

FAGLIE, FAGLIE ATTIVE, FAGLIE CAPACI, FAGLIE SISMOGENETICHE: COSA ABBIAMO IMPARATO NEGLI ULTIMI 30 ANNI?

G. Valensise

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma

Cosa ha a che vedere la Geologia con la pericolosità sismica? Come può la storia geologica del pianeta, che utilizza un righello la cui divisione più sottile vale già 10.000 anni, essere utile a stabilire dove e con che violenza colpiranno i terremoti del futuro? Come si può pensare di prescindere dalle osservazioni strumentali per capire la sismicità del futuro? Quando oltre trenta anni fa ho iniziato il lavoro che ancora oggi svolgo, e che non saprei definire altro che con la ironica espressione di “cacciatore di faglie”, la gran parte della comunità scientifica nazionale - e in parte anche di quella europea - si poneva queste domande. Non un secolo fa, ma appena tre decenni fa, dimentichi di quello che i padri della Geologia dei terremoti, da G.K. Gilbert a H.F. Reid, avevano già detto e scritto tra la fine dell’800 e il 1910, anno di pubblicazione della cosiddetta teoria dello *elastic rebound*.

In una presentazione al Meeting AIQUA che si è tenuta a Parma nel 1997 - ovvero “appena” 20 anni fa, sostenni che “...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”. Il nostro Database of Individual Seismogenic Sources, o DISS, muoveva i primi passi proprio in quegli anni, fondandosi ampiamente proprio su questo principio, uno dei capisaldi del lavoro del geologo in aree attive. Un principio importante soprattutto per il suo reciproco, ovvero la possibilità di identificare e caratterizzare le grandi faglie sismogenetiche osservando nella geologia e nel paesaggio l’accumularsi della deformazione che esse causano, terremoto dopo terremoto. E non si può negare che negli ultimi tre decenni lo studio dei terremoti ci 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 trentennio a cui faccio riferimento in effetti inizia ancora prima, con il terremoto del 23 novembre 1980, un evento catastrofico che i geologi dell’epoca fecero molta fatica a inquadrare nei modelli allora accettati. Ma forse bisognerebbe spostarsi subito al 1984, quando Westaway e Jackson, due sismologi inglesi, il secondo dei quali già molto affermato, pubblicarono sulla prestigiosa rivista *Nature* un accurato resoconto degli effetti in superficie di quel terremoto catastrofico avvenuto tra le desolate cime dell’Appennino meridionale (Westaway e Jackson, 1984). Con molto ritardo si apriva una fase di studio che avrebbe non solo rivoluzionato gli studi di tettonica attiva in Italia, ma avrebbe dato vita a un nuovo settore disciplinare a cui si dedicarono con passione ricercatori del CNR, dell’ENEA, dell’INGV (allora ING) e di varie università, molti dei quali riuniti nel Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti (GNDT), a sua volta erede della grande tradizione del Progetto Finalizzato Geodinamica (PFG). Quasi a cercare di recuperare il tempo perduto uscirono ampie sintesi degli 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 ricerche sui terremoti dello Stretto di Messina del 1908 (Mulargia e Boschi, 1983), di Gubbio del 1984 e della Valcomino dello stesso anno. Ma il vero elemento di rottura restava il terremoto dell’Irpinia, che in pochi secondi aveva messo sotto gli occhi dei geologi una serie di testimonianze della tettonica attiva del tutto incontrovertibili, ma al tempo stesso impossibili da ricavare attraverso un’analisi geologica convenzionale. Lo studio dettagliato condotto da Pantosti e Valensise (1990) concluse che il terremoto era stato generato da una faglia - segmentata - lunga complessivamente quasi 40 km che per gran parte della sua estensione non coincideva con faglie mappate in precedenza, e per di più mostrava - in alcuni settori - una sorprendente ma chiara tendenza a “rovesciare” la topografia, sollevando le valli e ribassando le dorsali. Con la sola - e forse casuale - eccezione del versante orientale del Monte Cervialto, il terremoto non aveva riattivato neppure passivamente la faglie note,

mostrando di essere stato causato da una faglia di genesi recente, figlia di una tettonica “nuova” e fino ad allora non percepita se non nel suo carattere più macroscopico: quello di essere di natura estensionale.

Viene 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 tendevano a prevalere sulle modeste e talora decisamente “curiose” tracce di fagliazione superficiale lasciate dal terremoto. Ad esempio, la pendenza verso NE del piano di faglia principale, messa subito in evidenza dai sismologi strumentali e poi confermata dalle osservazioni geodetiche e geologiche, venne contestata a lungo sulla base della diffusa convinzione che l’Appennino meridionale fosse separato dal Mar Tirreno da una gradinata di faglie necessariamente pendenti verso SW.

Il terremoto del 1980 ha dunque messo in moto un nuovo modo di pensare la tettonica attiva, portando alla “scoperta” di molte altre faglie attive e creando le premesse per una straordinaria crescita di questo settore disciplinare, fortunatamente accompagnata anche da un forte aumento dei “cacciatori di faglie”. Come hanno argomentato Valensise e Pantosti (2001), dallo studio dei forti terremoti del XX secolo abbiamo appreso che il rapporto tra le faglie oggi sismogenetiche e la loro espressione nella geologia e nel paesaggio è molto più complessa di quanto non si ritenesse in passato. Questo perché:

- la tettonica in atto lungo la catena appenninica - e non solo - è geologicamente giovane, e fortunatamente procede a tassi annuali piuttosto lenti;
- in un sistema tettonico giovane le faglie attive hanno bisogno di tempo per dare al paesaggio una impronta caratteristica e manifestarsi chiaramente in modo fragile, sempre che non restino comunque cieche, cosa che avviene diffusamente in molte aree del nostro paese;
- nel frattempo, la geologia di terreno e il paesaggio continueranno a essere apparentemente dominati da faglie legate a sistemi tettonici preesistenti (oggi estinti);
- a seconda dei casi queste faglie “antiche” potranno essere sepolte, e quindi sottratte alla osservazione diretta, o al contrario potranno apparire ringiovanite solo grazie al vigoroso sollevamento regionale che ancora caratterizza Alpi e Appennini, o riattivate selettivamente da una sottostante faglia attiva di ordine gerarchico superiore se favorevolmente orientate.

La combinazione di queste condizioni rende il rilevamento geologico delle aree attive certamente più difficile e ambiguo, per il duplice e concreto rischio di “perdere” le *faglie attive* principali e allo stesso tempo mappare come attive faglie che non lo sono affatto, o che sono riattivate solo passivamente e quindi da considerare esclusivamente come *faglie capaci*. Tutti i terremoti più disastrosi di questo scorcio del XXI secolo, come quelli del Molise del 2002, dell’Aquila del 2009, dell’Emilia del 2012 e dell’Appennino centrale del 2016-2017 - pur se diversissimi tra loro - hanno sistematicamente messo in risalto questo dualismo e le difficoltà con cui si scontra quotidianamente il “cacciatore di faglie”.

Ma torniamo per un attimo al 1997, quando è iniziata una fase che potremmo definire di “sistematizzazione” delle conoscenze - o anche solo di un insieme di valide intuizioni - che emergevano dall’analisi dei diversi “casi di studio” che si erano presentati fino a quel momento. Gli obiettivi di questa fase storica erano tanto semplici quanto ambiziosi:

- consentire ad altri ricercatori di valutare attraverso una banca-dati la congruità dei modelli di sorgente sismogenetica proposti, rappresentati in tre dimensioni all’interno di un sistema GIS e quindi con possibilità di un idoneo confronto con altri dati georiferiti;
- favorire la possibilità che altri ricercatori contribuissero allo sviluppo di un modello unitario della sismogenesi in Italia;
- presentare ai potenziali utilizzatori i dati sull’insieme delle sorgenti sismogenetiche note in una forma organizzata, facilmente accessibile e soprattutto quantitativa;
- consentire valutazioni di congruità geologica e geodinamica, valutazioni di completezza

e nuove ipotesi su sorgenti ancora non identificate, attraverso sia la visione complessiva dell'intero contenuto della banca-dati sia analisi dell'evoluzione recente del paesaggio alla scala delle strutture sismogenetiche stesse.

Tra il 2000 e il 2001 sono state così pubblicate tre banche-dati con le caratteristiche descritte:

- ITHACA, una banca-dati gestita da un GIS, accessibile via Internet e specificamente dedicata alle cosiddette “faglie capaci” (Michetti *et al.*, 2000);
- “Stato delle conoscenze sulle faglie attive in Italia: elementi geologici di superficie”, una banca-dati curata dal GNDT-CNR (Galadini *et al.*, 2000);
- DISS, un sistema GIS accessibile anche via Internet ideato tra il 1997 e il 2000 e dedicato specificamente a sorgenti sismogenetiche capaci di generare terremoti di $M > 5.5$. (Valensise e Pantosti, versione 2.0, 2001; Basili *et al.*, versione 3.0, 2008; DISS Working Group, versioni varie pubblicate tra il 2005 e il 2015).

La banca-dati del GNDT-CNR non è stata aggiornata successivamente, anche perché nel 2000 lo stesso GNDT è stato assorbito dal nascente INGV; parte dei dati e dell'*expertise* in essa contenuti sono confluiti nel DISS, oggi giunto alla versione 3.2.0 (DISS Working Group, 2015; <http://diss.rm.ingv.it/diss/>). A sua volta ITHACA ha recentemente ripreso ad essere aggiornata dopo una stasi di qualche anno, e da due anni il Dipartimento della Protezione Civile sta finanziando un progetto pluriennale di armonizzazione del suo contenuto informativo con quello del DISS, nella consapevolezza che le due banche-dati sono pienamente complementari pur descrivendo processi che avvengono a scale spaziali e cronologiche diverse.

DISS, che da anni è “gemellato” con analoghe banche dati del Giappone, della Nuova Zelanda e degli Stati Uniti (si veda ad esempio Haller e Basili, 2011), ha assunto una dimensione europea nel quadro del progetto EC denominato “SHARE”, iniziato nel 2009. Il recente European Seismic Hazard Model (ESHM13) è stato il primo modello di pericolosità sismica europeo a includere in maniera esplicita e sistematica le osservazioni relative alla distribuzione e al potenziale sismogenetico delle principali faglie responsabili della sismicità delle aree più attive del continente. L'esperienza ha richiesto uno sforzo non trascurabile per elaborare un nuovo paradigma, basato sull'esperienza DISS e condiviso da tutti i paesi europei, su come condurre la ricerca nel campo della sismotettonica e della identificazione delle faglie attive. Il risultato ultimo di questo impegno a scala continentale è lo European Database of Seismogenic Faults (EDSF: <http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/>), in buona misura modellato sulla base dell'esperienza DISS e pubblicato per la prima volta nel 2013 (Basili *et al.*, 2013). Il Database è stato gestito e viene attualmente mantenuto dall'INGV nel quadro dell'iniziativa europea EPOS; è entrato a far parte della rete EFEHR (European Facilities for Earthquake Hazard and Risk: <http://www.efehr.org/>) ed è oggi in procinto di essere sottoposto a una opportuna fase di revisione e arricchimento nell'ambito del progetto comunitario denominato “SERA”.

A sua volta la recente iniziativa MPS16, attraverso la quale la comunità scientifica nazionale ha avviato l'aggiornamento del modello di pericolosità sismica MPS04 a dodici anni dalla sua pubblicazione, sta riproponendo di utilizzare estensivamente le conoscenze già esistenti sulle faglie sismogenetiche italiane per vincolare meglio la distribuzione della pericolosità e i tassi di occorrenza dei terremoti attesi.

Dopo un percorso durato almeno tre decenni e punteggiato da successi inaspettati, prevedibili delusioni e necessari cambiamenti di rotta, la Geologia, nella sua particolare accezione di “Geologia dei terremoti” è oggi finalmente un elemento-chiave per la mitigazione del rischio sismico in Italia. La nostra comunità scientifica attiva nel campo della Geologia dei terremoti è cresciuta in dimensioni e autorevolezza, stabilendo una *leadership* indiscussa che fa dell'Italia un riferimento quantomeno per gli altri paesi europei e dell'area mediterranea. E siamo definitivamente usciti anche noi da quella fase pionieristica della Geologia, ma anche della Sismologia, che fece scrivere a Charles F. Richter nel 1958 (il mio anno di nascita, forse un segno del destino):

“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).

Bibliografia

- Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti 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**, 20-43, doi: 10.1016/j.tecto.2007.04.014.
- Basili R., e altri 27 autori; 2013: *The European Database of Seismogenic Faults (EDSF) compiled in the framework of the Project SHARE*. <http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/>; doi: 10.6092/INGV.IT-SHARE-EDSF.
- DISS Working Group; 2007: *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.0.4: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://diss.rm.ingv.it/diss/> © INGV 2007, doi: 10.6092/INGV.IT-DISS3.0.4.
- 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*. <http://diss.rm.ingv.it/diss/> © INGV 2015, doi: 10.6092/INGV.IT-DISS3.2.0.
- Galadini F., Meletti C., Vittori E.; 2000: *Stato delle conoscenze sulle faglie attive in Italia: elementi geologici di superficie*. In: “Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999)” CNR-Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti - Roma, 107-136.
- Haller K.M. e Basili R.; 2011: *Developing seismogenic source models based on geologic fault data*. Seismol. Res. Lett., **82**, 4, 519-525, doi: 10.1785/gssrl.82.4.519.
- 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 e note, ANPA, Roma (oggi consultabile all'indirizzo: <http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>).
- Mulargia F. e Boschi E.; 1983: *The 1908 Messina earthquake and related seismicity*. In: Kanamori H. & Boschi E. (a cura di): *Earthquakes: Observation, Theory and Interpretation - Proc. 85th E. Fermi Summer School in Geophysics, Varenna, 29 June-9 July 1982*. North-Holland Publ. Company, 493-518.
- Pantosti D., e Valensise G.; 1990: *Faulting mechanism and complexity of the 23 November 1980, Campania-Lucania earthquake, inferred from surface observations*. J. of Geophys. Res., **95**, 15319-15341.
- Richter C. F.; 1958: *Elementary seismology*. Freeman & Co. (editore), San Francisco, 768 pp.
- Serva L., Blumetti A. M., Michetti A. M.; 1986: *Gli effetti sul terreno del terremoto del Fucino (13 gennaio 1915); tentativo di interpretazione della evoluzione tettonica recente di alcune strutture*. Mem. Soc. Geol. It., **35**, 893-907.
- Valensise G. e Pantosti, D. (a cura di); 2001: *Database of Potential Sources for Earthquakes Larger than M 5.5 in Italy (DISS version 2.0)*. Ann. Geofis. **44**, Suppl. 1, con CD-ROM, doi: 10.4401/ag-3562.
- Valensise G. e Pantosti D.; 2001: *The investigation of potential earthquake sources in peninsular Italy: a review*, J. Seismol., **5**, 287-306.
- Westaway R., e Jackson J. A.; 1984: *Surface faulting in the southern Italian Campania-Basilicata earthquake of 23 November 1980*. Nature, **312**, 436-438.