

Sismicità associata alla produzione di energia

Simona Esposito, Paolo Gasparini

Nel corso degli ultimi decenni, è emerso come in alcuni casi attività tecnologiche intraprese dall'uomo per reperire fonti energetiche possano avere una influenza sui campi di sforzi tettonici, generando quindi terremoti. Esempi di tali attività includono lo sbarramento di fiumi per la formazione di un bacino idrico (energia idroelettrica), fratturazione di rocce per lo sfruttamento di risorse geotermiche (energia geotermica), estrazione di idrocarburi, estrazione mineraria (carbone), iniezione di fluidi di processo, stoccaggio di biossido di carbonio.

I terremoti antropogenici possono essere suddivisi in due categorie [1]:

- 1) terremoti indotti, nei quali uno sforzo esterno, prodotto dalle attività antropiche, è sufficientemente grande da produrre un evento sismico in una regione che non era necessariamente sottoposta a un campo di sforzi tale da poter generare un terremoto;
- 2) terremoti innescati, per i quali una piccola perturbazione generata dall'attività umana è sufficiente a spostare il sistema da uno stato quasi-critico ad uno stato instabile. L'evento sismico sarebbe comunque avvenuto prima o poi, ma probabilmente in tempi successivi e non precisi.

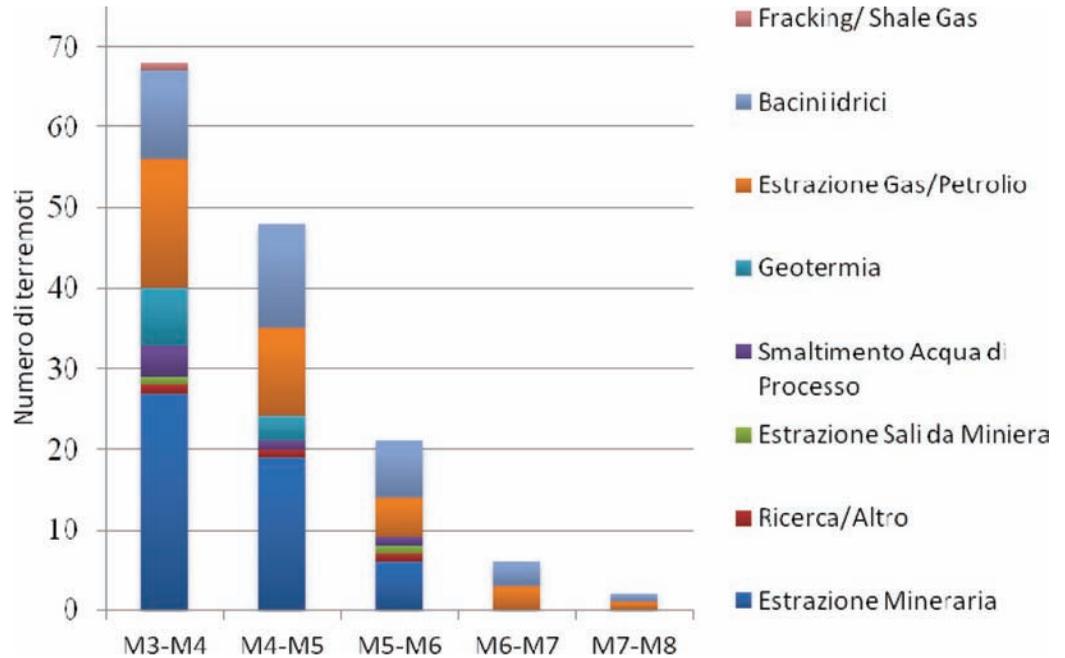
Generalmente i terremoti provocati da queste attività hanno magnitudo bassa (inferiore a 3) quindi non tale da provo-

care danni. Tuttavia esistono casi ben documentati nei quali l'attività umana è stata associata alla generazione di terremoti anche di elevata magnitudo. Davies et al. [2] descrivono circa 140 casi verificatosi dal 1929 (Figura 1) e caratterizzati da magnitudo comprese tra M 3 e M 7,9.

Le principali cause di terremoti antropogenici sono [3]:

- Estrazione mineraria: dove le variazioni di stress prodotte sono paragonabili allo stress ambientale. Il terremoto di intensità maggiore associata ad attività minerarie, M 5,6, si è verificato in Germania (Völkershausen) nel 1989. Anche l'attività di estrazione d'oro in Sud Africa ha indotto terremoti a volte anche di intensità elevata ($M > 5$). L'estrazione di rame e carbone in Polonia negli ultimi anni è stata caratterizzata da attività sismica relativamente frequente (1-2 eventi annui) e di media intensità ($M < 4$).
- Iniezione/Estrazione: questa categoria comprende l'attività sismica prodotta da sfruttamento di giacimenti gas e petrolio sia con tecniche convenzionali che non convenzionali (i.e. *shale gas*), e l'attività sismica associata allo stoccaggio sotterraneo di liquidi e gas. Terremoti di elevata magnitudo ($M > 6$) sono stati osservati in prossimità di giacimenti di idrocarburi convenzionali (ad esempio, M 6,1 Kettleman Nord,

Figura 1. Terremoti associati ad attività antropogeniche e relativa magnitudo (mod. da [2]).



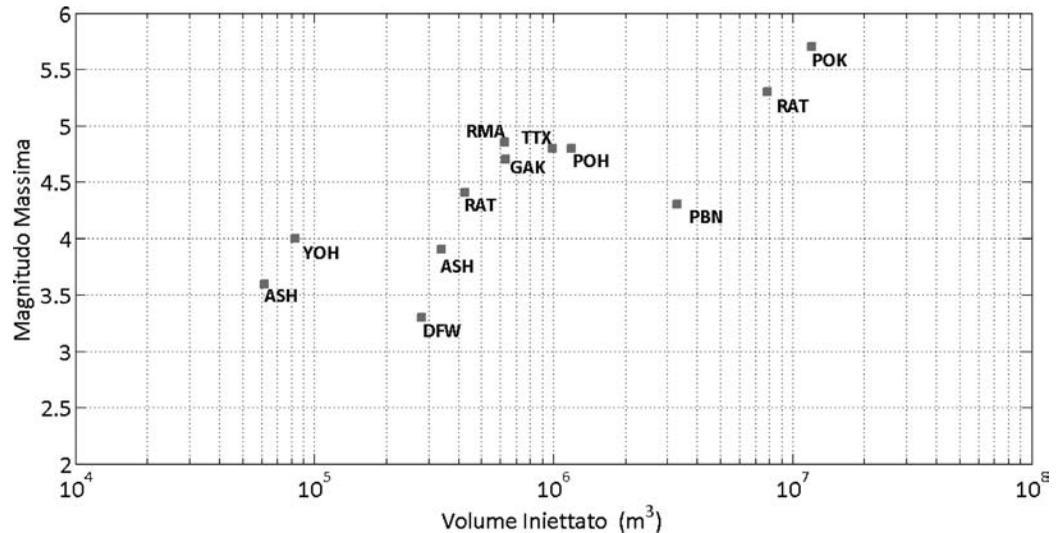
Stati Uniti d’America, M 6,0 Bards-Gelmes-Wishka Turkmenistan) che hanno avuto luogo in regioni tettonicamente attive.

- Fratturazione idraulica: di sedimenti rocciosi caratterizzati da scarsa permeabilità (noto come *Hydraulic fracturing*, *hydrofracking* o *fracking*). La fratturazione idraulica permette di aumentare la permeabilità delle formazioni target agevolando quindi l’estrazione di idrocarburi, come descritto nell’articolo *Shale gas: gli idrocarburi del futuro?*. La maggior parte degli eventi sismici associati a questa tecnica sono al di sotto di M 3.
- Smaltimento di elevati volumi di acqua di processo: durante l’estrazione di gas e petrolio, e in particolare nel recupero secondario degli idrocarburi e nella fratturazione idraulica, viene generata una grande quantità di acqua (e altri componenti fluidi e soluti) che nella maggior parte dei casi viene ri-iniettata in siti vicini al sito produttivo per ridurre al minimo l’impatto ambientale e i costi di

trasporto e trattamento. Dal 2000, si è osservato un aumento significativo della sismicità medio-intensa (magnitudo locale ML 3-ML 5,3) nella parte centrale degli Stati Uniti d’America [4], contemporanea ad un notevole e continuo incremento nell’attività di smaltimento per iniezione, generando un elevato interesse nello studio delle possibili relazioni tra sismicità e volume di acqua di processo reiniettata (Figura 2).

- Bacini idrici: dalla metà del secolo scorso sono stati osservati eventi sismici in zone a bassa pericolosità sismica nelle quali erano presenti grandi bacini idrografici prodotti da dighe di sbarramento, in genere per la produzione di energia elettrica. Il terremoto di Konya (nell’India centro-occidentale) del 1967 rappresenta uno degli eventi più catastrofici associati ad attività antropogeniche: più di 200 morti, 1.500 feriti e migliaia di sfollati. Eventi di elevata intensità ($M > 6$) sono frequenti per questa categoria (ad esempio M 6,3 Kremasta,

Figura 2. Magnitudo massima in funzione del volume di acqua di processo iniettata dall'inizio della produzione fino all'occorrenza dell'evento di magnitudo massima (mod. da [5]) (ASH: Ashtabula, OH; DFW: Dallas-Fort Worth Airport, TX; YOH: Youngstown, OH; GAK: Guy, AR; PBN: Paradox Valley, CO; POH: Painesville, OH; POK: Prague, OK; RAT: Raton Basin, CO; RMA: Denver, CO; TTX: Timpson, TX).



- Grecia, M 6,2 Kariba, Zambia/Zimbabwe, M 6,1 Xinfengjiang, Cina).
- Produzione energia geotermica: diversi terremoti sono stati registrati durante lo sfruttamento di energia geotermica; nella maggior parte dei casi si tratta di progetti per lo sviluppo di energia geotermica con tecniche non convenzionali, in cui è necessario effettuare una fratturazione idraulica per sviluppare percorsi permeabili (sistemi geotermici avanzati, noti come *Enhanced Geothermal Systems*, EGSs). Vi sono però anche alcuni casi di sismicità associata a produzione di energia geotermica con tecniche tradizionali. Solitamente i terremoti associati agli EGS sono di medio-bassa intensità e localizzati a pochi km di distanza dai pozzi di estrazione e di iniezione. A Basilea, la fratturazione idraulica ad elevata pressione ha causato una serie di eventi sismici provocando allarme sociale e un elevato numero di reclami assicurativi per il solo evento di magnitudo M 3,4 del dicembre 2006.

In alcuni casi, soprattutto per le dighe, è stato osservato che l'attività sismica è direttamente correlata alle variazioni di pressione prodotte dallo svuotamento e

dal riempimento del bacino idrico, piuttosto che dai valori assoluti. È possibile quindi utilizzare dei sistemi a semaforo [6] che si basano su relazioni tra energia sismica liberata e variazione dei parametri di produzione per la mitigazione del rischio sismico.

Va detto però che, vi sono stati casi di sismicità osservata anche ad alcune decine di km di distanza (più di 30 km) [7] e dopo decine di anni. Comunque una dimostrazione scientifica del collegamento tra attività umana e terremoti risulta difficile. La sismicità indotta e, ancor più, quella innescata da operazioni antropogeniche sono fenomeni complessi e variabili da caso a caso, e la correlazione con i parametri di processo è ben lontana dall'essere compresa appieno. Ad esempio, alcune caratteristiche riscontrate nella sismicità antropogenica (come ad esempio la non stazionarietà del processo di occorrenza o la variazione temporale della distribuzione della magnitudo) possono riscontrarsi in alcuni casi anche nella sismicità tettonica. Una chiara distinzione tra sismicità indotta, innescata e naturale è un compito arduo e ad oggi non esistono metodologie scientifiche comunemente accettate che possono essere utilizzate in pratica [8].

Nonostante sia difficile asserire che esistano casi nei quali il verificarsi di terremoti di magnitudo maggiore di 4 sia associabile con certezza a iniezione o estrazione di fluidi dal sottosuolo, il numero di indizi è notevole e cresce nel tempo man mano che la ricerca in questo settore progredisce. Sta diventando una precauzione sempre più diffusa l'implementazione di reti di monitoraggio dell'attività sismica, delle deformazioni del suolo e di misura della pressione dei fluidi, preludio necessario all'adozione di sistemi che consentano di diminuire il rischio sismico modulando le fasi operative in funzione delle variazioni riscontrate in questi parametri. La norma approvata dal Ministero Italiano per lo Sviluppo Economico rappresenta un importante primo passo a livello non solo italiano, ma internazionale.

Bibliografia

1. McGarr A., Simpson D., Seeber L. (2002) "40 Case histories of induced and triggered seismicity", *International Geophysics*, 81A, 647-661.
2. Davies R., Foulgera G., Bindleya A., Styles P. (2013) "Induced seismicity and hydraulic fracturing for the recovery of hydrocarbons", *Marine and Petroleum Geology*, 45, 171-185.
3. ICHESE (International Commission On Hydrocarbon Exploration And Seismicity In The Emilia Region) (2014) *Report on the hydrocarbon exploration and seismicity in Emilia Region*, available at: <http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/unmig/agenda/dettaglio-notizia.asp?id=175>.
4. Ellsworth W.L. (2013) "Injection-Induced Earthquakes", *Science* 341, doi: 10.1126/science.1225942.
5. McGarr A. (2014) "Maximum magnitude earthquakes induced by fluid injection", *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119:1008-1019, doi:10.1002/2013JB010597.
6. Zoback M. (2012) "Managing the seismic risk posed by wastewater disposal", *Earth*, 57, 38-43.
7. Keranen K.M., Weingarten M., Abers G. A., Bekins B. A., Ge S. (2014) "Sharp increase in central Oklahoma seismicity since 2008 induced by massive wastewater injection", *Science*, 345, 448-451.
8. Dahm T., Hainzl S., Becker D., Bisschoff M., Cesca S., Dost B., Fritschen R., Kuhn D., Lasocki S., Klose C.D., Meier T., Ohrnberger M., Rivalta E., Shapiro S., Wegler U. (2010) *How to discriminate induced, triggered and natural seismicity*, Proceedings of the Workshop Induced seismicity: November 15-17, 2010, Hotel Hilton, Luxembourg, Grand-Duchy of Luxembourg. (Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 30), Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 69-76.