresa da CPTI15, pone l'**epicentro nello specchio di mare antistante Montemarciano** (Figura 8).

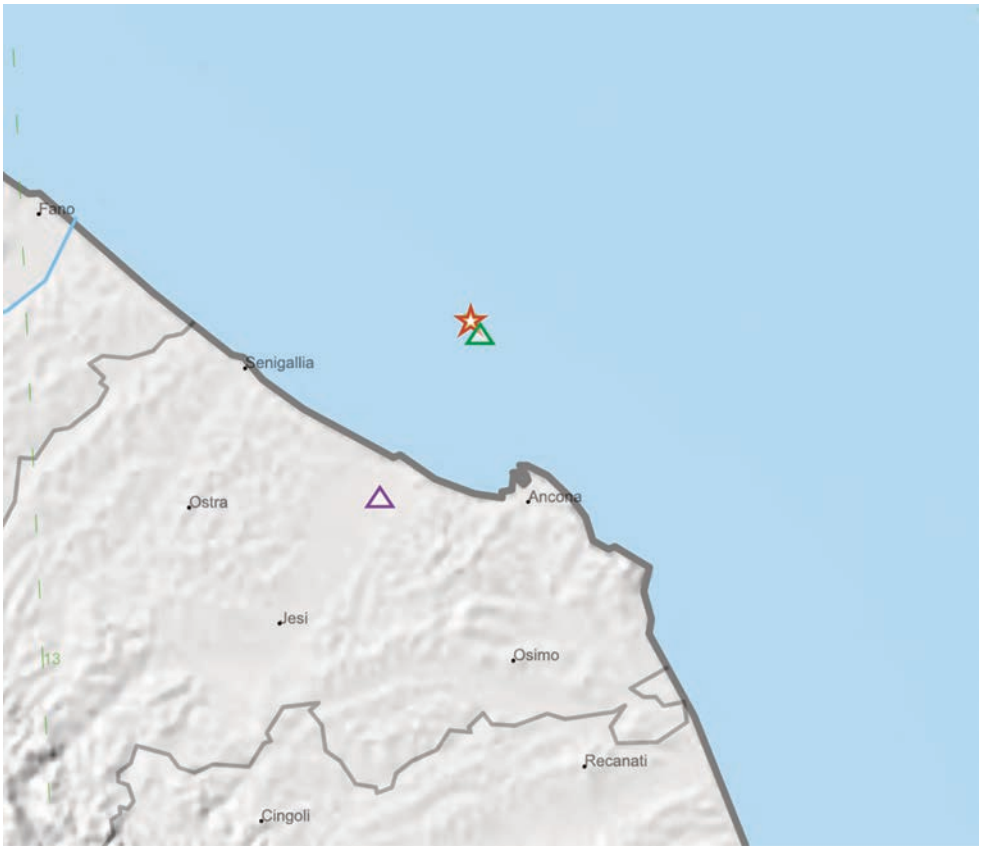


Figura 8 Localizzazioni epicentrali del terremoto del 25 gennaio, [Rovida et al, 2017]. I simboli in figura si riferiscono ai diversi epicentri: stella = ISC; triangolo verde = Postpischl, coincidente con CPTI15; triangolo viola = CFTI5med.

Per gli eventi successivi al 4 febbraio si dispone delle localizzazioni epicentrali di Console et al. [1973], ottenute in prevalenza dagli strumenti in loco utilizzando dalla distanza epicentrale e l'azimut, al meglio di quanto possibile all'epoca. **La maggior parte delle localizzazioni si concentra in un'area a NE della città di Ancona** (Figura 9).



Figura 9 Localizzazioni degli eventi registrati da ING [Console et al., 1973].

Viceversa, le localizzazioni fornite da BSD e da ISC, successivamente riprese da CPTI15, collocano la maggior parte degli epicentri nella stessa zona dell'evento del 25 gennaio.
Per l'evento del 14 giugno la panoramica delle varie localizzazioni disponibili è visibile in ASMI [Rovida et al., 2017], da cui è tratta la Figura 10.

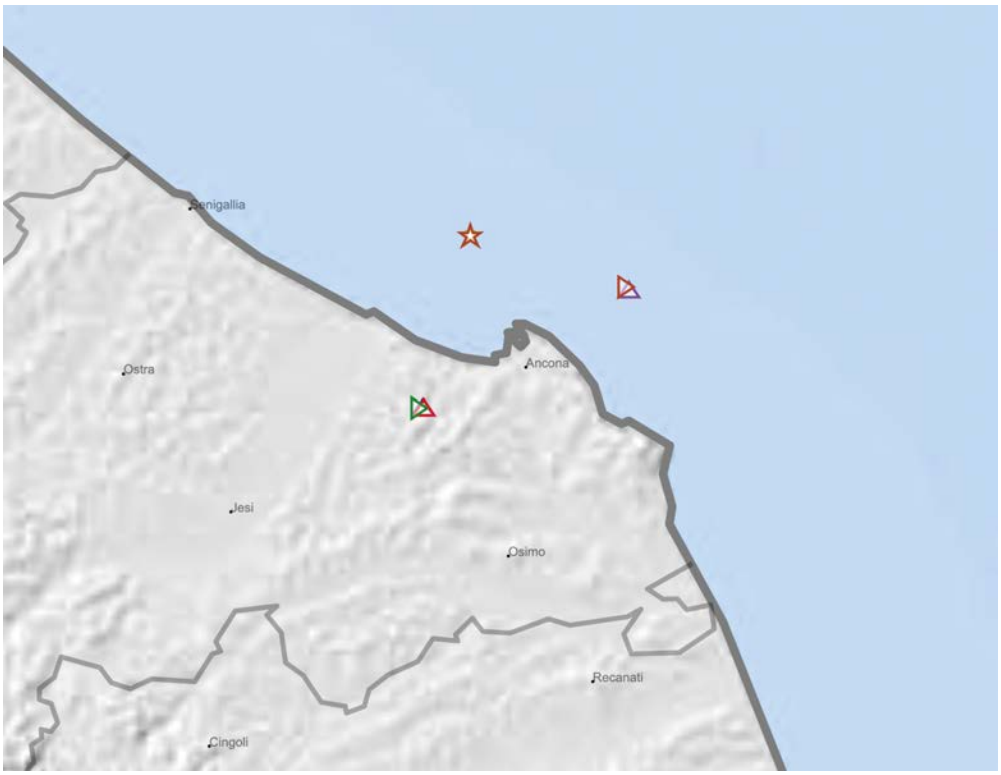


Figura 10 Localizzazioni epicentrali dell'evento del 14 giugno [Rovida et al., 2017]. I simboli in figura si riferiscono ai diversi epicentri: stella = ISC, coincidente con CPTI15; gli altri simboli sono descritti in legenda.

Profondità dei terremoti

Console et al. [1973] determinano la **profondità** dall'angolo di emergenza mediante una apposita relazione, ottenendo **un valore medio attorno ai 5 km per tutti gli eventi sismici del periodo**. **Per l'evento del 14 giugno ottengono una profondità pari a 8 km**. Per gli eventi di febbraio ISC propone profondità fra 17 e 35 km; per il primo del 14 giugno si attesta sui 3 km, per poi tornare a 21 km per il secondo evento dello stesso giorno.
A prima vista i valori di Console et al. [1973] sembrerebbero più coerenti con la limitata area di risentimento dei terremoti.

Sismicità degli anni successivi

CPTI15 riporta un evento il 10 novembre 1973 per il quale sono disponibili alcuni punti di intensità, localizzato nella stessa area dove ISC localizza gli eventi del 1972, senza fornire la magnitudo. Questo evento appartiene a uno degli sciami registrati nel periodo 1973-76 dalla rete sismometrica dell'anconetano installata dal Laboratorio per la Geofisica della Litosfera (LGL) del CNR nel 1973 [Ferraris et al., 1975], analizzati da Crescenti et al. [1977]. Gli autori sostengono che la profondità degli eventi sia compresa fra 2.5 e 7 km.
Le localizzazioni di questi eventi (Figura 11) sono proposte da Calza et al. [1981]. Dalla numerazione degli epicentri si evince che i terremoti in questione non rappresentano tre sciami cronologicamente distinti, bensì tre zone dove l'attività sismica si è concentrata fra il 1973 e il 1976.

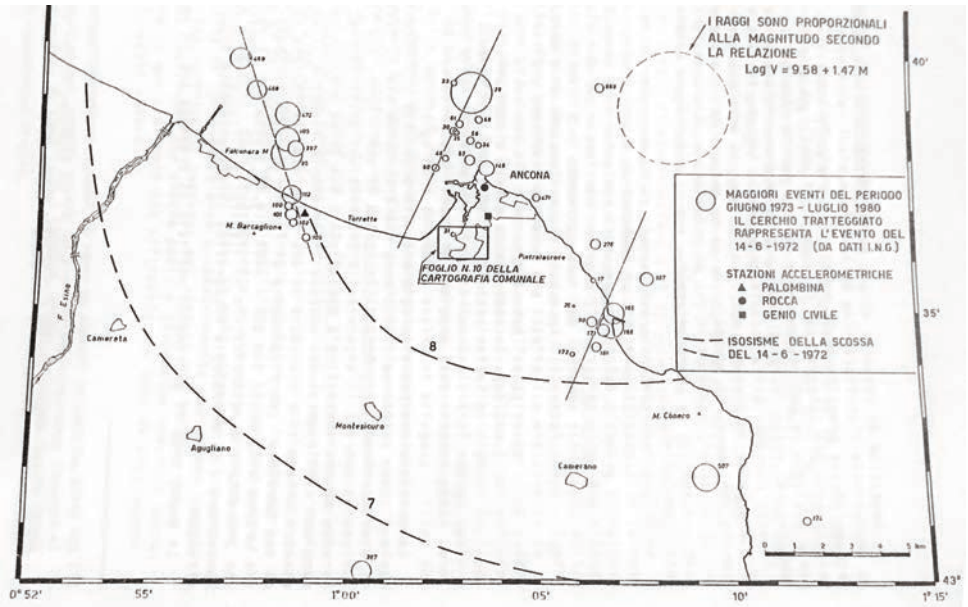


Figura 11 Distribuzione della sismicità nel periodo 1973-1976 (Da Calza et al. [1981]).

Cenni interpretativi

DISS Working Group [2021] presenta in quest'area le sorgenti sismogenetiche illustrate in Figura 12: il rettangolo giallo individua il terremoto del 1690. Come si può vedere, **le localizzazioni proposte da Console et al.** [1973] **sarebbero riferibili alla sorgente composita che contiene il**

promontorio del Conero. Gli epicentri proposti da ISC e ripresi da CPTI15 potrebbero rientrare, con un po' di difficoltà, nella porzione settentrionale della stessa sorgente, anche se profondità di 25 km non sembrano compatibili con questa sorgente. In alternativa gli epicentri avrebbero potuto interessare un segmento adiacente alla sorgente del terremoto del 1930. Non sarebbe peraltro da escludere un coinvolgimento di entrambe le sorgenti.
Le localizzazioni proposte da Calza et al. [1981] potrebbero anche suggerire la presenza di strutture attive trasversali alla costa, anche se va tenuto conto del possibile condizionamento di queste localizzazioni legato alla geometria della rete sismometrica.

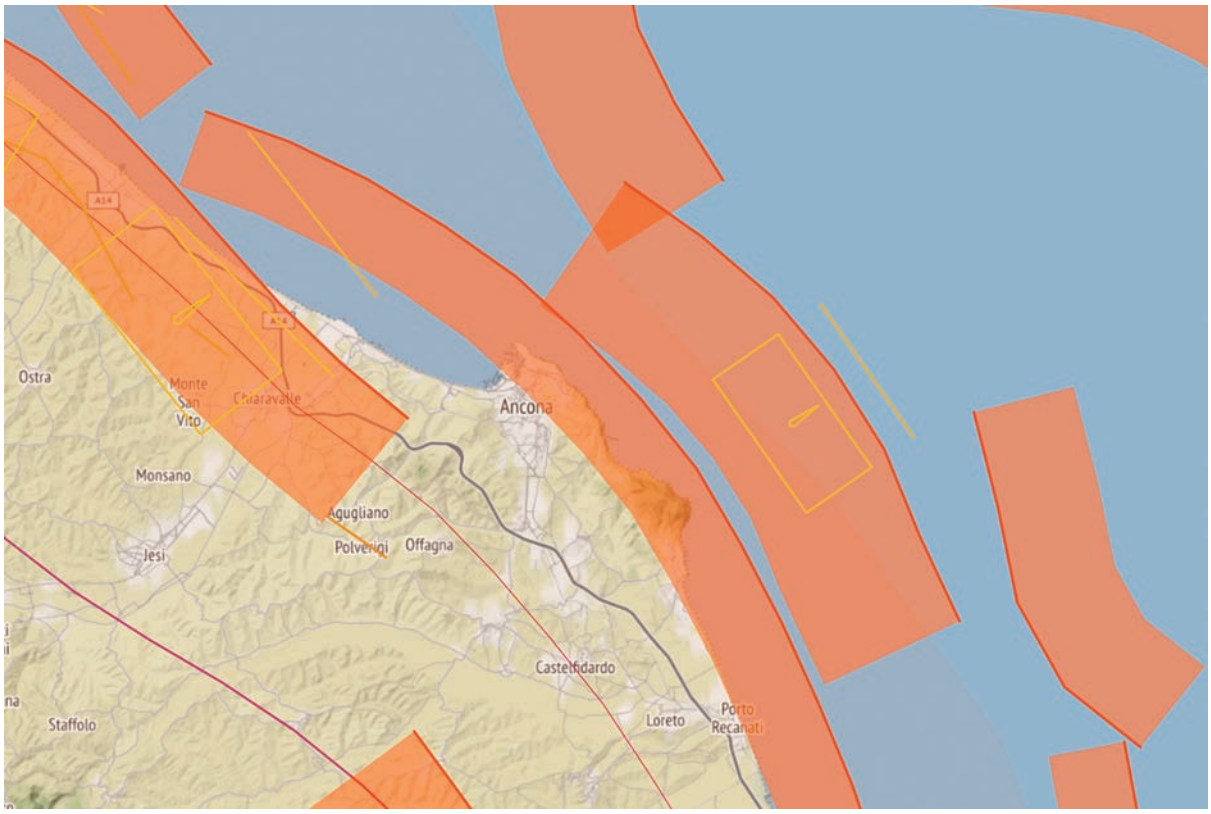


Figura 12 Sorgenti sismogenetiche dell'area di interesse [DISS Working Group, 2021].

Conclusioni

La sequenza sismica dell'anconetano del 1972 determinò **uno dei primi interventi di monitoraggio sismico in Italia**. I risultati più significativi furono la localizzazione di gran parte degli eventi della sequenza e l'acquisizione di un centinaio di registrazioni accelerometriche. La descrizione degli effetti macrosismici risente invece della tradizionale difficoltà di distinguere il danneggiamento provocato dai singoli eventi.
Sul piano sismologico questa sequenza determinò anche l'avvio delle ricerche nell'anconetano con l'installazione della già citata rete sismometrica avvenuta nel 1973 - a seguito di esplicita raccomandazione della conferenza internazionale del luglio 1972 su iniziativa del Comune di Ancona e con la collaborazione dell'Università di Ancona - ad opera del Laboratorio per la Geofisica della Litosfera del CNR (Milano), precursore della attuale sezione INGV. Seguirono la realizzazione della indagine di microzonazione del territorio anconetano [Calza et al., 1981] e il successivo coinvolgimento dell'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Macerata come punto di riferimento per la gestione della rete sismometrica marchigiana.

A seguito di questa sequenza, la città di Ancona intraprese un piano di ricostruzione esemplare, sostenuto anche da una serie di decreti governativi che aprirono la strada a questi tipi di interventi utilizzati in occasione di terremoti successivi. Un racconto dettagliato delle vicende relative all'emergenza e alla ricostruzione, con riferimento prevalente agli aspetti sociali e politici, è fornito dal volume "Il terremoto di Ancona" [Frezzotti, 2017].

Bibliografia

Calza W., Maistrello M., Marcellini A., Morganti C., Rampoldi R., Rossi B., Stucchi M., e Zonno G., (1981). *Elementi di microzonazione dell'area anconetana*. Pubbl. Prog. Final. Geodin., 430, 68 pp.

Caracciolo C.H., e Castelli V., (2016). *Terremoti, trivellazioni e opinione pubblica durante il periodo sismico anconetano del 1972*. Atti del convegno GNGTS, pp. 120-123.

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). https://doi.org/10.6092/ingv.it-cfti5

Console R., Peronaci F., e Sonaglia A., (1973). *Relazione sui fenomeni sismici dell'Anconitano (1972)*. Ann. Geofis., Suppl. al vol. XXVI, pp. 3-148. https://doi.org/10.4401/ag-5033

Crescenti U., Nanni T., Rampoldi R., e Stucchi M., (1977). *Ancona: considerazioni sismo-tettoniche*. Boll. Geof. Teor. Appl., 73-74, pp. 33-48.

DISS Working Group, (2021). *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). https://doi.org/10.13127/diss3.3.0

Ferraris G., Maistrello M., Rampoldi R., Secomandi P., e Stucchi M., (1975). *The seismological network of Ancona*. Boll. Geof. Teor. Appl., 18, 6 8,. pp. 299-316.

Frezzotti F., (2011). *Il terremoto di Ancona*. Ed. Affinità Elettive, Ancona, 260 pp.

Kisslinger C., (1972). The Ancona, Italy Earthquake Swarm. Earthquake Notes, XLIII, 4.

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., e Antonucci A., (2022). *Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.4

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., e Antonucci A., (2022). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4

Rovida A., Locati M., Antonucci A., Camassi R., (a cura di), (2017). *Archivio Storico Macrosismico Italiano (ASMI)*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). https://doi.org/10.13127/asmi

Pubblicato il 9 giugno 2022

Il terremoto catastrofico del 5-30 dicembre 1456

Umberto Fracassi

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Roma 1

In occasione delle scosse associate al grande terremoto che, nel **dicembre 1456**, sconvolse l'Italia centro-meridionale, **presentiamo qui una trattazione estesa.**
Nella storia sismica d'Italia, i cui ultimi 2000 anni circa sono descritti dai cataloghi sismici [Guidoboni et al., 2018; Rovida et al., 2022], ricorrono con una certa frequenza scosse molto forti, finanche distruttive, ravvicinate nel tempo e nello spazio all'interno di una sequenza. Ad alcune di queste è stato dato, nel tempo, il nome più o meno informale di '***crisi sismiche***', teso ad indicare un lasso di tempo circoscritto, da pochi giorni a poche settimane o mesi, in cui viene rilasciata una grande quantità di energia sismica all'interno di un'area ben identificata, alle volte abbastanza ampia. Ad esempio, l'area può coincidere con un settore di una catena montuosa, visibile o meno che sia ad occhio nudo. Quest'ultimo dettaglio non è trascurabile poiché, oltre alle catene montuose che conosciamo, anche tramite l'esperienza diretta alla portata di tutti (in Italia, le Alpi e gli Appennini), alcuni settori delle catene montuose possono essere in parte attualmente sommerse da centinaia o migliaia di metri di sedimenti accumulati nel tempo geologico "recente", oppure in mare aperto. Questa condizione, comunque, non influisce sulla loro possibilità di ospitare strutture potenzialmente capaci di generare terremoti.
I cataloghi che racchiudono la sismicità storica (e strumentale) del territorio italiano elencano **alcune di queste sequenze sismiche piuttosto eccezionali per estensione dell'area interessata e per le magnitudo delle scosse principali.** Anche se forse si contano sulle dita di una mano, **queste '*crisi sismiche*' sono una caratteristica interessante e, per certi versi, sorprendente della sismicità nel nostro Paese**. Nei limiti della completezza disponibile (ovvero la disponibilità di informazioni sui terremoti del passato), **i cataloghi storici ci riportano varie sequenze sismiche e 4-5 di queste furono particolarmente distruttive, estese e lunghe**:

- quella del **settembre 1349**, a cavallo tra **Lazio, Abruzzo e Molise**;
- quella del **dicembre 1456**, che ha colpito una vasta area tra **Puglia, Campania, Molise e Abruzzo**;
- quelle **del 1638 e del 1783**, che hanno devastato con numerose scosse la **Calabria**;
- a cui forse si può aggiungere **quella del 1693,** che devastò la Sicilia orientale.

Queste sequenze, in qualche modo eccezionali per portata e per ripetuta distruttività, pongono vari ostacoli al loro studio: ad esempio, **l'età di accadimento**. Diversamente dai terremoti registrati in epoca recente o da quelli avvenuti negli ultimi 2-3 secoli (ovvero con possibilità di documentazione tendenzialmente completa), **alcune di queste '*crisi sismiche*' si sono verificate in epoca medioevale, ponendo non pochi problemi nella reperibilità di fonti accettabili sul piano storico** (ovvero, redatte da autori contemporanei, in grado di riferire fatti documentati e suffragate da testimonianze dirette). Non è, infatti, solo o necessariamente una questione di "antichità" delle fonti; la **Colonna di Marco Aurelio** (anche detta "Antonina") a Roma, ad esempio, risale al 193 d.C. e, sebbene decisamente *antica*, è un "documento" di rara ricchezza e forse non tutti sanno che **proprio questa eccezionale colonna** – come altri monumenti romani, tra cui naturalmente il Colosseo – **reca ben visibili i segni di vari terremoti del passato** [Funiciello e Rovelli, 1998]. Non di rado, il problema è reperire fonti storiche non solo ben conservate e leggibili ma soprattutto affidabili sul piano dei contenuti [Guidoboni e Ferrari, 2004; Fracassi e Valensise, 2007]. Difatti, mentre i terremoti che accadono oggi sono registrati in tempo reale e con strumenti altamente moderni (in Italia, dalla Rete Sismica

Nazionale) che misurano l'energia rilasciata da un evento sismico, **dei terremoti del passato conosciamo solo gli effetti sull'ambiente, sulla popolazione e sul patrimonio storico-architettonico**. Non sono dati di poco conto e, anzi, sono preziosissimi per valutare e quantificare l'impatto dei terremoti sul territorio ma la differenza è sostanziale. **Nel tempo sono stati affinati vari criteri per ottenere una stima di magnitudo dal quadro dei danni** (ad esempio, Bakun e Wentworth, [1997]; Gasperini et al., [1999]; Pasolini et al., [2008]), **da associare ai terremoti presenti nei cataloghi** sismici di cui sopra. **Queste stime dipendono sicuramente dall'affidabilità delle fonti storiche** contemporanee **ma anche dalle caratteristiche intrinseche del terremoto, dalla gravità dei danni causati e dallo sviluppo della sequenza sismica**. Le ragioni sono intuibili: un'articolata sequenza sismica con più scosse, anche forti, a distanza di pochi giorni o settimane, se non descritta in dettaglio dalle fonti originarie potrà apparire al ricercatore odierno come una sola scossa, anche sorprendentemente estesa per effetti. Come se non bastasse, anche ove una scansione temporale delle varie scosse sia stata ricostruita, discriminare il contributo di una scossa dall'altra, magari accaduta a poca distanza spaziale e temporale dalla prima, fatalmente può comportare un cumulo di effetti più o meno dannosi sul territorio, a tal punto che **stimare le magnitudo delle singole scosse può diventare un esercizio estremamente complesso** e, per certi versi, sfuggente.

Questa serie di circostanze si è indubbiamente verificata con la sequenza del dicembre del 1456, che ha coinvolto diverse aree dell'Appennino centro-meridionale, dall'alta **Irpinia** all'entroterra napoletano, dal **Sannio** al **Molise** ed **all'Abruzzo** centro-meridionale, oltre a vari settori della **Puglia** (**Figura 1**). **La vastità dell'area colpita, come si deduce dalle distribuzioni dei danni ricostruite** nel tempo dai vari autori, è sorprendente, quanto lo è l'entità dei danni massimi, **sino all'XI grado della scala Mercalli.** Anche il **numero di vittime, stimato fra le 30.000 e 70.000** [Guidoboni et al., 2018], è enorme, sia in assoluto che se rapportato alla densità abitativa dell'epoca che, naturalmente, non è confrontabile con quella odierna [Cozzetto, 1986; Malanima, 2003; Guidoboni e Ferrari, 2004]. Avendo coinvolto quasi tutta **l'Italia centro-meridionale** (Calabria esclusa), **l'area di danneggiamento ha attraversato settori geologicamente molto differenti tra loro**, anche se sostanzialmente concentrati lungo l'asse appenninico (**Figura 2**). D'altra parte, una caratteristica che salta immediatamente all'occhio, anche per il comune osservatore, è non solo **l'estensione dei danni nella direzione "appenninica",** ovvero da sud-est verso nord-ovest, ma anche, in alcune aree, trasversalmente ad essa, con una direzione approssimativamente da ovest verso est. Queste peculiarità hanno varie ricadute, ad esempio:

1. l'orientazione e le dimensioni delle strutture geologiche ovviamente non sono "infinite" ma limitate proprio dal contesto geologico e tettonico di una data area. Lo sviluppo peninsulare del territorio italiano, che naturalmente è stretto e oblungo, agisce quindi da vincolo decisivo nel giustapporre **domini geologici distinti**, oggi 'ravvicinati' in seguito allo sviluppo delle catene montuose e, nello specifico, dell'Appennino (ad es., Malinverno e Ryan, [1986]; Wezel, [1986]);
2. le caratteristiche di questi domini geologici possono condizionare, entro alcuni limiti ed in funzione della scala, la **distribuzione dei danni causati da un terremoto** così forte, specialmente avendo investito un'area così estesa e territorialmente diversificata. Inoltre, queste caratteristiche possono attenuare o far risaltare gli effetti di una scossa in funzione della geologia locale.

Proprio l'ampiezza dell'area coinvolta dalla sequenza del dicembre 1456 **fa risaltare anche le differenze sensibili nei tipi prevalenti di sismicità nel settore centro-meridionale della penisola** (**Figura 3**). Difatti, mentre il settore appenninico *sensu stricto*, almeno nella sua parte centro-meridionale, mostra una prevalenza di cinematica (ovvero di meccanismo deformativo) per **faglia normale**, il settore orientale mostra una prevalenza di cinematica per **faglia trascorrente**, sia pur con varie complessità ed a profondità ipocentrali tendenzialmente maggiori. Questa differenza,

piuttosto marcata e poco evidenziata sino al 2002, quando i terremoti del 31 ottobre e 1 novembre distrussero la scuola di San Giuliano di Puglia (CB), testimonia meccanismi che si sono dimostrati utili per contribuire ad interpretare la sequenza del dicembre 1456.

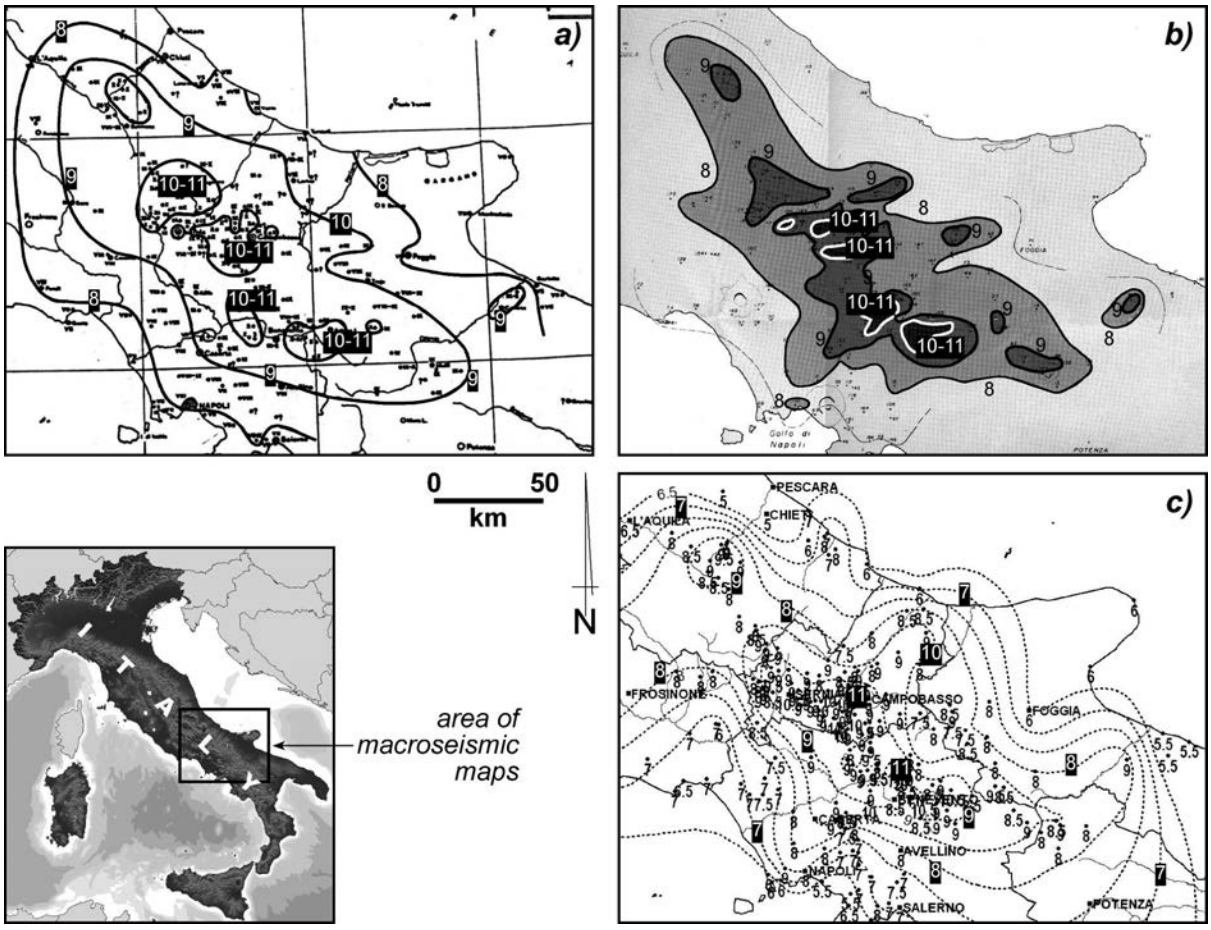


Figura 1 Distribuzioni dei danni causati dalla sequenza sismica del 1456 redatte da vari autori (adattate). a) Dati originali riportati in Magri e Molin [1983]; b) studio di Meletti et al. [1988]; c) revisione condotta per una versione del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (Dati da Boschi et al., [2000]). Per una versione aggiornata delle conoscenze: https://storing.ingv.it/cfti/cfti5/quake.php?B0413IT [Guidoboni et al., 2018]. Per semplificare la lettura, le intensità sono riportate in numeri arabi (es., 7.5) invece delle cifre latine comunemente adottate per questo scopo (es., VII/VIII) seguendo la scala Mercalli, per la precisione Mercalli-Cancani-Sieberg (Da Fracassi e Valensise [2007]).

Dopo i primi studi sulla sequenza del dicembre 1456 e sulla complessità delle fonti disponibili [Magri e Molin, 1983; Meletti et al., 1988] ed in seguito ad alcune elaborazioni [Teramo et al., 1999], sono state condotte analisi per aggiornare le fonti storiche e per rivisitare i dati territoriali ed i parametri macrosismici che se ne potevano estrarre [Guidoboni e Ferrari, 2004; Guidoboni e Comastri, 2005]. La somma di questi sforzi, distribuiti nel tempo e, come detto in apertura, resi tutt'altro che facili dalla natura stessa dei dati storici, ha portato ad una **revisione del quadro dei danni** (**Figura 4**), riportata e discussa successivamente [Fracassi e Valensise, 2007]. Ne sono emersi vari punti salienti, alcuni sorprendenti. Per prima cosa, **si è visto che nelle aree dove sono concentrati i danni maggiori, questi ultimi sono stati complessivamente più estesi e, in definitiva, "più forti" di quanto ritenuto in precedenza**. Questo ha contribuito a restituire **l'ampiezza enorme dell'area di danneggiamento** e a rinforzare gli interrogativi su come spiegare questa peculiarità.

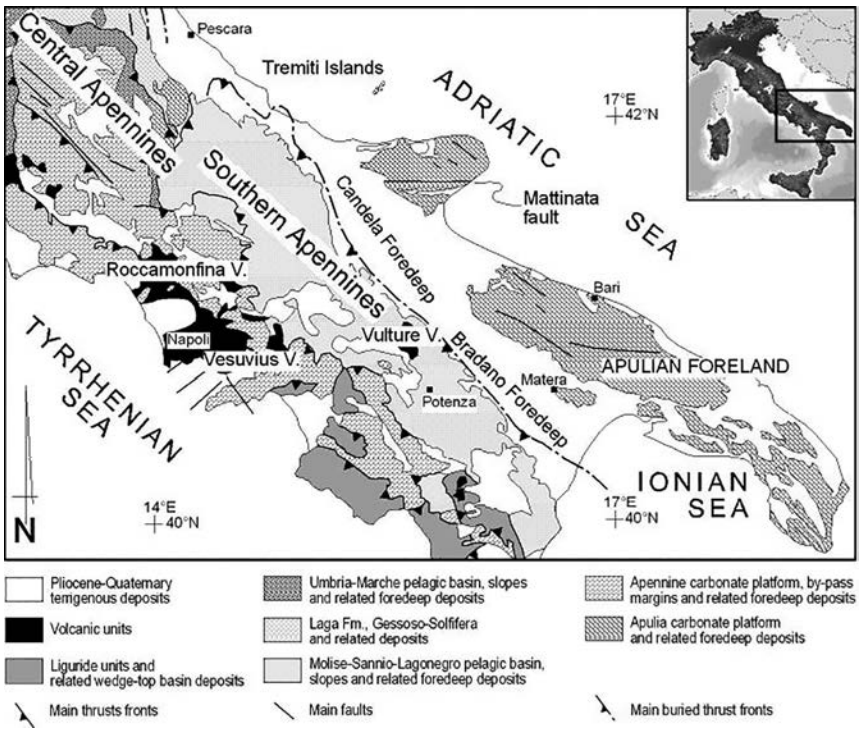


Figura 2 Schema geologico dell'appenino centro-meridionale (Da Butler et al. [2004], modificato). Da ovest verso est: la piattaforma carbonatica Appenninica, di età Mesozoico-Paleogenica (retropaese), il bacino pelagico del Lagonegro, di età Mesozoico-Neogenica, e la piattaforma carbonatica Apula, di età Mesozoico-Paleogenica (avampaese). Ad est del fronte appenninico esterno, il bacino del Bradano-Candela (avanfossa) contiene depositi terrigeni di età Plio-Quaternaria. I distretti vulcanici sono concentrati lungo la costa tirrenica, ad eccezione del complesso estinto del Vulture, situato nel cuore dell'Appennino meridionale, nei pressi del fronte esterno. Da: Fracassi e Valensise [2007].

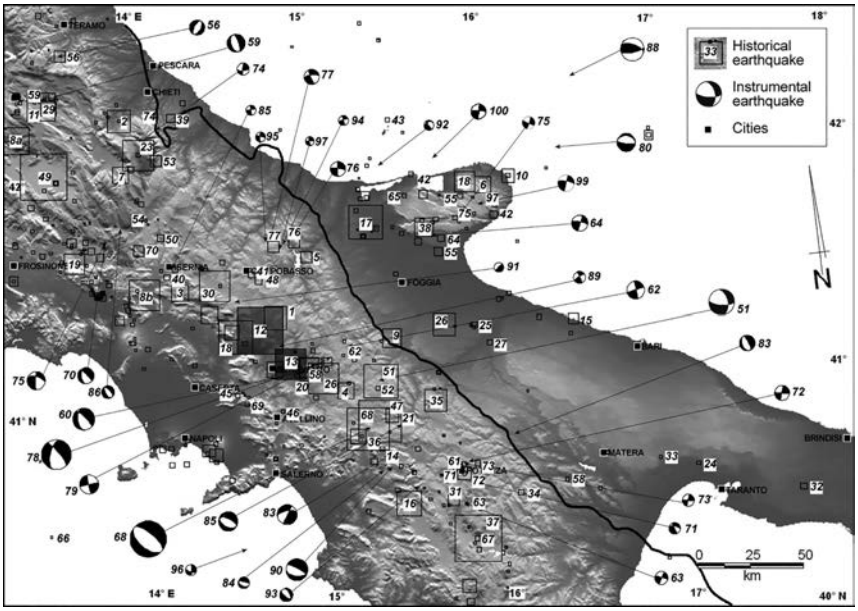


Figura 3 Terremoti storici e strumenti di magnitudo ≥ 4.0 che hanno riguardato l'Italia centro-meridionale (l'elenco dei dati è reperibile in Fracassi e Valensise [2007]). I quadrati (proporzionali alla magnitudo) rappresentano le scosse dal catalogo dei terremoti storici [Rovida et al., 2022]; le "beachballs" indicano il meccanismo focale dei terremoti strumentali. I quadrati scuri indicano la localizzazione delle scosse principali del 1456 [Gruppo di Lavoro CPTI, 2004]; per un aggiornamento su questi dati: https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/eq/14561205_0000_000 [Rovida et al., 2022]. Da: Fracassi e Valensise [2007].

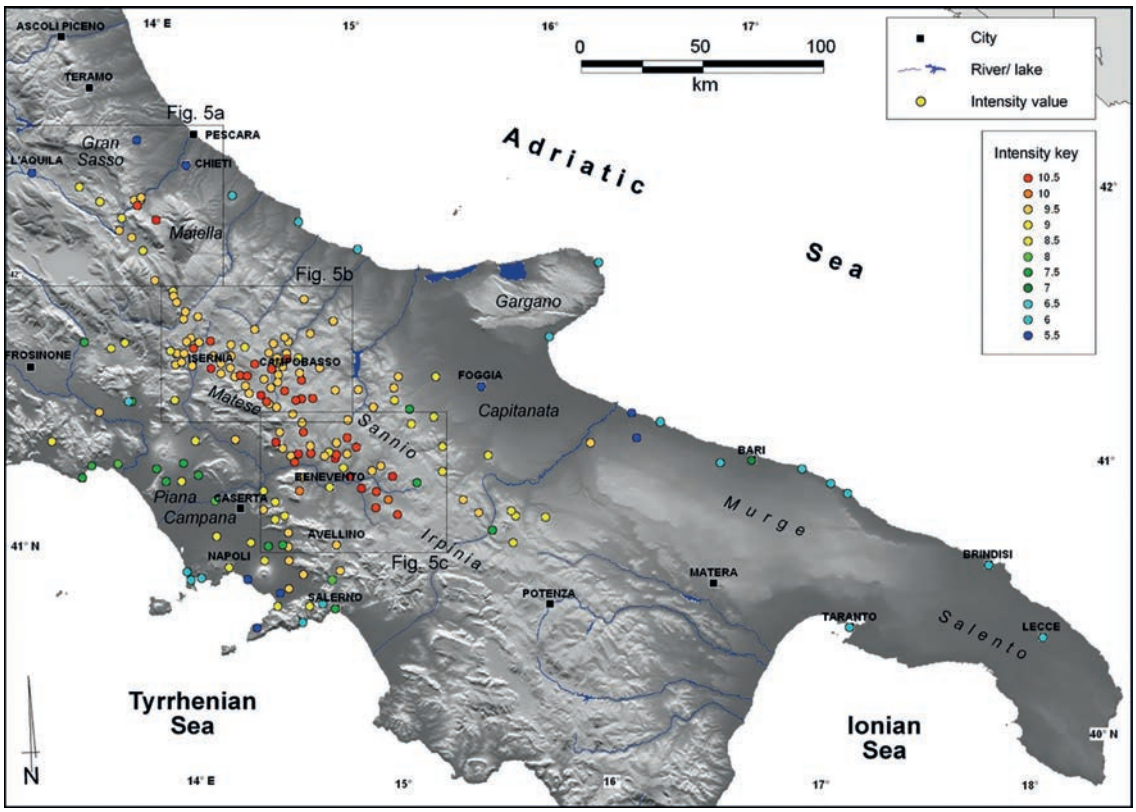


Figura 4 Distribuzione cumulativa di tutti i dati di intensità (vedi legenda in alto a destra per i danni) causati dalla sequenza del 1456. Si noti la regione molto ampia dove vengono riportate intensità ≥ X, ovvero il Sannio (ad est di Benevento), a nord-est del massiccio del Matese (tra Isernia e Campobasso) e nel versante nord-occidentale della Maiella. Da notare anche la peculiare distribuzione dei danni (da intermedi a bassi) riportati lungo la costa Adriatica, il gruppo di intensità elevate (≥ IX) tra il Sannio, l'Irpinia e la Capitanata e quelle nella Piana Campana. In Figura 5 ci sono i dettagli delle tre aree che hanno riportato i massimi danni. Da: Fracassi e Valensise [2007].

Come conseguenza, **uno sguardo dettagliato sulle tre aree dove furono documentati i danni maggiori e più estesi, incrociato con il quadro degli insediamenti dell'epoca, ha confermato una sostanziale separazione tra queste tre zone** che, seppur piuttosto distanti lungo l'Appennino centro-meridionale, sono pur sempre adiacenti da sud verso nord (**Figura 5**). A questo proposito, c'è un particolare che il lettore troverà interessante e, in fondo, per niente sorprendente. Gli studi storici [es. Cozzetto, 1986; Guidoboni e Ferrari, 2004] hanno dedotto la rete insediativa del Basso Medioevo, tra le altre cose, anche in base alla distribuzione dei 'fuochi fiscali', ovvero dalle zone di provenienza dei tributi. Per capirci: se un 'fuoco fiscale' era identificabile successivamente ad un grande terremoto, ciò significava che la zona non aveva subito effetti degni di nota. Ma, incrociando diverse fonti storiche, gli studi hanno mostrato anche che, ove un 'fuoco fiscale' non fosse più identificabile, questo non andava preso necessariamente come segno della distruzione della zona in seguito alla scossa. Tutto questo tenendo conto che, naturalmente, all'epoca non era possibile né "localizzare" un terremoto come possiamo fare oggi, né conoscerne gli effetti se non dopo giorni o settimane (o mesi). Ieri come oggi, insomma, ciò che veniva dichiarato andava poi verificato... Se a questi elementi si aggiunge il fatto che nel 1456 l'unità d'Italia era ben lontana dal realizzarsi (oltre quattro secoli) e che nei territori coinvolti le comunità, le amministrazioni ed i poteri dominanti si esprimevano e comunicavano, anche formalmente, in varie lingue oltre l'italiano (a cominciare dal tardo latino, ovviamente, e poi francese, spagnolo, etc.), si ha un'idea delle **complessità insite nelle fonti che gli storici hanno dovuto affrontare per distinguere gli elementi concreti da quelli non affidabili**.

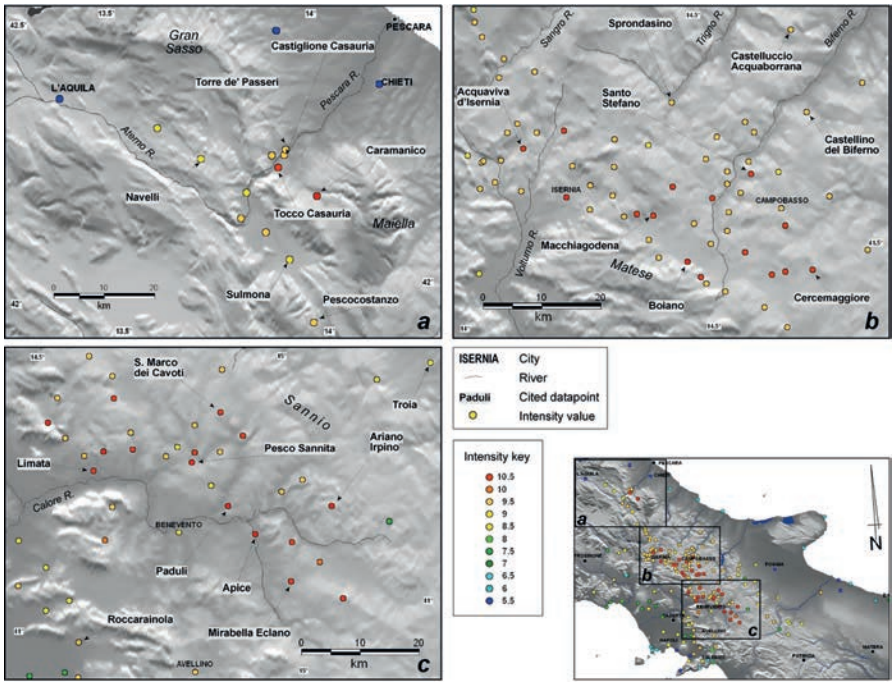


Figura 5 Le tre aree che hanno riportato i massimi danni cumulativi causati dalla sequenza del 1456 (l'ubicazione è reperibile in basso a destra). Da: Fracassi e Valensise [2007].

Uno sguardo dettagliato sulle **tre aree** dove furono documentati i **danni maggiori e più estesi**, incrociato con il quadro degli insediamenti dell'epoca, ha confermato una **sostanziale separazione tra queste tre zone** che, seppur piuttosto distanti lungo l'Appennino centro-meridionale, sono pur sempre adiacenti da sud verso nord (**Figura 6**).

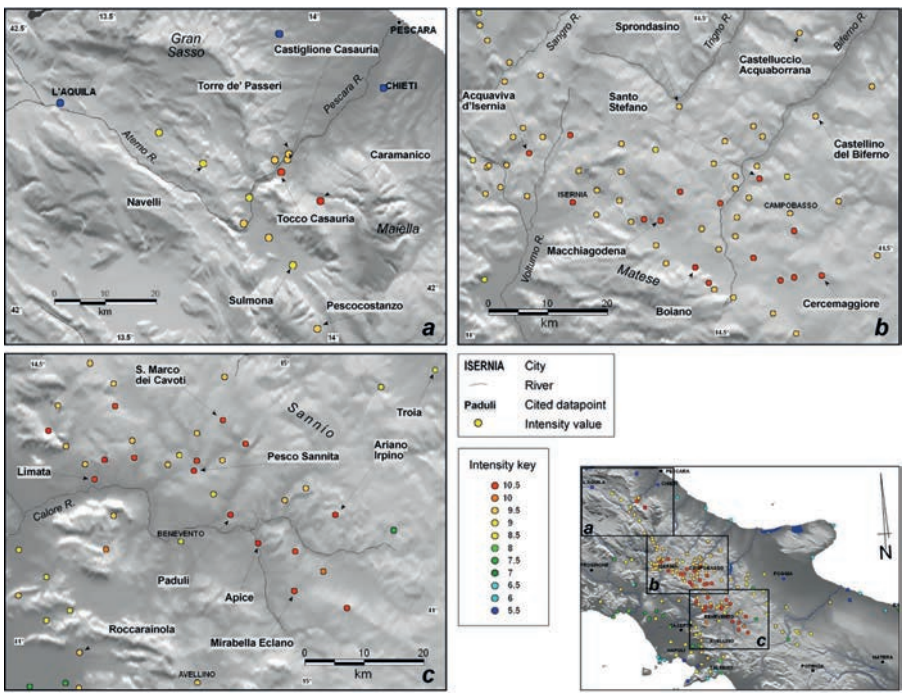


Figura 6 Le tre aree che hanno riportato i massimi danni cumulativi causati dalla sequenza del 1456 (l'ubicazione è reperibile in basso a destra). Da: Fracassi e Valensise [2007].

Lo studio che si è reso necessario per cercare una **spiegazione sismo-tettonica convincente alla sequenza del 1456** ha quindi dovuto mettere insieme elementi tra loro apparentemente lontani [Fracassi e Valensise, 2007]:

- un **approfondimento storico, territoriale, finanche linguistico** sugli unici dati disponibili su un terremoto medioevale, ovvero le località danneggiate, l'entità dei danni e la loro distribuzione sul territorio, per offrire un vincolo il più concreto possibile sul quadro dei danni realmente accaduti;
- una rilettura ad ampio raggio ed una sintesi delle **conoscenze sul sottosuolo dell'Appennino centro-meridionale** [ad es., Sawyer, 2001; Butler et al., 2004; Nicolai e Gambini, 2007], alla ricerca di possibili strutture coinvolte, anche diverse da quelle più note [Valensise e Pantosti, 2001], e sino ad alcuni anni fa non considerate come possibili sorgenti sismogenetiche;
- una lettura innovativa dei **meccanismi tettonici noti**, anche rivisti alla luce di recenti approfondimenti su terremoti relativamente poco studiati ma avvenuti in zone particolarmente decisive per la sequenza in esame, alla ricerca di possibili spiegazioni per una sequenza talmente estesa.

In questo senso, alcuni esempi chiave provengono da **terremoti in parte rivisitati** solo in anni recenti, come quello del **23 luglio 1930**, che ha distrutto una parte dell'Irpinia [Emolo et al., 2004; Pino et al., 2008], quello del **5 maggio 1990**, che colpì la città di Potenza [Ekström, 1994; Di Bucci et al., 2006]. e quelli del **30 ottobre e 1 novembre 2002**, che colpirono il Molise orientale [Di Bucci e Mazzoli, 2003; Valensise et al., 2004; Chiarabba et al., 2005; Vallée e Di Luccio, 2005]. In particolare, questi ultimi due eventi, per via delle loro caratteristiche piuttosto peculiari, hanno contribuito ad attirare l'attenzione sul settore orientale dell'Appennino centro-meridionale, l'avampaese apulo.
L'analisi dettagliata del quadro dei danni dovuta alla sequenza del 1456 ed una ricostruzione della scansione cronologica, basate sulle fonti storiche e sulla loro successione temporale e rilevanza territoriale [Fracassi e Valensise, 2007], hanno consentito di individuare **cinque/sei fasi che sembrano scandire lo sviluppo della sequenza e la conseguente distribuzione dei danni** in aree in parte coincidenti o attigue, in parte distinte (**Figura 7**).
Questa suddivisione temporale e spaziale ha permesso di circoscrivere con sufficiente attendibilità l'**area di danneggiamento ascrivibile alla prima scossa accertata, quella del 5 dicembre** (**Figura 7a**), ovvero **l'entroterra campano tra Sannio e Irpinia**. A questa scossa sono stati imputati anche i risentimenti lungo la **costa pugliese**, ricostruiti attraverso una fonte immediatamente successiva alla sequenza (**Figura 7f**). Fonti pervenute alle destinazioni originali dal 12 al 14 dicembre ed il 22 dicembre (**Figura 7b** e **7c**) mostrano la dilazione temporale con cui arrivarono le notizie di danni dalle aree colpite il 5 dicembre, sebbene la sequenza abbia comunque avuto uno sviluppo attraverso tutto il mese, in parte interessando **anche aree più a nord** (in Abruzzo). Molte notizie di danni, in effetti, provengono da località già colpite dalla prima scossa e questo può indicare sia informazioni giunte successivamente circa i danni dovuti alla scossa del 5 dicembre, sia effetti dovuti al procedere della sequenza. Questa, ovviamente, insisteva su un'area già gravemente danneggiata dal terremoto del 5 dicembre, dove quindi ogni altra scossa non poteva che contribuire ad aumentare i danni precedenti (specialmente in assenza di moderni meccanismi di pronto intervento e di rapida messa in sicurezza di edifici pericolanti). I **danni ascritti alla scossa del 30 dicembre compaiono in fonti storiche risalenti ai primi giorni del gennaio 1457** (**Figura 7d**). **Le zone colpite in parte ricalcano e in parte estendono le aree danneggiate sino a quel punto, includendo il Sannio e il Molise**, e tornano ad evidenziare una zona sensibilmente più a nord, **in Abruzzo, tra la Maiella e il Gran Sasso**, dove i danni sono stati molto significativi. Questo ha portato ad ipotizzare **un'ulteriore forte scossa, verosimilmente contemporanea o immediatamente successiva a quella del 30 dicembre, mentre la sequenza si è protratta almeno per tutto il mese di gennaio 1457** (**Figura 7e**).

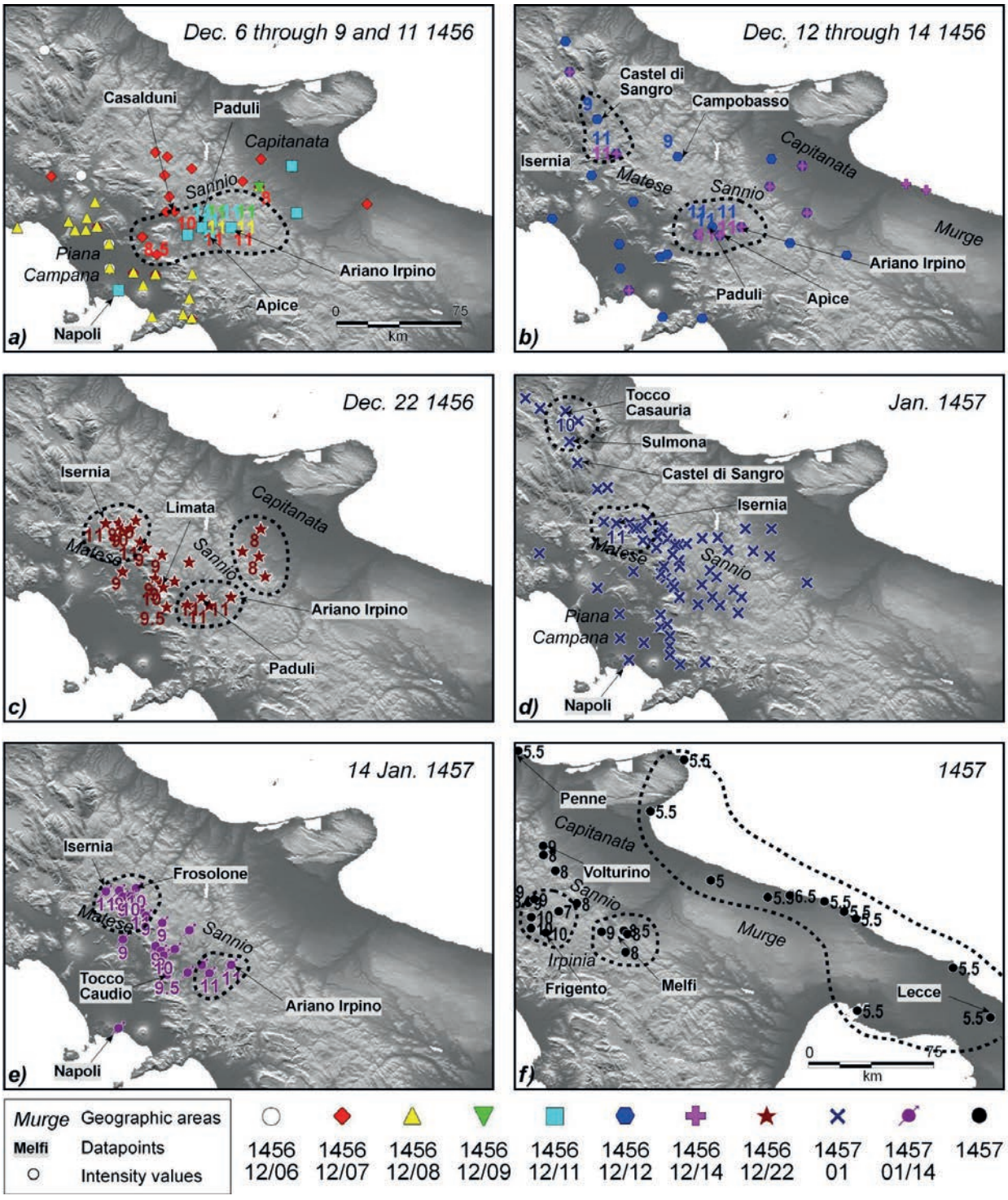
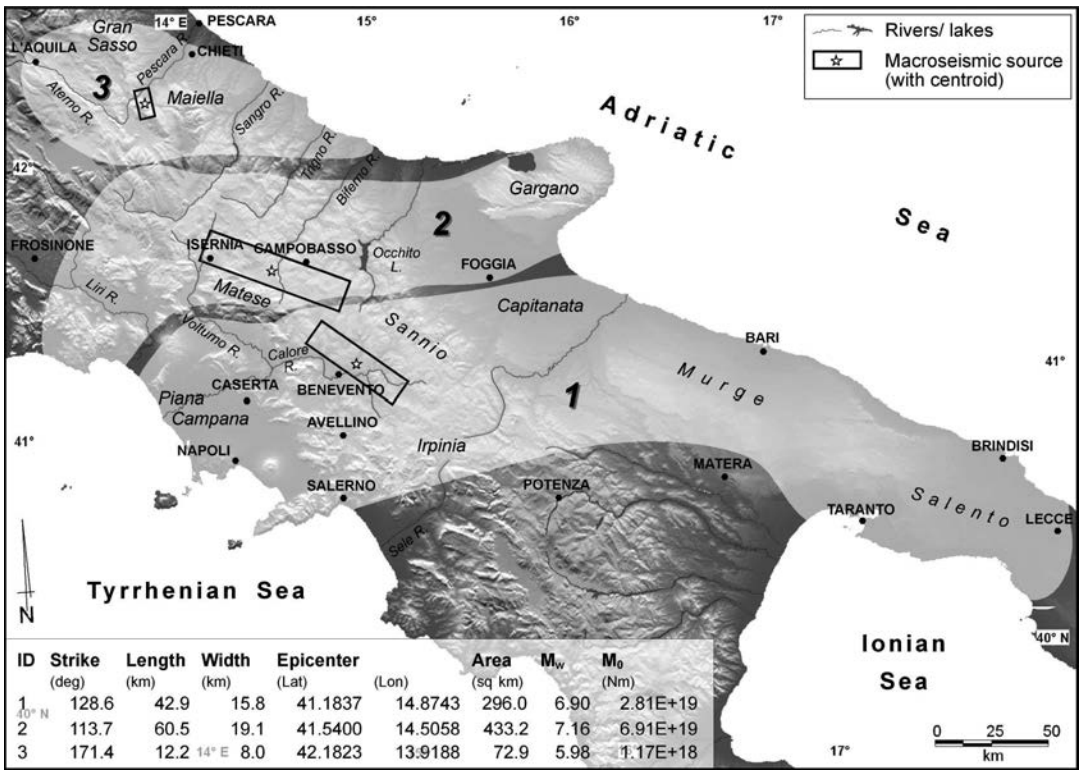


Figura 7 Le finestre temporali che racchiudono gli eventi della sequenza del 1456 in base ai parametri estratti dalle caratteristiche dei testi ed al rapporto vittime/residenti dedotto delle fonti contemporanee [Guidoboni e Comastri, 2005]. Le date nella legenda sono quelle dei manoscritti che descrivono gli effetti del terremoto; di conseguenza, non riflettono direttamente l'anno/periodo della scossa. I danni riferiti sono datati (anno-mese-giorno): a) 1456-12-06, -12-07, -12-08, -12-09, -12-11; b) 1456-12- 12, -12-14; c) 1456-12-22; d) 1457-01; e) 1457-01-14; f) quadro dei danni, non riportati in altre fonti storiche, estratti dal rapporto del 1457. Le linee tratteggiate racchiudono le aree per cui siano note intensità massime (zone epicentrali), ad eccezione della costa pugliese; i punti che riportano anche il dato d'intensità indicano le località che verosimilmente hanno riportato i danni di più scosse. La scala geografica dei riquadri da a ad e è la stessa (mostrata nel riquadro a), simile a quella del riquadro f. Da: Fracassi e Valensise [2007].



ID	Strike (deg)	Length (km)	Width (km)	Epicenter (Lat)	(Lon)	Area (sq km)	M_w	M_0 (Nm)
1	128.6	42.9	15.8	41.1837	14.8743	296.0	6.90	2.81E+19
2	113.7	60.5	19.1	41.5400	14.5058	433.2	7.16	6.91E+19
3	171.4	12.2	8.0	42.1823	13.9188	72.9	5.98	1.17E+18

Figura 8 Aree che raggruppano i danni in base alla loro distribuzione spazio-temporale (la numerazione è progressiva in ordine di attivazione). Per ogni evento viene riportata la magnitudo momento (Mw) ed il corrispondente momento sismico (M0). Le sorgenti macrosismiche (rettangoli neri) sono state calcolate dai dati di intensità utilizzando il codice Boxer (con la procedura usata in Gasperini et al. [1999]) per ciascuna delle tre aree (parametri in basso a sinistra). Le stelle rappresentano il centroide della sorgente macrosismica, ovvero l'epicentro calcolato dal codice Boxer, non quello proveniente dal catalogo dei terremoti storici [Fracassi e Valensise, 2007].

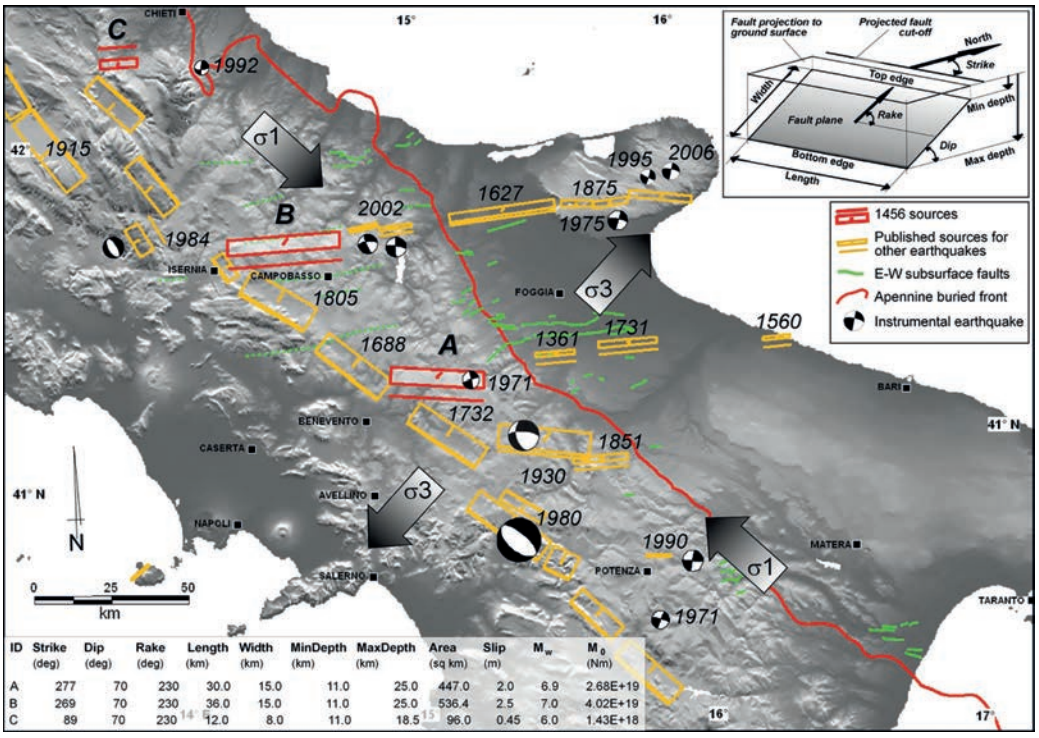
Questa ricostruzione ha, dunque, consentito di ipotizzare **3 aree principali di risentimento** e, quindi, **tre scosse distinte, ordinate (geograficamente) da sud verso nord e (cronologicamente) a partire dal 5 dicembre 1456 in avanti** (**Figura 8** da Fracassi e Valensise [2007]):

1. **il Sannio e l'Irpinia**, dove insistono i danni maggiori, e secondariamente la Piana Campana, Napoli compresa, e la Puglia centro-meridionale. **Per questa scossa del 5 dicembre 1456 è stata calcolata una magnitudo in base ai dati macrosismici di 6.9** (per avere un'idea, è una stima pressoché confrontabile con la magnitudo del terremoto dell'Irpinia del 23 novembre 1980; vd. Pantosti e Valensise [1990]);
2. **l'alto Sannio e il Molise**, **sino alla Puglia settentrionale**, **area colpita (anche) dalla scossa del 30 dicembre**. L'entità della distruzione dovuta a questo terremoto è stata tale da far proporre **una magnitudo vicina a 7.2** (a mo' di confronto, si tratta di una stima pressoché simile alla magnitudo del grande terremoto di Messina e Reggio Calabria del 28 dicembre 1908; vd. Pino et al. [2009]);
3. l'**Abruzzo centrale e sud-orientale**, tra la Marsica e il massiccio della Maiella, area in parte già colpita durante il mese di dicembre. **Contemporanea o immediatamente successiva al terremoto del 30 dicembre in Molise**, per questa scossa è stata valutata **una magnitudo di circa 6.0** (equivalente, ad esempio, a quella della scossa di Amatrice del 24 agosto 2016; vd. Chiaraluce et al. [2017]).

Ricapitolando, Fracassi e Valensise [2007] hanno proposto una **revisione della scansione temporale e spaziale della sequenza del 1456**, basandosi su **dati macrosismici aggiornati**,

sintetizzando e approfondendo le ricostruzioni storiche proposte da vari autori. Come detto in precedenza, la gravità dei danni, la loro estensione e la loro posizione lungo l'Appennino centro-meridionale ha portato questi autori a proporre una soluzione che tenesse conto anche di quanto appreso negli anni sulla **sismogenesi ad est dell'asse della catena appenninica**. Difatti, la ricerca di una soluzione innovativa nasceva dal fatto che le proposte sino a quel punto disponibili avevano dimostrato l'**indubbia complessità di questa *crisi sismica*** ma sembravano insufficienti a spiegare il meccanismo tettonico responsabile nella sua interezza.
La proposta, sintetizzata in **Figura 9**, racchiude **tre sorgenti sismogenetiche**, denominate in ordine progressivo di attivazione, da sud verso nord, con **A**, **B**, e **C**. **Queste sorgenti proposte sono**:

1. basate sulla ricostruzione storica e spaziale derivata dai **dati macrosismici** (parametri in **Figura 7**),
2. **congruenti con la posizione delle sorgenti** sismogenetiche ritenute responsabili per forti terremoti, sia storici e strumentali, già note (Da DISS Working Group [2006]; Basili et al., [2008]), e
3. ipotizzate sulla base delle **strutture del sottosuolo nella piattaforma apula** [Sella et al., 1988; Sawyer, 2001; Butler *et al.*, 2004; Nicolai e Gambini, 2007] e già discusse in seguito al citato terremoto doppio del Molise del 31 ottobre e 1 novembre 2002 [Di Bucci et al., 2006].



ID	Strike (deg)	Dip (deg)	Rake (deg)	Length (km)	Width (km)	MinDepth (km)	MaxDepth (km)	Area (sq km)	Slip (m)	M_w	M_0 (Nm)
A	277	70	230	30.0	15.0	11.0	25.0	447.0	2.0	6.9	2.68E+19
B	269	70	230	36.0	15.0	11.0	25.0	536.4	2.5	7.0	4.02E+19
C	89	70	230	12.0	8.0	11.0	18.5	96.0	0.45	6.0	1.43E+18

Figura 9 Le sorgenti sismogenetiche proposte per le tre scosse principali della sequenza del 1456 (rettangoli in rosso; le lettere sono in ordine cronologico di attivazione). Le frecce indicano l'orientazione del campo di sforzo orizzontale (Secondo Montone et al., [2004]). Notare che le faglie proposte (in particolare quelle più grandi, ovvero A e B) sono in parte vincolate dalla posizione delle sorgenti sismogenetiche (rettangoli in giallo), provenienti dalla banca dati DISS v. 3.0.2, responsabili dei terremoti storici e strumentali più forti (anni adiacenti alle sorgenti; dati in: DISS Working Group, [2006]). Le strutture note nel sottosuolo sono indicate in verde (Dati da: Sella et al., [1988]; Sawyer, [2001]; Nicolai e Gambini, [2007]). I parametri delle sorgenti sismogenetiche, basati sulle relazioni empiriche [Wells e Coppersmith, 1994] e analitiche [Kanamori e Anderson, 1975], sono sintetizzati in basso a sinistra. In alto a destra c'è una sintesi descrittiva dei parametri geometrici della sorgente sismogenetica (determinati usando FaultStudio 1.2; per gentile concessione di Roberto Basili, INGV). Da: Fracassi e Valensise [2007].

Le faglie ad orientamento appenninico (circa NW-SE), come quella responsabile del già citato terremoto dell'Irpinia del 23 novembre 1980, sono a ridosso dell'asse estensionale dell'Appennino meridionale e mostrano una cinematica prevalente per faglia normale. Per contro, quelle orientate circa est-ovest, come quella del **terremoto dell'Irpinia del 23 luglio 1930** precedentemente riportato, ricadono all'interno dell'avampaese apulo; a queste viene imputata una **cinematica trascorrente obliqua destra**. Il lavoro di Fracassi e Valensise [2007], anche grazie a tutti gli studi che lo hanno preceduto e qui riportati in Bibliografia, ha proposto **che le faglie responsabili per le scosse della sequenza del 1456 siano di questo secondo tipo**, **riguardando quindi il settore orientale dell'Appennino centro-meridionale**. Questa interpretazione è poi confluita nel catalogo delle sorgenti sismogenetiche curato negli anni dall'INGV [DISS Working Group, 2021].

La *crisi sismica* del dicembre 1456 fu, come detto, **davvero imponente per l'epoca, dato il numero di vittime e la vastità dei danni**. Per certi versi, **si tratta anche di uno spartiacque cronologico nella storia d'Italia** (sismica ma non solo), accaduta così a ridosso della nascita di Leonardo da Vinci (1452-1519) e degli straordinari avanzamenti culturali e scientifici che seguirono l'epilogo del Medioevo e l'inizio del Rinascimento. Anche vista con gli occhi contemporanei, **una simile devastazione, così diffusa e grave, ha richiesto uno sforzo supplementare alla ricerca di una soluzione che potesse conciliare dati di natura diversa, forse sino ad allora non completamente messi a confronto e, dunque, forse poco sfruttati nella loro possibile sinergia**. Come scriveva Eraclito, uno dei più grandi filosofi pre-socratici, "*Pòlemos* [la contesa] *è il padre di tutte le cose*". Ma non tutte le *contese* sono belligeranti, anzi; molte nascono per il bene dell'intelletto, per il miglioramento, per la ricerca di una soluzione. Ecco, una 'contesa' contro le difficoltà scientifiche, contro la scarsità dei dati, contro la complessità di un quesito sovente costituisce un formidabile punto di partenza per la ricerca scientifica. Questo principio è tanto più vero quando, nello studio dei terremoti del passato, viene applicato ad una sequenza *troppo grande* per essere spiegata con un solo meccanismo, o con un meccanismo già noto.

Bibliografia

Bakun W.H., Wentworth C.M., (1997). Estimating earthquake location and magnitude from seismic intensity data. Bull. Seismol. Soc. Amer., 87(6), pp. 1502-1521.

Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M.M., Boschi E., (2008). *The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology*. Tectonophysics, 453, pp. 20-43.

Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise G., Gasperini P., (Editors), (2000). *Catalogue of strong Italian earthquakes from 461 B.C. to 1997*. Ann. Geophys., 43, with CD-Rom, 259 pp.

Butler R.W.H., Mazzoli S., Corrado S., De Donatis M., Di Bucci D., Gambini R., Naso G., Nicolai C., Scrocca D., Shiner P., Zucconi V., (2004). *Applying thick-skinned tectonic models to the Apennine thrust belt of Italy: limitations and implications*. In: Thrust Tectonics and Hydrocarbon Systems (TT99), K.R. McClay (Editor). Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem., 82, pp. 647–667.

Chiarabba C., De Gori P., Chiaraluce L., Bordoni P., Cattaneo M., De Martin M., Frepoli A., Michelini A., Monachesi A., Moretti M., Augliera G.P., D'Alema E., Frapiccini M., Gassi A., Marzorati S., Di Bartolomeo P., Gentile S., Govoni A., Lovisa L., Romanelli M., Ferretti G., Pasta M., Spallarossa D., Zunino E., (2005). *Mainshocks and aftershocks of the 2002 Molise seismic sequence, southern Italy*. J. Seismology, 9, pp. 487-494.

Chiaraluce L., Di Stefano R., Tinti E., Scognamiglio L., Michele M., Casarotti E., Cattaneo M., De Gori P., Chiarabba C., Monachesi G., Lombardi A., Valoroso L., Latorre D., Marzorati S., (2017).

The 2016 Central Italy Seismic Sequence: A First Look at the Mainshocks, Aftershocks, and Source Models. Seismol. Res. Lett., 88(3), pp. 757-771.

Cozzetto F., (1986). *Mezzogiorno e demografia nel XV secolo*. F. Rubbettino Ed., Soveria Mannelli (CZ), 212 pp.

Di Bucci D., Mazzoli S., (2003). *The October-November 2002 Molise seismic sequence (southern Italy): an expression of Adria intraplate deformation*. J. Geol. Soc. London, 160, pp. 503-506.

Di Bucci D., Ravaglia A., Seno S., Toscani G., Fracassi U., Valensise G., (2006). *Seismotectonics of the Southern Apennines and Adriatic foreland: insights on active regional E-W shear zones from analogue modeling*. Tectonics, 25, TC4015.

DISS Working Group, (2006). *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.0.2: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

DISS Working Group, (2021). *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Ekström G., (1994). *Teleseismic analysis of the 1990 and 1991 earthquakes near Potenza*. Ann. Geofis., 37, pp. 1591-1599.

Emolo A., Iannaccone G., Zollo A., Gorini A., (2004). *Inferences on the source mechanisms of the 1930 Irpinia (Southern Italy) earthquake from simulations of the kinematic rupture process*. Ann. Geophys., 47, pp. 1743-1754.

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. Amer., 97(3), pp. 725-748.

Funiciello R., Rovelli A., (1998). *Terremoti e monumenti in Roma*. Le Scienze, 357, pp. 42-49.

Gasperini P., Bernardini F., Valensise G., Boschi E., (1999). *Defining seismogenic sources from historical earthquake felt reports*. Bull. Seism. Soc. Amer., 89, pp. 94-110.

Gruppo di Lavoro Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI), (2004). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. Versione 2004 (CPTI04). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). https://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/

Guidoboni E., Comastri A., (2005). *Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean Area from the 11th to the 15th Century*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Storia Geofisica Ambiente, Bologna, 1037 pp.

Guidoboni E., Ferrari G., (2004). *Integrazione di ricerca di archeologia e storia territoriale riguardante il terremoto del 1456 e l'area molisano-campana relativamente ai terremoti prima del Mille*. RPT 255/03, Storia Geofisica Ambiente, Bologna, 139 pp.

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).

Kanamori H., Anderson D.L., (1975). *Theoretical basis of some empirical relations in seismology*. Bull. Seism. Soc. Amer., 65, pp. 1073–1095.

Magri G., Molin D., (1983). *Il terremoto del dicembre 1456 nell'Appennino centro-meridionale*. Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia, e l'Ambiente (ENEA), RT/AMB 83/08, 180 pp.

Malanima P., (2003). *L'economia italiana - Dalla crescita medievale alla crescita contemporanea*. Collana "Le vie della civiltà", Il Mulino, 512 pp.

Malinverno A., Ryan W., (1986). *Extension in the Tyrrhenian Sea and Shortening in the Apennines as Result of Arc Migration Driven by Sinking of the Lithosphere*. Tectonics, 5, pp. 227-245.

Meletti C., Patacca E., Scandone P., Figliuolo B., (1988). *Il Terremoto del 1456 e la sua interpretazione nel quadro sismotettonico dell'Appennino Meridionale*. In Figliuolo B. (Ed), Il Terremoto del 1456, Osservatorio Vesuviano, Storia e Scienze della Terra, 71–108 (I) e 35-163 (II).

Montone P., Mariucci M.T., Pondrelli S., Amato A., (2004). *An improved stress map for Italy and surrounding regions (Central Mediterranean)*. J. Geophys. Res., 109, B10.

Nicolai C., Gambini R., (2007). *Structural architecture of the Adria platform-and-basin system*. In: Mazzotti A., Patacca E., Scandone P. (Eds.), Results of the CROP Project, Sub-project CROP-04, Southern Apennines (Italy). Boll. Soc. Geol. It., 7, pp. 21-37.

Pantosti D., Valensise G., (1990). *Faulting mechanism and complexity of the 23 November, 1980, Campania-Lucania earthquake inferred form surface observations*. J. Geophys. Res,. 95(B10), pp. 15319–15341.

Pasolini C., Albarello D., Gasperini P., D'Amico V., Lolli D., (2008). *The attenuation of seismic intensity in Italy, Part II: Modeling and validation*. Bull. Seismol. Soc. Amer., 98(2), pp. 692-708.

Pino N., Palombo B., Ventura G., Perniola B., Ferrari G., (2008). *Waveform modeling of historical seismograms of the 1930 Irpinia earthquake provides insight on "blind" faulting in Southern Apennines (Italy)*. J. Geophys. Res., 113, B5, B05303.

Pino N.A., Piatanesi A., Valensise G., Boschi E., (2009). *The 28 December 1908 Messina Straits earthquake (Mw 7.1): a great earthquake throughout a century of Seismology*. Seism. Res. Lett., 80(2), pp. 243-259.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A., (2022). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15)*. Versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Sawyer R.K., (2001). *An integrated surface and subsurface interpretation of the stratigraphy, structure and tectonics of the southcentral Apennines of Italy*. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 2001 Annual Convention Program Abstracts, 10, 178.

Sella M., Turci C., Riva A., (1988). *Sintesi geopetrolifera della Fossa Bradanica (avanfossa della Catena Appenninica meridionale)*. Mem. Soc. Geol. It., 41, pp. 87–107.

Teramo A., Stillitani E., Bottari A. Termini D., 1999. The December 5th, 1456 Central Italy earthquake: a discussion of a possible reshaping of intensity distribution by vectorial modelling. Pure Appl. Geophys., 155, 131–148.

Valensise G., Pantosti D., 2001. The investigation of potential earthquake sources in peninsular Italy: a review. J. Seismology, 5, 287-306.

Valensise G., Pantosti D., Basili R., (2004). *Seismology and tectonic setting of the Molise earthquake sequence of October 31–November 1, 2002*. Earthquake Spectra, 20, S23-S37.

Vallée M., Di Luccio F., (2005). *Source analysis of the 2002 Molise, southern Italy, twin earthquakes (10/31 and 11/01)*. Geophys. Res. Letters, 32(12), L12309.

Wells D.L., Coppersmith K.J., (1994). *New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement*. Bull. Seism. Soc. Amer., 84, pp. 974–1002.

Wezel F.-C., (ed.), (1986). *The Origin of Arcs*. Developments in Geotectonics Series, 21. Invited papers presented at the conference held in Urbino, Italy, September 22–25, 1986. Elsevier, Amsterdam. xxi + 567 pp.

Pubblicato il 5 dicembre 2022

Terremoto in Basilicata? No, è un meteoroide

Thomas Braun[1], Alexander Garcia[2], Irene Molinari[2], Davide Piccinini[3]

[1]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Roma 1
[2]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna
[3]INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Pisa

con il contributo dell'INAF

Dal 2021 è operativo il **Centro di Monitoraggio delle Attività di Sottosuolo** (CMS) il cui compito principale è quello di **monitorare l'attività sismica eventualmente associata ad attività antropogenica**. Il CMS basa le sue analisi 24/7 su apposite reti di monitoraggio sismologico e geodetico, attualmente operative nelle aree geotermiche Toscane, nella Pianura Padana e in Basilicata.
La mattina del giorno 27 dicembre 2023 la rete sismica del CMS, operativa in Basilicata, in particolare nella zona della Val d'Agri, ha rilevato dei **segnali "insoliti"**, che si distinguevano nettamente dalle abituali forme d'onda generate dalla sismicità locale (Figura 1).

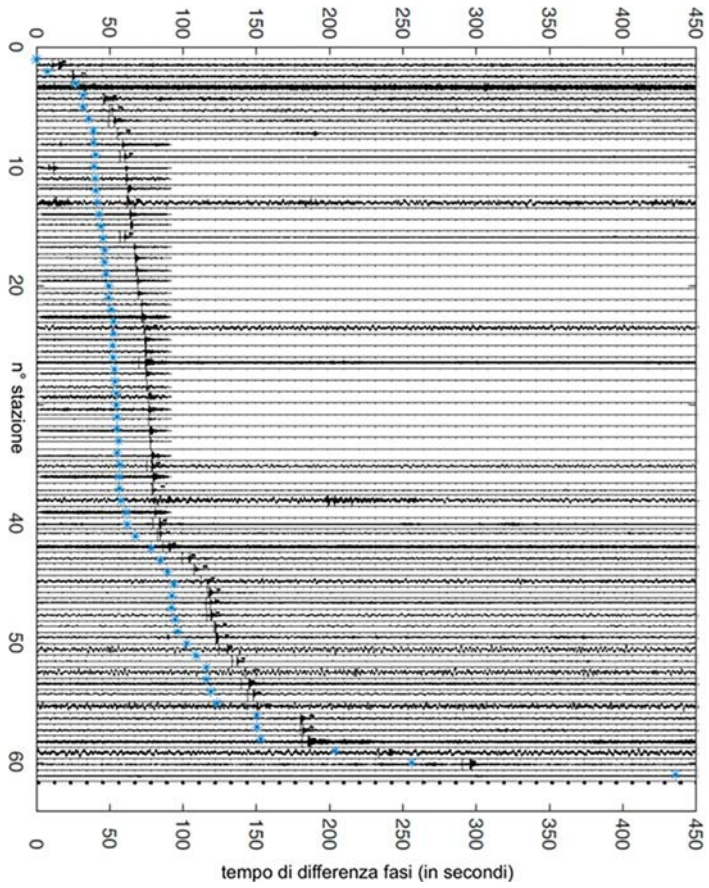


Figura 1 Forme d'onda del segnale sismico relativo all'evento "insolito" registrato dalla rete sismica del CMS e dalla Rete Sismica Nazionale (INGV). Le tracce delle 61 stazioni che hanno registrato questo segnale sismico sono mostrate con tempo d'arrivo crescente.

È stata registrata una distinta **fase sismica che si propaga con una velocità apparente più lenta, rispetto alle velocità sismiche tipiche per la crosta terrestre**. Ampliando lo sguardo all'intera Rete Sismica Nazionale dell'INGV si nota che **è possibile osservare la fase in molte altre stazioni situate in Italia meridionale** (Figura 2).

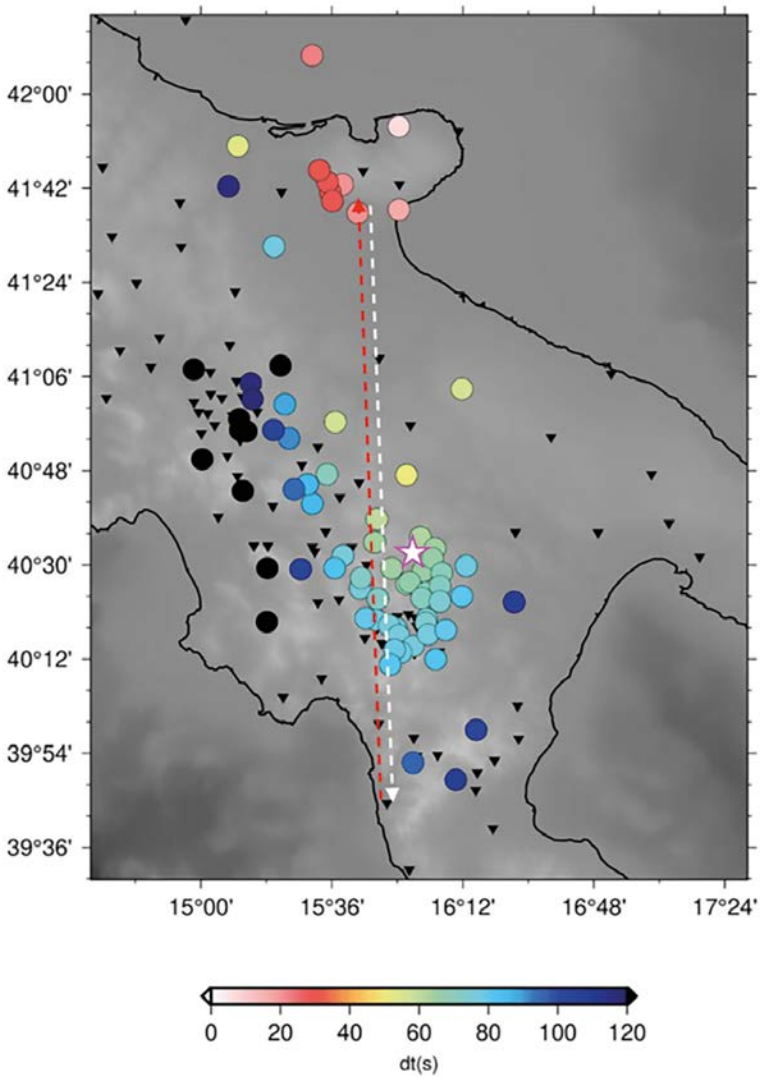


Figura 2 Rappresentazione in mappa dei tempi di ritardo relativi al primo arrivo dell'onda registrata dalle stazioni della Basilicata e della Rete Sismica Nazionale rispetto a un tempo di riferimento, da 0 secondi (bianco) fino a oltre 120 secondi (nero). La freccia bianca indica la risultante direzione di propagazione secondo la cronologia dell'arrivo della fase sismica; la freccia rossa mostra la direzione della traiettoria osservata del meteoroide, calcolata dall'INAF (rete Prisma[1]).

La bassa velocità apparente di propagazione durante l'attraversamento della rete sismica indica che si tratta di un'**onda di pressione che viaggia in atmosfera** e che, nel momento del contatto con la superficie terrestre, viene registrata come onda sismica. **L'onda di pressione è talmente energetica che viene osservata su sismogrammi a scala regionale**, un fatto che esclude l'ipotesi di una esplosione in cava e rende più probabile quella di un aereo militare o l'entrata in atmosfera di un meteoroide.

Dal punto di vista sismologico **il segnale generato da un meteoroide è ben noto**. La Figura 3 [Edwards et al., 2008] riassume la dinamica dell'entrata in atmosfera di un meteoroide e la generazione delle rispettive onde durante il suo viaggio verso la superficie terrestre. **La velocità di entrata in atmosfera è maggiore della velocità del suono** (~340 m/s) e viene quindi chiamata **ipersonica** (a). Lungo la traiettoria il meteoroide emette un fronte d'onda di pressione noto come *Cono di Mach*. Qualche volta il bolide si frammenta in maniera esplosiva, dovuto alle alte temperature prodotte dall'attrito con l'atmosfera (b). In funzione della massa finale del meteorite, l'impatto con la superficie terrestre può generare un'onda sismica (c).

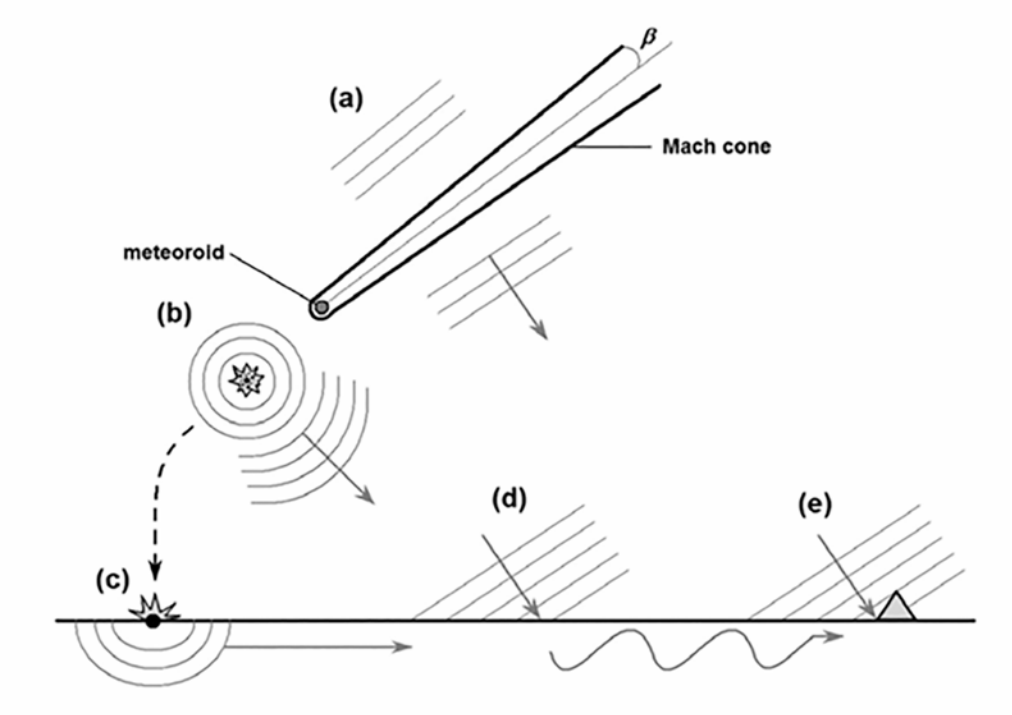


Figura 3 Schema della registrazione di onde sismiche e onde d'aria, dovuto a onde atmosferiche causate da un meteoroide (secondo Edwards et al. [2008]): a) generazione di onde d'urto durante l'entrata a velocità ipersonica; b) generazione dell'onda d'urto (shock wave) durante la frammentazione del meteoroide; c) generazione dell'onda sismica durante l'impatto del meteorite; d) precursore sismico generato dall'onda d'urto sul terreno (vedi testo); e) accoppiamento dell'onda di pressione con il terreno sottostante alla stazione sismica.

L'impatto dell'onda di pressione con il terreno crea un'onda sismica (d) che si propaga con le tipiche velocità della crosta terrestre (P, S, Rayleigh) può essere registrata alla stazione sismica (triangolo grigio in Figura 3) prima dell'arrivo dell'onda acustica diretta (e). La Figura 4 mostra un **esempio di forma d'onda delle fasi** (d), (e) registrata alla stazione sismica TP01 vicino a Gorgoglione in Basilicata.

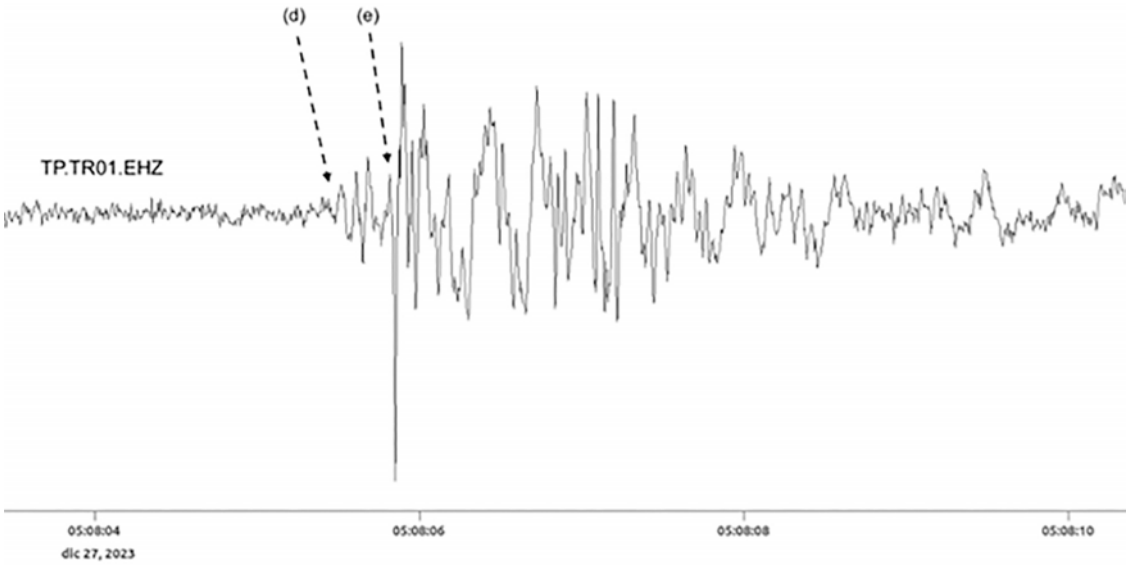


Figura 4 Registrazione delle fasi (d) (e) alla stazione TP01.

Risulta quindi più probabile che i segnali sismici registrati vengono generati da una sorgente acustica continua – o meglio come proposto da Edwards et al. [2008] – dal cono di Mach che si forma durante il volo della meteora con velocità supersonica (Figura 3).
Assumendo il caso dell'esplosione di un bolide in aria, l'ipocentro che risulta dall'inversione dei tempi d'arrivo alle stazioni sismiche, assumendo un modello di atmosfera semplice, risulta nella posizione della stella (Figura 2) ad una quota di circa 90 km. Dato che i residui del calcolo ipocentrale rimangono alti dopo l'inversione, sembra più probabile la registrazione del passaggio del cono di Mach (a in Figura 3) alle singole stazioni sismiche, come recentemente osservato in un evento simile [Olivieri et al., 2023].
Indicando con una scala di colori su mappa i tempi d'arrivo per ogni singola stazione e interpolando tali valori, si può ottenere un'idea sulla direzione di propagazione del bolide. Ordinando in modo cronologico i tempi d'arrivo alle stazioni si può osservare che la fase sismica registrata si propaga da Nord (N) verso Sud (S), lasciando immaginare una identica direzione di spostamento del meteoroide (freccia bianca in Figura 2).
Da una ricerca sul web, è stato possibile reperire **numerose testimonianze visive del fenomeno**: in particolare una **webcam installata a Campoli** (MT), con campo visivo in direzione est, **ha registrato il passaggio del meteoroide** e suggerisce una direzione di volo da S a N, direzione opposta rispetto alle osservazioni sismiche.
Per ottenere informazioni di dettaglio sul fenomeno che abbiamo osservato sulle stazioni sismiche, abbiamo interpellato i colleghi dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), che gestiscono la rete PRISMA (Prima Rete Italiana per la Sorveglianza Sistematica di Meteore e Atmosfera). Dalle analisi preliminari della rete PRISMA sono stati ottenuti i seguenti parametri:

ORA DI INGRESSO IN ATMOSFERA	2023-12-27 05:04:23 UTC
Coordinate iniziali	Latitudine: 39.6321°; Longitudine: 15.8512°; Altezza: 83.0 km
Coordinate finali	Latitudine: 41.6434°; Longitudine: 15.7728°; Altezza: 49.5 km
Lunghezza traiettoria visibile	228 km; Durata: 16.5 s
Inclinazione della traiettoria rispetto all'orizzonte	8.3°; Direzione: Sud -> Nord
Velocità pre-atmosferica del meteoroide (velocità di ingresso)	14.2 km/s
Massa pre-atmosferica stimata del meteoroide	5 kg (preliminare)
Dimensione pre-atmosferica stimata del meteoroide	15 cm (preliminare, assumendo una densità del meteoroide di 3.3 g/cm^3)

Tabella 1 Parametri rilevati dalla rete PRISMA[1].

Confrontando i dati ottenuti dalle due reti di osservazioni, sebbene la traiettoria abbia una direzione molto simile (vedi Figura 2), si nota una evidente incongruenza legata alla direzione di spostamento del meteoroide. Infatti la direzione di spostamento desunta dalle osservazioni ottenute dalla rete sismica (da N a S) è opposta a quella osservata dalla rete PRISMA, che indica da S a N. Per spiegare questa incongruenza (solo apparente) è stato necessario fare alcuni calcoli utilizzando i dati forniti dalla rete PRISMA.
Secondo i dati rilevati infatti, il meteoroide entra nel campo visivo ad una quota di 83 km, sotto un angolo di 8.3° rispetto all'orizzonte, e si propaga con una velocità di 14.2 km/s in direzione

N. La sua velocità è di Mach 42.64 quindi 42 volte maggiore rispetto alla velocità del suono. La visibilità dell'oggetto incandescente dura 16.5 s, una finestra temporale in cui la meteora percorre una traiettoria quasi orizzontale di 228 km e perde complessivamente 33.5 km di quota (altezza finale 49.5 km, vedi Tabella 1). La velocità di discesa verticale è determinata dal rapporto tra la differenza di quota (iniziale e finale di 33.5 km) e la durata di volo (16.5 s), e risulta quindi 2.03 km/s. Essendo la velocità di discesa (direzione verticale) sei volte più alta della velocità del suono (340 m/s), l'onda di pressione trasmessa in direzione verticale dal cono di Mach raggiunge la superficie terrestre prima. Di conseguenza il segnale di pressione arriva prima nei sismogrammi delle stazioni situate a N, con successivo ritardo nelle registrazioni delle stazioni sismiche poste più a sud. Questo meccanismo spiega la propagazione della fase sismica in direzione opposta rispetto alla traiettoria osservata, con una velocità apparente di circa 2.7 m/s. In Figura 5 è schematizzato il meccanismo che è stato appena descritto.

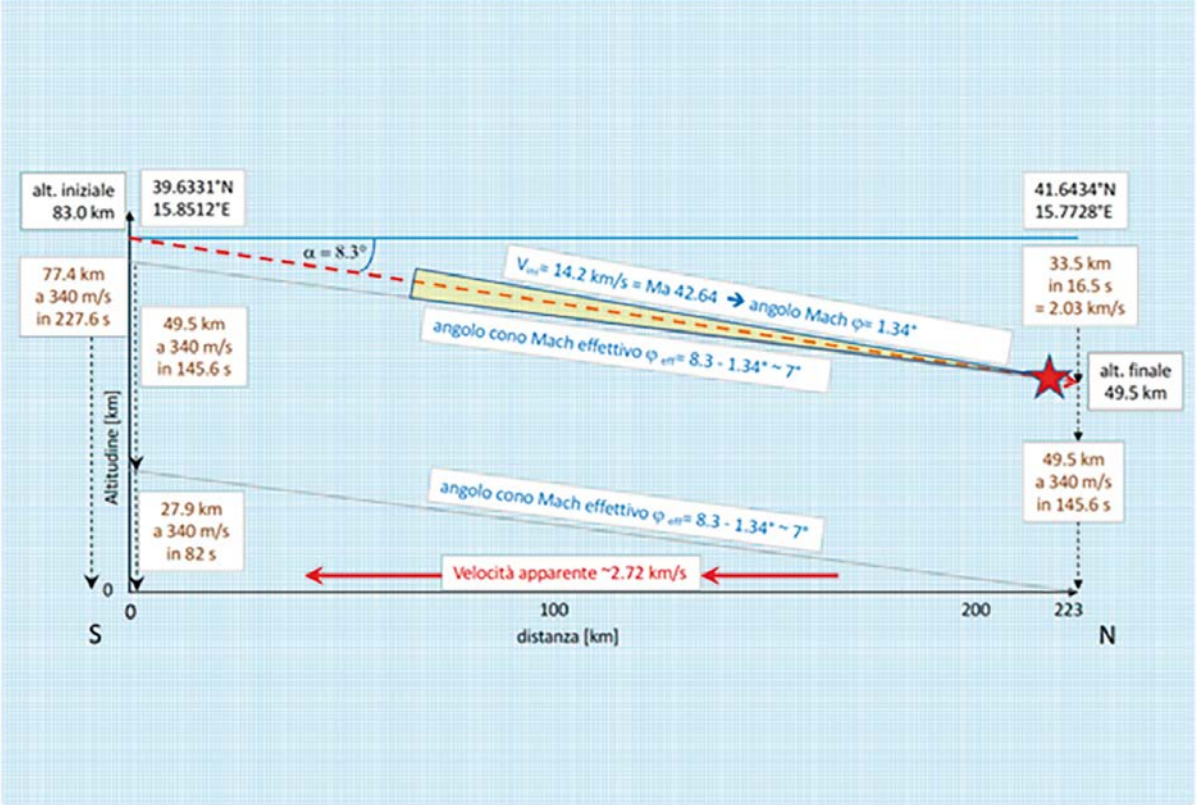


Figura 5 Schema che descrive la traiettoria del meteoroide (linea rossa tratteggiata) che entra a Sud ad una quota di 83 km con una velocità di 14.2 km/s, ed è visibile per 16.5 s in direzione N fino ad una quota di 49.5 km. Nella figura vengono riportati i parametri calcolati utilizzando i dati forniti dalla rete PRISMA. Come è possibile osservare, sebbene la traiettoria del meteoroide si muova da S verso N, le stazioni poste a N registrano il segnale prima di quelle poste a S, per effetto della propagazione del Cono di Mach e dell'angolo di incidenza al suolo del fronte di pressione. Le stazioni sismiche registrano un segnale che si propaga verso S alla velocità apparente di 2.7 km/s.

Tenendo conto del meccanismo appena descritto e dei parametri della traiettoria derivati dalle osservazioni della rete PRISMA, abbiamo calcolato i tempi teorici di arrivo di onde acustiche alle stazioni sismiche assumendo un valore medio e uniforme della velocità del suono nell'atmosfera (~343 m/s) e che **la generazione di onde acustiche sia un processo continuo lungo tutta la traiettoria del meteorite**. I residui di tempo calcolati come differenza tra il ritardo osservato e

quello teorico, sono stati poi confrontati con la traiettoria visibile del meteorite. Mentre i residui nelle stazioni localizzate lungo la traiettoria del meteorite (i.e., a sud dell'area, tra Basilicata e Calabria) sono molto contenuti, risulta particolarmente interessante l'alto residuo (negativo) nelle stazioni localizzate a N del punto finale della traiettoria osservata tramite la rete PRISMA (in particolare nella stazione OT14 (nel Gargano, che è quella dove si osserva il primo arrivo nei registri sismici e dove il tempo osservato è ~14s prima del tempo teorico) e nella stazione IV.TREM (isole Tremiti). Questa osservazione indica che la traiettoria del meteorite generatrice di onde acustiche vada oltre il punto finale di avvistamento identificato dalla rete PRISMA; infatti considerando una traiettoria più lunga (Figura 6) è possibile estendere a Nord la traiettoria per trovare il punto (localizzato a Nord del Gargano) fino al quale è possibile presumere la generazione di onde acustiche registrate nelle stazioni sismiche disponibili nella zona.

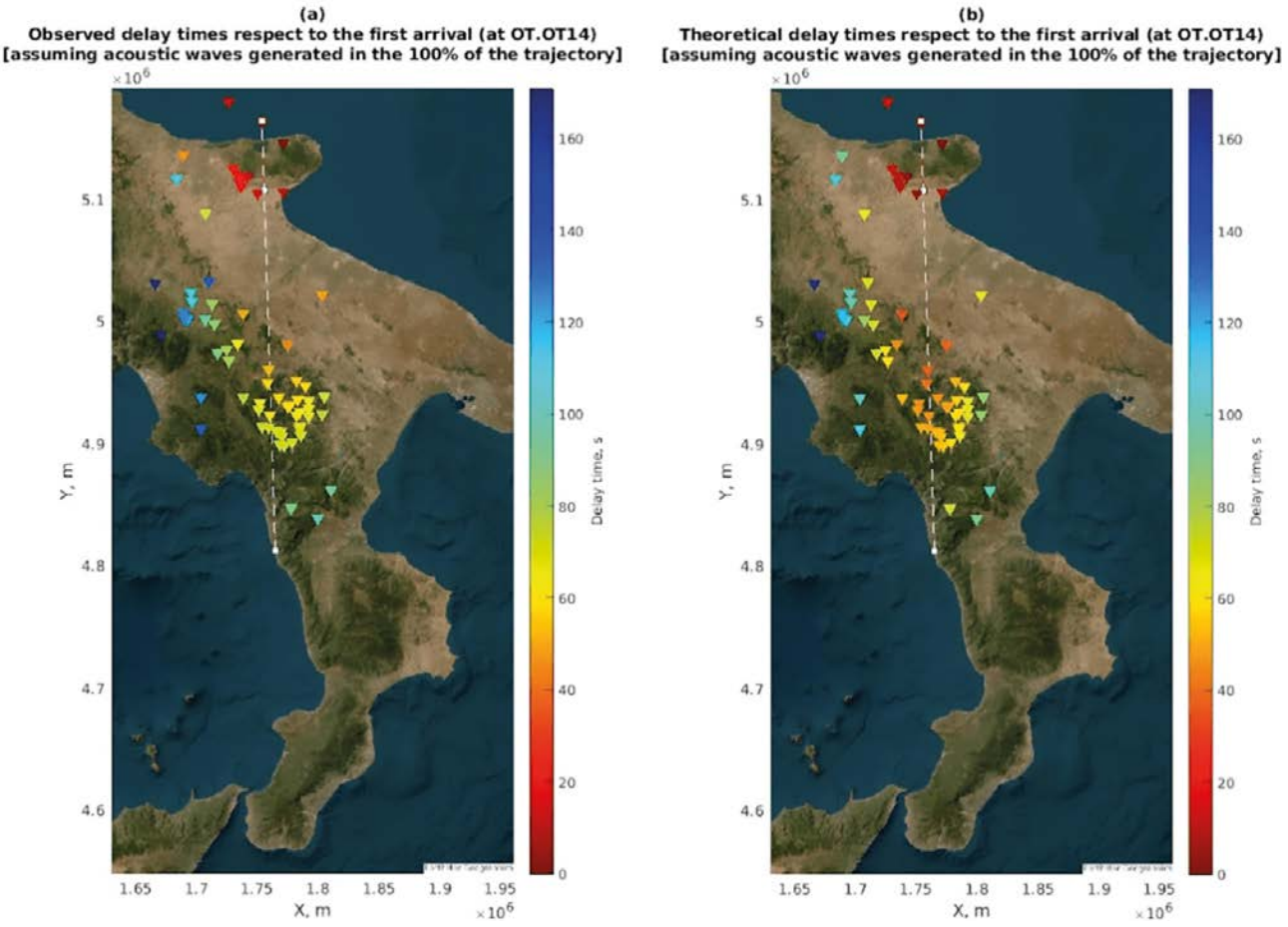


Figura 6 Rappresentazione in mappa dei ritardi relativi al primo arrivo dell'onda di pressione alle stazioni della Basilicata e della rete sismica nazionale rispetto a un tempo di riferimento (primo arrivo osservato alla stazione OT.OT14) considerando la traiettoria estesa (segmento in rosso oltre il punto finale della traiettoria visibile) del meteorite.

Bibliografia

Edwards W.N., Eaton D.W., and Brown P.G., (2008). *Seismic observations of meteors: Coupling theory and observations*. Rev. Geophys., 46, RG4007. https://doi.org/10.1029/2007RG000253

Heimann S.Á. González, Wang R., Cesca S., and Dahm T., (2013). *Seismic Characterization of the Chelyabinsk Meteor's Terminal Explosion*. Seis. Res. Lett., 84(6), pp. 1021-1025. https://doi.org/10.1785/0220130042

Olivieri M., Piccinini D., Saccorotti G., Barghini D., Gardiol D., Pino N.A., Ripepe M., Betti G., Lacanna G., and Arcidiaco L., (2023). *The optical, seismic, and infrasound signature of the March 5 2022, bolide over Central Italy*. Scientific Reports 13:21135. https://doi.org/10.1038/s41598-023-48396-8.

[1]PRISMA (Prima Rete Italiana per la Sorveglianza Sistematica di Meteore ed Atmosfera) è una collaborazione avviata e coordinata dall'INAF (Istituto Nazionale di Astrofisica) che coinvolge membri fra istituti di ricerca, università, associazioni e scuole in tutta Italia (https://www.prisma.inaf.it). PRISMA è partner della collaborazione internazionale FRIPON (Fireball Recovery and InterPlanetary Observation Network – https://www.fripon.org/). PRISMA è un progetto sostenuto da Fondazione CRT.

Pubblicato il 24 aprile 2024

QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595 http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/quaderni-di-geofisica.html/

I QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) accolgono lavori, sia in italiano che in inglese, che diano particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari che necessitano di rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. Per questo scopo la pubblicazione on-line è particolarmente utile e fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi. I QUADERNI DI GEOFISICA sono presenti in "Emerging Sources Citation Index" di Clarivate Analytics, e in "Open Access Journals" di Scopus.

QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) welcome contributions, in Italian and/or in English, with special emphasis on preliminary elaborations of data, measures, and observations that need rapid and widespread diffusion in the scientific community. The on-line publication is particularly useful for this purpose, and a multidisciplinary Editorial Board with an accurate peer-review process provides the quality standard for the publication of the manuscripts. QUADERNI DI GEOFISICA are present in "Emerging Sources Citation Index" of Clarivate Analytics, and in "Open Access Journals" of Scopus.

RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941 http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/rapporti-tecnici-ingv.html/

I RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico come manuali, software, applicazioni ed innovazioni di strumentazioni, tecniche di raccolta dati di rilevante interesse tecnico-scientifico. I RAPPORTI TECNICI INGV sono pubblicati esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) publish technological contributions (in Italian and/or in English) such as manuals, software, applications and implementations of instruments, and techniques of data collection. RAPPORTI TECNICI INGV are published online to guarantee celerity of diffusion and a prompt access to published data. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651 http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favorisce la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV. In particolare, MISCELLANEA INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli, ecc. La pubblicazione è esclusivamente on-line, completamente gratuita e garantisce tempi rapidi e grande diffusione sul web. L'Editorial Board INGV, grazie al suo carattere multidisciplinare, assicura i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi sottomessi.

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favours the publication of scientific contributions regarding the main activities carried out at INGV. In particular, MISCELLANEA INGV gathers reports of scientific projects, proceedings of meetings, manuals, relevant monographs, collections of articles etc. The journal is published online to guarantee celerity of diffusion on the internet. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

Coordinamento editoriale
Francesca DI STEFANO
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Progetto grafico
Barbara ANGIONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Impaginazione
Barbara ANGIONI
Patrizia PANTANI
Massimiliano CASCONE
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

©2024
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata, 605
00143 Roma
tel. +39 06518601

www.ingv.it

Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Finito di stampare nel mese di settembre 2024
presso le Industrie Grafiche della Pacini Editore Srl
Via A. Gherardesca • 56121 Ospedaletto • Pisa
Telefono 050 313011
www.pacinieditore.it



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

