

IL TERREMOTO M_w 9.0 DI HONSHU (GIAPPONE) DELL'11 MARZO 2011: SORGENTE SISMICA E TSUNAMI

di Roberta Giuliani e Paolo Galli

Il terremoto avvenuto l'11 Marzo 2011 (05:46:23 UTC, M_w 9.0) al largo della costa orientale di Honshu (Giappone) ha provocato, soprattutto a causa dello tsunami conseguente, circa 28.000 morti, migliaia di feriti e danni incalcolabili al territorio e alle centrali nucleari nella prefettura di Fukushima. Di fatto, nonostante i reattori delle centrali si fossero automaticamente spenti a seguito delle scosse, trenta minuti dopo il maishock gli edifici di controllo della centrale di Fukushima sono stati colpiti dalle onde di maremoto, alte localmente fino a 10 m (le barriere di protezione all'impianto erano progettate per onde alte fino a 5.7 m), avviando una catena di eventi culminata con l'avaria dei sistemi di raffreddamento di emergenza dei noccioli e provocando, in definitiva, l'incidente nucleare più grave mai verificatosi al mondo, a parte quello di Chernobyl.

Il terremoto si è generato in corrispondenza del margine della placca Pacifica, laddove questa subduce al di sotto della crosta che sottende l'arcipelago del Giappone (Fig. 1) ad una velocità media di 92 mm/anno (Demets et al., 2010; ca. 9 m ogni 100 anni). Un improvviso scorrimento di decine di metri lungo oltre 300 km di lunghezza nella zona di accoppiamento tra le placche (megathrust), e per una larghezza di circa 150 km, ha determinato il rilascio di un'energia enorme, pari alla magnitudo 9.0 calcolata.

In corrispondenza della fossa del Giappone (Japan trench), è localizzata la rottura cosmica della scossa principale, 130 km ad est di Sendai ad una profondità di 30 - 40 km. Il movimento in profondità è giunto sino all'interfaccia con il fondale marino, deformandolo istantaneamente per decine di metri e mobilizzando una gigantesca massa d'acqua lungo tutto il margine di placca coinvolto. Questo fenomeno ha generato lo tsunami, con un treno di onde che si sono propagate sia verso le coste giapponesi sia verso l'oceano Pacifico, a una velocità media di circa 860 km/h nei fondali molto profondi dell'Oceano, e di 250 km/h nel tratto percorso dall'epicentro alla costa giapponese. Le onde di maremoto sono state registrate con un'altezza media di 1.8 m, 6 minu-

ti dopo la scossa a 515 km ad est dell'epicentro del sisma in pieno Oceano dalla stazione DART (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis) del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Tale stazione è parte della rete posta in acque oceaniche aperte con finalità di *early warning* per maremoti. Le onde si sono propagate per l'intero oceano Pacifico raggiungendo gli Stati Uniti nelle Hawaii, nelle coste della California, fino ad arrivare dopo 19 ore in Cile (Fig. 2).

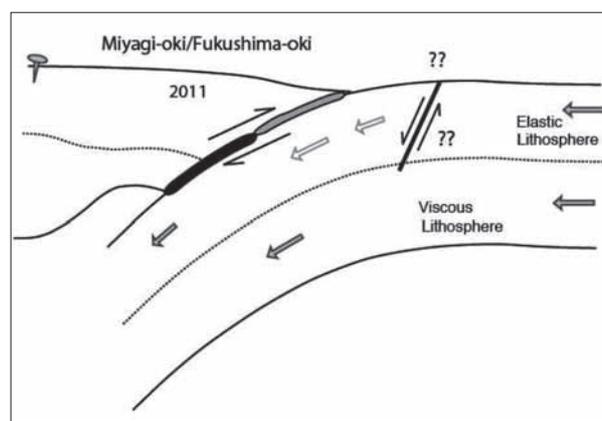


Fig. 1 - Sezione schematica della zona di subduzione in corrispondenza del terremoto catastrofico del 2011 (in grigio e nero le aree di scorrimento). È importante notare che in molti altri casi, a seguito dell'attivazione del megathrust nella zona di subduzione si sono poi verificati grandi terremoti anche nella zona esterna della placca (punti interrogativi; mod. da Lay et al., 2011).

Le onde, avvicinandosi ai fondali bassi costieri si sono innalzate notevolmente, investendo la costa dopo circa 15-20 minuti. L'altezza di *run up* (elevazione dal livello medio dell'acqua) massima è stata raggiunta nella prefettura di Iwate (parametri dello tsunami riportati nel database del NOAA), raggiungendo un massimo di 38 m ad una distanza di 145 km dall'epicentro.

L'inondazione si è estesa all'interno della costa per oltre 4 km nelle zone più vicine all'epicentro, causando danni ben più elevati rispetto a quelli indotti dal terremoto.

I grandi terremoti della zone di subduzione, come questo giapponese del 2011, sprigionano un'energia talmente elevata da modificare leggermente la geometria della Terra. Il sollevamen-

to del fondo del mare dovuto al terremoto di Honshu ha aumentato a livello globale il livello del mare di 0.2 mm (JPL).

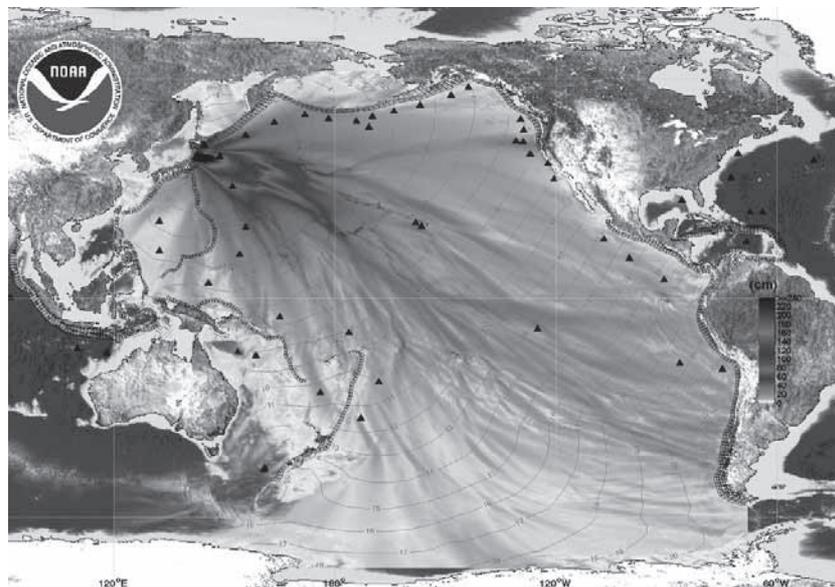


Figura 2 - Propagazione delle onde nell'intero Oceano Pacifico, i triangoli neri sono le stazioni della rete DART di registrazione degli tsunamis per il sistema di allerta (da NOAA-PMEL).

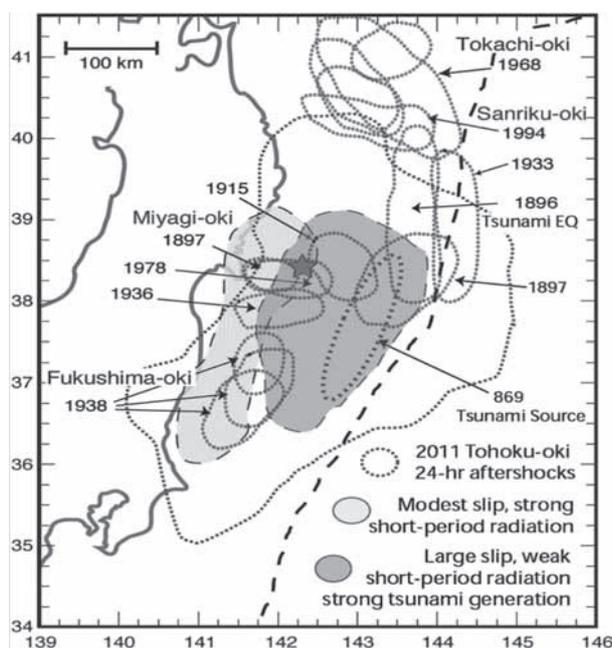


Fig. 3 - Schema delle probabili aree di rottura dell'evento del 2011. La stella rossa è l'epicentro dell'USGS e a tratteggio rosso è l'area degli aftershocks del giorno seguente. In verde e rosso sono le aree con basso ed elevato momento sismico, rispettivamente. Sono inoltre mostrate le ubicazioni approssimate delle rotture storiche da Kanamori (2006) e Minoura (2006).

Un terremoto di tale magnitudo comporta anche una serie di stravolgimenti dell'assetto permanente del territorio colpito. Il terremoto dell'11 marzo 2011 ha determinato una subsidenza di 1-2 m della costa della zona di Fukushima e Sendai, uno spostamento verso est della stessa di circa 4 m e una deformazione del fondo del mare con un improvviso innalzamento di alcuni metri, fino ad un massimo di 7-8 m, che ha originato il catastrofico maremoto (ARIA team del JPL e Caltech). Già in passato lo scorrimento e la rottura improvvisa delle rocce lungo il megathrust o a tergo dello stesso avevano causato terremoti di elevata energia (Fig. 3), come ad esempio nel 1611, nel 1896 (l'ultimo terremoto equivalente a quello del 2011 avvenuto nella stessa zona) e più recentemente nel 1933, quando onde di tsunami alte sino a 25 m colpirono le coste (Iida et al., 1967). Ma nel terremoto dell'11 marzo 2011, lo scorrimento ha coinvolto e rotto simultaneamente numerosi segmenti dalla megastruttura tettonica (Fig. 3), cosa che non accadeva da centinaia di anni, forse dal grande terremoto/tsunami dell'869. La modellazione dei dati sismologici e geodetici ha consentito la ricostruzione della sorgente del terremoto di Mw 9.0. Lo *slip* lungo

la faglia, in un modello a slip variabile, va da pochi metri fino ad un massimo di 30 m (Fig. 5). L'area della rottura sulla base dei dati GPS del GEONET (GPS Earth Observation Network System) è stata definita dal Geospatial Information Authority of Japan e dal Japan Meteorological Agency (JMA) come costituita da due aree rettangolari contigue lungo la direzione del megathrust, che si estendono per una lunghezza totale di 380 km con un'ampiezza di 90-130 km. La cinematica è inversa, come da zona di subduzione. In un modello a slip uniforme in un semispazio elastico, lo slip è massimo sul segmento settentrionale dove arriva a 25 m e minimo su quello meridionale, di circa 6 m. Questo scorrimento in profondità della roccia si è verificato nell'arco dei 2-3 minuti di durata del terremoto.

Immediatamente dopo il sisma ricercatori da tutto il mondo hanno iniziato a processare i dati della rete GPS giapponese (una delle più dense esistenti) e i dati SAR dei numerosi satelliti disponibili, quali i satelliti Envisat e ERS-2 dell'ESA (European Space Agency), i satelliti italiani COSMO Sky Med dell'ASI (Agenzia Spaziale Italiana), quelli di ALOS (Agenzia Spaziale Giapponese) e i satelliti tedeschi TerraSAR-X per definire la dislocazione cosismica totale. Tokio è stato scelto come uno dei GEO (Group of Earth Observations) Geohazards Supersites, quindi già dal giorno stesso del terremoto tutti i dati satellitari sono stati messi sul web a disposizione della comunità scientifica e dei *decision makers*.

Fortunatamente, a causa del diverso contesto geodinamico e dei minori ratei di deformazione crostale, in Italia tali mega-terremoti non si sono mai verificati e mai si potranno verificare. Storicamente, gli eventi di più alta energia sono stati di diversi ordini di grandezza inferiori a quello giapponese del 2011 e comunque sempre inferiori a Mw 7.5. Ciò non toglie che nel 1908, un catastrofico tsunami generatosi a sud dello stretto di Messina abbia devastato le coste della Sicilia e della Calabria, mietendo migliaia di vittime tra i rivieraschi che dopo il *mainshock* - verificatosi

pochi minuti prima - si erano riversati sulle spiagge. Né bisogna tacere quanto verosimilmente accadde nel 365 dopo Cristo, quando, con meccanismo simile a quello che ha innescato lo tsunami giapponese, una vasta porzione dello *slab* ionico sottoscorse verso nordest a sud delle coste di Creta, nel trench ellenico, generando un maremoto che colpì lunghi tratti delle coste del Mediterraneo, da Creta stessa ad Alessandria d'Egitto, sino probabilmente alle coste orientali della Calabria e della Sicilia.

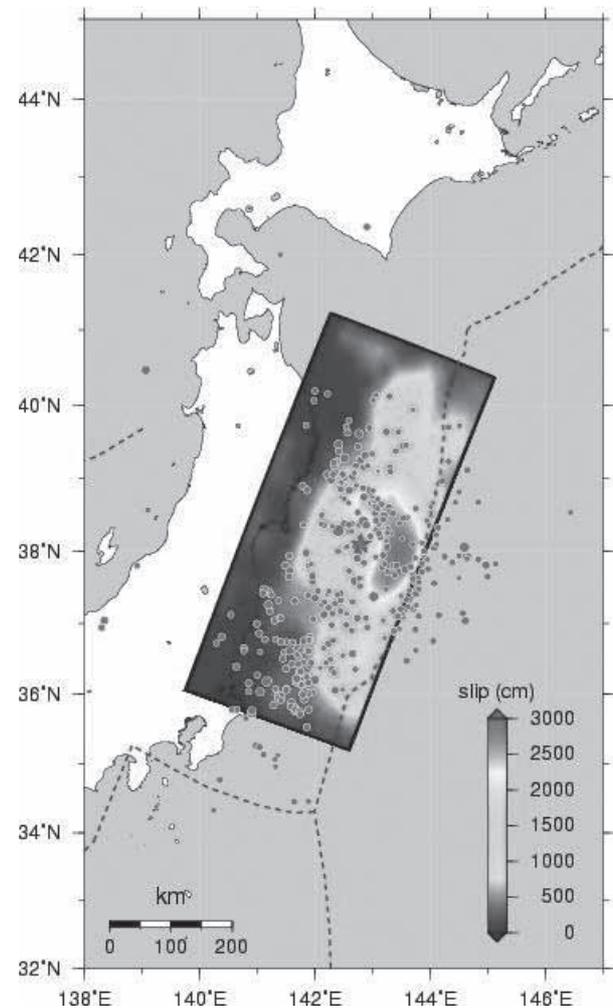


Fig. 4 - Modello di slip di faglia da dati GPS e sismologici elaborato da ARIA team (Caltech-JPL).

BIBLIOGRAFIA

Ammon C.H., Lay T., Kanamori H., Cleveland M., 2011. A rupture model of the great 2011 Tohoku earthquake, *Earth Planets Space*, xx, 1-4, 2011

DeMets, C., Gordon, R. G., & Argus, D. F., 2010. Geologically current plate motions, *Geophysical Journal International*, 181, 1,80.

Kanamori, H., M. Miyazawa, and J. Mori, 2006. Investigation of the earthquake sequence off Miyagi prefecture with historical seismograms, *Earth Planets Space*, 58, 1533-1541.

Iida, K., D. C. Cox, and G. Pararas-Carayannis, 1967. Preliminary catalog of tsunamis occurring in the Pacific Ocean, Data Rep. 5, HIG-67-10, Hawaii Inst. of Geophys. Univ. of Hawaii, Honolulu, pp. 261.

Japan Meteorological Agency (JMA; <http://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>).

Geospatial Information Authority of Japan (GSI; Geospatial Information Authority of Japan).

Lay, T., C. J. Ammon, H. Kanamori, L. Xue, and M. J. Kim, 2011. Possible large near-trench slip during the great 2011 Tohoku (Mw 9.0) earthquake, *Earth Planets Space*, 58, 45-60.

Minoura, K., F. Imamura, D. Sugawara, Y. Kono, and T. Iwashita, 2001. The 869 Jogan tsunami deposit and recurrence interval of large-scale tsunami on the Pacific coast of northeast Japan, *Journal Natural Disaster Science*, 23(2), 83-88.

United States Geological Survey (USGS; <http://www.usgs.gov/>)

NOAA / PMEL / Center for Tsunami Research - NOAA Center for Tsunami Research NOAA/Pacific Marine Environmental Laboratory

ROBERTA GIULIANI

Laureata in Scienze Geologiche presso l'Università di Roma "La Sapienza" e dottorata in Scienze della Terra presso la medesima Università con tesi in Geologia Strutturale. Dal 1987 si occupa di geologia del Quaternario collegata allo studio della tettonica recente e dei terremoti, prima presso il CNR e poi presso il Servizio Sismico Nazionale, ora Dipartimento della Protezione Civile. Dal 1997 la sua attività prevalente è lo studio della deformazione crostale intersismica e cosismica in Appennino attraverso l'acquisizione ed elaborazione di dati geodetici GPS per la definizione dell'accumulo di strain finalizzata a valutazioni di pericolosità sismica.

Contatti:

*Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico, Via Vitorchiano 4, 00189, Roma
Email: roberta.giuliani@protezionecivile.it*

PAOLO GALLI

Geologo del terremoto, esperto di tettonica attiva, paleosismologia e sismologia storica, laureato a "La Sapienza" di Roma nel 1987 ha lavorato sino al 1996 nell'ISMES-ENEL e quindi nel Servizio Sismico Nazionale ora Dipartimento della Protezione Civile. È ricercatore associato al CNR-IGAG ed autore di centinaia di pubblicazioni scientifiche su riviste nazionali ed internazionali.

Contatti:

*Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico, Via Vitorchiano 4, 00189, Roma
Email: paolo.galli@protezionecivile.it*