



Consiglio Nazionale delle Ricerche

**ibam**  
ISTITUTO ITALIANO DI  
STUDIO E RICERCA IN  
ARCHITETTURA E PAESAGGIO



MINISTERO PER I BENI  
E LE ATTIVITÀ CULTURALI

Direzione Regionale per i Beni Culturali e  
Paesaggistici della Basilicata  
Archivio di Stato di Potenza

# dalle Fonti

# all'Evento

Percorsi, strumenti e metodi per l'analisi del terremoto  
del 23 luglio 1930 nell'area del Vulture

*prefazione di Dario Albarello*

a cura di **Fabrizio Terenzio Gizzi e Nicola Masini**



Edizioni Scientifiche Italiane

## ESTRATTO VOLUME MONOGRAFICO

### *Citabile come:*

Esposito E. & Porfido S. (2010). Gli effetti cosismici sull'ambiente fisico per la valutazione della vulnerabilità del territorio. 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*, 129-142. Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane. ISBN 978-88-495-2050-7.

# Gli effetti cosismici sull'ambiente fisico per la valutazione della vulnerabilità del territorio

E. Esposito & S. Porfido

**Riassunto.** Il terremoto Irpino del 23 Luglio 1930 ( $I_0=10$  MCS scala;  $M_s=6.7$ ;  $I_0=10$  ESI 2007 scale) fu un evento catastrofico che produsse numerosi effetti geologici sull'ambiente naturale. L'evento colpì una vasta area di 36.000 km<sup>2</sup> compresa tra Campania, Basilicata e Puglia. La ricostruzione degli effetti cosismici indotti dal terremoto è stata effettuata mediante l'analisi delle fonti storico-archivistiche e di contributi tecnico-scientifici dell'epoca. L'interpretazione delle fonti ha portato alla definizione del campo degli effetti sismoindotti in cui è stato possibile ricostruire la lunghezza e l'orientazione della fagliazione superficiale (effetto primario), dei fenomeni di fratturazione, dei fenomeni gravitativi, di significativi fenomeni di variazione idrologica e fenomeni di compattazione del terreno (effetti secondari). La rilettura in chiave sismotettonica degli effetti geologici rappresenta un valido strumento di back-analysis sia per misurare la severità dell'evento sismico in termini di intensità ed estensione, sia per la valutazione della vulnerabilità dell'ambiente fisico e, infine, per la previsione di un futuro comportamento del territorio sottoposto ad azione sismica.

**Parole chiave:** *Effetti Sismoindotti, Intensità, Vulnerabilità dell'ambiente fisico, Appennino meridionale, Terremoto 1930*

**Abstract.** The 23 July 1930 earthquake ( $I_0=10$  MCS scale;  $M_s=6.7$ ;  $I_0=10$  ESI 2007 scale) occurred in the most seismic part of the Southern Apennines. The earthquake affected a very wide area of 36.000 km<sup>2</sup>, comprising the regions of Campania, Puglia and Basilicata. The studies of seismically-induced ground effects benefited from detailed descriptions of the seismic event from numerous historical and scientific sources, and allowed recognition of primary effects (surficial faulting), secondary effects (fractures, landslides, settlements, hydrological changes, variations in the chemical and physical activity related to the volcanic and/or thermal zones). A NW-SE trending fracture 38 kilometers long with a displacement up to 40 cm was interpreted to be a fault reactivation. The earthquake caused many sliding phenomena, which mainly affected the rural area and, to a lesser extent, the towns around the epicentral area. The comparison between the bibliographic sources and the unpublished reports allowed us to draft the map of the coseismic geological effects: landslide phenomena, hydrological anomalies, soil fractures and surficial tectonic breaks. Seismically induced environmental effects are assumed to provide fundamental information on the earthquake size and its intensity field, crucial for a more efficient seismic hazard assessment, and for improving the efficiency of emergency intervention and urban/land planning.

**Keywords:** *Seismically-induced ground effects; Intensity, Natural hazard, Southern Apennines; 1930 earthquake*

## 1 - Terremoti ed effetti sismoindotti

Nella valutazione della pericolosità sismica diviene sempre più importante la conoscenza della sismogenesi ed in particolare della definizione spaziale di faglie potenzialmente generatrici di forti terremoti. In Italia la pericolosità sismica viene per lo più stimata sulla base di mappe probabilistiche dello scuotimento atteso e, solo negli ultimi anni sono stati avviati studi e progetti di ricerca mirati all'indivi-

duazione di nuovi parametri, di natura più strettamente geologica, che contribuiscono ad un miglioramento delle stime di pericolosità del territorio nazionale. Infatti, la qualità e la disponibilità dei dati necessari per tali valutazioni variano fortemente in dipendenza del modello sismotettonico adottato che, basandosi essenzialmente su dati provenienti da cataloghi sismici storici e strumentali trascurano in modo sostanziale le evidenze geologico-strutturali e geofisiche. D'altra parte il record geologico rappresenta uno strumento di lavoro indispensabile per il miglioramento dei modelli sismotettonici di base, in quanto permette una corretta collocazione e caratterizzazione delle faglie capaci e per la valutazione complessiva dell'hazard naturale soprattutto in aree densamente popolate ed industrializzate come il territorio italiano. Il terremoto, di fatto, produce effetti permanenti e documentabili sull'ambiente naturale sia per eventi di notevole magnitudo, dove tali effetti si manifestano in forma macroscopica (fagliazioni superficiali, fenomeni di subsidenza, uplift, etc.) sia per eventi di bassa magnitudo (variazioni idrologiche, fenomeni di fratturazione e frane). L'importanza degli effetti geologici indotti dai terremoti per la comprensione dell'hazard sismico è stata enfatizzata da vari autori (Slemmons & De Polo, 1981; Keefer, 1984; Dengler & McPherson, 1993; Serva, 1994; Wells & Coppersmith, 1994; Esposito *et al.*, 1997a; Rodriguez *et al.*, 1999; Hancox *et al.*, 2002; Michetti *et al.*, 2004; Salomon, 2004; Lalinde & Sanchez, 2007; Michetti *et al.*, 2007). Studi recenti sulle dimensioni e distribuzione degli effetti geologici indotti dai terremoti sull'ambiente fisico hanno evidenziato la stretta relazione tra la "grandezza" del terremoto ed il campo macrosismico, permettendo una più esaustiva stima dell'intensità macrosismica esclusivamente basata sul danneggiamento subito dal patrimonio edilizio (Guerrieri *et al.*, 2007; Porfido *et al.*, 2007; Serva *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2008; Ota *et al.*, 2009; Papanikolaou *et al.*, 2009). Gli ultimi grandi terremoti che hanno colpito l'Asia, come ad esempio il terremoto del 14 novembre 2001 (Ms 8.1) C unlun (Tibet), gli eventi di Sumatra (Indonesia) dal 2004 al 2009 (con Ms da 8 a 9.3) ed il terremoto di Sichuan (Cina) del 12 maggio 2008 (Ms 8), hanno prodotto veri e propri sconvolgimenti naturali con modificazione topografica del territorio, fagliazioni superficiali da 300 a 1000 chilometri, oltre all'insorgere di migliaia di fenomeni geologici secondari, come liquefazioni, frane, fratture, tsunami etc. Gli eventi sismici dell'ultimo ventennio in Italia, caratterizzati da magnitudo medio-basse, che hanno interessato l'appennino centro-meridionale (sequenza sismica 1997-1998 dell'Umbria-Marche (M=6), terremoto del 2002 di San Giuliano-Molise (M=5.8) e la sequenza sismica abruzzese del 2009 (M=6.3), hanno indotto numerosi e diversificati effetti geologici sia di natura primaria che secondaria, investendo ampie aree territoriali e comportando, in alcuni casi, un ulteriore aggravio del danneggiamento. Un esempio rappresentativo riguarda la sequenza aquilana, in cui la faglia di superficie localizzata a Paganica, ha prodotto numerosi danneggiamenti alle infrastrutture (strade e acquedotto) nonché a tutte le abitazioni edificate sulla faglia già individuata nella cartografia geologica come *capace* (Blumetti *et al.*, 2009; EMERGE, 2009; Guzzetti *et al.*, 2009; Carta Geol. d'Italia, 2006).

## 2 - Stato delle conoscenze

Per il terremoto Irpino del 23 luglio 1930 esiste una consistente letteratura scientifica contemporanea all'evento che permette di elaborare un quadro soddisfacente relativo agli aspetti più strettamente sismologici. In questo lavoro è stata analizzata gran parte della letteratura esistente focalizzando l'attenzione sulle

pubblicazioni utili all'individuazione degli effetti sismoindotti, non trascurando, comunque il contesto macrosismico che fornisce indirettamente informazioni sulla zona sorgente, sull'arealità delle isosiste e la direzione di massima propagazione degli effetti. Tali indicazioni risultano indispensabili sia nella *ricerca a posteriori* di eventuali effetti geologici sia per la definizione dei rapporti reciproci tra tipologia di effetto geologico e intensità locale (Michetti *et al.*, 2007). Tra i primi sopralluoghi effettuati all'indomani del terremoto è da citare quello di G. B. Alfano, direttore dell'Osservatorio di Pompei, i cui risultati furono pubblicati nell'opuscolo *Il terremoto Irpino del 23 luglio 1930*, in cui l'Autore descrive, in chiave macrosismica, i danni subiti dai paesi più colpiti dell'Alta Irpinia, basandosi su osservazioni dirette, fonti giornalistiche e bibliografiche contemporanee all'evento sismico, e su notizie raccolte mediante una "circolare" inviata dallo stesso Autore a duecento paesi ricadenti nella zona mesosismica. I risultati dell'analisi effettuata da Alfano (1930, 1931) vengono sintetizzati nella carta delle *Isosisme del terremoto*, dove sono riconoscibili le aree di massimo danneggiamento nei comuni di Villanova del Battista (AV), Treviso (AV), Aquilonia (AV), Lacedonia (AV), con intensità pari al IX-X grado della scala MCS. La zona epicentrale, racchiusa dalle isosisme dell'VIII-IX grado, presenta una forma di ellisse irregolare allungata in direzione NW-SE con asse maggiore della lunghezza di 65 km (da Buonalbergo a Rionero in Vulture) ed un asse minore di circa 25 km. Il campo macrosismico presenta inoltre una vasta area di amplificazione degli effetti sismici in direzione della piana Campana, mentre una rapida attenuazione dell'intensità si registra in direzione della Fossa Bradanica. Una veloce descrizione viene riservata agli effetti geologici indotti dal sisma, infatti l'Autore sotto la tipologia "crepacci", descrive di fatto i numerosi e diversificati fenomeni occorsi nell'area epicentrale (interpretati in questo lavoro come fratture, frane e fratturazioni superficiali), mentre ampio spazio viene riservato ai fenomeni luminosi e sonori osservati in varie località.

Analoghi rilevamenti furono effettuati da E. Majo, pubblicati nel 1931 nella rivista del Bollettino della Società dei Naturalisti in Napoli. L'Autrice effettua una dettagliata descrizione geologica dell'area epicentrale corredata dal tracciamento del campo macrosismico che presenta un andamento più regolare delle isosiste rispetto a quelle di Alfano, ma con andamento generale del tutto simile (NW-SE). Tra gli effetti geologici indotti dal sisma l'Autrice descrive in dettaglio le variazioni idrologiche delle sorgenti minerali di Telesse (BN), delle sorgenti di Caposele (AV) e l'aumento dell'attività endogena nei Campi Flegrei (Majo, 1931a,b). Una prima interessante correlazione tra la distribuzione dei danni e la tettonica regionale viene proposta da C. Crema in *Il terremoto del 1930 nell'Italia Meridionale e la geotettonica della sua area*, nel 1933, in cui le aree di maggiore danneggiamento risultano orientate in direzione Appenninica, cioè secondo le direzioni delle principali dislocazioni tettoniche. Una ricca descrizione, per lo più relativa ai fenomeni gravitativi, viene invece fornita dallo stesso Autore nel lavoro *Relazioni tettoniche del terremoto del 23 luglio 1930, nell'Italia Meridionale* (1931).

Ancora, lo studio di J. R. Freeman, *The Italian earthquake of July 23, 1930*, fornisce indicazioni dell'area maggiormente danneggiata mediante osservazioni dirette effettuate subito dopo il terremoto. Nella relazione l'Autore descrive in dettaglio i limiti dell'area epicentrale individuando una decina di località con livello di danneggiamento elevato. Anche in questo caso l'area mesosismica presenta un andamento ellissoidale con direzione NW-SE, in accordo con Alfano e Majo.

Venanzio Vari nella pubblicazione *Il terremoto dell'Alta Irpinia (23 luglio 1930)*, oltre alla descrizione più prettamente sismologica, si sofferma sull'analisi dei fenomeni gravitativi che interessarono soprattutto la provincia di Benevento.

Tra tutti i contributi esaminati quello di E. Oddone può considerarsi come lo studio di riferimento, sia per la ricostruzione macrosismica del danneggiamento, sia per le correlazioni degli elementi strutturali rilevati in superficie con i lineamenti tettonici regionali. Tra le diverse relazioni redatte dall'Autore particolare interesse riveste quella inviata al Ministro dell'Agricoltura e Foreste, dal titolo *Studio sul terremoto avvenuto il 23 luglio 1930 nell'Irpinia* (1932), effettuata in qualità di funzionario dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geofisica come responsabile del rilevamento degli effetti prodotti dal sisma. In quest'ultima l'Autore pone particolare attenzione ai fenomeni di fagliazione superficiale descrivendone accuratamente le caratteristiche peculiari e la localizzazione.

Tra gli autori contemporanei all'evento infine, Celentani Ungaro, direttore dell'Acquedotto pugliese, nella relazione *Effetti del terremoto Irpino del 23 luglio 1930-VIII sulle opere dell'acquedotto pugliese*, mette in evidenza l'influenza del terremoto sulle portate delle sorgenti che alimentano l'acquedotto.

Completano il quadro delle informazioni anche altre pubblicazioni, generalmente a carattere sismologico come quelle di De Lorenzo (1930), Ricciardelli (1930), Vitale (1930), Martinelli (1931), Muchketoff (1934) e l'analisi di fonti giornalistiche coeve all'evento sismico, nonché fonti storiografiche ed archivistiche.

Infine, sono state considerate anche le rielaborazioni effettuate in tempi più recenti, come quelle proposte da Spadea *et al.*, 1985, Castenetto & Sebastiano 2002, Gizzi & Masini 2006 e 2007; Porfido *et al.*, 2007; Serva *et al.*, 2007; Esposito *et al.*, 2009.

### 3 - Gli effetti geologici del terremoto del 23 luglio 1930

Il terremoto del 23 luglio 1930 interessò un territorio compreso tra il Golfo di Napoli, la Piana del Volturno, fino alle estremità settentrionali delle Murge baresi. L'area maggiormente colpita, racchiusa dalle isosiste comprese tra il X e l'VIII grado MCS, presenta una forma ellissoidale allungata in direzione appenninica che si estende per oltre 6000 km<sup>2</sup>. Lungo l'asse maggiore si allineano gli abitati più gravemente danneggiati con intensità compresa tra il IX ed il X grado della scala MCS, Ariano Irpino (AV), Lacedonia (AV), Villanova del Battista (AV), Scampitella (AV), Treviso (AV) ed Aquilonia (AV). Secondo le stime ufficiali il numero delle vittime ascese a 1404, i feriti 4624, i senzatetto circa 100.000 (Spadea *et al.*, 1985). Per la ricostruzione degli effetti indotti sull'ambiente fisico dal terremoto del 23 luglio 1930 ci si è basati sulla vasta bibliografia a carattere tecnico-scientifico consistente in un centinaio di pubblicazioni-relazioni tecniche, non trascurando le fonti archivistiche, giornalistiche ed iconografiche, reperite presso gli Archivi di Stato di Napoli, Avellino e Salerno, la Biblioteca Nazionale "Vittorio Emanuele III", comprensiva dell'Emeroteca, l'Emeroteca Tucci di Napoli ed il Genio Civile di Avellino, il tutto integrato con l'analisi delle foto aeree, nuovi rilevamenti sul terreno e mediante il contributo di testimonianze dirette (Esposito *et al.*, 1998, 2000, 2001; Porfido *et al.*, 2002).

L'analisi delle fonti ha portato al riconoscimento di effetti primari, quali fenomeni di fagliazione superficiale, ed effetti secondari, quali campi di fratturazione, frane, costipamenti, variazioni idrologiche, variazioni dell'attività chimico-

fisica legata a zone vulcaniche e/o termali, e subordinatamente fenomeni acustici e luminosi.

### 3.1 - Effetti primari

Lo studio analitico di tutte le fonti storiche reperite ha permesso di riconoscere, tra gli effetti indotti dal sisma, elementi tettonici associabili a fenomeni di fagliazione superficiale perfettamente correlabili con l'energia del terremoto in questione. Tra le diverse documentazioni esaminate quelle di maggiore interesse, per le nostre finalità, sono state le relazioni redatte da Oddone tra il 1930 e 1932. Emilio Oddone conduce un accurato lavoro di osservazione degli effetti causati dal terremoto già a partire dal 27 luglio visitando, comune per comune, l'area mesosismica e riportando i dati di danneggiamento sul patrimonio edilizio interpretati secondo la scala Forel-Rossi-Mercalli, ed approfondendo alcuni aspetti interpretativi con considerazioni sismologiche, macrosismiche, geologiche e tettoniche, che risultano tutt'ora di sorprendente attualità. Tra le diverse fonti storiche reperite particolare importanza rivestono alcune fotografie che ritraggono “fenditure” di notevole estensione dove è possibile stimare una consistente dislocazione nei pressi di Villanova del Battista, Macchia di Faratro e lungo la strada Lacedonia-Rocchetta S. Antonio (Fig. 1).



**Fig. 1** - Lacedonia 1930. Fenomeni di fagliazione superficiale nei territori compresi tra Lacedonia e Rocchetta S. Antonio (cortesia di Image Service, Lacedonia).

Nella descrizione dei fenomeni di fagliazione superficiale osservati nell'area epicentrale, Oddone oltre a sottolineare la natura geologica dei luoghi visitati, evidenzia anche altri fenomeni geologici secondari: *I paesi più duramente colpiti sono quelli costruiti sui rivestimenti pleistocenici, sull'alto di colline circondate da franosi burroni. Il terremoto ha lavorato queste terre, ha suscitato frane, faglie e fratture, ben assecondata la sua opera distruttrice, dalla difettosa costruzione di gran parte delle abitazioni ...*

*Molte fratture, correvano lunghe e terribili da sud-est a nord-ovest, parallele alla catena appenninica, parallele cioè all'asse maggiore dell'ellisse epicentrale. Interessavano specie il pliocene*

(...) Sarebbe di grande interesse (...) sapere se il terreno centrale, limitato dalle fratture, per esempio quello tra Rocchetta, Aquilonia, Bisaccia ed Ariano, subì uno spostamento permanente di massa ... (Oddone, 1931).

San Sossio (...) La scossa fu prima sussultoria di pochi secondi, poi ondulatoria lunga 60s. La direzione fu detta E-W, però avendo visto una faglia correre nel campo del comune in direzione SSW-NNE penso che l'azimut del moto sia stato ESE-WNW (...) La strada a sud è tagliata da una paurosa faglia, un vero crepaccio che funestamente attraversa Flumeri dirigendosi tra Villanova Battista ed Ariano. Segue un percorso di molti chilometri, e noi l'avevamo già notato nel nostro primo percorso tra Ariano e Villanova. In Campagna le case coloniche che si incontrano sul suo percorso furono rase al suolo. Alcuni dicono che le faglie erano due, pressoché parallele (...) Noi abbiamo seguito per vari chilometri queste fratture, al formarsi delle quali, le case sovrastanti si aprivano come colpite dall'ascia, mentre le vicine si mostravano soventi indenne (...) È evidente che le faglie osservate hanno contribuito potentemente alla distruzione dei paesi, ma esse non sono che il contraccollo di un processo ben più profondo ... (Oddone, 1932).

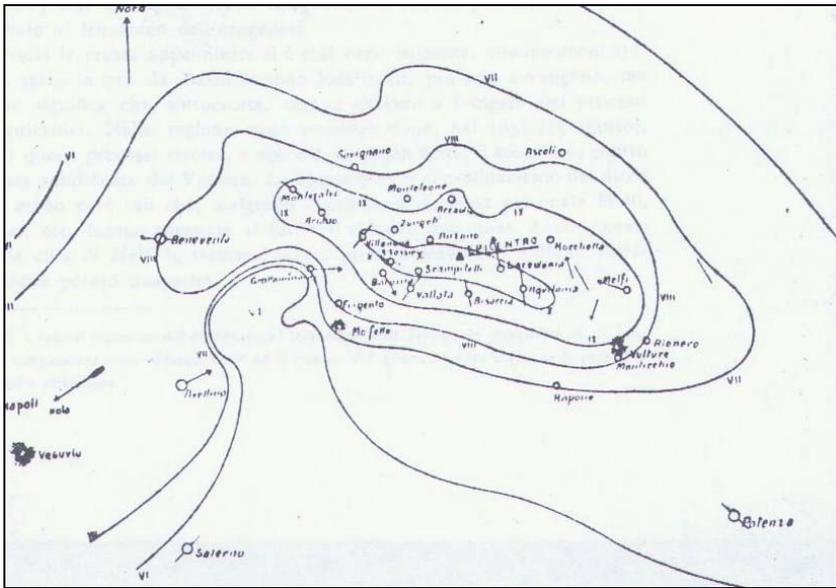


Fig. 2 - Oddone (1931). Linee isosisme nel terremoto del 23 luglio 1930. I simboli riportati in carta indicano le direzioni del moto.

Dall'analisi del testo è evidente che lo stesso Oddone rileva la presenza di diversi segmenti di faglia superficiali che si estendono in un tratto compreso tra Ariano Irpino ed Aquilonia. La situazione geologica locale, ci troviamo in presenza di affioramenti plioleistocenici plastici e fortemente deformabili, che non conservano comunque il record geologico, non permette di riconoscere attualmente in superficie la traccia di tale elemento tettonico. L'esistenza e l'individuazione della faglia capace deve quindi necessariamente basarsi sulle informazioni storiche a disposizione e sull'elaborazione delle stime di sismologia non strumentale oltre che sulla conoscenza acquisita del comportamento di sismi di forte intensità. Per la stima dei parametri focali ci si è, quindi, basati sulla metodologia macrosismica che analizza la forma e l'orientazione delle isosiste di grado più ele-



Questo è il caso di Aquilonia, piccolo centro della provincia di Avellino, interessato da una estesa frana indotta dal terremoto del 1930, che trascinò con sé buona parte delle abitazioni in contrada San Pietro (Fig. 4).

Lo stesso Oddone descrive l'abitato come *adagiato su una collina che frana nella sua parte settentrionale* e, per questi motivi, con Decreto Regio del 3 agosto 1930, il comune fu totalmente trasferito e riedificato in un'area più stabile poco distante dalla precedente.

A sud del centro abitato di San Giorgio la Molara (BN), si riattivò uno scorrimento rotazionale-colata, di 1 km di fronte lungo il fiume Tammaro e 3 km di lunghezza verso monte, ostruendo temporaneamente il corso del fiume (Vari, 1931). Ariano Irpino, Bisaccia, Buonalbergo, Calitri, Castelbaronia, San Sossio Baronia, Savignano Irpino, Scampitella, Vallata e Montecalvo Irpino, in provincia di Avellino, furono interessati da movimenti franosi sia nei pressi di aree abitate sia in aree rurali, che provocarono danni e sconcerto nelle popolazioni (Oddone, 1931). Nel cimitero di Lacedonia (AV) si osservarono crepacci e fratture beanti della larghezza di diversi centimetri, mentre nei pressi della stazione di Rocchetta S. Antonio (FG) una frana interessò anche il ponte sul fiume Ofanto (Tab. 1). Movimenti franosi si osservarono anche nella parte bassa di Melfi (Oddone, 1931). Nei pressi di Acerenza (PZ), al margine dell'area dell'isosista di VIII grado, si riattivarono fenomeni franosi immediatamente dopo il terremoto (Archivio di Stato di Potenza).

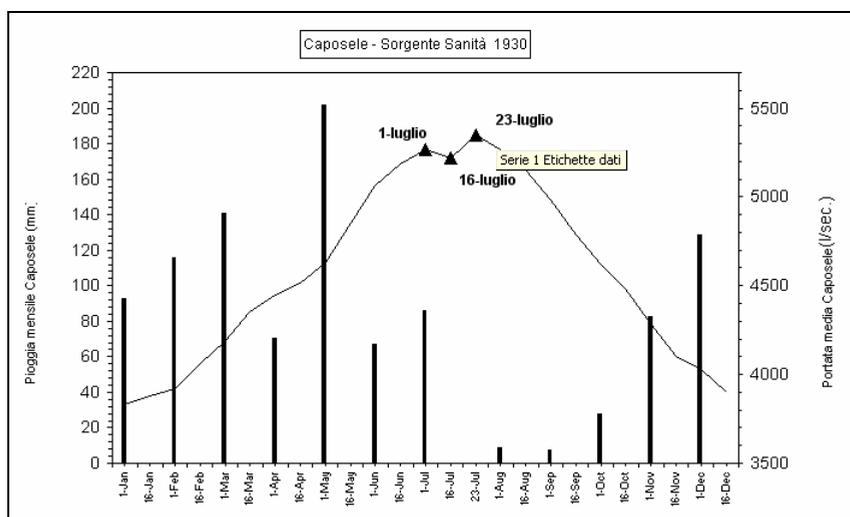


**Fig. 4** - Contrada San Pietro, Aquilonia vecchia. Fenomeni franosi del tipo scorrimento rotazionale-colata indotti dal terremoto del 1930 (cortesia del Museo etnografico di Aquilonia).

A Bisaccia, oltre a numerosi fenomeni franosi verificatisi in corrispondenza dei ripidi versanti, furono osservati fenomeni di costipamento della massa con-

glomeratica su cui poggia il centro storico (Genio Civile di Avellino, 1930; Oddone, 1931). Fenomeni di fratturazione hanno interessato prevalentemente l'area epicentrale, spesso associati ad altri fenomeni sismoindotti. Fratture di lunghezza fino ad alcune centinaia di metri, furono osservate in alta Irpinia, in prossimità dei rilievi del Formicoso e di Serralonga, nelle vicinanze e nei centri abitati di Bisaccia, Aquilonia, Melfi, Monteverde, Lacedonia, San Sossio Baronia, Zungoli e Rocchetta S. Antonio (Tab. 1).

Tra i fenomeni secondari occupano un ruolo predominante le variazioni idrologiche osservate nelle sorgenti, nei pozzi, e misurate nelle stazioni idrometriche delle aste fluviali dei principali fiumi e torrenti dell'Appennino meridionale, sia sul versante tirrenico sia sul versante adriatico (Tab. 1). Sono state individuate 39 variazioni idrologiche distribuite nel *near* e nel *far field* (Esposito *et al.*, 2009).



**Fig. 5** - Caposele. Anomalia idrologica positiva registrata nella sorgente Sanità di Caposele a seguito del terremoto del 1930 (modificato da Esposito *et al.*, 2000).

Anomalie significative nelle portate delle sorgenti furono osservate prima, durante e dopo l'evento sismico, tra gli esempi più eclatanti basta ricordare le anomalie rilevate presso la sorgente Sanità di Caposele (portata media di 4000 l/s) situata a 22 km dalla faglia, che alcuni giorni prima del terremoto fece registrare un netto decremento della portata, nonostante le piogge verificatisi nelle settimane precedenti, cui fece seguito, nei giorni immediatamente successivi all'evento sismico, un incremento di portata di 150 l/s, pari al 3% della portata media, che perdurò alcune settimane (Fig. 5). Importanti variazioni di portata furono osservate a Vallata, Aquilonia (AV) e Telese (BN). Variazioni nell'attività endogena fu osservata nell'area vulcanica dei Campi Flegrei (Alfano, 1931; Majo, 1931; Porfido *et al.*, 2002, 2004).

Località	Tipologia di effetto	Distanza dalla faglia (km)	I <sub>MCS</sub>	I <sub>ESI</sub>
Acerenza	Frana	49	7-8	8
Alfedena (Rio Torto)	Variazioni Idrologiche	106	3	3
Andretta	Fagliazione Sup./Frana/Fratture	7	7	7
Anzano di Puglia	Frana	9	9-10	?
Apice	Frana	11	8	>4
Aquilonia (sorg. M. Guardia)	Frana/Fratture/Variazioni Idrologiche	5	10	8
Ariano Irpino	Frana/Fratture	2	8	10
Ascoli Satriano	Frana	30	8	7
Atella (F. Atella)	Variazioni Idrologiche	21	8	5
Atella (falda freatica)	Variazioni Idrologiche	22	8	>4
Bacoli (stufe di Nerone)	Variazioni Idrologiche	91	6	4
Bisaccia	Compattazione/Frana/Fratture	2	8	8
Boiano (sorg.)	Variazioni Idrologiche	62	3	4
Bucciano (pozzo)	Variazioni Idrologiche	42	7	5
Buonalbergo	Frana	11	8	7
Calitri	Frana	9	8	7
Capo Canale (F. Sagittario)	Variazioni Idrologiche	142	3	3
Caposele (sorg. Caposele)	Variazioni Idrologiche	22	6	5
Carife	Frana	4	8	7
Castelbaronia	Frana	4	9	7
Cervaro	Variazioni Idrologiche	80	6	4
Contursi (Contursi)	Variazioni Idrologiche	41	5	4
Durazzano	Frana	52	8	7
Flumeri	Fagliazione Superficiale/Frana	2	8-9	10
Guardialfiera (Biferno)	Variazioni Idrologiche	92	5	4
Lacedonia	Frana/Fratture	9	10	7
Maraone (Pescara)	Variazioni Idrologiche	150	3	3
Melfi	Frana/Fratture	21	9	7
Mercaldi Vecchio (pozzo)	Variazioni Idrologiche	63	6	4
Molina (Aterno)	Variazioni Idrologiche	154	3	3
Montecalvo Irpino	Frana/Fratture	6	9	9
Montenero (Zittola)	Variazioni Idrologiche	102	3	3
Mortelito (pozzo)	Variazioni Idrologiche	37	7	5
Petrulla (pozzo)	Variazioni Idrologiche	62	7	4
Pomigliano (pozzo)	Variazioni Idrologiche	100	6	3
Pontelatone (sorg.Pila)	Variazioni Idrologiche	84	7	4
Pozzuoli (Solfatara)	Variazioni Idrologiche	86	6	4
Procida (pozzo)	Variazioni Idrologiche	97	6	4
Rapolla	Frana	22	8	7
Rocca S. Felice (Mefite)	Variazioni Idrologiche	13	8	?
Rocchetta S. A.(sorg.)	Variazioni Idrologiche	17	9	>4
Rocchetta S. Antonio	Frana/Fratture/Variazioni Idrologiche	14	9	8
S. Giorgio la Molarra	Frana/Fratture/Variazioni Idrologiche	19	7	8
S.Valentino Torio(Sarno)	Variazioni Idrologiche	58	7	4
S.Sossio Baronia	Fagliazione Superficiale/Frana	0	8	10
Sarno (sorg.Rio Palazzo)	Variazioni Idrologiche	62	7	4
Savignano Irpino	Frana	14	8	7

Località	Tipologia di effetto	Distanza dalla faglia (km)	I <sub>MCS</sub>	I <sub>ESI</sub>
Scafa (F. Lavinio)	Variazioni Idrologiche	153	3	3
Scafa (F. Pescara)	Variazioni Idrologiche	150	3	3
Scampitella di Trevico	Frana/Fratture/Variazioni Idrologiche	7	9-10	9
Scanno (F. Tasso)	Variazioni Idrologiche	127	4	3
Serino (sorg. Urciuoli, Sabat)	Variazioni Idrologiche	36	6	4
Stretta di Occhito (F. Fortore)	Variazioni Idrologiche	55	5	4
Telese (sorg.)	Variazioni Idrologiche	45	7	5
Tocco Caudio	Frana/Fratture	36	8	7
Torretta (pozzo)	Variazioni Idrologiche	62	6	4
Trevico	Frana /Fratture	1	9	8
Trivento (F. Trigno)	Variazioni Idrologiche	86	5	4
Tuoro di Massella (pozzo)	Variazioni Idrologiche	48	6	4
Vallata (sorg. M. Carmine)	Frana/Variazioni Idrologiche	2	8	8
Vallesaccarda	Frane/Fratture	1	7-8	7
Venosa (falda freatica)	Variazioni Idrologiche	34	7	>4
Villanova del Battista	Fagliazione Superficiale	2	10	10
Zungoli	Fratture	5	8	7

**Tab. 1** - Elenco degli effetti indotti dal terremoto del 23 luglio 1930. Per ciascuna località viene indicata la tipologia di fenomeno osservato, la distanza dalla faglia, il grado di intensità espresso secondo la scala MCS e la valutazione dell'intensità ambientale espressa secondo la scala ESI2007 (di fianco alla località sono indicati i nomi dei fiumi, sorgenti e pozzi interessati dall'anomalia idrologica).

## 5 - Considerazioni e conclusioni

Lo studio del terremoto Irpino del 23 luglio 1930 basato sull'analisi e l'interpretazione di oltre un centinaio di pubblicazioni a carattere scientifico, rapporti tecnici, articoli di giornali ed altro, ha permesso di individuare e caratterizzare un gran numero di effetti geologici, che includono effetti primari, come la fagliazione superficiale, ed effetti secondari, come i fenomeni di fratturazione, fenomeni gravitativi e le variazioni idrologiche. La distribuzione globale di tali effetti è stata messa in relazione sia con la distanza dalla faglia sismogenetica sia con i valori di intensità locale. Tale approccio ha consentito di ridurre significativamente le incertezze riguardo grandezza, localizzazione e geometria della sorgente sismogenetica, di definire con buona approssimazione l'area investita dagli effetti del terremoto nel *near* e *far* field.

In particolare l'esame degli effetti sismoindotti dal terremoto del 23 luglio 1930 ha evidenziato che l'evento è stato caratterizzato da un complesso meccanismo di rottura che ha attivato più segmenti di faglia in un intervallo temporale molto breve. La lunghezza della faglia dedotta 38 km (Serva *et al.*, 2007) risulta comparabile con il dataset mondiale per un intervallo di magnitudo uguale o superiore a sei (Wells & Coppersmith, 1994).

La distribuzione dei fenomeni franosi e di fratturazione è generalmente in buon accordo con il pattern delle isosiste, mostrando una concentrazione degli eventi soprattutto nell'area epicentrale, riducendo la densità con la distanza

dall'epicentro (Porfido *et al.*, 2007). La distribuzione delle variazioni idrologiche, osservata soprattutto tra i 30 ed i 120 km dalla faglia (Esposito *et al.*, 1997b; 1999), conferma la particolare sensibilità degli acquiferi alle variazioni di stress associate allo scuotimento sismico.

Sulla base dei dati raccolti, effetti primari e secondari, è stato possibile stimare il valore dell'intensità epicentrale  $I_0$  pari al decimo grado della scala ESI2007, perfettamente corrispondente alla stima riportata dal CPTI04 sulla base della scala macrosismica MCS.

Considerando gli effetti ambientali alla stessa stregua degli indicatori di danneggiamento è possibile ottenere informazioni basilari per la caratterizzazione dell'hazard sismico delle nostre regioni, permettendo l'individuazione e la caratterizzazione di *paesaggi sismici* utili alla definizione del grado di vulnerabilità sismo-ambientale, e quindi per la predisposizione degli strumenti tecnico amministrativi atti a mitigare gli effetti economici e sociali delle calamità future.

### Opere citate

Alfano G.B. (1930) - Che cosa è il terremoto, conferenza a proposito del terremoto irpino del 23 luglio 1930. *Osservatorio di Pompei*, 1-35.

Alfano G.B. (1931) - Il terremoto irpino del 23 luglio 1930. *Osservatorio di Pompei*, 3-57.

Blumetti A.M., Comerci V., Di Manna P., Guerrieri L., Vittori E. (2009) - Geological effects induced by the L'Aquila earthquake (6 April 2009,  $M=5.8$ ) on the natural environment. [http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Progetti/INQUA\\_Scale/Documenti/](http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Progetti/INQUA_Scale/Documenti/).

Carta Geologica d'Italia (2006) - Foglio 359 L'Aquila (scala 1:50.000).

Castenetto S., Sebastiano M. (2002) - «*Il terremoto del Vulture*» 23 Luglio 1930 VIII dell'Era Fascista. Monografia del Servizio Sismico Nazionale, Ist. Pol. e Zecca dello Stato, Roma.

Celentani Ungaro P. (1931) - Effetti del terremoto irpino del 23 luglio 1930 - VIII sulle opere dell'Acquedotto Pugliese. *L'Ingegnere* V, **9**, 578-663.

CPTI (2004) - *Catalogo Parametrico Terremoti Italiani*. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>.

Crema C. (1931) - Relazioni tettoniche del terremoto del 23 luglio 1930, nell'Italia Meridionale. *Atti Soc. It. Prog. Sc., XIX riunione* (1930), **2**, 69-70.

Crema C. (1933) - Il terremoto del 1930 nell'Italia Meridionale e la geotettonica della sua area. *Annali dei LL.PP.*, 3-9.

De Lorenzo G. (1930) - Il terremoto. *Gerarchia*, **10** (8), 636-653.

Dengler L., McPherson R. (1993) - The 17 August 1991 Honeydew earthquake North Coast California: a case for revising the Modified Mercalli scale in sparsely populated areas. *Bull. Seis. Soc. Am.* **83**, 1081-1094.

EMERGEIO Working Group, CNR (IGAG), DiMSAT, Università degli Studi Roma Tre (2009) - Rilievi geologici nell'area epicentrale della sequenza sismica dell'Aquilano del 6 aprile 2009. *Quaderno di Geofisica*, **70**, 1-55.

Esposito E., Porfido S., Mastrolorenzo G., Nikonov A.A., Serva L. (1997a) - Brief review and preliminary proposal for the use of ground effects in the macroseismic intensity assessment. Proc. 30th Intern. Geol. Cong., Beijing, China, *Contemporary Lithospheric Motion Seismic Geology*, 233-243, Intern. Science Publishers, Zeist, The Netherlands.

Esposito E., Porfido S., Tranfaglia G., Avino R. (1997b) - Effetti idrologici associati con i terremoti dell'Appennino meridionale. *Proc. 16th Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida*, Rome, Italy, online available at: <http://www2.ogs.trieste.it/gngts/gngts/convegni precedenti/1997/Contents/Sessioni Ordinarie/08/Tranfaglia/Tranfaglia.html>.

Esposito E., Gargiulo A., Iaccarino G., Porfido S. (1998) - Distribuzione dei fenomeni franosi riattivati dai terremoti dell'Appennino meridionale. Censimento delle frane del

terremoto del 1980. *Proc. Intern. Convention on Prevention of Hydrogeological Hazards*, CNR(IRPI), Torino, **1**, 409–429.

Esposito E., Pece R., Porfido S., Tranfaglia G., Onorati G. (1999) - Effetti dei terremoti dell'Appennino meridionale sulle acque superficiali. *Atti Accademia Nazionale dei Lincei*, **154**, 91–96.

Esposito E., Porfido S., Iaccarino G., Tranfaglia G. (2000) - Terremoti e centri storici dell'Irpinia: gli effetti del terremoto del 1930. *Proc. GeoBen 2000*, CNR, **2133**, 477–484.

Esposito E., Pece R., Porfido S., Tranfaglia G. (2001) - Hydrological anomalies connected to earthquakes in southern Apennines (Italy). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **1**, 137–144.

Esposito E., Pece R., Porfido S., Tranfaglia G. (2009) - Ground effects and hydrological changes in the Southern Apennines (Italy) in response to the 23 July 1930 earthquake ( $M_S=6.7$ ). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **9**, 539–550.

Freeman J. R. (1930) - The Italian Earthquake of July 23, 1930. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **20** (4), 241–260.

Genio Civile di Avellino (1930) - Delle aree per le quali sono da vietarsi le ricostruzioni. *Relazione del Geologo Superiore Ing. V. Novarese*, Roma.

Gizzi F.T., Masini N. (2006) - Historical damage pattern and differential seismic effects in a town with ground cavities: A case study from southern Italy. *Engineering Geology*, **88**, 41–58.

Gizzi F.T., Masini N. (2007) - Historical earthquakes and damage patterns for Potenza (Basilicata, southern Italy). *Ann. Geoph.*, **50**, 599–611.

Guerrieri L., Tatevossian R., Vittori E., Comerci V., Esposito E., Michetti A.M., Porfido S., Serva L. (2007) - Earthquake environmental effects (EEE) and intensity assessment: the INQUA scale project. *Boll. Soc. Geol. Ital. (Ital. J. Geosci.)*, **126**, 375–386.

Guzzetti F., Esposito E., Balducci V., Porfido S., Cardinali M., Violante C., Fiorucci F., Sacchi M., Ardizzone F., Mondini A., Reichenbach P., Rossi M. (2009) - Central Italy seismic sequence-induced landsliding: 1997–1998 Umbria-Marche and 2008–2009 L'Aquila Cases. *Proc. of The Next Generation of Research on Earthquake-induced Landslides: An International Conference in Commemoration of 10th Anniversary of the Chi-Chi Earthquake*, 52–61.

Hancox G.T., Perrin N.D., Dellow G.D. (2002) - Recent studies of historical earthquake-induced landsliding, ground damage, and MM intensity in New Zealand. *Bull. of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, **35**, 59–95.

Keefer D.K. (1984) - Landslides Caused by Earthquakes. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **95**, 406–421.

Lalinde C.P., Sanchez J.A. (2007) Earthquake and environmental effects in Colombia in the last 35 years—INQUA Scale Project. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **97** (2), 646–654.

Majo E. (1931a) - Il terremoto irpino del 23 luglio 1930. *Boll. Soc. Nat. in Napoli*, **43**, 377–395.

Majo E. (1931b) - I fenomeni geofisici Flegrei susseguenti al terremoto irpino del 23 luglio 1930. *Boll. Soc. Nat. in Napoli*, **43**, 361–365.

Martinelli G. (1931) - Determinazione delle profondità ipocentrali. *Atti Pont. Acc. Sc. Nuovi Lincei*, **83**, 272–275.

Michetti A.M., Esposito E., Gurpinar J., Mohammadioun B. Mohammadioun A., Porfido S., Rogozhin E., Serva L., Tatevossian R., Vittori E., Audemard F., Comerci V., Marco S., McCalpin J., Morner N.A. (2004) -The INQUA Scale. An innovative approach for assessing earthquake intensities based on seismically-induced ground effects in natural environment. Special Paper, *Mem. Descr. della Carta Geologica d'Italia*, **67**, 1–120.

Michetti A.M., Esposito E., Guerrieri L., Porfido S., Serva L., Tatevossian R., Vittori E., Audemard F., Azuma T., Claque J., Comerci V., Gurpinar A., Mc Calpin J., Mohammadioun B., Morner N.A., Ota Y., Rogozhin E. (2007) - Intensity Scale ESI 2007. *Mem. Descr. Carta Geol. d'Italia*, **74**, 1–56.

Muchketoff D. (1934) - Il terremoto irpino del 23 luglio 1930. *Boll. Soc. Sism. It.*, **32** (3–4), 79–82.

Oddone E. (1931) - Il terremoto dell'Irpinia del 23 luglio 1930. *Boll. Com. Naz. per la Geodesia e la Geofisica* I, **2**, 17-20.

Oddone E. (1932) - Studio sul terremoto avvenuto il 23 luglio 1930 nell'Irpinia. *La meteorologia pratica, Ufficio Centrale di Meteorologia e Geofisica*, 16-26, 77-84, 116-125, 171-176.

Ota Y., Azuma T., Nina Lin Y. (2009) - Application of INQUA Environmental Seismic Intensity Scale to recent earthquakes in Japan and Taiwan. In Reicherter K., Michetti A.M. and Silva Barroso P.G., (Ed) *Palaeoseismology: Historical and Prehistorical Records of Earthquake Ground Effects for Seismic Hazard Assessment*. The Geological Society, London, Special Publ., **316**, 55-71.

Papanikolaou I.D., Papanikolaou D.I., Lekkas E.L. (2009) - Advances and limitations of the Environmental Seismic Intensity scale (ESI 2007) regarding near-field and far-field effects from recent earthquakes in Greece: implications for the seismic hazard assessment. In: Reicherter, K., Michetti, A.M., Silva Barroso, P.G. (Eds) *Palaeoseismology: Historical and Prehistorical Records of Earthquake Ground Effects for Seismic Hazard Assessment*. The Geological Society, London, Special Publ., **316**, 11-30.

Porfido S., Esposito E., Vittori E., Tranfaglia G., Michetti A.M., Blumetti A.M., Ferrelli L., Guerrieri L., Serva L. (2002) - Areal Distribution of Ground Effects Induced by Strong Earthquakes in the Southern Apennines (Italy). *Surr. Geophysics*, **23** (6), 529-562.

Porfido S., Esposito E., Tranfaglia G., Pece R., Serva L., Vittori E. (2004) - Effetti geomorfologici indotti nell'appennino meridionale dagli eventi sismici del 1805, 1930 e 1980. *Proc. 23rd Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida*, OGS-CNR, 267-271.

Porfido S., Esposito E., Guerrieri L., Vittori E., Tranfaglia G., Pece R. (2007) - Seismically induced ground effects of the 1805, 1930 and 1980 earthquakes in the Southern Apennines, Italy - *Ital. J. Geosci. (Boll. Soc. Geol. It.)*, **126**, 333-346.

Ricciardelli R. (1930) - Dopo il terremoto del 23 luglio. Osservazioni e considerazioni. *Irpinia* II, **9**, 1-19.

Rodriguez C.E., Bommer J.J., Chandler R.J. (1999) - Earthquake induced landslides, 1980-1997. *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, **18**, 325-346.

Salomon A. (2004) - Induced ground effects of the February 11, 2004, M<sub>l</sub>=5.2 northeastern Dead Sea earthquake. *Geological Survey of Israel-Report GSI/30/2004*. [http://www.apat.gov.it/site/en-GB/Projects/INQUA\\_Scale/Documents/](http://www.apat.gov.it/site/en-GB/Projects/INQUA_Scale/Documents/).

Serva L. (1994) - Ground effects in intensity scales. *Terra Nova*, **6**, 414-416.

Serva L., Esposito E., Guerrieri L., Porfido S., Vittori E., Comerci V. (2007) - Environmental effects from five historical earthquakes in Southern Apennines (Italy) and macroseismic intensity assessment: Contribution to INQUA EEE Scale Project. *Quaternary Int.*, **173-174**, 30-44.

Shebalin N.V. (1972) - Macroscopic data as information on source parameters of large earthquakes. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **6**, 316-323.

Silva P.G., Rodríguez-Pascua M.A., Pérez-López R., Bardají T., Lario J., Alfaro P., Martínez-Díaz J.J., Reicherter K., Giménez J., Giner J., Azañón J.M., Goy J.L., Zazo C. (2008) - Catalogación de los efectos geológicos y ambientales de los terremotos en España en la Escala ESI-2007 y su aplicación a los estudios paleosismológicos. *Geotemas* **10**, 1063-1066.

Slemmons D.B., De Polo C. (1981) - Evaluation of active faulting and associated hazard. *Active tectonics, National Academy press*, Washington, D.C., USA.

Spadea M.C., Vecchi M., Gardellini P., Del Mese S. (1985) - The Irpinia earthquake of July 23, 1930. In: Postpischl D. (Ed.), *Atlas of isoseismal maps of Italian earthquakes*, CNR, 114, 2A, Bologna.

Vari V. (1931) - Il terremoto dell'Alta Irpinia. *Boll. Soc. Sism. It.*, **XXIX**, 181-196.

Vitale R. (1930) - *Il terremoto del 23 luglio 1930. Con breve relazione dei terremoti che hanno funestato la Città di Aversa*. Aversa.

Wells D.L., Coppersmith K.J. (1994) - New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. *Bull. Seis. Soc. Am.*, **84**, 974-1002.