

La cartografia geochemica nel monitoraggio dell'attività sismica: un'applicazione agli acquiferi carsici dell'Italia Centrale

Paolo Madonia ^(a), Marianna Cangemi ^(a), Carlo Germani ^(b), Ygor Oliveri ^(a),
Mariano Tantillo ^(a)

^(a) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Palermo, via Ugo La Malfa 153,
90146 Palermo, email: paolo.madonia@ingv.it; mariannacangemi@gmail.com;
ygor.oliveri@ingv.it; mariano.tantillo@ingv.it

^(b) Egeria Centro Ricerche Sotterranee, Roma, email: carlo.germani@gmail.com

Introduzione

Lo studio delle variazioni nel chimismo delle acque sotterranee potenzialmente riconducibili ai processi sismogenetici è uno dei temi di maggiore attualità nel campo delle ricerche sulla mitigazione del rischio sismico. La ragione per la quale la geochemica delle acque sotterranee viene considerata uno dei potenziali metodi di indagine negli studi sui terremoti risiede nel fatto che le variazioni nella circolazione dei fluidi sotterranei sono un elemento caratterizzante la generazione dell'attività sismica, e le modifiche nella loro composizione chimica ed isotopica rappresentano un possibile indicatore di questi processi.

Come illustrato da Doglioni et al. (2014), migrazione di fluidi e sismogenesi sono processi reciprocamente interattivi: fluidi sotterranei che vengono a contatto con faglie attive ne lubrificano le superfici, favorendo il movimento reciproco dei volumi di roccia che contornano le faglie. Questo movimento a sua volta incrementa la pressione di poro, che favorisce ulteriormente la migrazione dei fluidi verso zone a minore pressione. Anomalie geochemiche legate a questi processi di migrazione dei fluidi sono state riscontrate in relazione ad alcuni dei più importanti eventi sismici degli ultimi decenni, come nel caso della sequenza sismica che nel 1968 colpì la Valle del Belice in Sicilia (Favara et al., 2001a) o di quella di Colfiorito del 1997-98 (Favara et al., 2001b).

Prendendo ad esempio quanto osservato in relazione alla sequenza del Belice del 1968 (Fig.1), le acque termali della sorgente Acqua Pia, ubicata nei pressi della cittadina di Montevago (AG), che fu completamente distrutta dalla sequenza sismica, mostrarono una notevole diminuzione delle concentrazioni di specie ioniche maggiori come cloro, solfato e sodio nei mesi precedenti l'attività sismica.

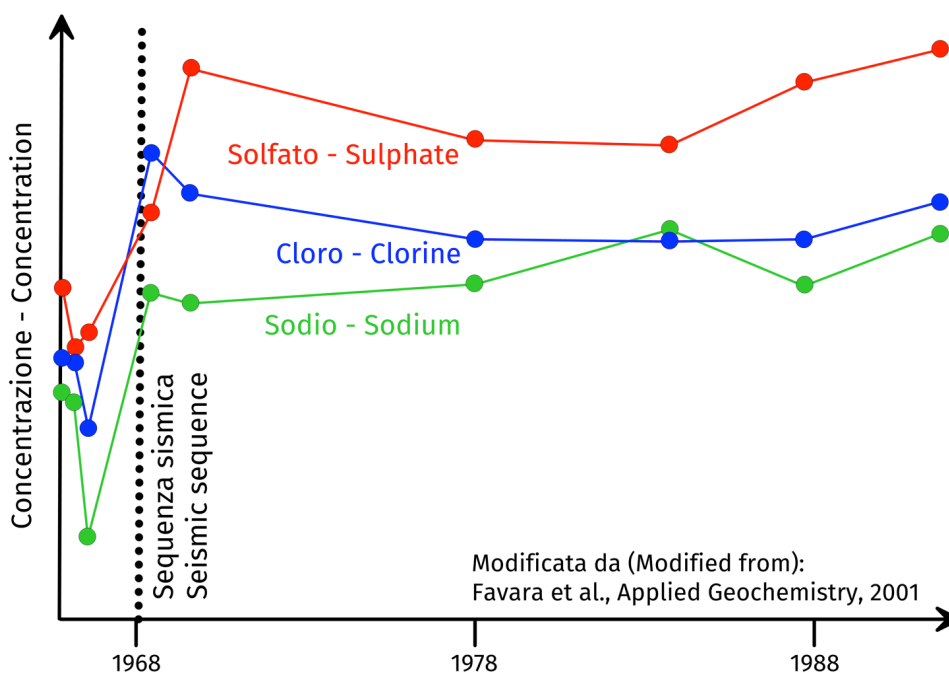


Figura 1 – Anomalie geochemiche osservate nelle acque sotterranee in occasione della sequenza sismica del Belice nel 1968 (modificato da Favara et al, 2001a)

L'Appennino Centrale rappresenta certamente una delle zone a maggiore criticità rispetto al rischio sismico, come del resto rimarcato dai forti terremoti che nell'ultima ventina di anni hanno colpito quest'area, con gravissime conseguenze dal punto di vista dei danni materiali e della perdita di vite umane (Colfiorito 1997, Aquila 2009, Amatrice-Visso-Norcia 2016). Nell'ambito delle attività poste in essere dopo i terremoti che hanno colpito l'Italia Centrale nel 2016, l'INGV ha promosso una serie di ricerche volte alla migliore comprensione dell'attività sismica in quest'area, e tra queste lo studio degli acquiferi carsici legati alla presenza di faglie capaci di generare sismicità.

Nella presente comunicazione vengono riportati i risultati preliminari di questa ricerca, con particolare riferimento allo studio delle relazioni spaziali, in ambiente GIS, tra localizzazione dei terremoti, distribuzione delle faglie e caratteristiche geochemiche degli acquiferi, quale elemento dirimente per individuare siti di osservazione potenzialmente in grado di fornire dati utili durante le fasi di preparazione di un terremoto.

Criticità nella mappatura dei sistemi sismogenetici

Il problema fondamentale nella gestione e rappresentazione degli elementi che costituiscono un sistema sismogenetico, e le sue interazioni con i sistemi di circolazione dei geofluidi, è rappresentato dal fatto che questi sistemi non solo si sviluppano in un ambito tridimensionale, ma frequentemente fanno riferimento a strutture sepolte che giacciono sotto altre geo-strutture affioranti in superficie. Si pone pertanto in maniera prioritaria il problema dello sviluppo dei *geodataset* che li rappresentano, le cui regole di costruzione devono

garantire la congruenza nei rapporti logico-spaziali tra livelli informativi differenti.

Un esempio efficace della problematica è rappresentato in Fig.2, dove un volume sismogenetico sepolto, legato alla presenza di una faglia inversa, si connette ad una faglia differente sede di circolazione di fluidi termali.

Surface projection of seismogenic volume

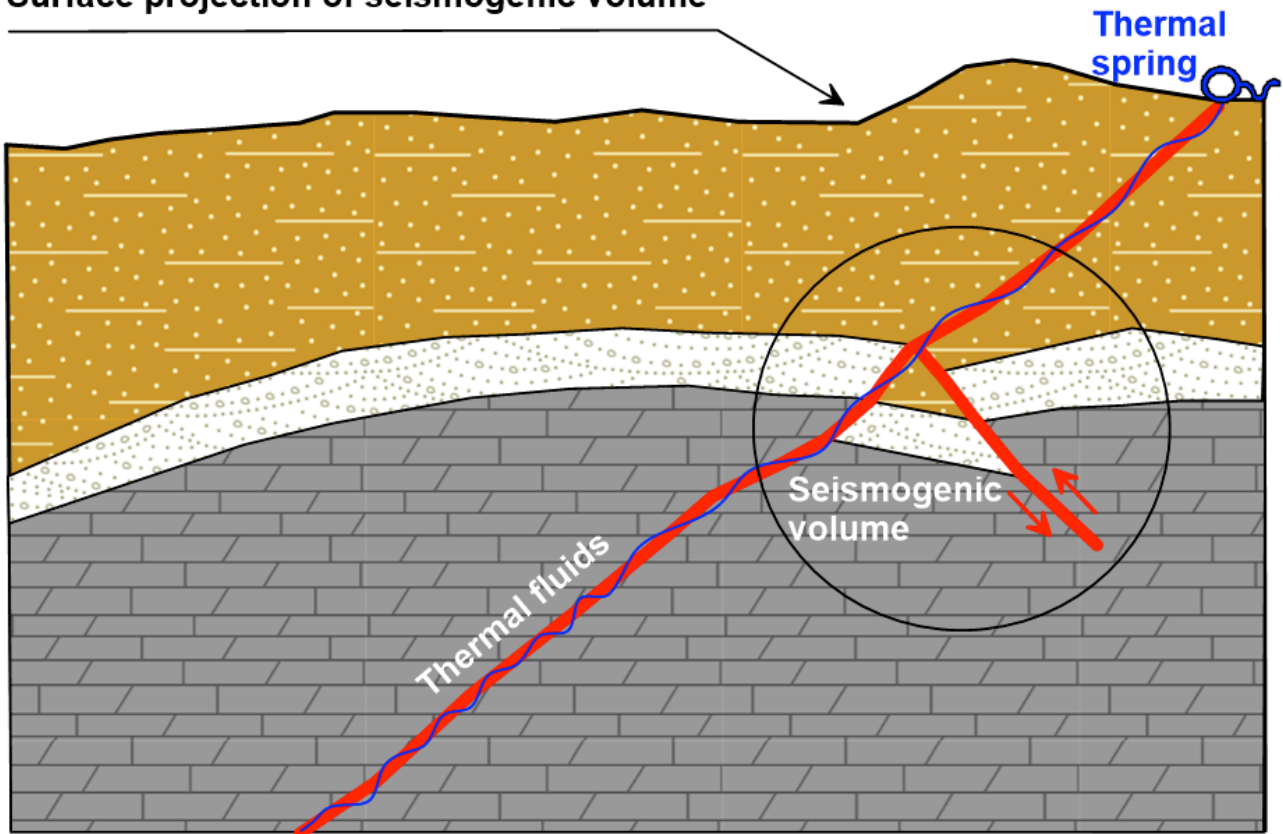


Figura 2 – Schema esemplificativo delle possibili relazioni spaziali tra sistemi sismogenetici e di circolazione di geofluidi sepolti e delle loro proiezioni in superficie

In questo caso la faglia sismogenica è sepolta e ciò che affiora in superficie, ed è quindi rappresentabile cartograficamente, è un'altra faglia inattiva ma che veicola i fluidi termali in superficie dando luogo alla formazione di una sorgente, ubicata però in un luogo diverso dalla proiezione in superficie della faglia attiva sepolta. In mancanza di dati di esplorazione del sottosuolo, ed interpretando i dati di superficie in caso di attività sismica, molto difficilmente si riuscirebbe a ricostruire i giusti rapporti geometrici e funzionali tra sistemi sismogenetici e circuiti di circolazione dei geofluidi.

Queste tematiche sono state ovviamente affrontate da chi si occupa di mappatura di elementi descrittivi del rischio sismico, distinguendo tra faglie affioranti in superficie cosiddette "capaci", ossia in grado di generare sismicità, e rappresentazione delle proiezioni in superficie delle strutture sismogenetiche. Un esempio reale relativo all'area in studio è riportato in Fig.3, che mette insieme la distribuzione dei principali terremoti verificatisi in Italia Centrale a partire dall'anno 1000 (Rovida et al., 2016), l'andamento delle faglie capaci

(Michetti et al., 2000) e delle principali strutture sismogenetiche (DISS Working Group, 2018); come si vede dalla mappa, proiezione in superficie delle strutture sismogenetiche e faglie capaci non necessariamente coincidono.

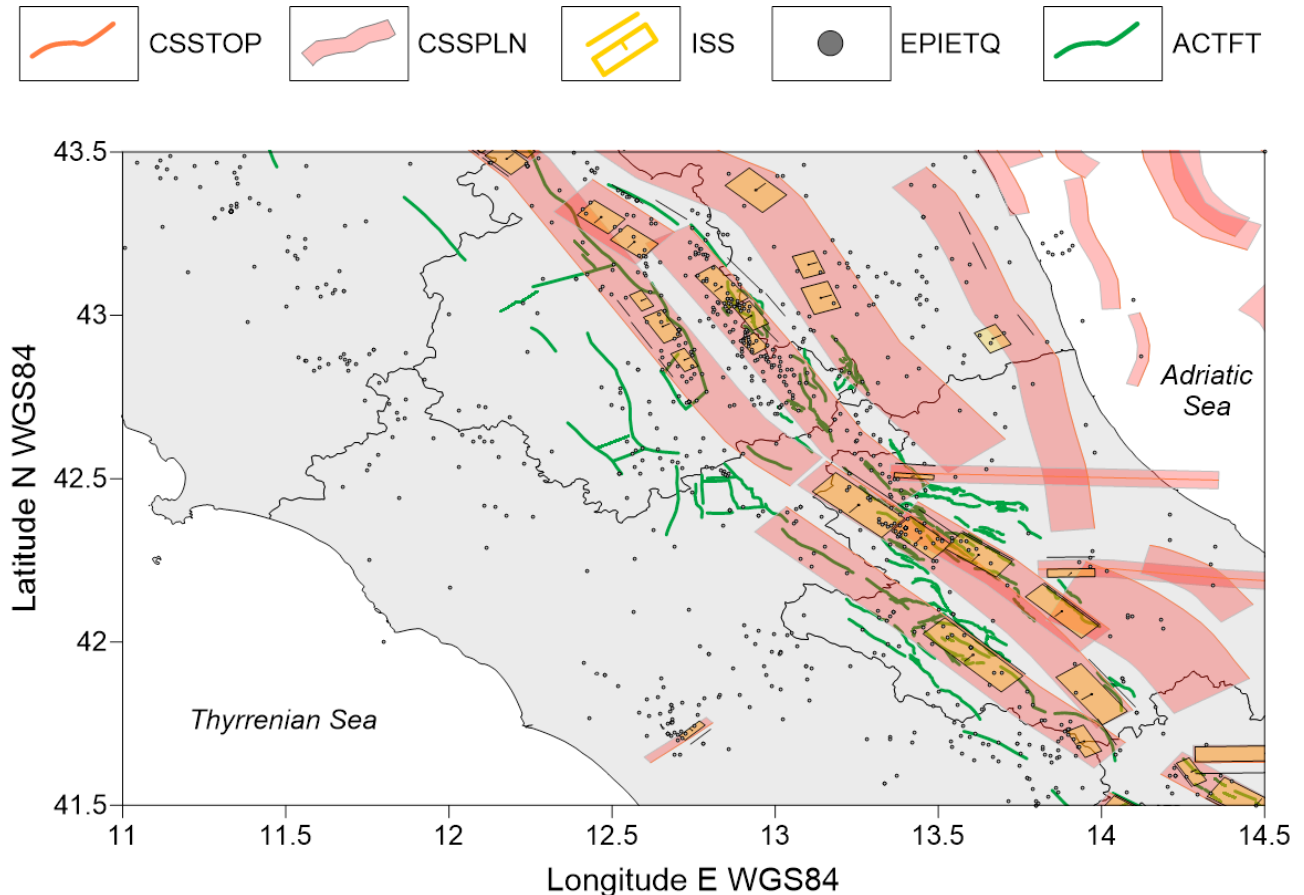


Figura 3 – Mappa della zona in studio riportante gli epicentri dei principali terremoti dall’anno 1000 (EPIETQ, Rovida et al., 2016), andamento delle faglie capaci (ACTFT, Michetti et al., 2000), e delle sorgenti sismogenetiche individuali (ISS) e composite, per le quali si rappresenta separatamente il top delle tracce (CSSTOP) e l’andamento del piano di faglia (CSSPLN) (DISS Working Group, 2018).

Gli acquiferi carsici dell’Italia Centrale ed il loro potenziale utilizzo per il monitoraggio dell’attività neotettonica

Nell’ambito delle iniziative di ricerca promosse da INGV per il miglioramento delle conoscenze geologiche sull’Italia Centrale è in corso di svolgimento uno studio sulla caratterizzazione chimico-isotopica degli acquiferi carsici, volta alla individuazione di possibili anomalie legate all’attività neotettonica. Sono state quindi campionate ed analizzate le acque provenienti da circa 30 strutture carsiche di varia natura (sorgenti e risorgenti, laghi, acque sotterranee prelevate in cavità naturali ed ipogei artificiali).

Il campione di punti analizzato è stato selezionato in base a criteri di prossimità a strutture neotettoniche in grado di generare sismicità. Trattandosi di sistemi carsici, ossia di elementi creati dall’azione erosiva e corrosiva di acque meteoriche infiltrantesi nel sottosuolo, si è scelto di utilizzare le faglie capaci e non le strutture sismogenetiche. Questo perché le prime sono elementi in contatto con la superficie terrestre, e quindi più direttamente

legate al processo di infiltrazione delle precipitazioni atmosferiche, fondamentale nello sviluppo dei processi carsogenetici. Il motivo per cui si è scelto di indagare i sistemi di circolazione sotterranea di tipo carsico è legato al fatto che questi si possono efficacemente sviluppare solo se la continuità dei volumi di roccia è interrotta da faglie e fratture.

L'ipotesi di lavoro è che un sistema carsico rilevante si sviluppa più facilmente in presenza di una faglia, ma se questa faglia veicola a sua volta fluidi di origine diversa da quella meteorica, possiamo avere acque che dal punto di vista chimico-isotopico si caratterizzano come anomale rispetto ad una falda carsica "normale". Le variazioni di permeabilità indotte da cambi nel campo di stress legato all'attività neotettonica possono far variare le proporzioni di mescolamento tra acque meteoriche e fluidi di diversa origine, producendo anomalie geochimiche di grande interesse nello studio dei processi sismogenetici.

Sono stati determinati parametri chimico-fisici di campo (temperatura, pH, Eh, conducibilità elettrica), concentrazione delle specie ioniche in soluzione in termine di elementi maggiori, minori ed in tracce, concentrazione dei gas disciolti, composizione isotopica dell'acqua ($\delta^{18}\text{O}$, δD) e del carbonio disciolto ($\delta^{13}\text{C}$ TDIC), allo scopo di effettuare uno *screening* completo rispetto agli obiettivi del progetto.

Le fasi di elaborazione dei dati sono attualmente in corso, ma già in via di analisi preliminare sono emerse risultanze di interesse rispetto agli obiettivi del progetto, rispetto alle quali si presenta in questa sede un quadro di sintesi sotto forma di elaborato cartografico, illustrato nella successiva Figura 4. La mappa riporta la distribuzione delle faglie capaci e dei principali terremoti, messa in relazione con la classificazione delle acque campionate, che sono state suddivise tra "normali", ossia con caratteristiche chimico-fisiche in prima istanza attribuibili alla semplice dissoluzione di rocce carbonatiche ad opera di acque meteoriche (sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{CaCO}_3-\text{CO}_2$) ed "anomale", ossia con caratteristiche riferibili ad un mescolamento con fluidi di diversa origine, preferenzialmente veicolati da sistemi di faglie.

La distribuzione dei punti di Figura 4 evidenzia come i campioni anomali si concentrino preferibilmente nel settore Appenninico occidentale, mentre in quello orientale prevalgono quelli "normali". Questa distribuzione rispecchia le caratteristiche geometriche delle faglie capaci, caratterizzate rispettivamente da molti elementi di minore lunghezza unitaria ad Est e da un minor numero di elementi ma mediamente di maggiore sviluppo ad Ovest. Si tratta ovviamente di una considerazione di natura preliminare, che sarà dettagliata con le successive elaborazioni, ma che rimarca l'importanza fondamentale dell'analisi cartografica come strumento per la comprensione delle relazioni spaziali tra geo-elementi di diversa natura, prodromica alla corretta interpretazione di sistemi naturali estremamente complessi come quelli che caratterizzano i sistemi di circolazione di geofluidi in aree tettonicamente e sismicamente attive.

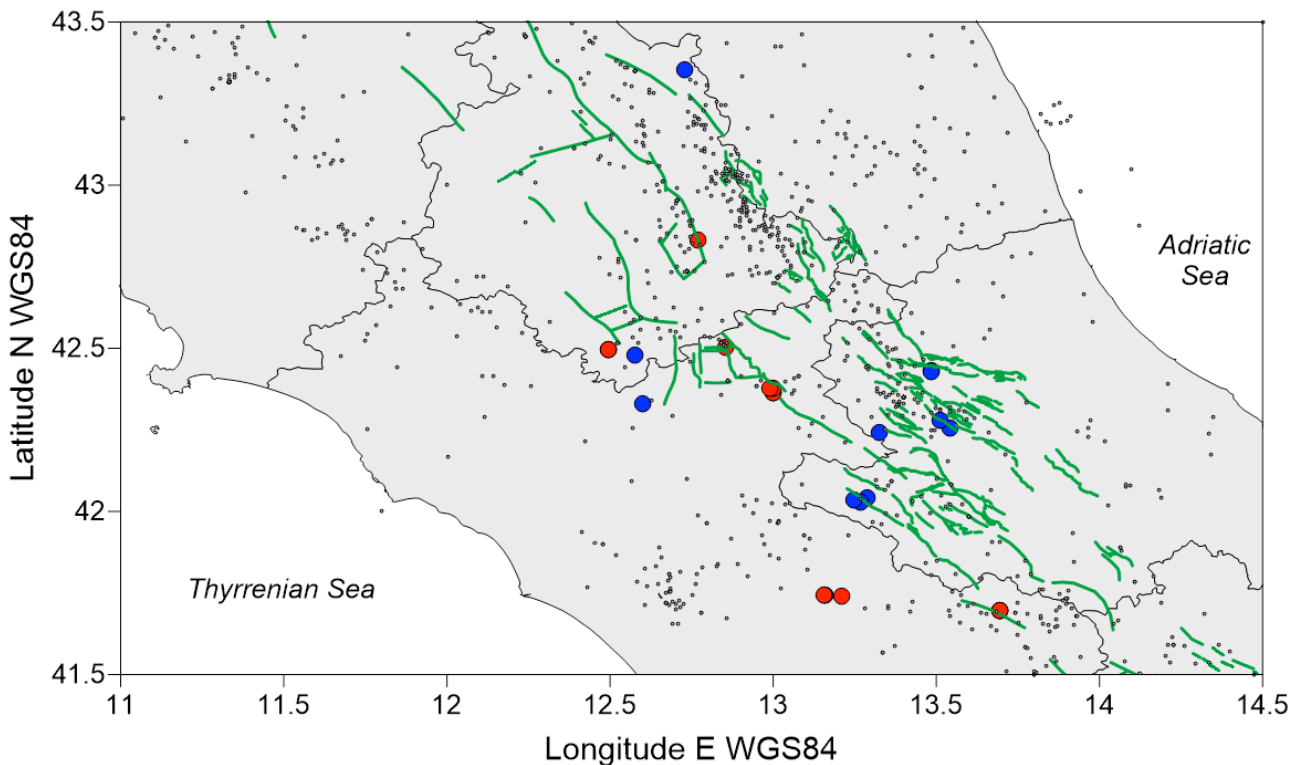


Figura 3 – Mappa della zona in studio riportante gli epicentri dei principali terremoti dall’anno 1000 (punti neri, Rovida et al., 2016), andamento delle faglie capaci (linee verdi, Michetti et al., 2000), e dei punti di campionamento suddivisi tra acque riferibili a sistemi carsici legati a circolazione meteorica (pallini blu) e siti recanti segni di mescolamento con fluidi di diversa origine (pallini rossi). Le linee nere sono confini di regione.

Riferimenti bibliografici

DISS Working Group (2018), “Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas”, <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, doi:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.

Dogliani C., Barba S., Carminati E., Riguzzi F. (2014), “Fault on-off versus coseismic fluids reaction”, *Geoscience Frontiers*, 5: 767-780.

Favara R., Grassa F., Inguaggiato S., Valenza M. (2001a), “Hydrogeochemistry and stable isotopes of thermal springs: earthquake-related chemical changes along Belice Fault (Western Sicily)”, *Applied Geochemistry*, 16: 1-17.

Favara R., Italiano F., Martinelli G., (2001b), “Earthquake-induced chemical changes in thermal waters of Umbria Region during the 1997-1998 seismic swarm”, *Terra Nova*, 13 (3): 227-233.

Michetti A.M., Serva L., Vittori, E. (2000), “ITHACA Italy Hazard from Capable Faults: a database of active faults of the Italian onshore territory. CD-Rom and Explanatory Notes”, ANPA, Rome.

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*, doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>.