

## Qui INGV

Alberto Michellini<sup>1</sup>, Alessandro Amato<sup>2</sup>, Aladino Govoni<sup>2</sup>, Alessio Piatanesi<sup>2</sup>, Diego Sorrentino<sup>2</sup>, Fabrizio Bernardi<sup>2</sup>, Fabrizio Romano<sup>2</sup>, Franco Mele<sup>2</sup>, Irene Molinari<sup>2</sup>, Peter Danecek<sup>2</sup>, Roberto Tonini<sup>2</sup>, Stefano Lorito<sup>2</sup>, Stefano Pintore<sup>2</sup>, Valentino Lauciani<sup>2</sup> ■

### Verso il sistema italiano di allerta tsunami nel Mediterraneo

#### 1. Introduzione

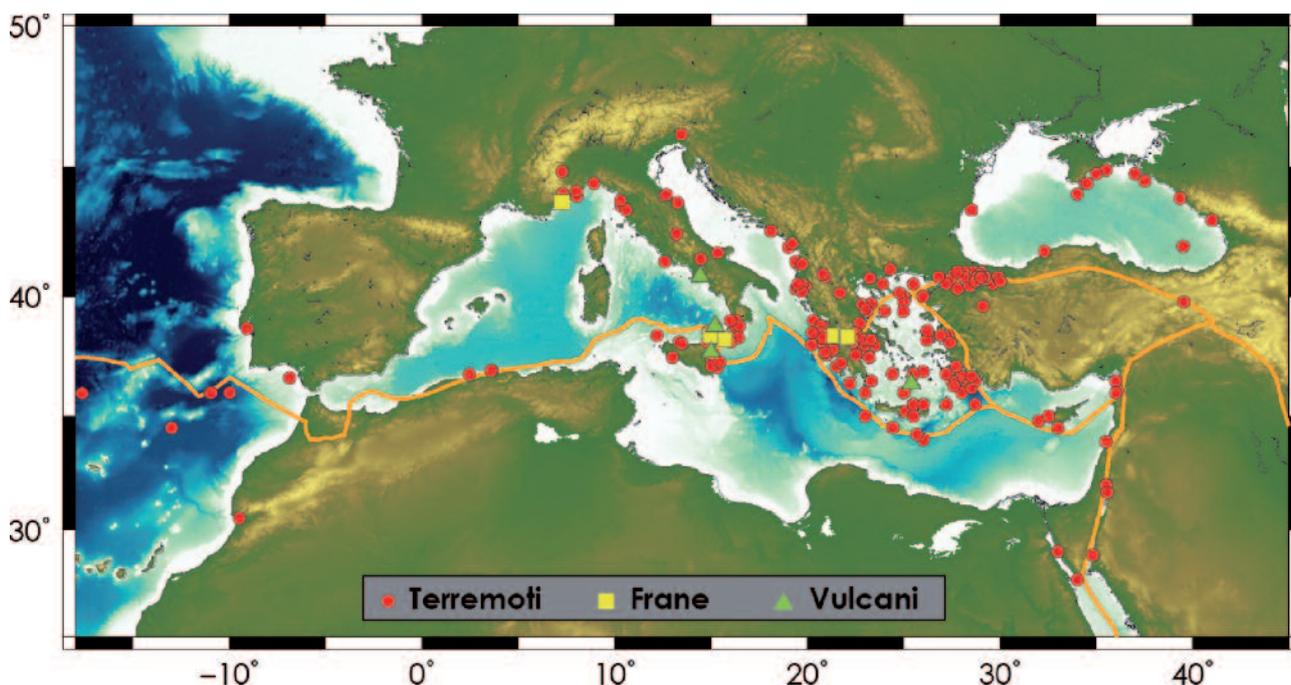
I paesi che si affacciano sul Mediterraneo sono interessati da frequente attività sismica, che talvolta si manifesta con terremoti molto forti, a causa della convergenza tra la placca africana e quella euroasiatica. È noto che la maggior parte delle faglie attive nelle regioni circum-mediterranee attraversa le aree interne e montuose (Maghreb, Appennini, Alpi, Dinaridi, Anatolia, ecc.), ma è anche vero che in quasi tutti i paesi sismici della regione ci sono faglie attive nei mari circostanti. È il caso ad esempio delle coste algerine, dello stretto di Messina, dell'arco ellenico e di Cipro, del Mar di Marmara. Per questo motivo tutte le coste del Mediterraneo sono soggette al rischio di tsunami indotti da terremoti che, avvenendo su faglie in mare o vicine alla costa, potrebbero dislocare il fondo del mare.

Il rischio tsunami nel Mediterraneo è documentato anche dai numerosi eventi che hanno segnato la sua storia sin dai tempi più antichi. La Figura 1 mostra la localizzazione delle sorgenti di tutti gli tsunami che hanno interessato il bacino del Mediterraneo dal 1650 AC al 2008 DC, secondo un catalogo compilato dalla National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), USA. È da notare che il 14% di tutti gli tsunami presenti nel catalogo sono avvenuti nel Mediterraneo, anche se questo potrebbe essere attribuito ad una maggiore completezza del catalogo nella nostra regione. A scala globale, l'83% delle sorgenti confermate è un terremoto (Figura 1).

Come si vede, nel Mar Mediterraneo, molti degli tsunami hanno avuto origine lungo la linea di contatto tra le placche africana ed euroasiatica descritta prima. Numerosi tsunami però sono anche stati generati in altre zone, come il margine ligure, il mar di Marmara o il Mar Egeo.

Figura 1  
Tsunami nel Mediterraneo e mari adiacenti. Il 70% degli tsunami della regione è dovuto a terremoti.  
(Fonte dati: Global Tsunami database del NOAA dal 1650 AC al 2008 DC).

QUI INGV



<sup>1</sup> Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma - ✉ alberto.michellini@ingv.it

<sup>2</sup> Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, CAT-INGV Working Group - ✉ info-CATINGV@ingv.it

Non tutti gli tsunami presenti nel catalogo sono stati generati direttamente da terremoti che hanno dislocato il fondo del mare. Alcuni di essi, come per esempio quello di Stromboli del 2002, sono stati causati da collassi gravitativi, in alcuni casi dovuti ad attività vulcanica o conseguenti allo scuotimento cosismico. Anche esplosioni sottomarine e differenze di pressione atmosferica possono causare tsunami. Ad ogni modo, come già detto, la maggior parte degli eventi e soprattutto quelli con effetti a scala regionale, sono stati causati direttamente dalla dislocazione cosismica. Il maggiore tsunami documentato nel Mediterraneo, causato da un terremoto, sembra sia stato quello del 365 DC nella zona di Creta. Si trattò molto probabilmente di un grande terremoto ( $M > 8$ ) della zona di subduzione ellenica, come testimoniato dalle evidenze per esempio del sollevamento cosismico a Creta, e dalle cronache delle distruzioni causate in molti porti del Mediterraneo (Libia, Egitto, Italia, oltre naturalmente alla Grecia). Le coste del Mediterraneo sono caratterizzate anche da una notevole esposizione, dovuta alla fortissima concentrazione di abitanti, di attività e di infrastrutture lungo quasi tutte le sue coste. La situazione peggiora sensibilmente durante i mesi estivi e c'è comunque una documentata tendenza all'incremento della popolazione costiera, destinata a crescere nei prossimi decenni.

#### **Il contesto Euro-Mediterraneo (NEAMTWS)**

Nonostante il rischio tsunami fosse noto da tempo per le nostre coste, è stato solo dopo il devastante maremoto di Sumatra del 2004 che la comunità internazionale si è mobilitata per mettere in piedi un sistema di monitoraggio del Mediterraneo e del Nord-Atlantico. Fu così che nacque il NEAMTWS (North-East Atlantic and Mediterranean Tsunami Warning System) con il coordinamento dell'IOC (Inter-governmental Oceanic Commission) dell'UNESCO. Dopo numerosi tentativi di costituire un unico centro regionale per l'intera area Euro-Mediterranea, si andò verso un modello basato sulla coesistenza di diversi Tsunami Watch Providers (TWP), ovvero National Tsunami Warning Centers (NTWC) che offrono i propri servizi agli stati membri dell'IOC/UNESCO che ne facciano richiesta. Maggiori dettagli si possono trovare sul sito di informazione del NEAM (<http://neamtic.ioc-unesco.org>). Al momento, sono candidati TWP il CENALT (Francia), per il Mediterraneo occidentale, il NOA (Grecia) e il KOERI (Turchia) per il Mediterraneo orientale, il Mar Nero e il Mar di Marmara. Sono candidati TWP, non ancora pre-operativi, anche l'IPMA (Portogallo), e l'INGV (Italia). L'INGV ha infatti la responsabilità del NTWC italiano, in collaborazione con ISPRA e

DPC. Per questo motivo, presso l'INGV è stato istituito il Centro Allerta Tsunami (CAT) che opererà nella sala di monitoraggio sismico 24/7 della sede di Roma. Il CAT-INGV avrà il compito di determinare i parametri dei terremoti potenzialmente tsunamigenici nel Mediterraneo e predisporre i messaggi di allerta da trasmettere al DPC, che a sua volta avrà la responsabilità della disseminazione dei messaggi. Molto importante poi la collaborazione con l'ISPRA che gestisce la Rete Mareografica Nazionale e che sta inviando al CAT i dati dei mareografi, necessari per la conferma o la cancellazione dell'allerta.

#### **Il sistema di detezione sismica rapida "Early-Est"**

Il primo e forse più delicato passo per un sistema di allerta di tsunami causati da terremoti è il calcolo rapido dei parametri dei terremoti: localizzazione epicentrale, profondità, magnitudo. L'INGV ha implementato e sperimentato il sistema Early-Est (EARthquake Rapid Location sYstem with Estimation of Tsunamigenesis; Lomax e Michelini, 2009, 2011; Michelini et al., 2010), che già da alcuni anni sta funzionando su scala globale utilizzando i dati delle reti sismiche di moltissimi Paesi. Al momento, presso la Sala Sismica dell'INGV vengono ricevuti e analizzati in tempo reale i dati di circa 400 stazioni sismiche nel mondo. In pochissimi minuti (tipicamente tra i 3 e i 6) viene effettuata una prima stima dei parametri di ogni terremoto rilevante che avviene nel mondo. Nella Figura 2 mostriamo una schermata del sistema Early-Est in occasione del terremoto avvenuto a Creta il 12 ottobre 2013 (magnitudo finale dell'USGS M 6.6). La prima localizzazione ipocentrale era disponibile già dopo due minuti, la magnitudo dopo tre. Early-Est analizza i sismogrammi in tempo reale e determina anche alcuni parametri che forniscono indicazioni sul possibile grado di "tsunamigenicità" del terremoto. Questi parametri non sono al momento utilizzati per il sistema di allerta, che si basa su una matrice decisionale, definita in ambito NEAMTWS, semplice e basata solo sui parametri di base (magnitudo e parametri ipocentrali). L'implementazione di questa matrice decisionale sarà sufficiente, una volta a regime, per la prima informazione da inviare al DPC e fare scattare l'allerta (Figura 2). La tempistica è molto importante nell'allerta tsunami, soprattutto per il Mediterraneo dove i tempi di arrivo alle coste italiane di un'onda di tsunami dalla zona di subduzione egea sono dell'ordine di poche decine di minuti. Ad esempio, uno tsunami generato da un terremoto in Grecia impiegherebbe circa 40-60 minuti a raggiungere le coste dell'Italia meridionale. Ancora più brevi sarebbero in casi di terremoto generato vicino alle coste italiane, come accadde ad esempio dopo il terremoto dello

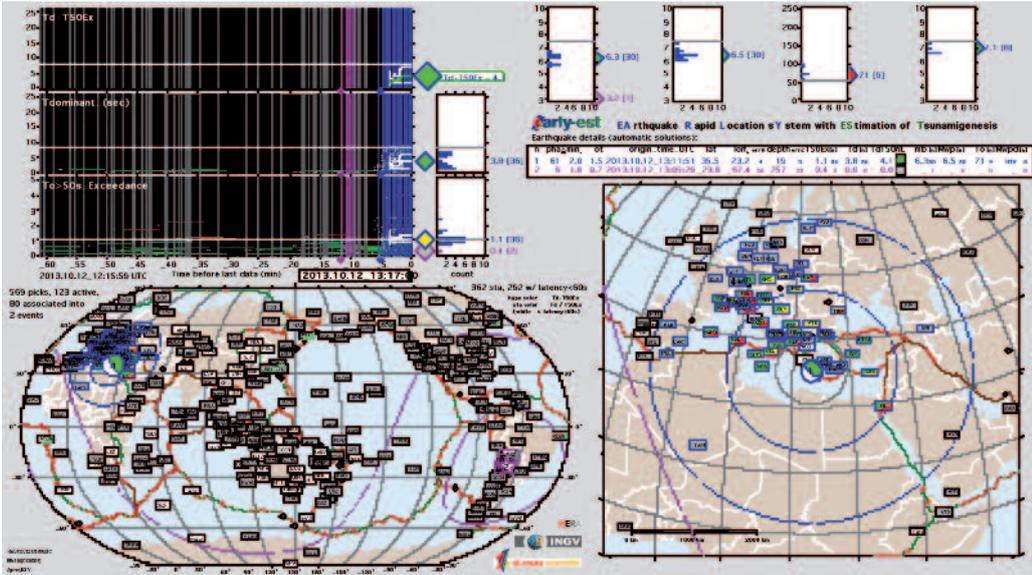


Figura 2  
Schermata del sistema Early-est dopo 5 minuti dal tempo origine del terremoto di Creta del 12/10/2013. I pannelli in basso riportano le mappe globale e mediterranea (si noti che poco prima del terremoto greco EE ne ha localizzato un altro in Sud America). I 4 pannelli in alto a destra riportano 3 misure della magnitudo ( $M_b$ ,  $M_{wp}$ ,  $M_{wpd}$ ) e la durata ( $T_0$ ) della sorgente come risulta dall'analisi delle onde-P. I 3 pannelli in alto a sinistra riportano l'andamento degli indicatori di "tsunamigenicità" (stime preliminari in real-time di  $T_0$ , periodo dominante ( $T_d$ ), e una combinazione dei due)

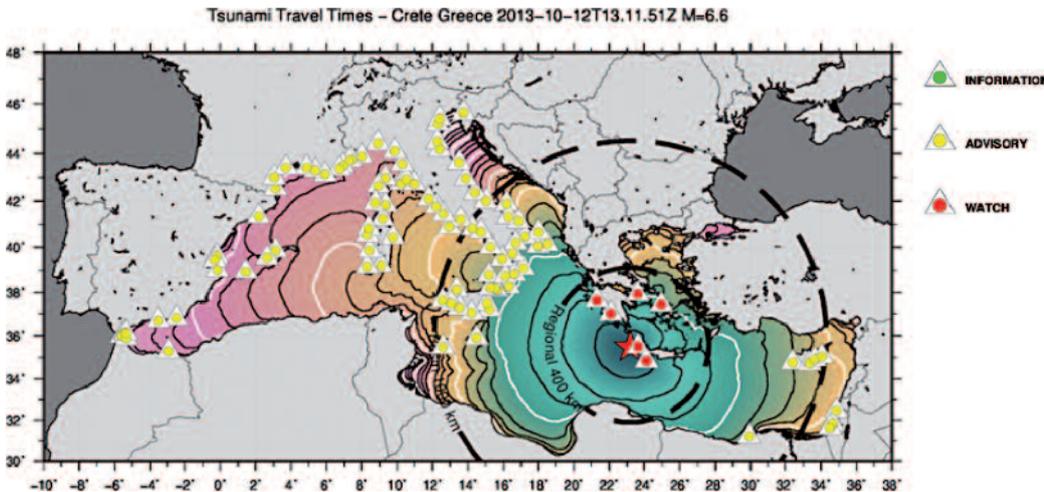


Figura 3  
Esempio di mappe calcolate in tempo quasi-reale per il terremoto a ovest di Creta (12 ottobre 2013), per il quale il calcolo rapido aveva inizialmente assegnato un livello alto di allerta nell'area regionale (400 km dall'epicentro). Le linee di contour in mare rappresentano i tempi di propagazione ad intervalli di 15 minuti del potenziale tsunami. I triangoli con il pallino colorato denotano le località costiere per le quali sono stimati i livelli di allerta.

Stretto di Messina del 1908. Sarebbe comunque importante l'identificazione rapida dei parametri del terremoto per allertare almeno le coste più distanti dalla sorgente. In prima approssimazione, possiamo dire che tra i 5 e i 15 minuti si potrebbero fornire le prime stime (dapprima automatiche, poi riviste da un esperto in turno). Per il terremoto di Creta del 12 ottobre 2013 la Figura 3 mostra i tempi di arrivo delle onde sulle coste del Mediterraneo e i livelli di allerta ad alcune località costiere assegnati secondo la matrice decisionale NEAMTWS (Figura 3).

## 2. Sviluppi in corso

Al momento, il sistema di allertamento è in via di realizzazione. Entro la fine del 2014 si entrerà in fase pre-operativa come candidate Tsunami Watch Provider (cTWP). Attualmente, si stanno ottimizzando le procedure per la ricezione dei

dati mareografici da ISPRA, per lo scambio dati con reti sismometriche e mareografiche estere, per il calcolo rapido dei parametri ipocentrali e della magnitudo e dei tempi di arrivo teorici delle onde di tsunami sulle coste. È in corso anche lo sviluppo e l'implementazione del software per la creazione di mappe e messaggi in base alle stime sismologiche e del software per la gestione dei messaggi in ingresso ed in uscita (per es. dagli altri cTWP o verso DPC e ISPRA). Si stanno poi mettendo a punto gli strumenti per il calcolo in tempo quasi-reale degli scenari di impatto dell'onda, che in futuro permetteranno di ridurre l'incertezza delle stime intrinseca nella matrice decisionale NEAMTWS e la sostituiranno gradualmente nella pratica. Nel 2014 verrà avviata la turnazione (prima sperimentale nei giorni feriali, poi H24) per la sorveglianza tsunami, compito che vedrà impegnati i ricercatori e tecnologi dell'Istituto, nella Sala dove viene effet-

tuata la sorveglianza sismica. Si sta inoltre lavorando, in collaborazione con DPC e altri Enti, per aumentare la consapevolezza del rischio tsunami nella popolazione, con campagne sul territorio ed esercitazioni.

La strada è ancora lunga, soprattutto per definire i protocolli operativi di trasferimento delle informazioni da INGV a DPC e la diffusione rapida alle autorità locali e alla popolazione, su cui il DPC sta lavorando attivamente.

#### **Bibliografia**

- Lomax A.J., Michelini A. (2009) - Tsunami early warning using earthquake rupture duration. *Geophys. Res. Lett.*, 36.
- Lomax A.J., Michelini A. (2011) - Tsunami early warning using earthquake rupture duration and P-wave dominant period: the importance of length and depth of faulting. *Geophysical Journal International*, 1-9. doi:10.1111/j.1365-246X.2010.04916.x
- Michelini A., Lauciani V., Selvaggi G., Lomax A. (2010) - The 2010 Chile Earthquake: Rapid Assessments of Tsunami. *Eos*, 91(35), 305-306.