

COME È PROFONDO IL MARE

La geofisica in acqua



MUSEO CIVICO DI STORIA NATURALE
"GIACOMO DORIA"



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

La mostra ci guida alla scoperta

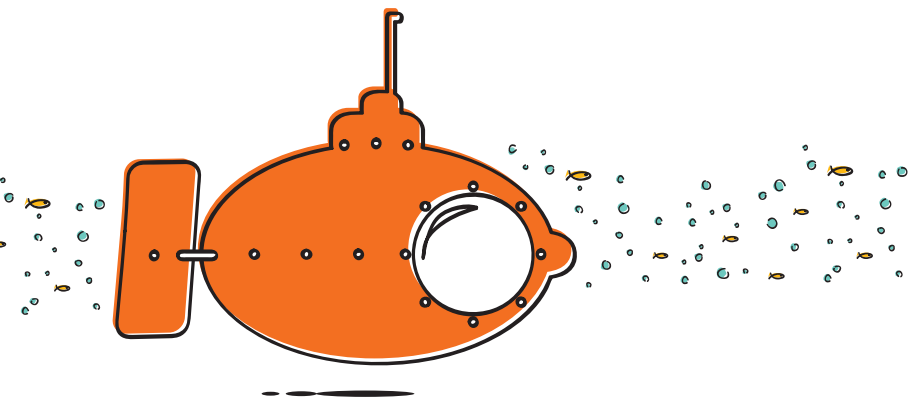
di alcuni dei principali processi dinamici attivi nel nostro Pianeta e oggetto di studio della **geofisica**, una scienza che si è sviluppata mentre l'Italia si costruiva e cresceva e il cui progresso è spesso coinciso con eventi che hanno segnato la nostra storia.

L'evoluzione geodinamica del Mare Mediterraneo è il punto di partenza del percorso e offre l'opportunità di "viaggiare nel tempo" per indagare sul motore dei processi che modellano la superficie terrestre e sui fenomeni che ne sono la principale e a volte drammatica manifestazione.

Exhibits interattivi, pannelli scientifici e filmati esplorano i segreti dei **terremoti**, delle **eruzioni vulcaniche** e dei **maremoti** e ci aiutano a capire le loro cause, i loro effetti e l'importanza del loro continuo studio e monitoraggio.

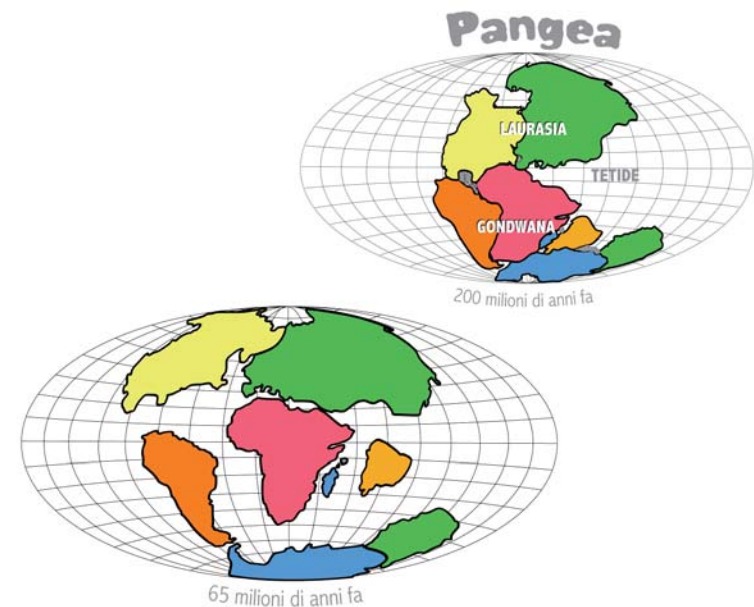


Mediterraneo: un mare in continua evoluzione



Dalla Pangea...

Il Mediterraneo non è sempre stato come lo vediamo oggi, ma è il risultato di una complessa evoluzione geodinamica. La sua storia geologica inizia circa 250 milioni di anni fa (Ma) quando i grandi movimenti della crosta terrestre iniziano a frammentare la Pangea e a formare la Tetide, un mare interposto tra due "supercontinenti", Laurasia e Gondwana. Circa 100 Ma l'Eurasia inizia a separarsi dal Nord America, e forma l'Oceano Atlantico 65 Ma, con il riavvicinamento dell'Africa all'Europa, si forma un primitivo Mediterraneo. Nei milioni di anni successivi continua la sua evoluzione in un susseguirsi di eventi lenti, talvolta repentini, causati dagli spostamenti delle placche terrestri.





Catastrofi e Mediterraneo

Il Mediterraneo si è formato in seguito alla convergenza tra Africa e Europa. Questo meccanismo ha prodotto anche eventi drammatici che hanno fortemente segnato lo sviluppo dell'area mediterranea.

Tra **12 e 6 Ma** il lento avvicinamento dei continenti ridusse progressivamente le comunicazioni tra Atlantico e Mediterraneo fino al completo isolamento del bacino mediterraneo.

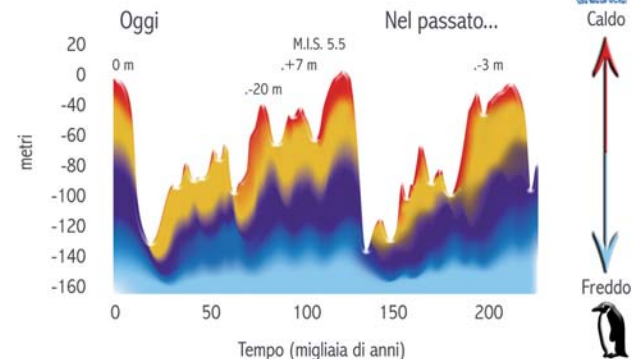
Al suo interno, in seguito all'evaporazione e all'abbassamento del livello del mare, si formarono grandi paludi salate. Il periodo di massima crisi è indicato come Messiniano, durante il quale si generarono importanti depositi di rocce formate da composti salini.

5,5 Ma lo sbarramento di Gibilterra improvvisamente si ruppe e l'Oceano si riversò nel Mediterraneo.

Ci vollero migliaia di anni e un abbassamento del livello medio degli oceani di diversi metri, per riempire tutto il bacino.

I depositi salini della miniera di Realmonte (Agrigento, Sicilia) (nel periodo del Messiniano (circa 5,5 milioni di anni fa), testimoniano il movimento delle placche continentali Africa ed Eurasia chiusero lo Stretto di Gibilterra isolando il mare Mediterraneo dall'Oceano e trasformandolo in un grande lago salato

Il grafico mostra le oscillazioni del livello del mare negli ultimi 250.000 anni. Nel periodo Tirreniano, caratterizzato da un clima caldo e con presenza di flora e fauna tipica degli odierni mari tropicali, il livello del mare era 7 m più alto di oggi



Variazioni del livello del mare nel Mediterraneo

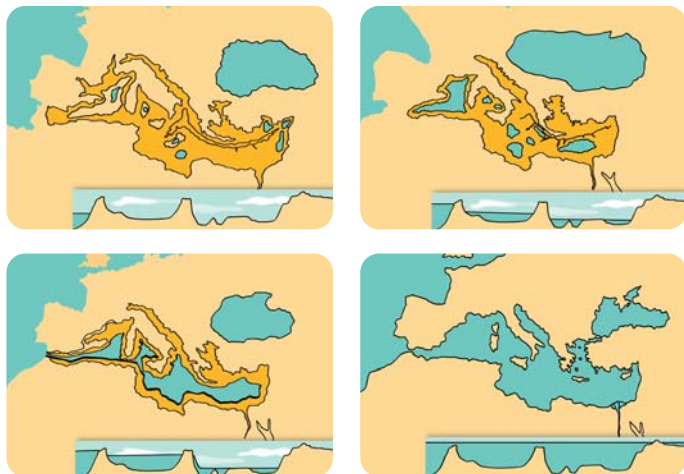
Il livello delle acque del Mediterraneo ha subito diverse oscillazioni nel corso della sua evoluzione in risposta ai cambiamenti climatici e per cause isostatiche.

125000 anni fa, durante il Tirreniano, arrivò ad un massimo di +7 m rispetto al livello attuale e a -100 m 18000 anni fa.

7500 anni fa, in una fase di sollevamento progressivo del livello del mare, le acque del Mediterraneo riuscirono a superare la barriera morfologica che le separava dal Mar Nero, riversandosi nelle pianure sottostanti.

Il Mar Nero, in precedenza un vasto lago continentale di acqua dolce, si unì al Mediterraneo.

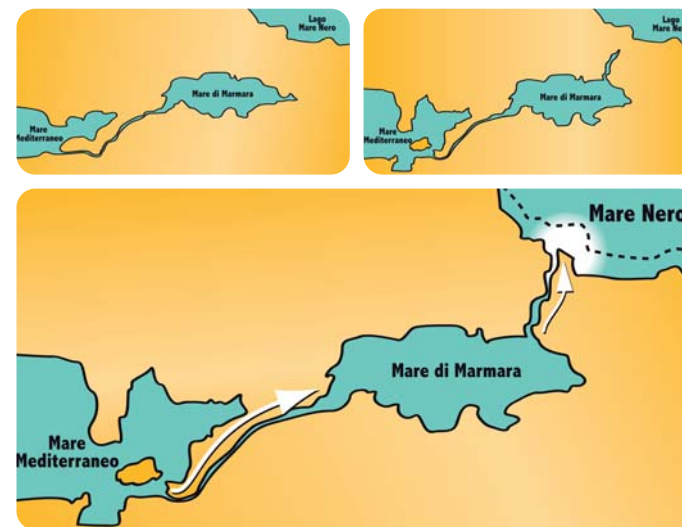
Crisi di salinità del Messiniano da 10 a 6 milioni di anni fa



Apertura della soglia di Gibilterra 5,5 milioni di anni fa

Mediterraneo attuale

Invasione del Mar Nero da parte del Mar Mediterraneo 7500 anni fa



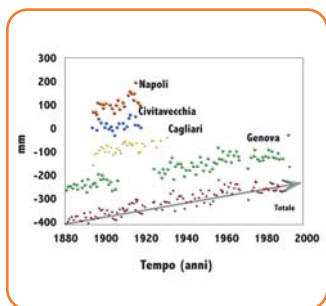


Una fase dei rilievi archeologici subacquei effettuati su siti sommersi della città romana di Baia (Campi Flegrei, Napoli). La sommersione, di oltre 5 m, è causata dall'attività del vulcano dei Campi Flegrei oltre che da fenomeni eustatici e isostatici

Il Mediterraneo oggi

Il livello del mare nel Mediterraneo continua a salire attualmente ad un ritmo di 1.2 mm all'anno.

Negli **ultimi 2500 anni** le sue variazioni sono testimoniate dai numerosi siti archeologici costieri, spesso sommersi.



Le peschiere romane delle coste mediterranee, come quella di Torre Astura (Nettuno, Roma), vengono oggi usate come indicatori per calcolare la variazione del livello del mare avvenute negli ultimi 2000 anni

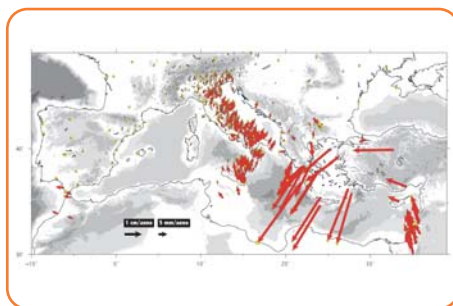
I grandi movimenti che hanno determinato la struttura attuale del Mediterraneo sono attivi ancora oggi.

I terremoti e il vulcanismo del Mediterraneo è causato dalla collisione continentale tra Africa ed Eurasia.

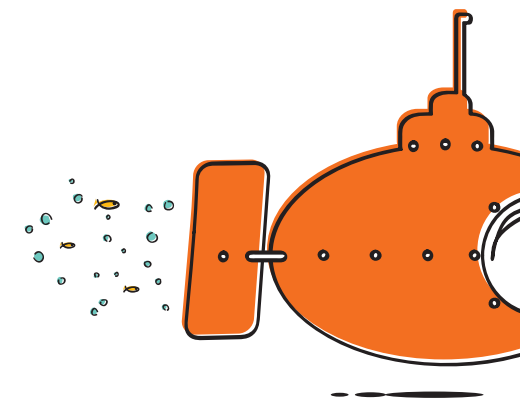
Le placche continentali si muovono alla velocità di circa 5 mm all'anno.

L'Arabia, nel suo moto verso nord, spinge l'Anatolia che si muove verso ovest di alcuni cm all'anno.

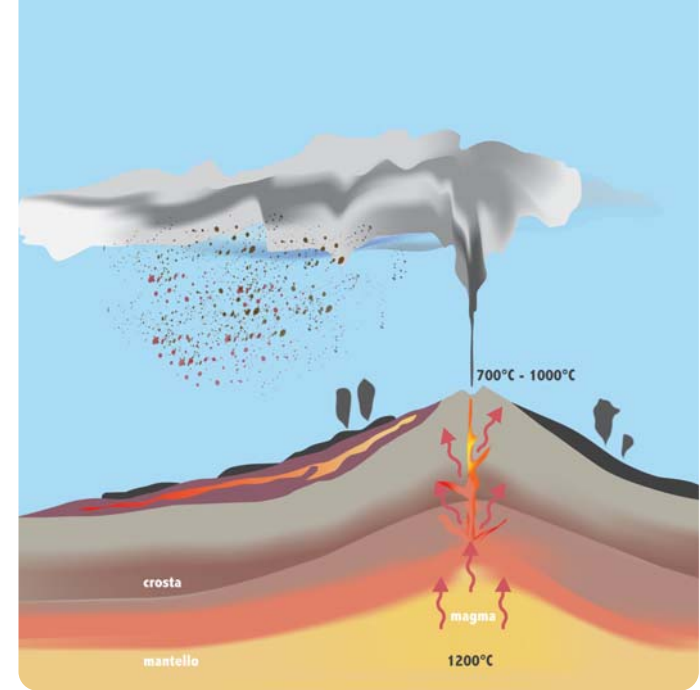
Variazione del livello del mare misurata ai mareografi di Napoli, Civitavecchia, Cagliari e Genova dal 1880 ad oggi. Si nota come il livello del mare stia crescendo alla velocità media di circa 1,5 mm all'anno (freccia)



Movimento della crosta terrestre nel Mediterraneo da misure spaziali GPS. Le frecce indicano le direzioni e le velocità orizzontali misurate, dovute alla collisione tra Africa ed Eurasia



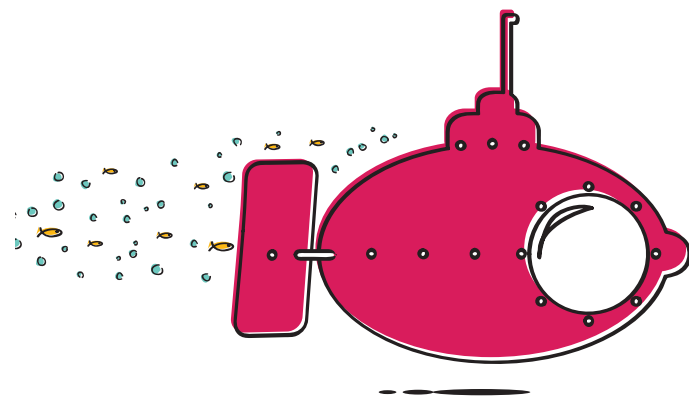
Vulcani



I vulcani sono la porta di comunicazione con l'interno della Terra

La parte visibile di un vulcano, per quanto grande possa apparire, è solo la punta dell'iceberg ed è quindi molto piccola rispetto al sistema sotterraneo che lo alimenta.

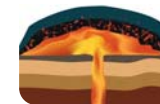
In generale la forma di un vulcano dipende dal tipo di attività eruttiva. Tale attività può essere suddivisa in due grandi categorie: **effusiva** ed **esplosiva**.



Vulcano a strati
ha forma conica con pendici ripide. Si forma in seguito all'accumulo successivo di strati di prodotti effusivi ed esplosivi.



Vulcano a scudo
ha la forma di uno scudo con pendici dolci. Si forma in seguito all'accumulo prevalentemente di colate laviche.



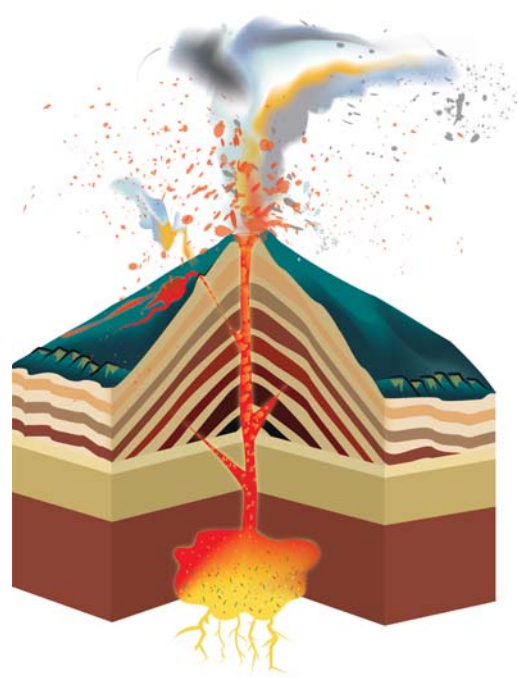
Vulcano a cupola
ha la cima piatta e le pendici scoscese. Si forma in seguito all'accumulo di lava molto viscosa vicino al cratere.



Caldera
è una enorme depressione che si forma in seguito allo sprofondamento del vulcano stesso.



Cono di scorie
è un vulcano di piccole dimensioni. Si forma in genere in seguito ad un'unica eruzione esplosiva non molto energetica.



Il magma

Il magma si forma quando le rocce solide che costituiscono il mantello e la crosta cominciano a fondere: una volta formatosi, inizia il suo viaggio verso la superficie.

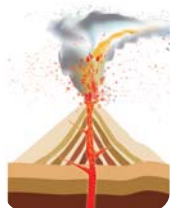
Spesso, prima di venire eruttato, il magma staziona a diversi chilometri di profondità.

La zona della crosta dove il magma si accumula prima di uscire in superficie viene detta "camera magmatica".

Il magma è costituito da una parte solida, una fusa e una gassosa. Quando il magma staziona nella camera magmatica avvengono processi in grado di modificare le proporzioni tra queste tre componenti determinando quindi le modalità con cui verrà eruttato.

I **gas**, in particolare, sono il motore delle eruzioni vulcaniche.

Se il magma è molto viscoso il gas rimane intrappolato al suo interno formando delle bolle che, diventando sempre più grandi, esplodono in superficie. In questo caso il magma verrà frammentato ed eruttato con esplosioni anche violentissime



Se il magma è molto fluido il gas, sotto forma di bolle, sfugge facilmente. Quando il magma arriva in superficie privo della maggior parte dei suoi gas, verrà eruttato sotto forma di colate di lava o con esplosioni di bassa energia



Foto di Thomas Reichart flickr.com/photos/thomasreichart/



Foto di Thomas Reichart flickr.com/photos/thomasreichart/

Eruzioni effusive

Le eruzioni effusive consistono nell'emissione di un flusso continuo di liquido magmatico che forma le **colate di lava**, che scorrono lungo i fianchi del vulcano.

Il magma delle eruzioni effusive è in genere fluido (poco viscoso), caratterizzato da un basso contenuto in gas e da temperatura elevata (intorno a 1100° C).

Durante le eruzioni effusive si possono avere alla bocca episodi esplosivi di bassa intensità (fontane di lava, lancio di scorie laviche).

Il termine lava si riferisce anche alla roccia solida prodotta dal raffreddamento delle colate. Le lave possono contenere grossi cristalli (**fenocristalli**), corrispondenti ai cristalli formati quando la lava è ancora in profondità, immersi in una matrice vetrosa o microcristallina, con cristalli minuscoli orientati nella direzione di scorrimento della lava.

Nel caso di raffreddamento molto veloce non si formano i fenocristalli: è il caso della formazione dell'**ossidiana**.

Le lave solidificando possono dare origine a strutture le cui caratteristiche dipendono dalla velocità con cui si raffreddano e dall'ambiente circostante.

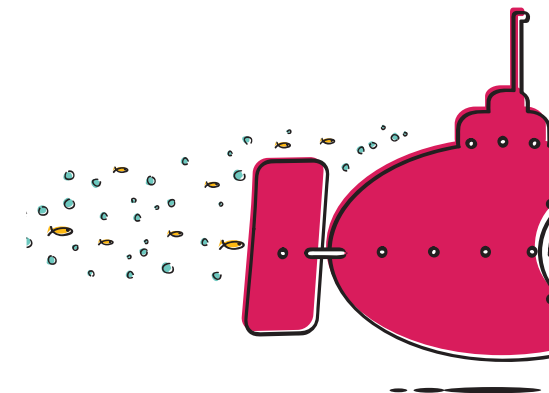
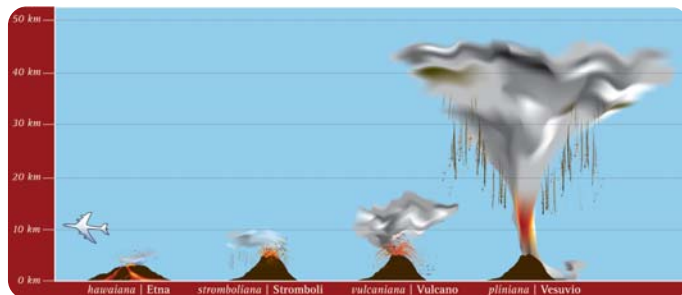


Foto di Thomas Reichart flickr.com/photos/thomasreichart/

Eruzioni esplosive

Un'eruzione esplosiva è caratterizzata dall'emissione di getti o nubi di gas cariche di frammenti di **magma** che possono raggiungere anche decine di chilometri di altezza. Il magma delle eruzioni esplosive è in genere viscoso e ricco in gas. Durante l'eruzione il magma frammentato ricade vicino al cratere; le ceneri, trasportate dai venti, ricadono al suolo anche a grande distanza dal vulcano. Se la colonna eruttiva collassa si formano i **flussi piroclastici** che scorrono a grande velocità sul pendio del vulcano e possono mantenere temperature maggiori a 500° C.

I materiali eruttati dalle eruzioni esplosive formano i depositi piroclastici. I prodotti si classificano in base alla loro dimensione: la **cenere** è materiale vetroso molto sottile (pochi mm), i **lapilli** arrivano fino alla dimensione di una noce e le **bombe vulcaniche**, con la caratteristica forma a fuso o a pagnotta, possono raggiungere anche la dimensione di qualche metro. Dai flussi piroclastici si originano rocce chiamate ignimbriti, tufi vetrosi e bollosi, fortemente saldati, ricchi di vetro vulcanico. Un caratteristico prodotto delle eruzioni esplosive è la **pomice**, una roccia molto porosa per la presenza di bolle di gas che mantiene una struttura vescicolare chiusa in seguito al rapido raffreddamento. Data la sua elevata porosità è l'unica pietra che galleggia nell'acqua.



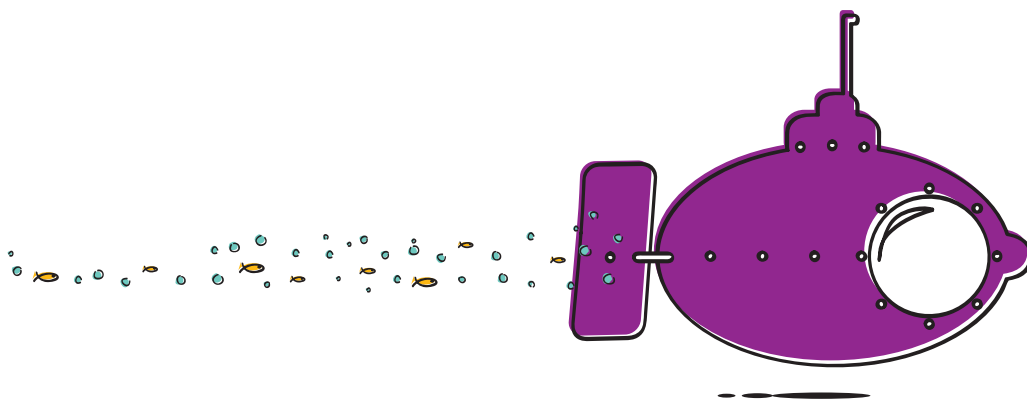
Effetti catastrofici di grandi eruzioni vulcaniche

Deposito dell'Ignimbrite Campana

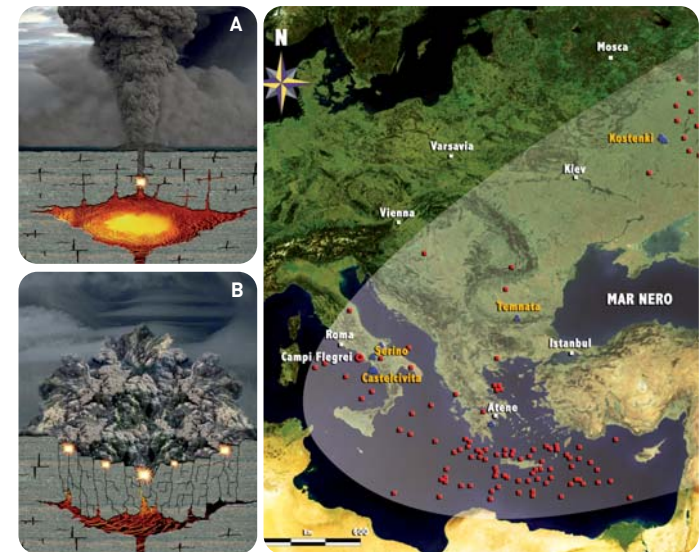


Una super-eruzione: l'Ignimbrite Campana

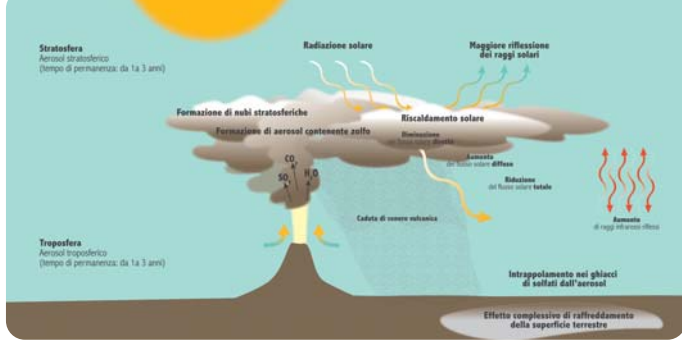
L'eruzione dell'Ignimbrite Campana (IC, Campi Flegrei), avvenuta **40000 anni fa**, è da tempo riconosciuta come uno dei maggiori eventi esplosivi della storia vulcanica mediterranea ed è considerata l'unico esempio europeo di super-eruzione. Questa eruzione esplosiva iniziò con la formazione di una colonna pliniana che raggiunse un'altezza superiore a 40 km che si disperse verso est. L'eruzione generò flussi piroclastici che raggiunsero distanze di oltre 80 km dal centro di emissione e che formarono spessi depositi di ceneri e pomici (Ignimbriti). Le ceneri vulcaniche prodotte si distribuirono su un'area di circa 5 milioni di km².



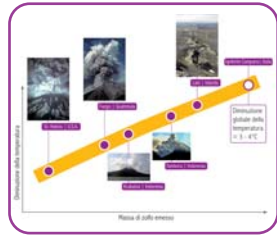
Colonna eruttiva pliniana (A) e collasso calderico (B) - di flussi piroclastici



Dispersione delle ceneri vulcaniche relative all'eruzione dell'Ignimbrite Campana



Schema delle perturbazioni climatiche indotte da eruzioni esplosive con significativa emissione di zolfo



Oltre la devastazione locale, per l'accumulo di depositi piroclastici in grado di interrompere completamente il ciclo vitale nel raggio di oltre 100 km dal punto di emissione, la più significativa minaccia globale delle super-eruzioni è senz'altro rappresentata dalle perturbazioni climatiche. Gli aerosol prodotti dall'ossidazione di composti di zolfo iniettati nell'atmosfera dalle eruzioni vulcaniche agiscono come schermi riflettenti della radiazione solare, determinando un generale raffreddamento della superficie terrestre la cui entità è funzione della massa di zolfo emessa.

Nel caso dell'Ignimbrite Campana si valuta un abbassamento di circa 3-4 °C della temperatura dell'emisfero settentrionale.

L'insieme di ricerche interdisciplinari sui potenziali effetti climatico-ambientali di questa catastrofica eruzione indicano non solo che essa ebbe un notevole impatto climatico, ma anche come essa, insieme con altri fattori paleoclimatico-ambientali, possa aver avuto il ruolo di "catalizzatore" nei processi coinvolti in una tra le più discusse, e forse determinanti, modificazioni bio-culturali della preistoria dell'Eurasia occidentale: la "transizione" culturale tra il Paleolitico medio e il Paleolitico superiore (45000 - 35000 anni fa) e la ipotetica sostituzione del Neanderthal da parte di popolazioni di Homo Sapiens.

Diminuzione globale della temperatura in funzione della massa di zolfo emesso durante l'attività eruttiva



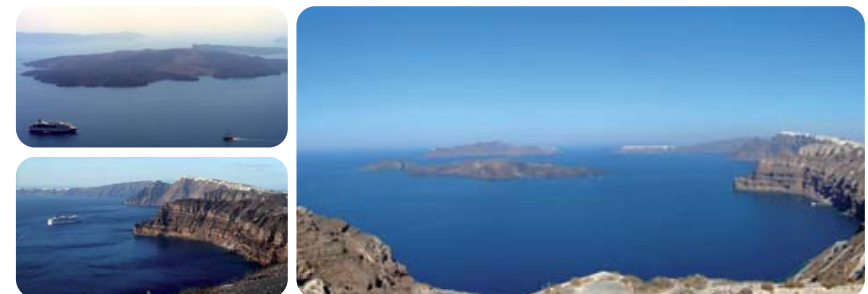
Quadro riassuntivo dell'impatto dell'eruzione dell'Ignimbrite Campana sul clima e sull'uomo

L'attività vulcanica di Santorini si è manifestata in cicli eruttivi a partire da 650000 anni fa, fino all'ultima eruzione avvenuta nel 1950. Veduta satellitare di Santorini



L'eruzione Minoica di Santorini

L'ampia caldera, dalle imponenti pareti a strapiombo sul mare, si è formata in seguito a ripetuti collassi legati ad almeno quattro grandi esplosioni eruttive pliniane. L'ultima e più famosa è avvenuta **circa 3600 anni fa** (tarda Età del Bronzo) ed è detta Eruzione Minoica dal nome della civiltà sviluppatasi a Creta dal 2700 al 1450 a.C. Questa eruzione è stata la più catastrofica avvenuta nell'area mediterranea negli ultimi 10000 anni.



Immagini della caldera di Santorini



Veduta della costa di Palikastro (Creta) e degli scavi archeologici dell'insediamento danneggiato dall'onda di tsunami

L'Eruzione Minoica ebbe inizio con una grande esplosione che generò una colonna eruttiva che raggiunse i **36 chilometri di altezza**. La parte alta della colonna continuò ad espandersi, spinta dai venti verso est, disperdendo così la cenere vulcanica in tutto il Mediterraneo orientale, dal mar Nero al delta del Nilo.

L'eruzione continuò con grandi esplosioni e con ingenti flussi piroclastici, fino al collasso della struttura vulcanica. Si generarono onde di tsunami che raggiunsero Creta con altezze di almeno 9 m. Lo tsunami arrivò fino alle coste di Israele e dell'Africa.

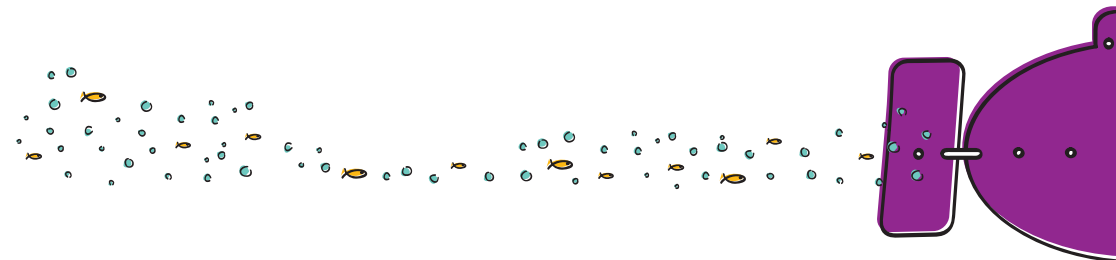
L'eruzione, con l'emissione di circa 60 km³ di magma, ebbe un profondo impatto sull'ambiente e sulle culture del Mediterraneo, causando la completa distruzione della civiltà a Santorini ed ingenti danni a Creta e alla flotta Minoica, portando questa civiltà in breve tempo al declino.

Questo evento eruttivo produsse anche effetti negativi sul clima e sull'ambiente in gran parte del continente nord europeo.

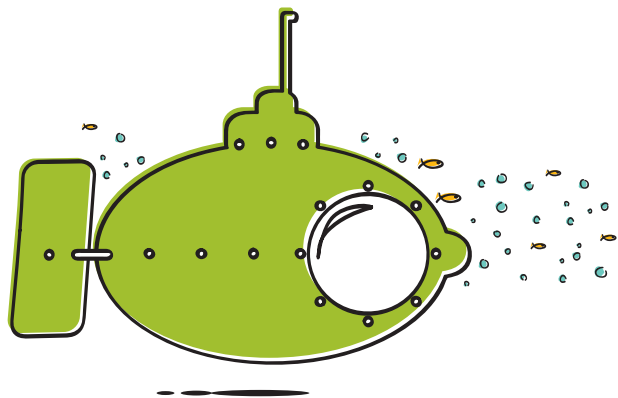
Dispersione delle ceneri vulcaniche relative all'eruzione Minoica. I numeri indicano lo spessore in cm dei depositi da caduta dell'eruzione



Propagazione dell'onda di tsunami generata dall'eruzione Minoica. I numeri indicano i tempi di arrivo dell'onda.



Alla scoperta degli Tsunami



Messina 1908.
La Palazzata e il mercato del pesce. Sono evidenti l'abbassamento e il franamento della banchina. Nello sfondo c'è la pescheria in ferro che non subì danni a seguito del terremoto, ma venne distrutta durante la seconda guerra mondiale. (tratta da G. Platania, Il Maremoto dello Stretto di Messina del 28 dicembre 1908, Boll. della Soc. Sism. Italiana Vol. XIII, 1909)



Il Mediterraneo e i maremoti

Il Mediterraneo, anche se in misura minore rispetto all'Oceano Pacifico e a quello Indiano, è a rischio tsunami, rischio che per lungo tempo è stato sottostimato.

Negli ultimi 4000 anni si sono verificati nel bacino del Mediterraneo **250 tsunami**, la maggior parte di debole entità ma alcuni catastrofici.

Tra i più forti, alcuni hanno interessato una vasta porzione del Mediterraneo, come ad esempio lo tsunami di Santorini del 1627 a.C., che fu la probabile causa della scomparsa della civiltà Minoica, quelli di Creta del 365 e del 1303, e quello di Lisbona del 1755.

Recentemente, lo tsunami dell'Algeria del 2003 ha causato forti danni alle isole Baleari.

Altri tsunami, seppure disastrosi localmente, si sono invece propagati in aree più ristrette, come il maremoto di Messina del 1908, violentissimo sulle coste siciliane e calabresi. In Italia si sono verificati oltre 70 tsunami, i maggiori nell'area **calabro-siciliana**, ma anche in **Liguria, Puglia, Emilia Romagna** e nelle **Marche**.

Che cosa è uno "tsunami"?

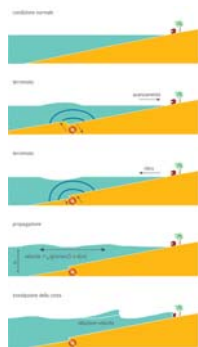
Tsunami è una parola giapponese che significa "onda (tsu) nel porto (nami)", in quanto anticamente si osservava che alcune onde diventavano devastanti avvicinandosi alla costa. Il termine italiano usato per definire uno tsunami è **maremoto**, cioè una serie di onde che, superando l'abituale linea costiera, provocano danni all'interno dei porti, ma anche lungo tutta la costa e a volte nell'entroterra.

津波

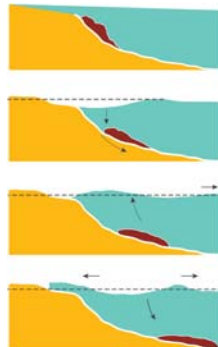
Quali sono le cause di uno tsunami?

Le onde di tsunami sono generate dallo spostamento istantaneo di una grande massa d'acqua che può essere causato da: terremoti, frane lungo la costa o sottomarine, eruzioni vulcaniche e, raramente, dalla caduta di meteoriti.

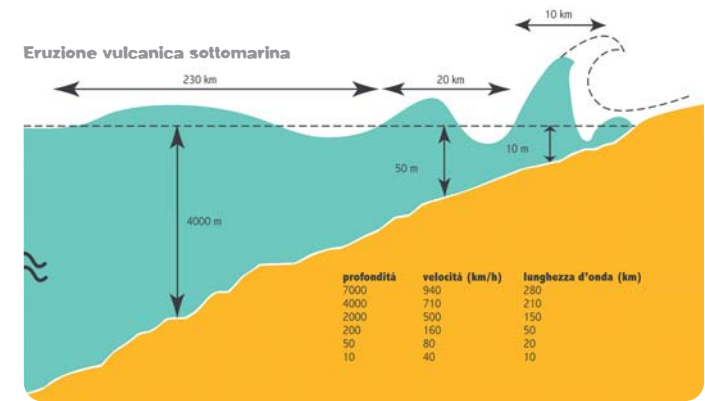
Terremoto sottomarino



Frana lungo la costa



Eruzione vulcanica sottomarina



Che differenza c'è tra le onde di tsunami e le altre onde?

Le onde che osserviamo normalmente sono prodotte dal vento e muovono solamente la parte più superficiale dell'acqua non provocando alcun movimento in profondità.

Le onde di tsunami, invece, **muovono tutta la colonna d'acqua**, dal fondale alla superficie, ed è per questo che hanno una forza d'impatto sulla costa molto maggiore che le rende in grado di avanzare per molte centinaia di metri nell'entroterra.

Le onde prodotte dal vento muovono solamente la parte superficiale dell'acqua

Le onde di Tsunami muovono tutta la colonna d'acqua dal fondale alla superficie



Come si comportano le onde di tsunami?

Viaggiano ad elevata velocità in mare aperto, propagandosi per migliaia di chilometri e abbattendosi con eccezionale energia su coste molto lontane dal punto di origine.

Le onde di tsunami al largo sono pressoché impercettibili e la loro altezza supera raramente il metro. In prossimità delle coste, dove i fondali sono meno profondi, l'onda rallenta la sua corsa, aumentando in altezza, perché la sua energia si concentra in uno strato d'acqua molto più piccolo. Un maremoto può presentarsi con un iniziale e temporaneo **ritiro delle acque** che lascia in secco i porti e le coste, oppure con un'inondazione che può manifestarsi come una **marea che cresce rapidamente**, come un treno di onde o come un vero e proprio muro d'acqua.



Banda Aceh
Indonesia
Prima

Banda Aceh
Indonesia
Dopo

Sulle tracce degli tsunami...

Uno tsunami che investe la costa può propagarsi all'interno anche per qualche km provocando serie modificazioni nelle zone inondate, come per lo tsunami avvenuto il **26 dicembre 2004** nell'Oceano Indiano.

Le onde di tsunami trasportano dal mare sedimenti, resti di conchiglie, coralli, ed altri organismi che vengono abbandonati sulla terraferma al loro ritiro, formando le "tsunamiiti".

La composizione di questi depositi è funzione del tipo di materiale presente lungo le zone costiere e nel mare antistante. Le foto qui riporta mostrano depositi relativi a differenti tsunami.

I luoghi in cui ricercare le tsunamiiti del passato vengono scelti sia in base alla conoscenza storica che delle caratteristiche morfologiche.

Le aree più favorevoli sono le zone costiere pianeggianti (lagune, paludi, retroduna e piccole pianure alluvionali), vere e proprie trappole che favoriscono la deposizione e conservazione dei sedimenti.

Recentemente la ricerca si è concentrata lungo le coste della Sicilia Orientale, poichè più volte inondata nel corso dei secoli; in particolare in una piccola pianura alluvionale e in un pantano (Pantano Morghella), entrambi retrostanti vecchie saline.



CORALLI SPIAGGIATI

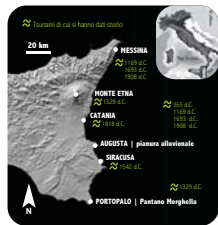
Oceano Pacifico



Gargano



Cascadia
(Stati Uniti, Costa Nord-Ovest)



Sicilia Orientale - Localizzazione delle zone studiate



Sito Pantano Morghella



Pianura alluvionale



... e come li ritroviamo?

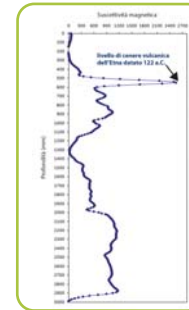
I depositi di tsunami in genere si ritrovano come sabbie o conglomerati, spessi al massimo 30 cm, base molto netta, contenenti frammenti di materiale marino.

Queste caratteristiche sono del tutto in contrasto con i depositi tipici della normale deposizione di materiali continentali molto fini, come argille e limi.

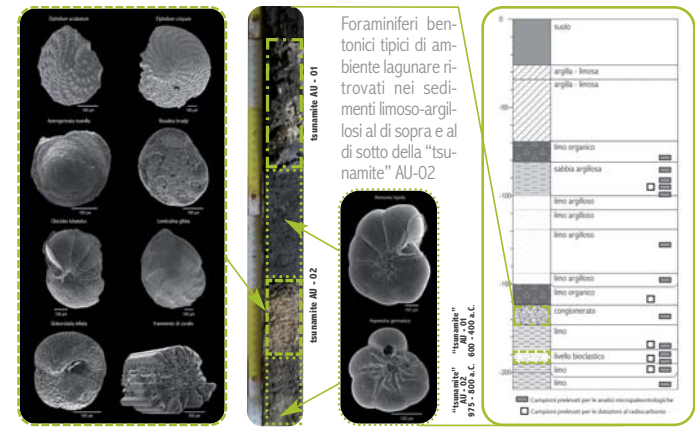
Il campionamento viene eseguito per mezzo di **carotaggi**, tecnica che permette di recuperare alcuni metri di sedimenti indisturbati in tubi in pvc.

Analisi magnetiche e raggi X, effettuati sulle carote chiuse, forniscono rispettivamente informazioni sulla presenza di livelli ricchi in minerali magnetici (es. ceneri vulcaniche) e variazioni della granulometria. Ogni carota viene poi aperta allo scopo di descrivere dettagliatamente i sedimenti e prelevare piccoli campioni di materiale (spessi 1-2 cm) per analisi paleontologiche e per datazioni al radiocarbonio.

Gli studi finora condotti ci hanno permesso di ritrovare le testimonianze sia di tsunami noti sia di alcuni a noi sconosciuti, questo permette di fare una valutazione dell'estensione e frequenza delle inondazioni da tsunami del passato, informazioni fondamentali per la creazione e pianificazione di piani di emergenza.

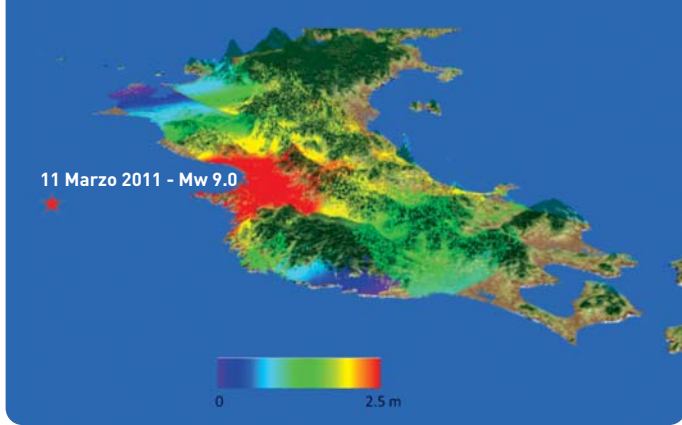


Tsunami depositati in seguito all'evento del 365 d.C.



Alcuni esemplari di foraminiferi bentonici e planctonici marini ritrovati nella "tsunamiite" AU-02

Colonna stratigrafica del sito ospedale



Mapa di spostamento in metri prodotta dal sisma su terraferma

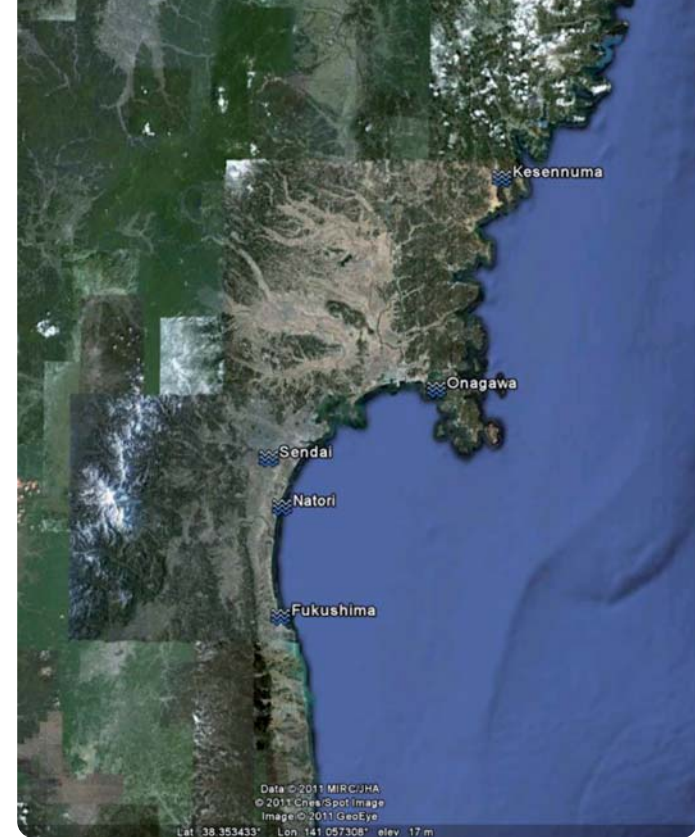
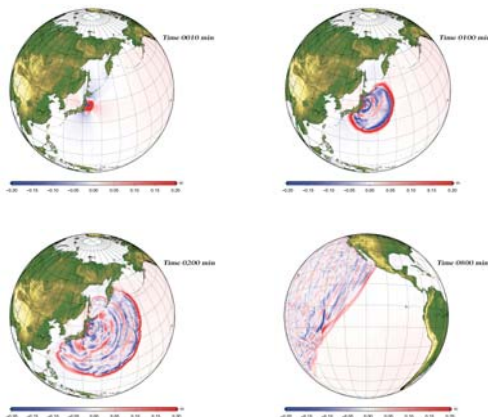
Il terremoto del Giappone (Tohoku-Oki) dell'11 marzo 2011

Il terremoto del Giappone dell'11 marzo 2011 ha colpito una delle regioni sismiche più attive della Terra.

In questa area la sismicità è dovuta alla spinta della placca pacifica contro il continente Eurasiatico; la velocità di convergenza tra queste placche è tra le più elevate del mondo: 8-9 cm/anno. Questa convergenza porta il margine dell'Oceano Pacifico, più pesante della placca continentale Euroasiatica, a piegarsi verso ovest al di sotto del Giappone e a scorrere sotto di esso.

Questo spostamento non è graduale al contatto tra le due placche, ma determina un accumulo di sforzi che può rimanere bloccato per decine o centinaia di anni.

Quando la roccia sottoposta allo sforzo non è più in grado di sopportare il carico della spinta della placca, si rompe lungo una zona di debolezza (faglia), generando un forte terremoto.

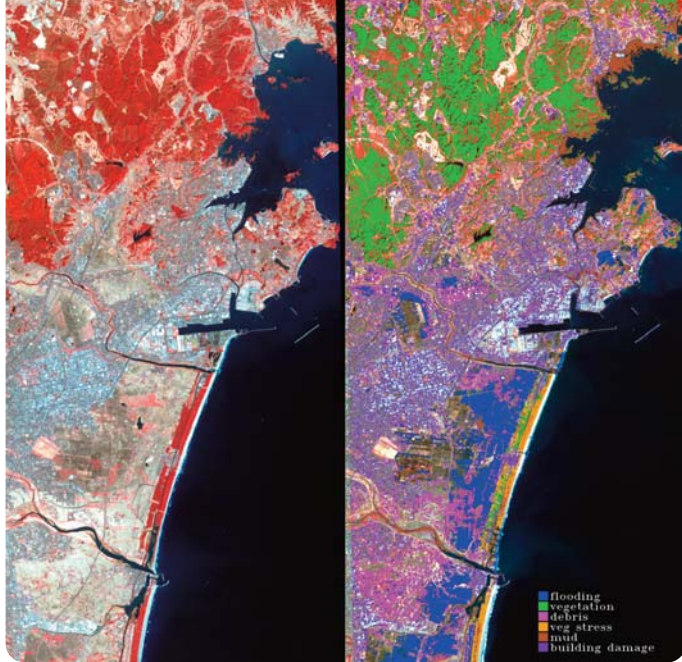


Effetti dello tsunami

L'onda di tsunami, generata dal forte evento sismico avvenuto a largo della costa giapponese, ha causato ingenti danni alle città costiere della regione Tohoku-Oki. Oltre all'inondazione del territorio molti edifici, ponti, strade e altre infrastrutture sono state distrutte dalla forza d'urto dell'onda di tsunami.

L'onda si è propagata all'interno per un massimo di 6,5 Km ed ha raggiunto un'altezza massima di circa 40 m.





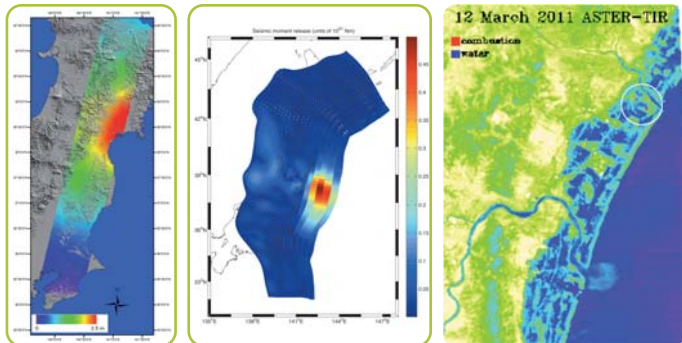
L'analisi di una serie di immagini nello spettro visibile, acquisite dal sensore ASTER della Nasa prima e dopo l'evento con una risoluzione di 15 m, ha permesso di realizzare una mappa di cambiamento della superficie. La figura a sinistra mostra la situazione prima del disastro, a destra la mappa di variazione

Gli effetti del terremoto del Giappone visti dallo spazio

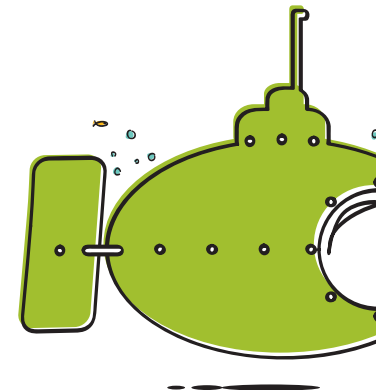
Grazie ai satelliti in orbita attorno al nostro pianeta è stato possibile osservare gli effetti del terremoto del Giappone. Le agenzie spaziali di tutto il mondo hanno puntato i loro sensori permettendo un'analisi dell'accaduto. Il radar di immagini a bordo del satellite ENVISAT dell'agenzia spaziale europea (ESA) ha acquisito alcune immagini attraverso le quali è stato calcolato lo spostamento della superficie terrestre prodotto dal sisma.

La figura a destra mostra una mappa di tale spostamento che ha raggiunto un valore massimo di 2,5 m in prossimità della città di Sendai.

Unendo le informazioni ottenute dalle immagini satellitari e dalla rete di ricevitori GPS (Global Positioning System) - molto diffuse sul territorio giapponese - i ricercatori dell'INGV hanno modellato la sorgente del terremoto e calcolato l'energia rilasciata dallo straordinario sisma corrispondente ad una magnitudo momento 9.0



L'immagine termico, con una risoluzione di 90 m acquisita dal sensore ASTER della Nasa, è stata utilizzata per determinare l'area inondata a sud di Sendai (il colore blu indica la presenza di acqua). Sono individuati due incendi cerchiati in bianco in figura



Terremoti

Questi sono i luoghi dove avvengono la maggior parte dei terremoti



I terremoti e le eruzioni avvengono lungo i margini delle placche

Il 70% dei terremoti è localizzato lungo i margini della placca pacifica, dove si registrano anche gli eventi più disastrosi. Il 20% avviene lungo una fascia che, dal centro dell'Oceano Atlantico, passando per il Mediterraneo, raggiunge l'Asia e l'Himalaya.

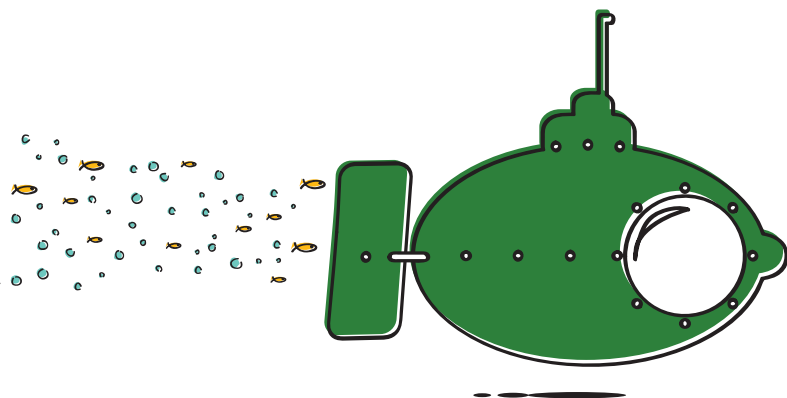
Nel mondo ogni anno si verificano in media 16 grandi terremoti, di cui uno catastrofico.

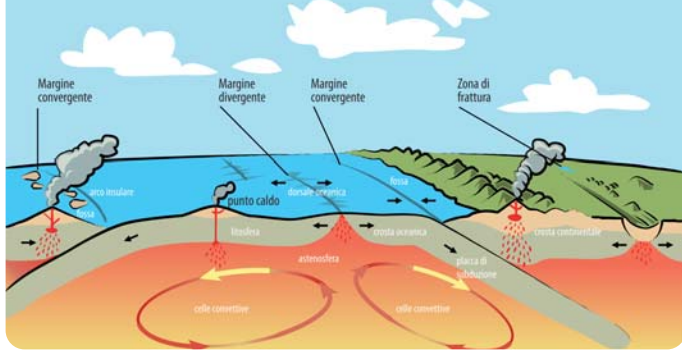
I terremoti lievi sono circa 1300000 al giorno.

Questi sono i principali vulcani attivi del nostro pianeta



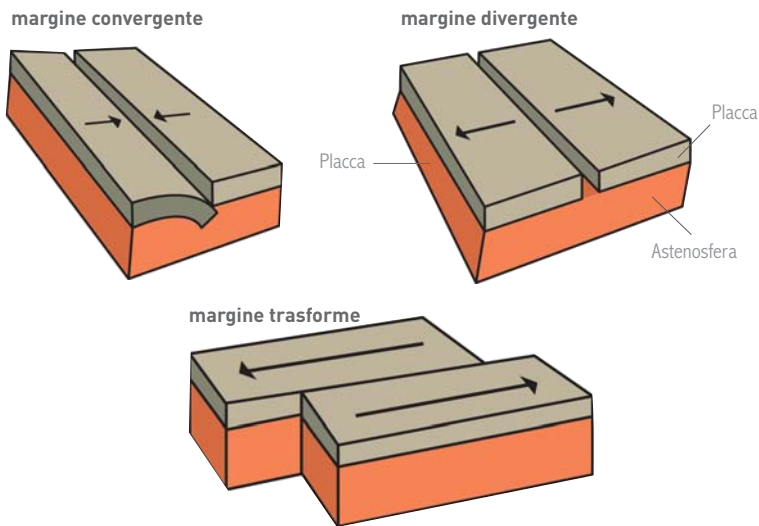
Il 99% delle eruzioni vulcaniche sono localizzate lungo le dorsali oceaniche e lungo i margini della placca pacifica. Una piccola parte si verifica al di fuori dei margini di placca, dando origine ai "punti caldi". Negli ultimi 50 anni sono state registrate un numero di eruzioni vulcaniche compreso tra 50 e 70 eventi ogni anno.



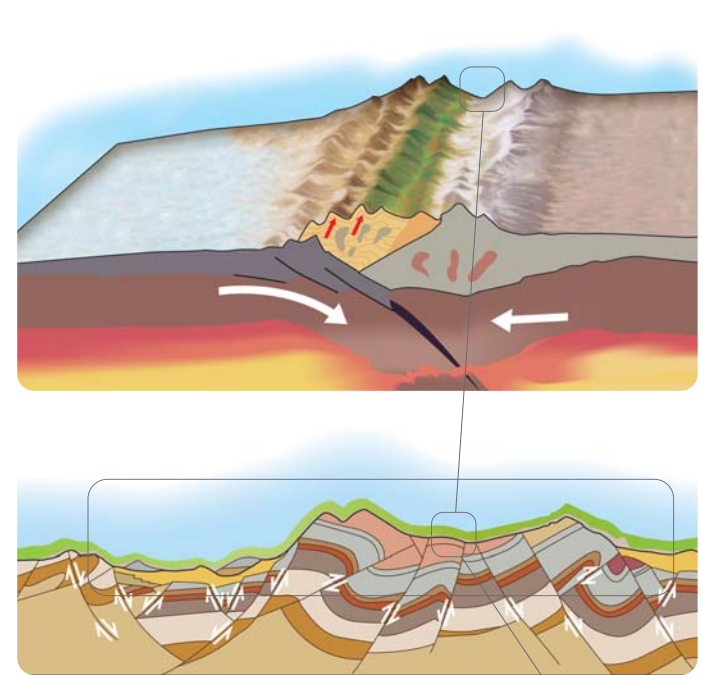


Ecco cosa accade sulla superficie terrestre

Le placche si muovono allontanandosi l'una rispetto all'altra o scontrandosi una contro l'altra. In entrambi i casi lungo i loro margini si sviluppa un'intensa attività sismica e vulcanica. A seconda di come si muove una placca rispetto all'altra si distinguono tre tipi di margine:

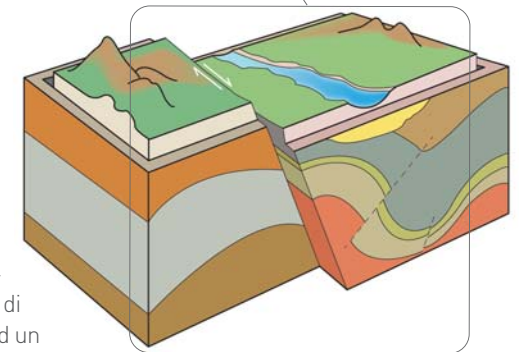


In particolare dove le placche si scontrano si verificano condizioni tali per cui le rocce della crosta fondono e si ha un vulcanismo prevalentemente **esplosivo**. Dove invece le placche si allontanano il magma risale direttamente dal mantello e l'attività vulcanica è prevalentemente **effusiva**. C'è anche il caso di vulcanismo non legato ai margini delle placche: i **punti caldi**.



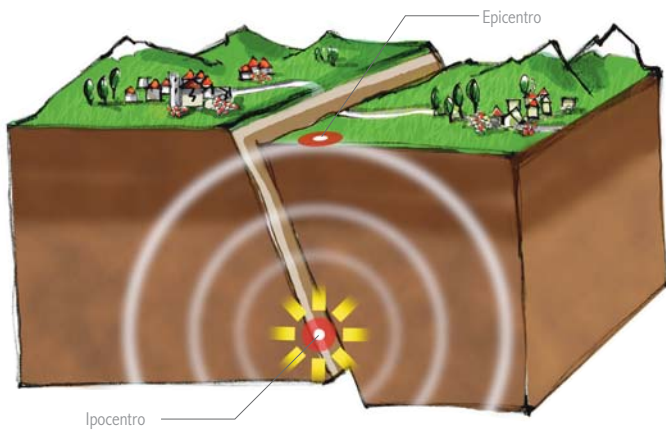
Il terremoto: un altro vistoso fenomeno della Terra

Il terremoto è l'effetto dell'improvvisa rottura delle rocce e del movimento di un blocco rispetto ad un altro. Il movimento di una



placca rispetto ad un'altra sottopone ad enormi sforzi tutta la regione in cui le placche sono a contatto. Nelle zone sismiche questi sforzi si scompongono in più direzioni creando un labirinto di **faglie**, ovvero quelle fratture lungo le quali le rocce si sono mosse in passato e si potranno muovere in futuro, scatenando un nuovo terremoto.

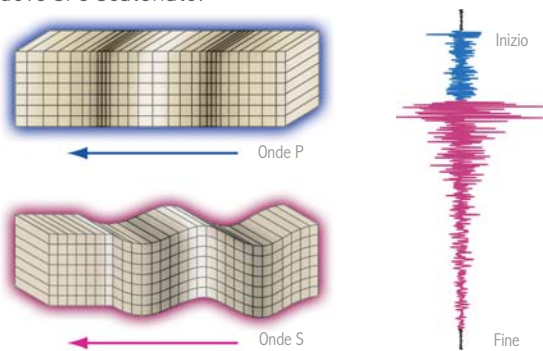
Una **faglia attiva** rivela la sua presenza attraverso i terremoti che provoca: quando lo sforzo accumulato supera la resistenza della roccia, i due blocchi si muovono di scatto l'uno rispetto all'altro. Da quel momento in poi lo sforzo ricomincia ad accumularsi, fino al prossimo terremoto.



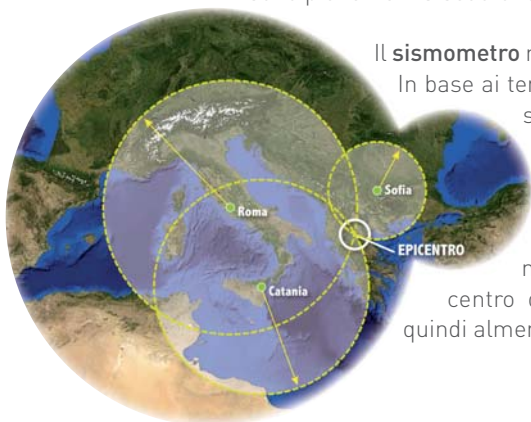
Quando una faglia si muove, le onde sismiche si propagano in tutte le direzioni scuotendo la Terra

Come si fa a sapere dove ha avuto origine un terremoto?

La rottura delle rocce libera un'enorme quantità di energia, che si propaga sotto forma di **onde**: sono loro a rivelarci dove si è scatenato.



Le **onde P** arrivano per prime seguite dalle **onde S**, che sono più lente ma scuotono la Terra con più forza.



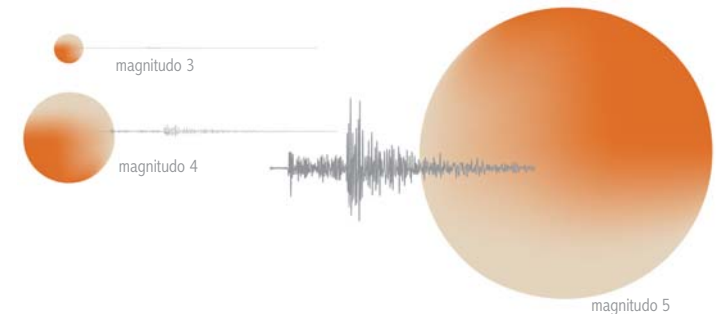
Il **sismometro** registra l'arrivo delle onde. In base ai tempi di arrivo con una sola stazione i sismologi sono in grado di calcolare la distanza dell'epicentro dalla stazione sismica, ma non la direzione di provenienza. Per localizzare l'epicentro di un terremoto servono quindi almeno tre stazioni.

Come si fa a sapere quanto è stato forte un terremoto?

È sempre il **sismometro** a dircelo: quanto maggiore è l'ampiezza massima delle oscillazioni registrate, tanto più forte è stato il terremoto. È infatti a partire dall'ampiezza massima che i sismologi calcolano la magnitudo Richter, un numero che esprime la quantità di energia liberata durante l'evento sismico.

Magnitudo Richter

Un terremoto maggiore di un altro di una unità di magnitudo lascia una traccia dieci volte più grande ma libera un'energia trenta volte più grande.



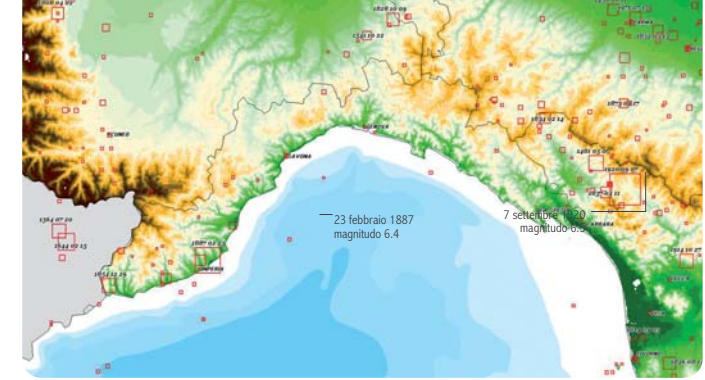
Scala Mercalli

La scala Mercalli misura invece gli effetti di un terremoto, che possono variare moltissimo a seconda della distanza dall'epicentro e dal tipo di costruzioni.





Carta della Sismicità In Italia (1981-2009)



Localizzazione degli 87 terremoti che hanno interessato la Liguria dal 1182 al 1976. Ogni rettangolo rappresenta un evento e la dimensione del rettangolo è proporzionale alla magnitudo

Un millennio di terremoti in Liguria

Fonti iconografiche, letterarie, storiche e documentali hanno reso possibile la ricostruzione dei terremoti e dei maremoti che hanno colpito la nostra nazione nei mille anni precedenti all'avvento delle moderne apparecchiature sismometriche.

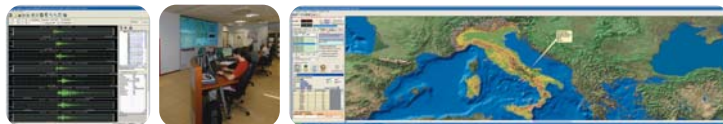
Dai **cataloghi** sappiamo che la Liguria è stata interessata, dall'anno 1000 d. C., da circa un centinaio di terremoti di magnitudo superiore alla soglia del danno (magnitudo circa 4.4). Sulla base delle informazioni contenute nei cataloghi la maggiore parte dei terremoti si concentra nei due estremi della regione, cioè nella zona dell'imperiese e nella zona della Lunigiana-Garfagnana.

La mappa indica in maniera qualitativa la distribuzione dei terremoti e contiene informazioni confermate negli ultimi anni dalla osservazione e registrazione dei fenomeni sismici con tecniche più moderne.

Nella zona di Imperia il più forte terremoto è stato quello del **23 febbraio 1887** che distrusse buona parte delle abitazioni lungo la costa e causò ingenti danni anche nell'entroterra. Sono circa 600 le vittime imputate a questo forte evento che, secondo recenti ricostruzioni, fu di magnitudo compresa tra 6.5 e 7.0 e generò un maremoto con onde fino a 2 metri di altezza.

Benvenuti nella Sala Operativa di Monitoraggio Sismico

Se la Terra trema da qualche parte in Italia o nel mondo, nella Sala Operativa dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia di Roma se ne accorgono subito.



I sismologi sono in grado di localizzare l'epicentro del terremoto e di stimare la magnitudo nel giro di pochi minuti, anche dei terremoti deboli. Oltre una certa soglia, queste informazioni vengono immediatamente comunicate alla Sala Operativa della Protezione Civile e al Ministero dell'Interno per organizzare i soccorsi in caso di necessità.

Qui si trova il "capolinea" dei segnali provenienti da più di **300 stazioni** della Rete Sismica Nazionale Centralizzata.

365 giorni l'anno, **24/24 ore**, sismologi e tecnici sono pronti ad analizzare i segnali sismici.

Descrizione degli effetti del terremoto del 23 febbraio 1887 a Genova. Nonostante la distanza dall'ipocentro in buona parte della città si ebbero risentimenti ed effetti di scuotimento. Vi si legge infatti: "La gente scesa dal letto correvva a cercare scampo all'aperto"



Danni a seguito del terremoto del 23 febbraio 1887

Effetti del terremoto del 7 settembre del 1920 (Garfagnana e Lunigiana, località Fivizzano e Barga)



Articolo di giornale relativo al terremoto del 7 Settembre 1920

Ricostruzione degli avvenimenti legati al terremoto del 20 Luglio 1564. La stampa evidenzia un generale stato di agitazione delle acque, attribuito in seguito ad un maremoto, verificatosi dopo l'evento sismico e causato probabilmente da una frana sottomarina messa in moto dallo scuotimento prodotto dal terremoto, il cui ipocentro fu invece nell'entroterra

Un millennio di terremoti in Liguria

Nella la zona di La Spezia il più forte terremoto è stato quello del **7 settembre 1920**.

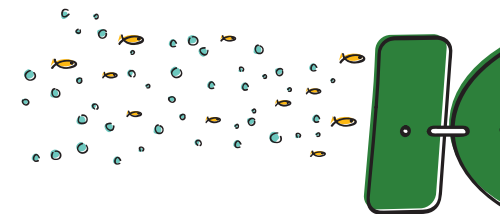
Di magnitudo superiore a 6.4, causò 174 vittime e circa 650 feriti; i danni furono ingenti in tutta la Lunigiana e Garfagnana ma furono soprattutto concentrati, così come le perdite umane, nella città di Fivizzano.

Il terremoto fu causato da un complesso sistema di faglie situato tra la catena Appenninica e la costa, responsabile anche del terremoto, pari a magnitudo 5.0, avvenuto nell'ottobre del 1995.

DATA	CAUSA	INTENSITÀ 1/6	NOTE SCALA DI INTENSITÀ DEGLI TSUNAMI SIEBERG-AMBRASEYS
1564	Associato a terremoto	Intensità 2	2 Onda leggera notata solo da coloro che hanno familiarità con le onde marine.
1703	Terremoto sottomarino	Intensità 2	
1808	Associato a terremoto	Intensità 2	
1809	Origine sconosciuta	Intensità 2	
1818	Terremoto sottomarino	Intensità 2	3 Onda piuttosto forte, notata da molti. Imbarcazioni leggere vengono allontanati dalla costa. Danni leggeri alle strutture costiere. Negli estuari si può verificare una corrente in risalita.
1828	Associato a terremoto	Intensità 3	
1887	Terremoto sottomarino	Intensità 3	
1888	Terremoto sottomarino	Intensità 2	
1968	Terremoto sottomarino	Intensità 2	
1979	Frana sottomarina	Intensità 3	

La tabella riporta una lista dei numerosi maremoti verificatisi soprattutto nella Riviera di Ponente.

È probabile che la tabella sia incompleta perché spesso i maremoti di dimensioni contenute sono stati scambiati per fenomeni di tipo meteorologico o strettamente marino.



Istituto nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Presidente

Stefano Gresta

Direttore Generale

Tullio Pepe

Direttore Centro Servizi Scientifici, Tecnici e Culturali

Fabio Florindo

Coordinamento del progetto

Giuliana D'Addezio

Con la collaborazione di

Antonio Caramelli, Maria Luisa Carapezza, Rosa Anna Corsaro, Susanna Falsaperla, Rosella Nave, Fabio Sansivero

Sismicità ligure

Stefano Solarino

Seminari

Marco Anzidei, Boris Behncke, Matteo Cattadori, Fabio Florindo, Antonio Meloni, Stefano Solarino, Salvatore Stramondo, Aldo Winkler

Laboratori

Stefano Solarino, Elena Eva, Gemma Musacchio, Giovanna Lucia Piangiamore

Progetto, sviluppo e allestimento grafico

Laboratorio Grafica e Immagini INGV

Organizzazione logistica

Alessandro Carosi

Progettazione e realizzazione Exhibits

La Macchina del Tempo, Vulcano 3D, Tsunami
Hic ad Hoc di Antonio Lepore

Paleotsunami

Antonio Caramelli

Maremoti del Mediterraneo

Massimiliano Vallocchia

Supporto alla realizzazione degli Exhibits

Alessandro Carosi, Antonio Caramelli, Massimiliano Vallocchia

Stampa

Di Virgilio & Partners S.r.l. Roma,
Page Service S.n.c. Roma

Lavorazioni in polistirolo

Estrografia s.a.s, Villa Adriana, Roma

Museo Civico di Storia Naturale "Giacomo Doria"

Giuliano Doria, Anna Biancalana, Loredana Ciappino, Gaetano Schiavo,
Primo Gardella, Raffaele Palmerino, Massimo Petri, Daniele Grassi

Attività didattiche

ADM-Genova

Fonti delle immagini

Marco Anzidei

Maria Serafina Barbano

Paolo Marco De Martini

Flavia Gerardi

Luigi Innocenzi

Rosella Nave

Adriano Penco

Alessandra Smedile

Thomas Reichart flickr.com/photos/thomasreichart/

Space Imaging

United States Geological Survey

PLATES Project

NEIC (<http://neic.usgs.gov>)

Global Volcanism Program (<http://www.volcano.si.edu>)

www.nasa.gov

pubs.usgs.gov/circ/c1187/

flups.net/info-f16/tsunami-de-chile-a-japon-1960-t289361.html

www.flickr.com

www.flickr.com/photos/klearchos/4497873884

www.flickr.com/photos/24957093@N03/4898963409

www.flickr.com/photos/klearchos/620098348

www.flickr.com/photos/nicnac/4079100256

www.flickr.com/photos/38015739@N02/3656750336

www.flickr.com/photos/bon_island_restaurant_phuket/2536063395/

Foto delle aree colpite dallo Tsunami fornite da Prof. Fumio Yamazaki

http://www.ajiko.co.jp/bousai/touhoku2011/touhoku_naname_eng.htm

La mostra è un allestimento aggiornato e ampliato di precedenti mostre INGV:

"Come è profondo il mare", la geofisica in acqua
Festival della Scienza di Genova 2011

CATASTROFI NATURALI: leggere attentamente le avvertenze
Festival delle Scienze di Roma 2011

Mediterraneo dinamico
Festival della Scienza di Genova 2010

Vulcani: esplosioni ed effusioni
Festival della Scienza di Genova 2007

TSUNAMI: Alla scoperta dei segreti dei maremoti
Festival della Scienza di Genova 2005

Attrazione fatale e Terremoti: la forza e la delicatezza del pianeta Terra
Festival della Scienza di Genova 2003 e 2004

Si ringrazia tutto il personale del Museo per la collaborazione

Dalla Pangea...	5
Catastrofi e Mediterraneo	6
Variazioni del livello del mare nel Mediterraneo	7
Il Mediterraneo oggi	8
I vulcani sono la porta di comunicazione con l'interno della Terra	11
Il magma	12
Eruzioni effusive	13
Eruzioni esplosive	14
Una super-eruzione: l'ignimbrite Campana	17
L'eruzione Minoica di Santorini	19
Il Mediterraneo e i maremoti	23
Che cosa è uno "tsunami"?	24
Quali sono le cause di uno tsunami?	
Che differenza c'è tra le onde di tsunami e le altre onde?	25
Come si comportano le onde di tsunami?	
Sulle tracce degli tsunami...	26
... e come li ritroviamo?	27
Il terremoto del Giappone (Tohoku-Oki) dell'11 marzo 2011	28
Effetti dello tsunami	29
Gli effetti del terremoto del Giappone visti dallo spazio	30
I terremoti e le eruzioni avvengono lungo i margini delle placche	33
Ecco cosa accade sulla superficie terrestre	34
Il terremoto: un altro vistoso fenomeno della Terra	35
Come si fa a sapere dove ha avuto origine un terremoto?	36
Come si fa a sapere quanto è stato forte un terremoto?	37
Magnitudo Richter	
Scala Mercalli	
Benvenuti nella Sala Operativa di Monitoraggio Sismico	38
Un millennio di terremoti in Liguria	39

© 2012 INGV
Aprile 2012

Stampato presso la Tipografia Amadeus s.r.l.
S. S. Nettunense km 7, 3471 Loc. Cecchina , Roma

Come è profondo il mare

23 febbraio 2012 - 24 giugno 2012

Museo Civico di Storia Naturale "Giacomo Doria"

Via Brigata Liguria, 9 - Genova

Orario

da martedì a venerdì ore 9:00-19:00

sabato e domenica ore 10:00-19:00

chiuso lunedì

per informazioni

tel. 010.564567

