

Tsunami: cos'è?

Uno tsunami è costituito da una serie di onde oceaniche generate solitamente (ma non solo) da terremoti il cui epicentro si trova sul fondale marino o nelle immediate vicinanze e che, dopo aver percorso anche migliaia di chilometri attraversando interi oceani, si abbattano come giganteschi muri d'acqua sulle coste, distruggendo tutto ciò che incontrano sul loro cammino.

Il termine è di origine giapponese - può essere tradotto letteralmente come "**onda del porto**" - e la ragione di tale nome appare in modo lampante proprio se consideriamo i terribili effetti che questo evento provava sulle regioni costiere sulle quali si abbatte.

津波



*A sinistra è riportato l'ideogramma giapponese che indica il termine tsunami: nella parte superiore il carattere **tsu** che significa porto e nella parte inferiore il carattere **nami**, il cui significato è onda.*

A destra una eloquente immagine delle devastanti conseguenze dello tsunami del 1946 a Hilo (Hawaii): è la sede di un circolo politico completamente distrutta dall'impeto dell'onda.

Nel passato, talvolta, il termine è stato tradotto con "**onde di marea**", ma tale traduzione è fuorviante. E' certamente vero che la situazione di alta o bassa marea presente nel momento in cui uno tsunami colpisce può influenzare notevolmente la sua azione, ma si tratta di due fenomeni fisici ben distinti e assolutamente non correlati. Il verificarsi delle maree, inoltre, è un evento completamente prevedibile in quanto dipende dall'azione gravitazionale del nostro satellite, mentre uno tsunami non ha tempi prefissati e scadenze ben precise...

A differenza di quanto si verifica per le maree, lo sviluppo di uno tsunami è caratterizzato da un tempo di preavviso molto limitato, e questo non fa che aumentare notevolmente la pericolosità della sua azione.

Un altro termine (impiegato soprattutto nella comunità scientifica) con il quale ci si riferiva a questo fenomeno era quello di "**onda sismica marina**", ma anch'esso non è completamente corretto poichè quella sismica è solamente una delle possibili origini di uno tsunami.

Anche la traduzione con il termine italiano di "**maremoto**" è, per analogo motivo, parzialmente fuorviante, come suggerisce l'etimologia stessa del termine che richiama espressamente ad un fenomeno di natura sismica.

L'origine di uno tsunami non va, dunque, ricercata solamente in fenomeni sismici: in generale si può affermare che qualunque causa in grado di perturbare verticalmente una colonna d'acqua sufficientemente grande muovendola dalla sua posizione di equilibrio è in grado di originare uno tsunami; dunque possono a pieno titolo diventare causa di tsunami anche eruzioni vulcaniche, esplosioni, frane e movimenti tettonici sottomarini. A queste cause di origine terrestre ne va aggiunta anche una esterna, costituita dal possibile impatto con oggetti cosmici. Proprio per evitare le possibili inesattezze legate ai diversi termini impiegati per indicare il fenomeno è stato deciso, nel corso di un convegno scientifico internazionale tenutosi nel 1963, di introdurre la parola giapponese "tsunami" quale **denominazione ufficiale**.

Uno tsunami è profondamente differente dal comune moto ondoso che ha la sua origine nell'azione dei venti in mare aperto e come epilogo il ritmico, rilassante - e talvolta poetico - infrangersi delle onde sulla battigia delle coste. Nel classico moto ondoso le onde sono caratterizzate da un **periodo** (intervallo di tempo tra due onde successive) solitamente di 5-20 secondi e da una **lunghezza d'onda** (distanza tra due creste successive) di circa 100-200 metri; le onde di uno tsunami, invece, hanno un periodo dell'ordine di un'ora e una lunghezza d'onda che può raggiungere anche il valore di alcune centinaia di km.

Ma i parametri fisici che più di ogni altro caratterizzano le onde di uno tsunami (chiamate anche "**shallow-water waves**" - onde d'acqua bassa - in quanto la loro lunghezza d'onda è di gran lunga maggiore della profondità dell'acqua in cui si sviluppano) sono la loro **modesta ampiezza** (altezza rispetto al piano medio della superficie marina) e l'**elevata velocità** con la quale si propagano in mare aperto.

La velocità v di propagazione delle "shallow-water waves" è data dalla formula:

$$v = \sqrt{g \cdot d}$$

in cui d è la profondità dell'acqua in quel punto e g è l'accelerazione di gravità (9.8 m/sec^2).

Un semplice calcolo impiegando questa formula ci permette di trovare che, per esempio, in un oceano caratterizzato da una profondità di 4000 metri (quale può essere l'Oceano Pacifico) un'onda di tsunami si può propagare alla velocità di oltre 710 km/ora: la velocità di un aereo.

Si diceva che il secondo aspetto che caratterizza queste onde è la loro ridotta ampiezza, il cui valore è tipicamente dell'ordine di un metro.

Questa particolarità fa sì che esse risultino praticamente "invisibili" per qualsiasi imbarcazione che le incroci in mare aperto.



Disegno di Pierre Mion

L'estrema pericolosità di questo fenomeno può essere meglio compresa introducendo alcune considerazioni riguardanti l'**energia** trasportata dal moto ondoso.

Il tasso di perdita di energia di un'onda è strettamente correlato all'inverso della sua lunghezza d'onda e questo comporta che la propagazione di un'onda di tsunami avvenga con piccolissime dispersioni, dunque il treno d'onde può percorrere lunghissime distanze mantenendo praticamente inalterato il suo carico energetico.

E sono proprio l'elevatissimo contenuto energetico delle onde e l'ineluttabilità della legge di conservazione dell'energia che trasformano queste onde da piccoli e quasi impercettibili movimenti della superficie marina in mare aperto a gigantesche calamità naturali nel momento in cui si abbattono violentemente sulle coste.

Tutto dipende ancora dalla relazione tra la velocità e la profondità dell'acqua vista prima.

Avvicinandosi alle coste diminuisce la profondità del mare e dunque anche la velocità delle onde si riduce, ma questo comporta che, dovendo per necessità fisica rimanere costante l'energia, debba aumentare l'ampiezza del moto ondoso, cioè l'altezza delle onde.

La massima altezza cui può giungere un'onda di tsunami viene indicata con il termine inglese di "**runup**" ed il suo valore è mediamente circa dieci volte maggiore dell'altezza dell'onda che lo ha originato, ma è evidente che tutto è legato all'andamento del profilo batimetrico.

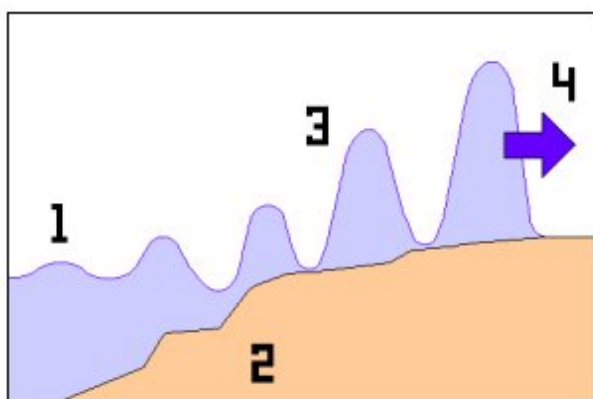
Molta importanza nel limitare gli effetti devastanti di uno tsunami hanno, infine, la morfologia della costa e la configurazione del terreno (liscio o rugoso, ricco o privo di alberi), elementi in grado di rallentare o meno l'impeto dell'acqua che tende ad addentrarsi nella terraferma anche per centinaia di metri.

Vi è anche la possibilità che uno tsunami non si manifesti subito come la classica gigantesca onda che si abbatte sulla costa, ma come un improvviso fenomeno di bassa marea, un repentino ritirarsi delle acque fino a lasciare scoperto il fondale marino per decine di metri prima che, una dopo l'altra, le numerose ondate che costituiscono lo tsunami si abbattano con gigantesca violenza ed elevata velocità su chi, incautamente, si è attardato ad osservare lo

strano fenomeno.

L'entità finale dell'evento è, evidentemente, legata in modo molto stretto all'energia trasmessa all'oceano dall'evento scatenante: nel caso di terremoto, ad esempio, sarà la sua magnitudine a determinare l'ampiezza iniziale del moto ondoso. Ma hanno la loro importanza anche altre caratteristiche quali la rapidità delle deformazioni del fondo marino, il profilo batimetrico e la profondità del mare nella zona dell'epicentro.

Nella figura viene illustrato in modo schematico il fenomeno dello tsunami: l'immagine, naturalmente, è solamente indicativa e dunque non ha alcuna pretesa di mostrare i fenomeni ondosi in scala. L'intento è quello di descrivere la situazione che si viene a creare allorché un'onda di tsunami proveniente dal mare aperto si avvicina alla costa, si innesca il fenomeno del runup ed una montagna d'acqua si abbatte violentemente sulla regione costiera.



In mare aperto (1) l'onda è caratterizzata da una limitata ampiezza. Al diminuire della profondità del fondale (2) si innesca il fenomeno del runup (3) ed il muro d'acqua si riversa sulla costa (4) spingendosi nell'entroterra.

*Una vista tridimensionale del fenomeno può consentirci di comprendere meglio il susseguirsi delle drammatiche fasi finali di uno tsunami. Il disegno è un adattamento di quello riportato nell'articolo Tsunami! di F.I. Gonzalez pubblicato sulla rivista **Scientific American** del maggio 1999.*



Alcuni dati raccolti in occasione dello tsunami che si è abbattuto sulle Hawaii nel 1960 a seguito del terremoto del 22 maggio in Cile ci possono dare un'idea più concreta della violenza del fenomeno.

Il terremoto venne stimato di magnitudine 8.6 ed il suo epicentro fu localizzato al largo delle coste del Cile centro-meridionale, ad una profondità di 33 km. I primi effetti devastanti dello tsunami si manifestarono, come è ovvio, sulle coste cilene nei minuti immediatamente seguenti alla registrazione del

terremoto, ma le onde innescate dall'evento stavano ormai propagandosi a grande velocità anche in direzione opposta, raggiungendo, circa 15 ore dopo, le coste hawaiane distanti 10.000 km dall'epicentro.



*Il porto di **Hilo** (città collocata sulle coste della maggiore delle isole dell'arcipelago hawaiano, a 300 km in linea d'aria dalla capitale Honolulu, in direzione sud-est) fu sommerso dall'oceano, che si abbatté sulle costruzioni con un fronte d'acqua alto 10.7 metri: un'idea della violenza del fenomeno si può avere osservando i supporti dei parchimetri, piegati dalla forza dell'onda, ed il desolante spettacolo delle costruzioni abbattute.*

Non si è trattato, però, di un evento assolutamente insolito ed unico: nella storia di queste isole, infatti, data la posizione particolarmente esposta, si sono verificati spesso tali fenomeni di violenta interazione tra mare e terra e proprio la città di Hilo è stata frequentemente interessata da onde di tsunami, tanto da meritarsi la reputazione di "capitale dello tsunami" degli Stati Uniti.

Lo tsunami più distruttivo nella storia recente di questo arcipelago si è verificato il 1 aprile 1946, in occasione del terremoto di magnitudine 7.1 con epicentro in Alaska (Isole Aleutine); il massimo runup misurato fu di 16.8 metri a Pololu Valley (Big Island), con le onde che, in alcune aree, penetrarono per quasi un chilometro nella terraferma.

Proprio per ridurre al minimo la perdita di vite umane nell'arcipelago delle Hawaii e nei propri territori del Pacifico, gli Stati Uniti hanno attivato, a partire dal 1948, il Pacific Tsunami Warning System, un sistema di osservazione e monitoraggio che, combinando rilevazioni sismologiche con misurazioni dei cambiamenti del livello dell'acqua in stazioni di rilevamento sparpagliate nell'Oceano Pacifico, è in grado di prevedere il possibile insorgere di uno tsunami e, in caso di pericolo, lanciare l'allarme per attivare le procedure di evacuazione della popolazione.

Ma non è sicuramente questa l'unica zona del pianeta in cui uno tsunami può portare il suo carico di devastazione, come eloquentemente dimostra quanto è accaduto il 17 luglio 1998 in Nuova Guinea e come testimoniano i ripetuti episodi che hanno funestato le isole del Giappone.

Certo è che le Hawaii, con la loro collocazione geografica che le vede immediatamente a ridosso della zona sismicamente più attiva dell'intero pianeta, il cosiddetto "**anello di fuoco**" situato nell'Oceano Pacifico, sono fatalmente destinate a sperimentare più di ogni altro luogo le conseguenze degli eventi sismici.