

3 Definizione della metodologia per la mappatura delle aree suscettibili di franosità potenzialmente tsunamigenica

(Documento metodologico P7, Attività 3)

3.1. PREMESSA

Nell'ambito delle attività legate al miglioramento, mantenimento e utilizzo dei prodotti del progetto MaGIC (da qui in avanti definita come convenzione Magic2), in ambito di prevenzione e di gestione tecnica di emergenze derivanti da pericolosità geologiche marine, in questo testo verrà descritta la metodologia utilizzata per la per la mappatura delle aree suscettibili di franosità potenzialmente tsunamigenica. In dettaglio, questo documento metodologico sarà diviso in due sotto-paragrafi:

il primo paragrafo (3.2) è volto a spiegare la metodologia utilizzata per la "realizzazione della carta delle principali frane dei mari italiani, ritenute potenzialmente tsunamigeniche nella loro passata attività. Saranno indicati i principi ed i metodi per l'individuazione delle frane e stima del loro potenziale tsunamigenico;

il secondo paragrafo (3.3) è volto a spiegare la metodologia utilizzata per la "perimetrazione delle aree suscettibili di franosità sottomarina potenzialmente tsunamigenica" (paragrafo 3.3) al di fuori delle frane potenzialmente tsunamigeniche mappate nell'ambito della precedente attività (paragrafo 3.2).

3.2 METODOLOGIA PER LA REALIZZAZIONE DELLA CARTOGRAFIA RELATIVA ALLE PRINCIPALI FRANE DEI MARI ITALIANI, RITENUTE POTENZIALMENTE TSUNAMIGENICHE NELLA LORO PASSATA ATTIVITÀ

La stima del potenziale tsunamigenico associato ad eventi di instabilità gravitativa in ambiente sottomarino è stata effettuata attraverso l'utilizzo di modelli numerici basati su parametri morfometrici proposti nella letteratura scientifica da Grilli & Watts (1999), Watts (2000), Watts et al. (2003). In particolare, questo approccio prevede la stima della massima altezza dell'onda di tsunami generata sul baricentro di una frana sottomarina sulla base di alcune relazioni empiriche, derivate da simulazioni di fluido-dinamica in laboratorio e da modellazioni numeriche.

Le assunzioni alla base di tali modelli sono le seguenti: a) la geometria della frana sottomarina è rappresentata da un semi-ellisse in traslazione lungo un piano inclinato, b) il centro di massa della frana è individuato attraverso una soluzione analitica dell'equazione del movimento, c) la

deformazione interna alla massa in dislocazione è trascurata, in quanto essa sembra avere una limitata influenza sull'ampiezza dello tsunami (Watts et al., 2003).

Due diverse formulazioni sono state proposte per stimare la massima ampiezza d'onda di una frana sottomarina: 1) una è valida per le frane di tipo traslazionale, che risentono maggiormente della resistenza esercitata dal fluido circostante durante lo scorrimento e 2) l'altra è valida per le frane rotazionali, dove si ha principalmente un forte attrito basale.

In considerazione del fatto che è spesso difficile distinguere le due tipologie di frane solamente su base morfologica, in questo studio si sono considerate tutte le nicchie di distacco come di tipo traslazionale, anche in accordo con l'ampia letteratura scientifica, che mostra una netta predominanza di frane sottomarine traslazionali lungo i diversi margini continentali.

È stata quindi utilizzata la seguente relazione per stimare la lunghezza d'onda e massima altezza d'onda del possibile maremoto generato da quella specifica frana (Rahiman&Pettinga, 2006):

$$\lambda = 3.87 (bd / \sin\theta)^{0.5}$$

$$A = 0.224 T[(w/(w+\lambda)) [(\sin\theta)^{1.29} - 0.746(\sin\theta)^{2.29} + 0.170 (\sin\theta)^{3.29}](b/d)^{1.25}$$

dove λ è la lunghezza d'onda e A l'ampiezza massima dell'onda, mentre w - b - d - T - θ dipendono dalla morfologia del pendio sommerso (Fig. 3.1) e sono rispettivamente la larghezza (w) e lunghezza (b) della frana, la profondità (d) d'acqua in corrispondenza del baricentro della frana, lo spessore (T) della frana (stimato sulla base dell'altezza della testata di frana) e la pendenza media (θ) della frana (Fig. 3.1). Sulla base dell'equazione prima esposta e di una prima analisi di sensitività effettuata su tali parametri, risulta evidente come questi ultimi pesino in maniera diversa sulla stima finale della massima altezza d'onda del maremoto. In ordine decrescente di importanza si ha il battente d'acqua al di sopra della frana, lo spessore (o altezza della testata), la pendenza, la larghezza e la lunghezza della frana.

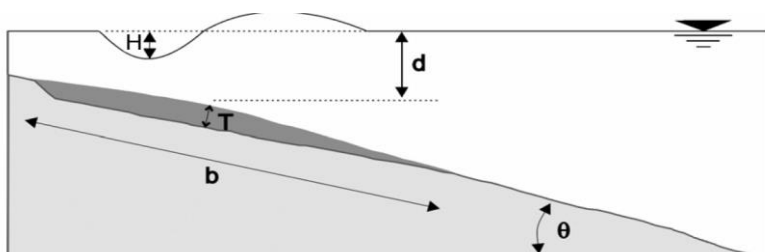


Figura. 3.1 Parametri morfometrici utilizzati per la stima della massima ampiezza di tsunami generata da una frana sottomarina.

È fondamentale osservare come tali modelli rappresentino ovviamente una semplificazione ed una approssimazione della realtà, in quanto da una parte è difficile stabilire i reali meccanismi di accadimento dell'evento di instabilità e di generazione dell'onda, dall'altra viene attribuito ad una nicchia di distacco un unico evento generatore, quando in realtà essa potrebbe essere il risultato di molteplici eventi in cui l'ultimo abbia rielaborato le nicchie dei precedenti. È importante anche

sottolineare come nelle formule predette non si tenga conto delle importanti modificazioni che l'onda subisce durante la sua propagazione, soprattutto nel suo approssimarsi alla costa per effetti di rifrazione e focalizzazione dell'energia.

La stima proposta quindi è una misura relativa del potenziale tsunamigenico associato ad eventi di instabilità e non una reale predizione dell'onda attesa.

In accordo con il DPC, in questa attività una frana è stata considerata potenzialmente tsunamigenica e significativa a fini di protezione civile quando la massima ampiezza d'onda da essa generata e calcolata con le relazioni empiriche precedentemente illustrate è uguale o superiore al valore di 1 m a largo, in quanto l'effetto di avvicinamento ai bassi fondali può, in linea generale, aumentare tale valore di 2-3 volte una volta giunta a costa, in accordo alla letteratura esistente. In aggiunta, il valore di soglia di "1 m" è stato scelto in considerazione del fatto che i parametri morfometrici della nicchia di distacco utilizzati per tale calcolo sono stati ricavati in maniera speditiva (come spiegato di seguito) e non misurati ad-hoc dai diversi gruppi di ricerca (come invece effettuato per le attività 1 "gerarchizzazione dei Punti di Criticità" e 2b "classificazione avanzata di una porzione di costa calabro-tirrenica").

Data la complessità e variabilità della mappatura effettuata nell'ambito del Progetto MaGIC, dove sono state individuate circa 8500 nicchie di distacco (Elementi Morfo-batimetrici di livello 3) più alcune centinaia di Frane Significative e Canyon (Unità Morfologiche di livello 2), dove possono potenzialmente generarsi eventi di maremoto, è stato necessario prendere in considerazione quattro diversi tipi di fonte e quattro diverse metodologie di misura dei parametri morfometrici necessari per la stima del relativo potenziale tsunamigenico.

I quattro tipi di fonte sono i seguenti:

- A. Frane Significative potenzialmente tsunamigeniche (Livello 2 Progetto Magic).
- B. Testate di Canyon sui cui versanti si possono sviluppare frane potenzialmente tsunamigeniche (Livello 2 Progetto Magic).
- C. Nicchie di distacco potenzialmente tsunamigeniche (Livello 3 Progetto Magic).
- D. Altre fonti, relazionate a segnalazione di maremoti storici generati da frane sottomarine o casi studio su frane sottomarine oloceniche potenzialmente tsunamigeniche (dati di letteratura).

A) Per quanto concerne la stima del potenziale tsunamigenico associato alle Unità Morfologiche (UM) Frane Significative (livello 2 progetto Magic), i parametri profondità minima della testata, altezza della testata, e larghezza della frana sono stati estratti dalle schede parametriche ad esse

associate e consegnate nell'ambito del Progetto MaGIC. Il parametro lunghezza della frana è stato stimato in maniera approssimativa dividendo l'area totale della nicchia di frana per la sua larghezza, mentre la pendenza media della frana è stata stimata come la media dei gradienti nell'area sottesa al poligono dell'Unità Morfologica tramite l'utilizzo di sistemi geografici informativi.

In tutti i casi dove si sono rilevati parametri anomali rispetto alle altre osservazioni, si è proceduto ad una nuova misurazione da parte dei diversi gruppi di ricerca partecipanti al Progetto.

B) Per quanto concerne la stima del potenziale tsunamigenico associato alle UM Canyon/Canali (livello 2 progetto MaGIC), si è proceduto in maniera differente, in quanto le informazioni presenti nelle schede parametriche associate a queste UM non erano sufficienti per l'analisi in esame. Tale mancanza di dati è dovuta all'oggettiva difficoltà di identificare una "frana tipo" all'interno dei canyon e soprattutto di misurarne correttamente i diversi parametri morfometrici, dato che questi lineamenti possono rappresentare il risultato di molteplici e ripetuti eventi di instabilità gravitativa con evoluzione retrogressiva, non distinguibili tra loro. Per questo motivo si è definita a priori una "frana tipo" valida per tutti i canyon, comparando statisticamente i parametri di un elevato numero di nicchie di distacco riportati nelle schede parametriche e calcolandone la mediana. I valori così, ottenuti sono confrontabili con quelli misurati per frane tsunamigeniche storiche avvenute alla testata del Canyon di Gioia nel 1977 e del Canyon di Var nel 1979. Il calcolo del potenziale tsunamigenico associato alle UM Canyon è stato quindi effettuato utilizzando i parametri morfometrici della "frana tipo" (altezza testata: 20 m, larghezza frana: 479 m, lunghezza frana: 346, pendenza frana: 8°) ed assumendo come profondità il valore minimo della testata del canyon, al fine di effettuare l'analisi in condizioni cautelative.

Inoltre, nel caso di UM Canyon caratterizzate da un tronco principale di canyon che si diramava in più testate di canyon nella scarpata continentale superiore e/o piattaforma continentale (tra loro distanti diversi chilometri), è stato calcolato il potenziale tsunamigenico di ogni singola testata.

C) Per quanto concerne la stima del potenziale tsunamigenico associato alle nicchie di distacco mappate nel Livello 3 di Magic (Elementi Morfobatimetrici), si è proceduto come segue: le nicchie di distacco sono state suddivise in due categorie: a) nicchie di distacco associate a strutture canalizzate, quali canyon e canali, b) nicchie di distacco in pendio aperto. Per entrambe le categorie si è proceduto a trasformare le polilinee in poligoni al fine di calcolarne l'area (da cui derivare la lunghezza e larghezza media della nicchia) e la pendenza media all'interno del poligono. La profondità della frana è stata calcolata utilizzando la profondità minima della nicchia di distacco (e non la profondità del suo baricentro prima del franamento, come previsto da Watts, 2000) in modo

da effettuare l'analisi in condizioni cautelative. L'altezza della testata della frana è stata stimata in 20 m sia per le nicchie sviluppate all'interno di strutture canalizzate che per quelle in pendio aperto. Nel primo caso si ha spesso un'oggettiva difficoltà di misurare tale altezza in quanto la maggior parte di queste frane sono il risultato cumulativo di molteplici eventi di instabilità, con evoluzione retrogressiva. Il valore di 20 m risulta dalla mediana dei valori di altezza di testata di nicchie distacco (185) presenti all'interno delle schede parametriche associate alle Unità Morfologiche "Canyon". Nel caso delle nicchie in pendio aperto, il valore di 20 m è stato ottenuto calcolando la mediana di due distribuzioni di frane sottomarine identificate in un contesto vulcanico (fianchi sommersi di Stromboli, Casalbore et al., 2011) e lungo un margine continentale tettonicamente-controllato (margine calabro-tirrenico compreso tra gli abitati di Gioia Tauro e Scilla, attività 2b del presente progetto). Nel primo caso la mediana è di 28 m (29 misurazione effettuate), mentre nel secondo caso la mediana è di 13 m (su un totale di circa 400 nicchie) e quindi ne è stata calcolata una media, corrispondente al valore di 20 m.

D) Per quanto concerne altre fonti, sono stati utilizzati sia studi di letteratura (come nel caso di due *debris avalanche* che interessano la piattaforma continentale nord ischitana, Della Seta et al., 2012) che segnalazione eventi storici di maremoto dovuti a frane sottomarine o costiere, che potrebbero non essere rappresentati nelle tre precedenti categorie, come ad esempio l'evento del 30 dicembre 2002 a Stromboli (Chiocci et al., 2008), nel quale l'espressione batimorfologica dell'evento (nicchia di distacco profonda sino ad oltre 40 m) è stata obliterata da successivi processi erosivo/deposizionali.

3.3 PERIMETRAZIONE DELLE AREE SUSCETTIBILI DI FRANOSITÀ SOTTOMARINA POTENZIALMENTE TSUNAMIGENICA

La perimetrazione delle aree suscettibili di franosità sottomarina potenzialmente tsunamigenica è basata principalmente sui risultati della precedente attività 3.2 "Cartografia relativa alle principali frane dei mari italiani, ritenute potenzialmente tsunamigeniche nella loro passata attività", dove sono stati segnalati tutti quei settori di margine continentale che in passato sono stati potenzialmente oggetto di frane tsunamigeniche. Durante questa fase si è proceduto ad un'analisi qualitativa delle caratteristiche morfo-batimetriche e dell'assetto geologico generale dei settori marini ad essi adiacenti, al fine di estendere i settori di margine dove sussistono le possibili

condizioni predisponenti ed innescanti lo sviluppo di futuri processi di instabilità gravitativa potenzialmente tsunamigenici.

È fondamentale sottolineare come tale perimetrazione avrà un grado di approfondimento e dettaglio di primo livello, non basandosi su uno studio approfondito dell'assetto sismo-stratigrafico del margine, della litologia e consistenza dei fondali, della sismicità storica e strumentale, dell'assetto strutturale di dettaglio, studi che esulano dalle possibilità e i modi delle attività previste nella presente convenzione.

3.4 RESTITUZIONE DEL DATO

4 geotiff divisi per aree geografiche (Liguria, Sardegna, Sicilia-Calabria, Tirreno-Adriatico-Ionio) contenenti a) i punti associati alle principali frane ritenute come potenzialmente tsunamigeniche al momento della loro passata attivazione, la perimetrazione di queste aree (rettangoli rossi) e di quelle ritenute potenzialmente tsunamigeniche (rettangoli gialli), in quanto presentano un assetto morfobatimetrico simile alle precedenti aree e dove sussistono le possibili condizioni predisponenti ed innescanti lo sviluppo di processi di instabilità gravitativa potenzialmente tsunamigenici. Le carte sono tutte georeferenziate nel sistema di riferimento UTM WGS84 33N, come da accordi con il DPC (anche se alcune di esse rientrano nel fuso 32N) in modo di essere consistenti con la georeferenziazione dello shapefile ad esse associato.

3 shapefile (georeferenziate nel sistema di riferimento UTM WGS84 33N) contenenti: a) i punti associati alle principali frane ritenute come potenzialmente tsunamigeniche al momento della loro passata attivazione nelle zone coperte dalla cartografia del Progetto MaGIC, b) le aree che le delimitano e c) le aree potenzialmente tsunamigeniche sulla base del simile assetto fisiografico e presenza di condizioni predisponenti ed innescanti fenomeni di instabilità gravitativa.

Per quanto riguarda lo shapefile "a", ogni punto è stato riferito al settore più vicino a costa dell'Elemento Morfo-batimetrico o Unità Morfologica a cui è associato, tranne nel caso di "altre fonti" dove la segnalazione avviene tramite dati di letteratura. Allo shapefile è, infatti, associata una tabella di attributi (Tabella 3.1) contenente un identificativo del punto, le informazioni sulla diversa fonte utilizzata per calcolarne il potenziale tsunamigenico (punti A, B, C e D descritti nel paragrafo 3.2) ed il riferimento (Riferiment, seconda colonna della tabella 3.1) all'Elemento Morfo-batimetrico (livello interpretativo 3) o Unità Morfologica (livello interpretativo2) della Cartografia MaGIC, o all'eventuale riferimento bibliografico nel caso di maremoto storico non associato a nessun elemento vettoriale. In aggiunta è stato inserito anche il "tratto di costa" a cui è riferito ed il

“parametro classificativo” (penultima ed ultima colonna della tabella 3.1) necessario alla classificazione di livello preliminare di tutte le coste ricadenti nei 72 fogli MaGIC (attività 2a della convenzione MaGIC2). Il parametro classificativo avrà:

- a) valore 1 nel caso l’altezza d’onda generata sia inferiore ad 1 m;
 - b) valore 2 nel caso in cui la massima ampiezza d’onda generata da quella frana è compresa tra 1 m e la mediana (valore di 2.3 m) dell’altezza d’onda ottenuto considerando l’intera distribuzione di frane potenzialmente tsunamigeniche (incluso tutte e 4 le categorie precedentemente indicate);
 - c) valore 3 nel caso in cui l’ampiezza d’onda generata da una frana sia maggiore della mediana
- 1 shapefile contenente le aree che presentano sia caratteristiche morfo-batimetriche simili a quelle precedentemente individuate come tsunamigeniche e dove sussistono le possibili condizioni predisponenti ed innescanti per lo sviluppo di processi di instabilità gravitativa potenzialmente tsunamigenici.

Tabella 3.1 esempio di tabella attributi associata allo shapefile punti rappresentante frane potenzialmente tsunamigeniche avvenute nel passato.

ID	Fonte	Riferiment	Foglio	Ente	0 - Tratto costa	1- FranTs
1	A	F25_FRS32	F25	Conisma-UniPa	2	2
2	B	F30_CAN3	F30	CNR-IGAG	5	3
3	C	444	F17	CNR-ISMAR	177	2
4	D	Frana tsunamigenica del 30 dicembre 2002 a Stromboli, (Chiocci et al 2008)	F16	CNR-IGAG	334	3