

Fabbriche di terremoti

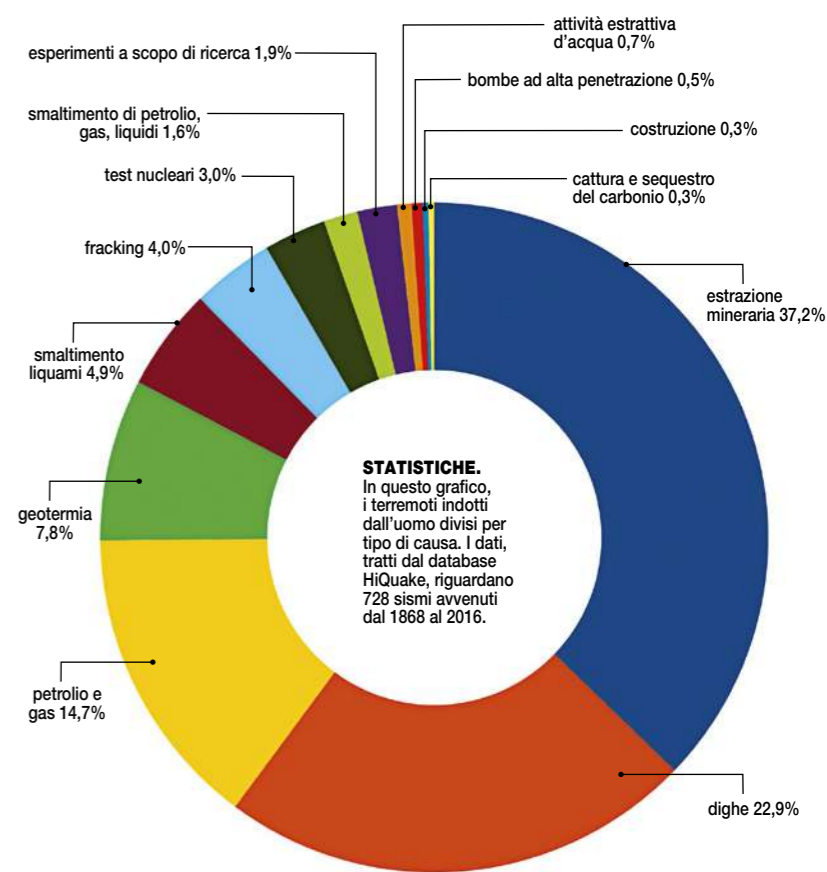
Dighe, miniere, estrazione di gas e di petrolio: diverse attività umane possono causare sismi. Anche in Italia.

SOTTO TERRA. Operai in una miniera d'oro in Irlanda: l'attività estrattiva è fra quelle che più spesso provocano terremoti.



Un boato lontano, poi un'esplosione. Infine la scossa: la casa trema, il lampadario ondeggia, un vaso cade da un armadio e va in frantumi. Sulla parete si apre una crepa lunga un metro. Scene come queste, in Oklahoma (Usa), sono diventate un appuntamento quotidiano. E dire che, fino al 2008, c'era solo un terremoto all'anno. Nel 2009 sono saliti a 20, nel 2011 a 63: uno alla settimana. Ma era solo l'inizio: nel 2015 ne sono stati registrati 887, più di 2 al giorno. Gran parte dei 2.500 sismi avvenuti negli ultimi 9 anni sono stati di debole intensità. Ma l'anno scorso a Pawnee una scossa di magnitudo 5,8 ha indotto la governatrice Mary Fallin a dichiarare lo stato d'emergenza.

BOMBE E PETROLIO. A cosa è dovuta questa improvvisa epidemia di terremoti? Dopo accurate indagini, i sismologi dell'Usgs (l'agenzia sismica degli Usa) non hanno avuto più dubbi: le attività legate all'estrazione di petrolio, di cui il sottosuolo di quello Stato è ricco, avevano riattivato i movimenti delle rocce sotterranee. L'Oklahoma, certo, è un caso estremo. Ma non isolato: i terremoti di origine artificiale avvengono in tutto il mondo, anche in Italia, e non sono dovuti soltanto all'estrazione di petrolio e gas. Le attività che hanno provocato il maggior numero di terremoti sono infatti l'estrazione mineraria e le dighe (v. diagramma sotto). E anche, con minor frequenza, la geotermia, il fracking e i test nucleari: l'ultima esplosione, avvenuta in settembre in Corea del Nord a 800 metri di profondità, ha causato un terremoto di magnitudo 6,1 registrato dai sismografi di tutto il mondo. Ma in che modo le attività umane riescono a provocare i terremoti? Quanto sono frequenti e gravi questi eventi? E, soprattutto: è possibile correre ai ripari? ▶



SE TUTTI SALTASSIMO, LA TERRA TREMEREbbe?

TREMORI. Se le variazioni di peso sulla Terra possono indurre terremoti, cosa accadrebbe se tutta la popolazione mondiale (7,6 miliardi) saltasse nello stesso momento? Immaginando che ogni persona pesi 50 kg, e che salti 0,5 metri, ricadendo sul suolo svilupperebbe un'energia di 245 joule (massa per accelerazione di gravità $9,8 \text{ m/s}^2$ per 0,5 m). Il valore, moltiplicato per 7,6 miliardi, genererebbe 1,8 terajoule: l'energia di un terremoto di magnitudo 5. Questo, però, a patto che tutti saltino nello stesso luogo: con una densità di 5 persone al m^2 starebbero in 1.520 km^2 , pari alla superficie di Londra. L'altra condizione è che il salto avvenga sopra una faglia superficiale. Ecco perché un esperimento di questo genere, avvenuto il 7 settembre 2001 nel Regno Unito, non ha avuto effetti. In quell'occasione, infatti, un milione di studenti delle scuole britanniche saltò insieme per un minuto: i sismografi registrarono solo qualche lieve perturbazione, ma non una scossa di magnitudo 3 come ci si aspettava.



EFFETTI COLLATERALI. Pozzi di petrolio a Kern River, California. Gli Usa hanno il più alto numero di sismi indotti dall'uomo. Sotto, una geologa installa un sismometro.



I primi sospetti che l'uomo potesse risvegliare le forze della natura risalgono a 50 anni fa, quando a Denver una fabbrica d'armi chimiche, il Rocky Mountain Arsenal, iniziò a smaltire milioni di litri d'acqua contaminata in un pozzo a 3,6 km nel sottosuolo. Si produssero sismi, e nel 1966 l'esercito chiuse il pozzo. Ma fu considerato un caso eccezionale. Oggi, la sismicità indotta dall'uomo non è più considerata un'ipotesi stravagante: esiste, e si aggiunge all'impatto - ben più pesante - delle attività umane sul clima. Tanto che un'équipe di geofisici dell'Università di Durham (Uk) ha aperto quest'anno HiQuake, il primo database mondiale dei terremoti artificiali (inducedearthquakes.org). Negli ultimi 148 anni ne ha censiti 728 in tutto il mondo: l'inquietante record spetta agli Stati

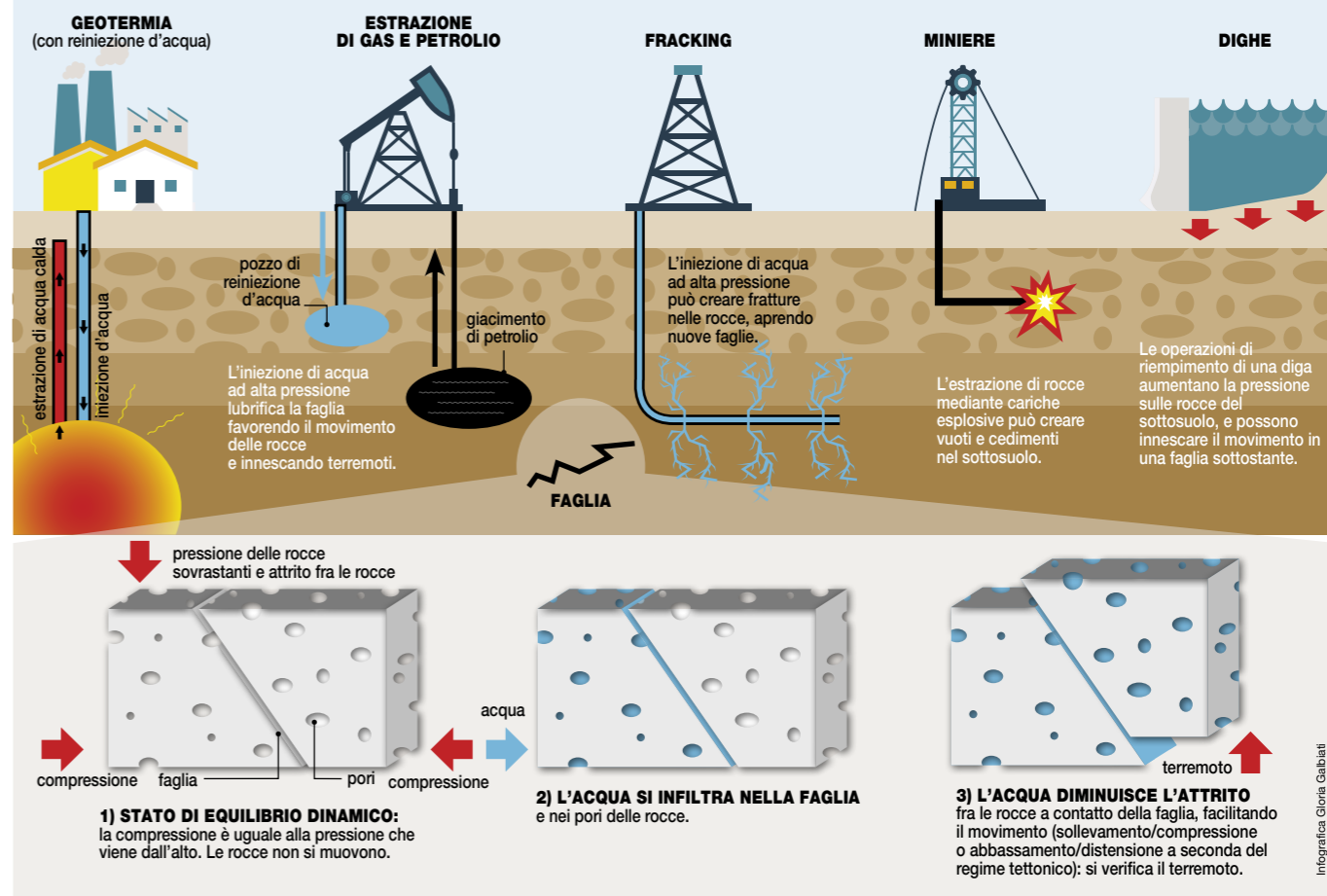
Uniti (181 casi), seguiti da Cina (147) e Canada (52). Ma nella "top ten" mondiale ci sono anche diversi Paesi europei: Germania, Paesi Bassi, Francia. L'Italia è all'11° posto con 14 casi.

VIOLENZA ASIATICA. Se si considera che ogni anno la Terra trema un milione e mezzo di volte, 728 terremoti di origine artificiale sono una percentuale infinitesimale. «Ma è probabile che la nostra stima sia al ribasso», avverte Gillian Foulger, sismologa dell'Università di Durham e capofila di HiQuake. «Abbiamo censito tutti i casi sospetti, e molti sono ancora da verificare. Ma i casi studiati sono la minima parte di quelli accaduti: il numero reale potrebbe salire dal 30% al 90%». In 2 casi su 3, va detto, i sismi di origine umana sono deboli e per lo più impercet-

tibili: il 67,6% è di magnitudo compresa fra 0 e 4. Ma in un caso su tre (29,5%) sono di magnitudo fra 4 e 6. I sismi superiori a 6 sono pochi (2,9%) e causati per lo più da dighe ed estrazione di idrocarburi. Ma hanno lasciato il segno: fra gli indiziati figura il terremoto del Sichuan (Cina), di magnitudo 7,9, che nel 2008 ha mietuto 69mila vittime. Potrebbe essere stato innescato dalla diga di Zipingpu, che preme con 1,1 miliardi di m^3 d'acqua. Sempre in Asia si è registrato il secondo terremoto artificiale più violento: quello avvenuto in Nepal nel 2015 (magnitudo 7,8). Secondo il Centro di sismologia di Nuova Delhi, sarebbe stato provocato dal massiccio prelievo di acque dai fiumi Gange, Brahmaputra e Indo: questo ha ridotto la pressione che manteneva in equilibrio le rocce sottostanti. «I sismi attribuibili alle attività umane», spiega Thomas Braun, geofisico dell'Ingv di Arezzo, «si dividono in due tipologie: quelli indotti e quelli innescati. I primi sono le fratture causate dall'uomo all'interno delle rocce: questo avviene, per esempio, nel fracking, con cui si creano, usando liquidi ad alta pressione, nuove fratture nel sottosuolo per estrarre pe- ▶

I terremoti di origine artificiale sono stati 728 in 150 anni. Ma solo il 3% è stato violento

Come si provocano i terremoti





IMPIANTO DI PESO. La diga di Zipingpu (Cina): è sospettata di aver causato il terremoto del Sichuan (2008) in cui sono morte 69mila persone.

trolio (v. disegno nella pag. precedente). Ma sono più pericolosi i terremoti innescati, cioè la stimolazione di una faglia già esistente. Alcune attività, infatti, possono facilitarne il movimento che, prima o poi, sarebbe avvenuto». I terremoti, infatti, sono causati da variazioni negli stress nelle masse rocciose. Che si verificano non solo per l'azione di forze sotterranee come il movimento delle placche e del magma, ma anche per eventi in superficie (frane, carico di ghiaccio o di neve, variazioni di pressione atmosferica), che modificano la distribuzione dei pesi sulle rocce sottostanti.

I GUAI DELL'EUROPA. «Anche le attività umane possono avere effetti simili, turbando gli stress nella crosta terrestre», aggiunge Foulger. «Le esplosioni degli scavi minerari e dei test atomici generano onde sismiche e cedimenti nel sottosuolo. Il riempimento e lo svuotamento delle dighe modificano i pesi che agiscono sulle rocce sottostanti. Il fracking crea nuove fratture nelle rocce. E l'estrazione di petrolio comporta lo smaltimento di milioni di m³ di acque di estrazione, reiniettate con pompe ad alta pressione in pozzi a 2-4 km di profondità. Quest'acqua penetra nei pori

delle rocce e arriva a lubrificare faglie esistenti, innescandone il movimento». È il caso dell'Oklahoma, dove dal 2009 si è intensificato lo smaltimento di acque di scarto in oltre 10mila pozzi. Da quando tale pratica è diminuita, sono calati anche i sismi: quest'anno, fino a luglio, ne sono stati registrati "solo" 137. E anche l'Europa ha i suoi guai. La *Reviews of geophysics* ha pubblicato di recente uno studio sui terremoti indotti in Europa. I più rilevanti sono avvenuti in Spagna, in un sito di stoccaggio del gas al largo di Valencia, chiuso nel 2013 perché l'iniezione di gas aveva causato più di mille sismi in 40 giorni. E a Basilea, in Svizzera, per l'attivazione di un impianto geotermico: l'iniezione di 11.500 m³ di acqua in un pozzo profondo 5 km ha causato due terremoti che hanno prodotto danni per 6,2 milioni di euro. Ma l'area più calda è a Groninga, nei Paesi Bassi, dove c'è il più grande giacimento europeo di gas naturale: qui i terremoti sono saliti a 20 l'anno. Nel 2014 il governo, che ha accantonato oltre 1 miliardo di euro per risarcire i danni agli edifici, ha ordinato il calo dell'attività estrattiva. Ed è proprio la società Nam, titolare dell'impianto olandese, ad aver finanziato il database HiQuake: capire i terremoti in-

dotti può aiutare a prevenirli, evitando risarcimenti milionari. A oggi è impossibile stabilire col 100% di certezza se un terremoto è naturale o indotto dall'uomo. «È più facile distinguere quando in un'area a bassa sismicità si verifica un incremento di terremoti dopo l'avvio di un'attività umana», spiega Francesco Grigoli, del Politecnico Federale di Zurigo. «Ma quando un impianto estrattivo sorge vicino a una o più faglie attive, che in passato hanno già prodotto terremoti, il confine fra sismi indotti e naturali si sfuma».

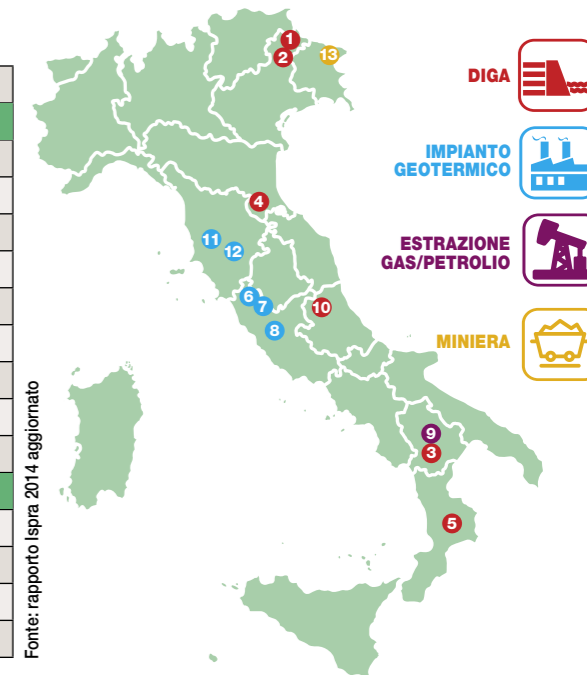
BASILICATA "CALDA". Un esempio? La Val D'Agri, in Basilicata: nella stessa area c'è il più grande giacimento di idrocarburi su terraferma d'Europa, una faglia attiva (che nel 1857 ha prodotto un sisma di magnitudo 7,1), e la diga di Pertusillo, con una capienza di 155 milioni di m³ d'acqua. Capire quale dei 3 fattori scateni oggi i terremoti è un rompicapo. «Alcuni dei parametri da considerare sono il tempo e lo spazio: dopo quanto si verificano i sismi? E a che distanza da attività umane?», prosegue Grigoli. «Le attività che implicano l'iniezione di fluidi ad alta pressione possono innescare faglie anche a decine di km e dopo diversi

L'iniezione d'acqua può attivare faglie distanti decine di km

anni. Questo rende molto difficile correlare i terremoti alle attività industriali. E gli studi sono complicati dal fatto che spesso è difficile ottenere dalle aziende petrolifere i dati sui volumi e sulle pressioni dei fluidi iniettati». In assenza di criteri condivisi da tutta la comunità scientifica, ogni nazione cerca di prevenire i terremoti artificiali installando, nei giacimenti di idrocarburi, nelle dighe e nelle miniere, una rete di monitoraggio con sensori. In caso di terremoto, si attiva un sistema semaforico: il rosso, cioè lo stop all'attività, si attiva a una soglia che varia di nazione in nazione. Nel Regno Unito basta una scossa da 0,5 di magnitudo, in Canada ci si ferma a 4. In Italia a 3. Ma la magnitudo, da sola, non basta: un sisma di bassa magnitudo che avvenga in superficie può fare molti più danni di uno violento che avvenga a 350 km di profondità. «Occorre una conoscenza approfondita delle caratteristiche geologiche di un territorio: il tipo di rocce e la presenza di faglie», precisa Grigoli. «E il monitoraggio dei sismi indotti è

	Località	Magnitudo	Anno
CASI DOCUMENTATI			
1	Pieve di Cadore (BL)	2	1964
2	Vajont (BL)	2	1963
3	Pertusillo (PZ)	2,7	2010
4	Ridracoli (FC)	3	1988
5	Passante (CZ)	2,5	1995
6	Latera (VT)	2,9	1980
7	Torre Alfina (VT)	3	1977
8	Cesano (RM)	2	1978
9	Montemurro (PZ)	1,7	2006
CASI IPOTIZZATI			
10	Campotosto (AQ)	5,7	1950
11	Larderello (PI)	3,2	1978
12	Monte Amiata (GR/SI)	3,5 e 4,5	1983 e 2000
13	Raibl/Cave Predil (UD)	n.d.	1965

Fonte: rapporto Ispra 2014 aggiornato



ECCO I 14 CASI ITALIANI (MA 5 SONO DA VERIFICARE)

STUDI. Anche l'Italia ha avuto terremoti di origine artificiale: negli ultimi 67 anni sono stati 14 casi, di cui 9 accertati, e 5 ipotizzati, ancora da verificare. Lo afferma l'unico studio ufficiale, il rapporto Ispra del 2014 (v. tabella sopra). Il ministero dello Sviluppo economico aveva incaricato i sismologi di Ispra, Ingv, Cnr, Ogs di studiare quali terremoti italiani fossero stati causati dall'uomo. Il rapporto voleva fare chiarezza dopo le paure e le polemiche seguite al terremoto del 2012 in Emilia-Romagna: una scossa di magnitudo 5,9 aveva colpito Mirandola, sede di impianti estrattivi di idrocarburi. Rispetto a 3 anni fa, nuovi studi hanno smentito due casi inizialmente ipotizzati: uno è proprio quello di Mirandola. In quel sisma, ha accertato in una ricerca Thomas Braun del Centro per il monitoraggio delle attività di sottosuolo dell'Ingv, le variazioni di stress indotte dalle attività estrattive andavano in senso contrario rispetto al movimento lungo la faglia che ha generato il terremoto. Gli scienziati hanno poi cancellato dalla lista il terremoto di magnitudo 5,4 avvenuto nel 1951 a Caviaga (Lo), vicino a un giacimento di gas: l'ipocentro, individuato alla luce delle attuali conoscenze sismologiche dell'area, risulta a grande profondità e pertanto l'attività estrattiva non ha influito sul sisma.

complesso: spesso si registrano migliaia di microeventi, e per analizzarli occorre un'elevata capacità di calcolo». E in Italia? Fino a pochi anni fa, il monitoraggio sismico era obbligatorio solo per le dighe. In tutti gli altri casi, lo facevano i concessionari delle attività estrattive, che non avevano l'obbligo di pubblicare i dati o di seguire determinate procedure. **DATI PUBBLICI.** Dopo il terremoto del 2012 in Emilia, e i timori - rivelatisi poi infondati - che fosse stato indotto da impianti petroliferi presenti a Mirandola, nel 2014 il ministero per lo Sviluppo economico ha emanato nuove linee-guida. Ogni attività nel sottosuolo che comporti l'estrazione o l'iniezione di fluidi deve essere monitorata da un ente pubblico, e i dati devono essere pubblici. I costi del

monitoraggio sono pagati dai privati alle Regioni o alle Province. Questo, però, non vale per le concessioni precedenti il 2014, che in Italia sono la maggioranza: i contratti vigenti prevedono ancora che i monitoraggi siano fatti dai privati e senza obbligo di trasparenza. E i rilevamenti dei privati sono effettuati con metodi diversi da quelli degli enti pubblici. «È importante regolamentare questo settore», conclude Grigoli. «Se i terremoti indotti sono monitorati bene, si può stimare la probabilità che accadano, e gestirne i rischi in modo efficace. Ed è fondamentale che il controllo sia fatto con trasparenza e omogeneità: così i risultati sono pubblici e riproducibili. E si evitano inutili sospetti, polemiche e richieste di risarcimento danni». **F** **Vito Tartamella**