

GIULIANO BELLINI

I TERREMOTI, SEGNALI DI UN PIANETA VIVENTE*

Quando parliamo di terremoti, il nostro pensiero corre ad avvenimenti recenti, come quelli avvenuti a Sumatra il 26 dicembre 2004, in Abruzzo il 6 aprile 2009, ad Haiti il 12 gennaio 2010, in Nuova Zelanda il 21 febbraio 2011 e in Giappone l'11 marzo 2011.

Per capire come e perché avviene un terremoto dobbiamo conoscere i meccanismi della dinamica terrestre e tornare indietro nel tempo, a 4.5 miliardi (Ga) di anni fa.

Dopo la fase iniziale di aggregazione della nebulosa solare indifferenziata, la proto-Terra era costituita da un nucleo metallico (Fe, Ni) e da un mantello silicatico (minerali silicatici di Fe, Mg, Ca, Al, Na, K) e doveva avere un aspetto simile a quello di uno dei tanti pianeti (Venere, Marte, Luna). Solo successivamente si formarono la crosta terrestre (con le sue masse continentali), l'idrosfera, l'atmosfera.

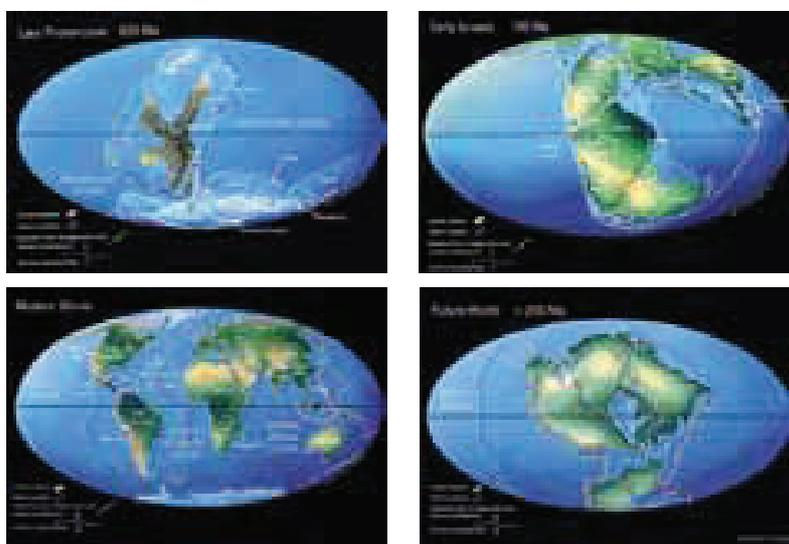
La Terra, durante il primo miliardo di anni, subì un forte riscaldamento che produsse locali processi di fusione parziale. I fusi (magma) così prodotti risalendo innescarono una intensa attività vulcanica. Ripetute emissioni di lava, continue rifusioni parziali delle rocce appena consolidate e degradazione atmosferica con formazione dei sedimenti portarono alla progressiva comparsa della proto-litosfera terrestre. L'acqua, già presente nel sistema Terra, non era negli stati fisici (liquido, solido, vapore) come noi la conosciamo, ma era legata nella struttura dei minerali ossidrilati (es. miche, anfiboli). I processi di fusione ruppero i legami cristallini di questi minerali. L'acqua così liberata salì alla superficie attraverso il vulcanismo sotto forma di vapore, la condensazione del quale e la precipitazione come pioggia accumularono l'acqua alla superficie terrestre originando la proto-idrosfera. L'atmosfera primordiale era costituita prevalentemente da metano e ammoniaca e solo successivamente, attraverso l'azione combinata di vulcanismo, radiazioni solari e prime forme di vita, si arrivò all'attuale atmosfera.

Le aree continentali non erano sviluppate e distribuite come ora noi le conosciamo. Una ricostruzione delle aree continentali, risalen-

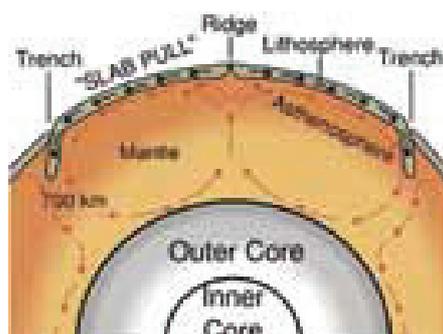
* Comunicazione letta il 18 novembre 2011 nell'Odeo Olimpico.

do nel tempo a 650 milioni (Ma) di anni fa, ha permesso di definire che esse erano volumetricamente di gran lunga inferiori e in posizione geografica ben diversa rispetto a quella attuale. In particolare, 200 Ma di anni fa le terre emerse erano riunite in unico continente (Pangea) il quale era circondato da un unico oceano (Pantalassa).

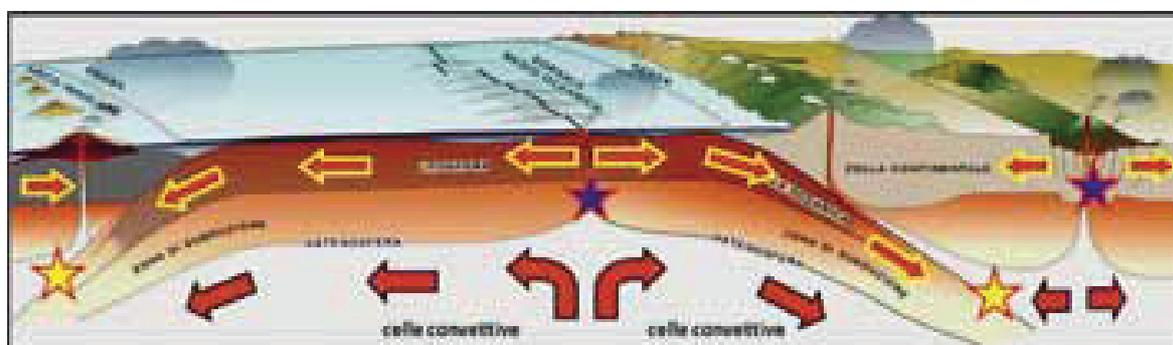
L'attuale configurazione è quindi il risultato di una continua evoluzione del nostro pianeta attraverso intensi fenomeni vulcanici che aumentarono il volume delle masse continentali attraverso fenomeni di fatturazione e migrazione dei continenti. Sulla base dei movimenti che le placche hanno subito in questi ultimi 200 Ma è possibile ammettere che fra 250 Ma si ritornerà ad avere un unico continente ed un unico oceano.



I meccanismi della dinamica terrestre, avanzati nel 1912 da Wegner e perfezionati solo negli anni 50-70 del ventesimo secolo da Hess e dalle ricerche oceanografiche, si spiegano ammettendo che la parte esterna della Terra, costituita dalla crosta e dalla parte superiore del mantello, rigida, detta litosfera, sovrasta la parte di mantello inferiore, caldo e solido, detta astenosfera. In quest'ultima trovano sede i moti convettivi indotti dalla diversa temperatura delle rocce all'interno del mantello che, nei tempi geologici, sottopongono la litosfera a sforzi di trazione (ove le celle convettive divergono) e sforzi di compressione, (ove le celle convettive convergono).



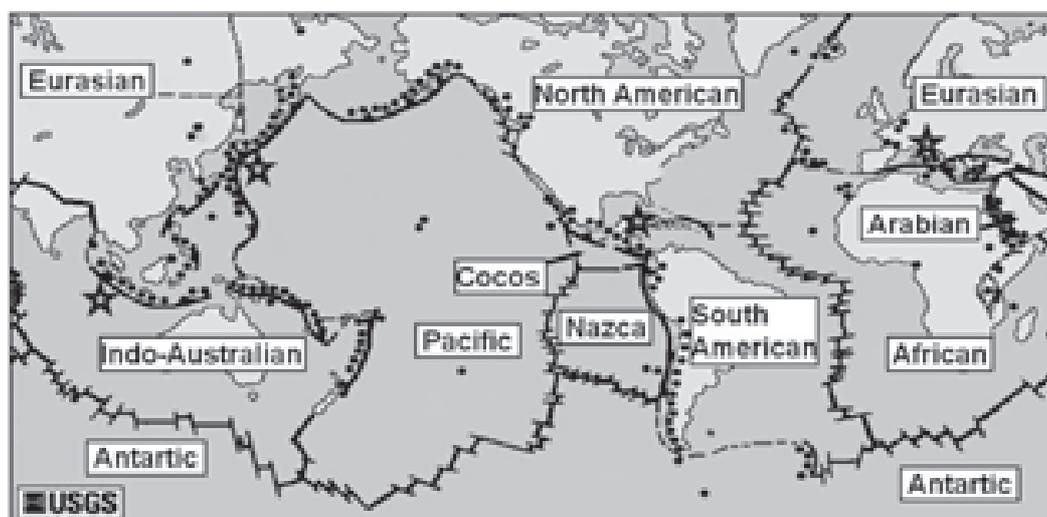
I moti convettivi dell'astenosfera, la rotazione terrestre e l'attrazione lunare hanno prodotto la fratturazione della litosfera terrestre in 12 placche le quali sono in continuo movimento e non coincidono strettamente con i continenti, ma possono essere costituite da crosta continentale, da crosta oceanica o da entrambe. Le placche nel loro movimento relativo possono divergere, convergere oppure spostarsi lateralmente le une rispetto alle altre. Questi movimenti generano, ai margini delle placche, fenomeni vulcanici e sismici. L'ubicazione nel globo terrestre delle aree vulcaniche e sismiche ha permesso di definire la geometria delle placche.



La placca al di sopra di due celle convettive divergenti viene sottoposta a sforzi di trazione, assottigliandosi fino a rompersi con separazione laterale dei blocchi. Questo fenomeno produce estesi fenomeni di fusione del mantello superiore e della crosta inferiore che nella fase di fatturazione e separazione dei blocchi genera enorme vulcanismo e quindi produzione di nuova crosta (margini di placca costruttivi). A questa fase di separazione ed allontanamento delle parti della placca segue l'ingressione marina e quindi la formazione di un oceano. Laddove invece le celle convettive convergono, le placche sovrastanti si avvicineranno progressivamente fino alla collisione che può evolversi con lo sprofondamento di una placca al di sotto dell'altra (subduzione della crosta oceanica sotto la crosta continentale) o con il corrugamento delle due placche (collisione di crosta continentale versus crosta continentale) (margini di placca distruttivi). Infine nello spostamento delle placche la sfericità della Terra genera moti angolari che portano le placche a spostarsi orizzontalmente le une rispetto alle altre (faglie trasformi). In questo caso non si viene a generare né a distruggere crosta terrestre (margini conservativi).

Le rocce ai margini delle placche vengono sottoposte a progressivi sforzi di trazione, laddove le placche divergono, o compressione laddove esse convergono o si spostano lateralmente caricandosi progressivamente di energia fino al limite oltre il quale esse si rompono, con spostamento relativo delle parti. La liberazione dell'energia accumulata genera quello che viene conosciuto con il termine di terremoto. La quantità di energia rilasciata (magnitudo) dipende dal tipo di azione, dalle caratteristiche meccaniche delle rocce, dalla presenza di anisotropie (es. fratture ecc.). Le rocce offrono una resistenza maggiore alla compressione piuttosto che alla trazione per cui il carico di energia accumulata sarà massimo quando l'azione dinamica è di tipo compressivo, via via minore quando di tipo distensivo o quando l'azione dinamica porta a spostamenti laterali lungo le faglie trasformi.

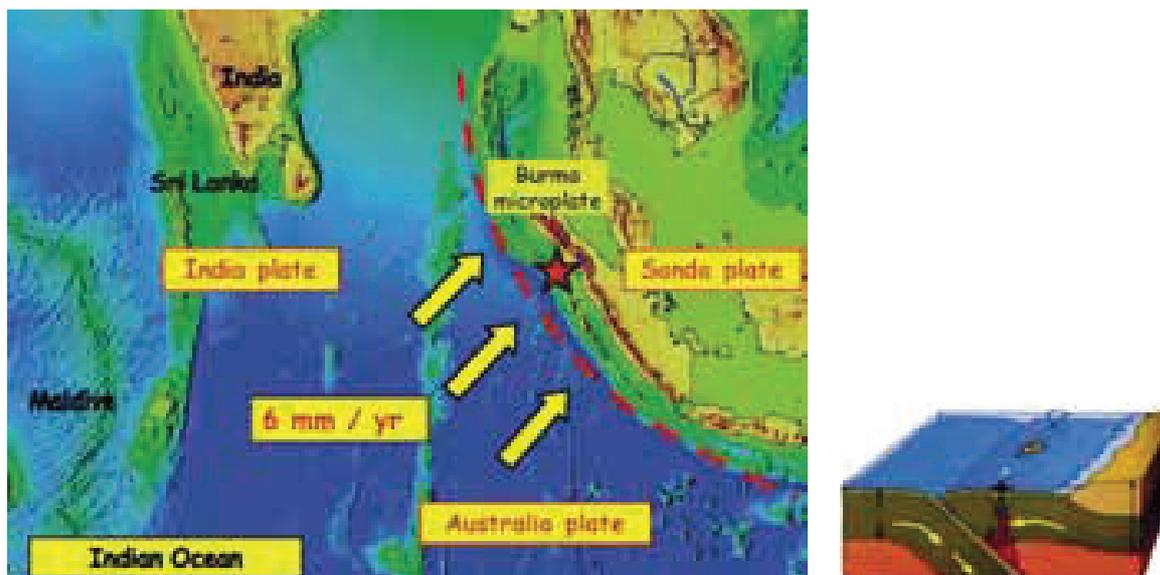
Sulla base di queste sintetiche conoscenze relative alla geodinamica terrestre, se abbiamo una idea del perché si originano i terremoti, possiamo anche prevederli?



Suddivisione della litosfera terrestre in placche. Linea continua e punti = aree sottoposte a sforzi di compressione indotta dalla subduzione della crosta oceanica sotto la crosta continentale o oceanica; linee spezzate = aree sottoposte a sforzi di distensione (dorsali medio-oceaniche) con spostamento laterale dell'asse della dorsale indotto da faglie trasformi; stelle = zone ove si sono verificati i terremoti trattati in questo articolo.

Terremoto di Sumatra

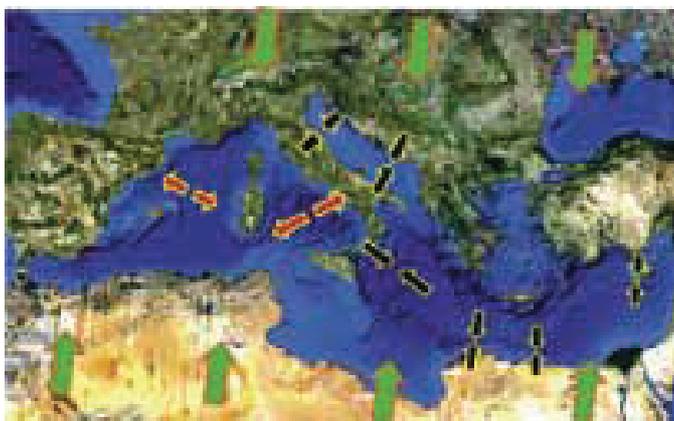
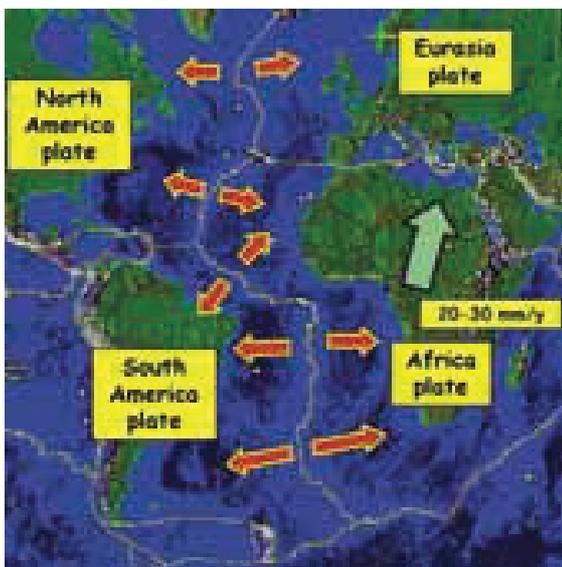
Il 26 dicembre 2004 alle ore 00.59.09 si è verificato un violento terremoto di magnitudo (M) 9.3 della scala di Richter con epicentro nella costa nord occidentale di Sumatra ed ipocentro a profondità di 9 km.



Le cause di questo evento sono legate alla compressione generata nelle rocce dalla contrapposizione di tre placche (indiana, Sonda e australiana) ed in particolare dalla subduzione, con una velocità di 6 mm/anno, della placca indiana sotto la microplacca di Burma situata ad ovest della placca di Sonda. Questo evento è localizzato in un'area nota per la sua forte sismicità con numerosi terremoti di $M > 6$. Oltre alla distruzione legata alla elevata magnitudo del terremoto, questo evento è ricordato per la imponente onda di tsunami generatasi a seguito del sisma. Questa onda, oltre ad invadere la zona costiera dell'isola di Sumatra, si è propagata attraverso l'Oceano Indiano ad una velocità di 800 km/ora raggiungendo le coste dello Sri Lanka, delle isole Maldive e della Somalia rispettivamente dopo 2, 3.5, 7 ore.

Terremoto de L'Aquila

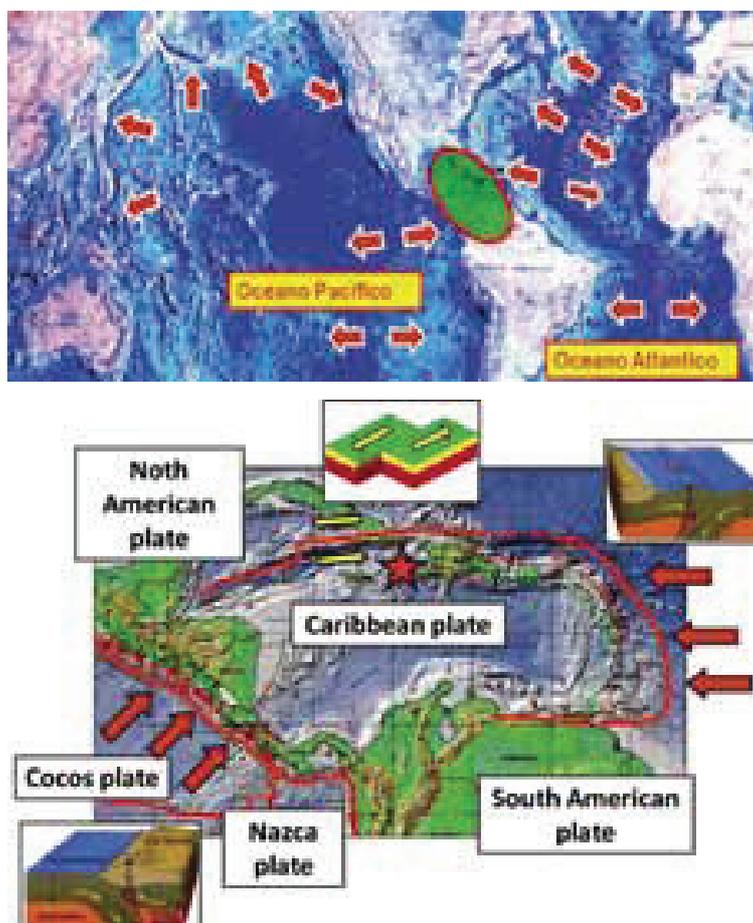
Il 6 aprile 2009 alle ore 03.32.09 si è verificato un violento terremoto di M 5.8 della scala di Richter con epicentro a 10 km da L'Aquila ed ipocentro a profondità di 8.8 km.



Le cause di questo evento sono legate alla compressione generata nelle rocce dalla spinta operata dalla placca Africana nella sua migrazione, valutata sull'ordine dei 2-3 mm/anno, verso Nord contro la placca Euro-Asiatica. Questa dinamica è responsabile della elevata sismicità dell'intera area mediterranea e in particolare della catena appenninica del territorio italiano e del progressivo avvicinamento dell'Italia alla costa dell'ex Jugoslavia, la cui collisione è prevista fra 50 Ma. L'evento sismico è localizzato in una area nota per la sua forte sismicità con numerosi terremoti di $M > 2.8$. Il terremoto del 6 aprile 2009 si è verificato dopo un intenso sciame di microsismi iniziato alcuni giorni prima e si è protratto con eventi altrettanto importanti nel periodo successivo.

Terremoto di Haiti

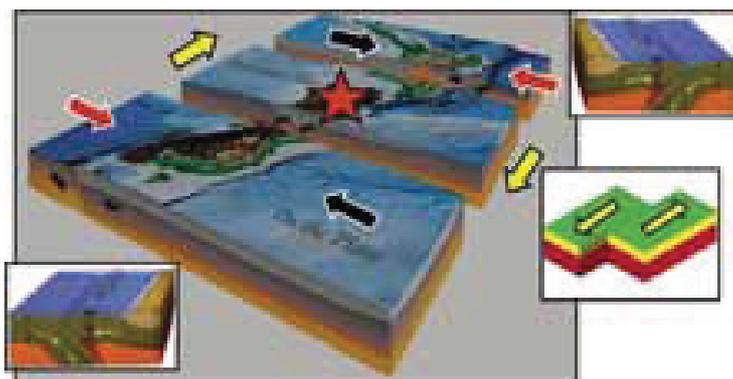
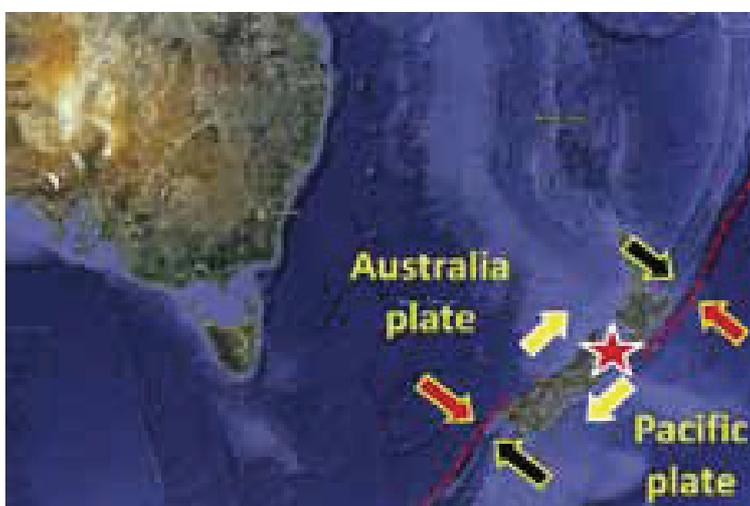
Il 12 gennaio 2010 alle ore 23.53.09 si è verificato un violento terremoto di M 7 della scala di Richter con epicentro a 140 km a S-W di Port au Prince ed ipocentro a 10 km di profondità.



Le cause di questo evento sono legate alla compressione generata nelle rocce dalla spinta operata dalla espansione degli Oceani Pacifico ed Atlantico. In particolare, l'area ove si è manifestato il terremoto si trova in un punto che vede, sotto la placca Caraibica, a ovest la subduzione della crosta oceanica della placca Cocos (Oceano Pacifico) e a Est la subduzione della crosta oceanica Atlantica. Le spinte generate da questi eventi geodinamici, non essendo coassiali, hanno generato due fratture di tipo trascorrente che delimitano la microplacca di Gonave, con spostamento laterale di 20 mm/anno della placca Nord Americana rispetto a quella Sud Americana. Lungo queste due fratture numerosi e forti sono i terremoti verificatisi in questi ultimi anni. Questo evento sismico non si è accompagnato alla formazione di un'onda di tsunami in quanto legato ad uno spostamento laterale delle placche.

Terremoto di Christchurch, Nuova Zelanda

Il 21 febbraio 2011 si è verificato un violento terremoto di M 6,3 della scala di Richter con epicentro in prossimità della città di Christchurch ed ipocentro a circa 40 km di profondità. Le cause di questo evento sono legate alla compressione generata nelle rocce dalla contrapposizione della placca Australiana alla placca Pacifica. In particolare la diversa geometria delle due placche porta alla subduzione, nella parte a Nord Est della Nuova Zelanda, della placca Pacifica sotto quella Australiana, in quella a Sud Ovest della placca Australiana sotto quella Pacifica.



Questa particolare situazione geodinamica produce nell'area della Nuova Zelanda uno spostamento orizzontale della placca Australiana rispetto a quella Pacifica. Questo evento è localizzato in un'area nota per la sua forte sismicità con numerosi terremoti con magnitudo fino a 4 gradi Richter e, pur essendo avvenuto in area oceanica, non si è accompagnato alla formazione di un'onda di tsunami in quanto legato ad uno spostamento laterale delle placche.

Terremoto del Giappone

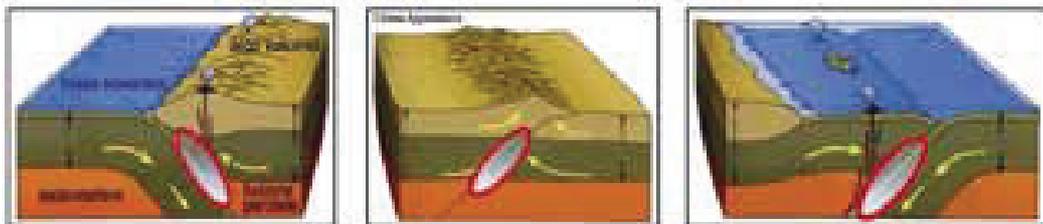
L'11 marzo del 2011 alle ore 14.46.24 si è verificato un violento terremoto di M 9 della scala di Richter con epicentro a est di Honshu ed ipocentro a profondità di 24.4 km.



Le cause di questo evento sono legate alla compressione generata nelle rocce dalla contrapposizione della placca Pacifica sotto quella Euroasiatica con una velocità di 92 mm/anno. Questo evento è localizzato in un'area nota per la sua forte sismicità. Oltre alla distruzione legata alla elevata magnitudo del terremoto, questo evento è ricordato per la imponente onda di tsunami di altezza superiore ai 10 metri generatasi a seguito del sisma e per gli effetti sulla centrale nucleare.

In conclusione le attuali conoscenze sulla geodinamica terrestre ci indicano la localizzazione delle aree sismiche e come avvengono i terremoti. Le ultime ricerche effettuate presso il Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova attraverso uno strumento (HVR-FA: High Velocity Rock Friction Apparatus) spiegano i processi che si accompagnano alla fratturazione delle rocce allo scatenarsi di un grande terremoto. Durante lo scorrimento delle porzioni di roccia

lungo la frattura generata o riattivata da un terremoto, si verifica una serie di processi che vanno dalle reazioni chimiche alla fusione della roccia. Contrariamente a quanto si potrebbe supporre, lungo il piano di scorrimento non c'è un forte attrito che limiterebbe lo spostamento relativo delle parti, ma una naturale lubrificazione e quindi un più facile scorrimento.



Tuttavia siamo ancora lontani dal poter definire l'esatta ubicazione degli epicentri dei terremoti, l'ora in cui si manifesterà l'evento sismico e la magnitudo. Per cui non ci rimane che cercare di attenuare gli effetti dell'evento naturale attraverso:

- una diffusa conoscenza del fenomeno con adeguate norme di comportamento nel caso in cui si verifichi l'evento;
- rigorosi interventi di protezione attraverso la definizione di piani regolatori adeguati al rischio dell'area, la stesura di norme che regolano la tipologia delle costruzioni con attenti controlli e verifiche dell'applicazione delle norme.

IN ALTRE PAROLE: CONOSCERE PER PREVEDERE – PREVEDERE PER INTERVENIRE.