

## **2b Metodologia per la classificazione di livello avanzato della suscettibilità delle coste italiane ai georischi marini**

### **(Documento metodologico P4/2, Attività 2b)**

#### **2b.1 PREMESSA**

Nell'ambito delle attività legate alla convenzione MaGIC2, per la gestione tecnica di emergenze e la mitigazione di eventi dovute a pericolosità geologiche marine, è stata messa a punto una metodologia di classificazione di livello avanzato della suscettibilità delle coste italiane ai georischi marini.

La metodologia proposta si basa sulle semplificazioni e problematiche emerse nel corso dell'attività "classificazione di livello preliminare della suscettibilità delle coste italiane ai georischi marini" (documento metodologico P4/1) ed ha l'obiettivo di classificare le coste non sulla base della presenza/assenza di lineamenti quanto piuttosto di sfruttare fino in fondo i dati morfo-batimetrici a disposizione. È comunque importante notare che la morfo-batimetria fornisce solo una visione parziale dei lineamenti di pericolosità, non essendo state previste nel corso del progetto MaGIC indagini sismo-stratigrafiche, lito-sedimentologiche e geomeccaniche, che avrebbero permesso una loro migliore caratterizzazione. Tra i diversi georischi (frane sottomarine, testate di canyon, faglie attive a fondo mare, strutture legate all'emissione di fluidi e/o eruzioni vulcaniche) associati agli elementi morfo-batimetrici mappati nel livello 3 del progetto MaGIC ed utilizzati nell'ambito della classificazione di tipo preliminare, la suddetta metodologia si propone di ottenere una migliore definizione della suscettibilità della costa in relazione alle conseguenze dirette ed indirette associate allo sviluppo di processi di instabilità costieri e sottomarini. Le prime consistono nel diretto coinvolgimento dei settori costieri nel processo di franamento, mentre le seconde sono relazionate alla generazione ed impatto sulla costa di onde di maremoto generate da frana. Le restanti tipologie di "georischio" marino (faglie attive, vulcanismo ed emissione di fluidi), non sono state prese in considerazione in questa classificazione avanzata, in quanto una loro migliore definizione deve necessariamente basarsi su studi sito-specifici e guidati da sismica e/o campionamenti, indagini che, come detto, non sono previste nel progetto Magic e sono peraltro difficilmente disponibili in maniera omogenea nelle aree marine.

Al fine di testare la metodologia proposta è stata scelta come area di studio il tratto di costa della Calabria Tirrenica compreso tra gli abitati di Scilla e Gioia Tauro. La scelta dell'area è stata effettuata tendendo in considerazione a) la disponibilità di una copertura batimetrica ad alta risoluzione

pressoché totale da costa fino a 2000 m di profondità, b) l'attività geologica dell'area e la conseguente presenza di un'ampia varietà e frequenza spaziale di morfologie costiere e sottomarine relazionabili a processi di instabilità gravitativa, c) la concomitante presenza di un elevato numero di fattori predisponenti ed innescanti (alti tassi di sedimentazione, fondali acclivi, frequenti ed intensi terremoti) lo sviluppo di futuri processi di franamento costiero e marino, d) una forte antropizzazione del settore costiero.

Nel prossimo paragrafo verrà quindi illustrata in dettaglio la metodologia proposta, evidenziando i principali avanzamenti conoscitivi rispetto alla classificazione preliminare e nel contempo discutendone i limiti e le problematiche.

## **2b.2. METODOLOGIA: PARTE GENERALE E DIFFERENZE CON LA CLASSIFICAZIONE PRELIMINARE**

A differenza della classificazione preliminare delle coste italiane, l'approccio metodologico utilizzato per la classificazione avanzata del tratto di costa calabro-tirrenico tra Scilla e Gioia Tauro prevede:

a) una suddivisione della costa in tratti di 2 km rispetto ai 10 km della precedente classificazione; (nel caso della suscettibilità associata all'impatto di onde di maremoto l'analisi è stata di maggiore dettaglio, suddividendo la costa in tratti di poche decine di metri per meglio evidenziare i settori che sono stati potenzialmente colpiti in passato da onde con una determinata altezza, elemento importante a fine di protezione civile).

2) un'analisi di dettaglio dei dati morfo-batimetrici originali (non quindi un esame della sola cartografia prodotta nel progetto MaGIC), cercando di definire con certezza le nicchie di distacco che sono il risultato di un singolo evento rispetto a quelle generate dalla coalescenza di più eventi, al fine di non sovrastimare gli eventi franosi ed effettuare una corretta simulazione dei maremoti indotti. A tal fine sono stati completamente reinterpretati circa 1600 km<sup>2</sup> di dati multibeam, individuando e mappando in maniera originale 236 nicchie di distacco nell'area di studio, per ognuna delle quali sono stati realmente misurati i principali parametri morfometrici (lunghezza, larghezza, pendenza, area, profondità), rispetto alle assunzioni adottate nella classificazione di livello preliminare (per dettagli si rimanda ai documenti metodologici P4/1 e P7);

3) una stima più realistica degli effetti sulla costa dovuti a maremoti generati da frane sottomarine, attraverso la simulazione della propagazione di queste onde attraverso il codice numerico open-source TUNAMI (2b.3.1 per dettagli). Nel caso della classificazione preliminare invece, la suscettibilità della costa era stata stimata associando al tratto di costa solo la massima ampiezza d'onda di maremoto al di sopra del baricentro delle nicchie di distacco ad essa antistanti, non

prendendo in considerazione gli effetti di frane nei settori contigui e non effettuando alcuna misura diretta dei parametri morfometrici;

4) una correlazione tra le morfologie erosive osservate a mare e quelle presenti a terra al fine di identificare settori in cui la morfogenesi marina e costiera appaiono tra loro interdipendenti. A tal riguardo si cercherà anche di evidenziare quei settori marini che sembrano più attivi da un punto di vista morfo-sedimentario o dove si sono osservate in passato significative variazioni morfologiche tramite rilievi batimetrici ripetuti nel tempo o comparazioni con foto aeree.

Da quanto esposto risulta evidente come la presente metodologia rappresenti un significativo avanzamento in chiave di definizione della suscettibilità della costa rispetto a quanto effettuato nella precedente classificazione preliminare. Tuttavia è importante sottolineare come anche in questo caso siamo ben lontani da una precisa caratterizzazione degli eventi e delle conseguenze ad essi associate. Come già accennato in premessa infatti, l'analisi effettuata si basa fondamentale su dati morfo-batimetrici, e non è corredata da alcun dato di sotto-superficie o studio sito-specifico necessari ad una corretta analisi geologico-tecnica dei processi di instabilità gravitativa, a sua volta fondamentale per la definizione dell'innescò, evoluzione ed associato potenziale tsunamigenico di tali fenomeni. Inoltre, l'approccio metodologico utilizzato si basa sulla simulazione di fenomeni avvenuti nel passato e non di eventi previsti per il futuro, segnalando solamente la predisposizione di massima dell'area all'accadimento di eventi con caratteristiche simili a quelli avvenuti nel passato, senza alcun riferimento alla loro frequenza spaziale e temporale. In realtà sull'analisi statistica e probabilistica sono in corso studi sito-specifici (Casas et al., 2016) ma che ancora sono in fase troppo embrionale per poter essere adottati a fine di protezione civile. Infine non sono state considerate le conseguenze che tali eventi potrebbero avere sulla costa come l'entità delle inondazioni od instabilità gravitative costiere che esse potrebbero generare.

Va tuttavia sottolineato come considerando i costi elevati delle indagini marine dirette e soprattutto l'elevato numero di lineamenti da analizzare (236 frane solo in questo settore), la definizione precisa della litologia, età, assetto strutturale e stratigrafico di tutti i lineamenti è praticamente impossibile economicamente e temporalmente, e quindi solo una metodologia come quella proposta può permettere di individuare e caratterizzare quantitativamente i settori costieri più soggetti a questa tipologia di georischi marini.

## **2b.3 METODOLOGIA: PARTE OPERATIVA**

Dal punto di vista operativo, la classificazione della costa è avvenuta su tratti di 2 km di lunghezza, numerati in maniera univoca e sequenziale. Ad ogni tratto di costa è stato attribuito un livello di suscettibilità rispetto alle conseguenze dirette ed indirette associate agli eventi di instabilità costieri e marini, utilizzando i parametri classificativi (FranTs, ErosCo, RipidC, RipidP, SedimentP) della precedente classificazione di livello preliminare.

FranTs	Frane con potenziale tsunamigenico
ErosCo	Elementi erosivi prossimi alla costa, possibilità di instabilità costiera
RipidC	Fondali acclivi sottocosta, possibilità di instabilità costiera
RipidP	Fondali acclivi sulla piattaforma continentale, possibilità di frane prossime alla costa
SedimentP	Sottrazione di sedimenti all'ambiente litorale da parte di canyon

Similmente alla precedente classificazione, sono stati definiti tre livelli di suscettibilità (ad eccezione di ErosCo, dove sono presenti 4 livelli per tenere conto anche dell'interazione tra morfogenesi marina e subaerea) per ognuno dei parametri prima indicati:

- 1) suscettibilità bassa o assente
- 2) suscettibilità mediamente significativa
- 3) suscettibilità altamente significativa

Per quanto riguarda RipidC (distanza minima dell'isobata 10m da costa; 1: >100m, 2: 50-100m, 3: <50m), RipidP (distanza minima dell'isobata 100m da costa; 1: >2000m, 2: 1000-2000m, 3: <1000m) e SedimentP (1: canyon o canali che non interessano l'isobata -10 m; 2: canyon o canali che interessano l'isobata -10 m per meno di 1 km, 3: canyon o canali che interessano l'isobata -10 m per oltre 1km), i criteri per definire la suscettibilità sono gli stessi di quelli utilizzati nella precedente classificazione preliminare; il prodotto ottenuto essenzialmente evidenzia l'influenza della differente suddivisione della costa (2 km rispetto ai 10 km precedenti) sul risultato finale.

Per quanto concerne l'elemento ErosCo, è stato introdotto un quarto livello di suscettibilità, rispetto ai primi tre rimasti uguali a quanto effettuato nella classificazione preliminare (vicinanza dalla costa dell'elemento erosivo, 1: >500m, 2: 200-500m, 3: <200m); tale 4° livello (colore viola sul raster) vuole evidenziare una correlazione tra morfologie erosive sottomarine e subaeree a testimoniare un effetto diretto dell'erosione sottomarina sull'instabilità costiera oppure significative variazioni morfologiche dei fondale verificate tramite rilievi multibeam o da foto aerea ripetuti nel tempo.

Per quanto riguarda l'elemento FranTs, i criteri classificativi sono stati calcolati utilizzando un approccio totalmente differente rispetto alla semplice assenza/presenza dell'elemento morfobatimetrico classificante, come dettagliatamente illustrato nel prossimo sottoparagrafo.

### **2b.3.1 STIMA DELLA SUSCETTIBILITÀ DELLA COSTA RELAZIONATA ALLA GENERAZIONE DI ONDE DI MAREMOTO (FRANTS)**

La parametrizzazione morfometrica delle 236 nicchie di distacco (ad ognuna delle quali è stato associato un proprio identificativo) ha permesso di calcolare in maniera speditiva il potenziale tsunamigenico attraverso la stima della massima altezza dell'onda di maremoto generata sul baricentro della frana (vedi documento metodologico P7 per dettagli).

Delle 236 nicchie di distacco, sono state quindi selezionate per la successiva fase di simulazione della propagazione dell'onda di maremoto solamente quelle associate a frane che avessero generato un valore di ampiezza d'onda maggiore o uguale di 0.5 m. Tale valore risulta minore rispetto a quello utilizzato come soglia (1 m) per l'attività 3 "mappatura delle frane potenzialmente tsunamigeniche", in quanto le nicchie di distacco in quest'area sono state re-interpretate ed è stata effettuata una nuova misurazione dei parametri morfometrici richiesti per il calcolo del potenziale tsunamigenico (vedi paragrafo 2b.2). L'analisi si è quindi ristretta a 10 casi (tutti in acqua relativamente bassa), che si ritiene siano i soli che nell'area avrebbero potuto avere un significativo impatto sulla circostante costa. Per simulare la propagazione dell'onda associata ai 10 eventi di frana è stato utilizzato il codice TUNAMI (Imamura, 1996). Per ogni evento, è stata dapprima calcolata la distribuzione tridimensionale dell'iniziale elevazione d'acqua sul baricentro della frana attraverso le equazioni semi-empiriche di Watts et al. (2005), inserite all'interno del codice TUNAMI da Brune et al. (2010). In questa modellizzazione, oltre ai parametri morfometrici della nicchia di distacco che sono stati misurati sui dati originali alla massima risoluzione, è importante definire anche la lunghezza percorsa dalla frana, e questo risulta essere un parametro critico nella generazione dell'onda. Nel caso di frane in pendio aperto, la stima della distanza percorsa è in molti casi (ma non sempre) possibile attraverso l'interpretazione integrata di dati morfo-batimetrici e sismici che permettono di riconoscere i depositi di frana sul pendio; la questione diviene molto più complicata nel caso di frane ubicate in corrispondenza di canyon o canali, dove i depositi di frana comunemente non vengono preservati ma si trasformano in flussi gravitativi che vengono convogliati in profondità. In tali casi, si è ipotizzata la distanza percorsa del corpo di frana in base alla presenza di una brusca diminuzione del gradiente di pendenza dove presente o da un repentino cambiamento di direzione della struttura canalizzata, nella convinzione che in entrambi i casi si sarebbe avuto un forte rallentamento della massa in movimento.

La distribuzione tridimensionale dell'onda di maremoto sopra il baricentro della frana è stata utilizzata come parametro di input per la successiva fase di propagazione. Durante questa fase è

stato utilizzato un grigliato batimetrico con dimensione di cella di 100 m (prodotto nell'ambito del progetto MaGIC) al fine di velocizzare i tempi di computazione e filtrare possibili errori derivanti dal grigliato batimetrico a più alta risoluzione. Per ogni frana è stata quindi effettuata una simulazione della propagazione del maremoto generato ed è stato associato ad ogni nodo del grigliato batimetrico il massimo valore di ampiezza d'onda generato durante la simulazione. Al fine di effettuare l'analisi in condizioni cautelative (worst-case scenario), la massima ampiezza d'onda è stata calcolata individuando, all'interno di un buffer di 200 m intorno alla linea di costa, il massimo valore di elevazione d'onda registrato dai 10 scenari di maremoto simulati.

In aggiunta, allo scopo di fornire una visualizzazione più dettagliata dell'impatto costiero dovuto alle onde di maremoto simulate, si è proceduto a suddividere la costa in tratti di poche decine di metri ed associare ad ognuno di essi il massimo valore di ampiezza d'onda registrato nel nodo batimetrico ad esso più vicino spazialmente. Tale operazione è stata realizzata sia a scala del singolo evento sia considerando il massimo valore registrato da tutti gli eventi di maremoto simulati. È importante sottolineare che tale approccio di dettaglio potrebbe generare possibili errori nella stima dell'ampiezza d'onda, data la variabilità dei valori registrati in nodi attigui in acqua bassa in relazione alla bassa risoluzione della batimetria utilizzata (cella con dimensione di 100 m).

Una volta associato ad ogni tratto di costa (sia di 2 km che di poche decine di metri) il valore di ampiezza d'onda si è proceduto a classificarlo in tre livelli di suscettibilità, di cui

Livello 1) suscettibilità bassa o assente, corrispondente ad altezze d'onda minori di 2.5 m (colore verde nei raster)

Livello 2) suscettibilità mediamente significativa, corrispondente ad altezze d'onda comprese tra i 2.5 e 5 m (colore arancione nei raster)

Livello 3) suscettibilità altamente significativa, corrispondente ad altezze d'onda superiori ai 5 m (colore rosso nei raster).

Al fine di testare l'affidabilità del modello, è stata effettuata una simulazione del maremoto generato nel 1977 da una frana tsunamigenica avvenuta alla testata del canyon di Gioia Tauro (Colantoni et al., 1992). La simulazione del maremoto in termini di ampiezza e distribuzione dell'onda lungo la costa è risultata confrontabile sia con le osservazioni post-evento sia con i risultati di altre modellazioni numeriche (Zaniboni et al., 2016).

## **2b.4 RESTITUZIONE DEL DATO**

5 carte georeferenziate relative alla suscettibilità della costa divisa in tratti di 2 km e classificati in relazione ai 5 elementi di tabella 2 (FranTs, ErosCo, RipidC, RipidP, SedimentP). In queste carte sono anche rappresentati tutti gli elementi morfo-batimetrici utilizzati per la classificazione, e le isobate relative ai 10 e ai 100 m. 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.

11 carte georeferenziate relative alla suscettibilità della costa rispetto a FranTs divisa in tratti di poche decine di metri per ogni singolo evento simulato e considerando il massimo valore di ampiezza per ogni tratto secondo quanto specificato in 2b.3.1. Le carte sono tutte georeferenziate nel sistema di riferimento UTM WGS84 33N (ricadendo nel margine calabro tirrenico) in modo di essere consistenti con la georeferenziazione dello shapefile ad esse associato.

6 shapefile (georeferenzati nel sistema di riferimento UTM WGS84 33N), con le tabelle attributi compilate:

- "Shapefile Nicchie di distacco" – contiene tutte le nicchie di distacco mappate (ad eccezione di quelle tsunamigeniche), a cui è associato sia un identificativo unico (name).
- "Shapefile Nicchie tsunamigeniche"- contiene solamente le 10 nicchie di distacco utilizzate per la simulazione degli eventi di maremoto
- "Shapefile elementi\_morfobatimetrici"- contiene gli altri elementi morfo-batimetrici (scarpate di canyon, canali ed erosive) utilizzati per la classificazione di ErosCo e SedimentP.
- "Shapefile punti"- contiene elementi puntuali (come i blocchi) associati a processi di instabilità gravitativa utilizzati per la classificazione di ErosCo
- "Shapefile Tratti di Costa 2km" – contiene tutti i tratti costieri di lunghezza di 2 km, ad ognuna della quali è associato un identificativo (0 - Tratto costa), e la classificazione della suscettibilità per le cinque tipologie di elemento (FranTs, ErosCo, RipidC, RipidP, SedimentP in tabella2).
- "Shapefile Tratti di Costa dettaglio" –contiene tutti i tratti costieri di lunghezza di poche decine di metri, ai quali è associato a) un identificativo (ID), b) il numero del tratto di costa di 2km a cui sono associati (0 - Tratto costa), c) il valore di massima ampiezza d'onda associata al nodo batimetrico ad essi più vicino ottenuto per ognuno dei 10 scenari di maremoto simulati (Frana37, 38, 39, 75, 148, 150, 151, 152, 185, Gioia77 in tabella 3) e d) il valore massimo tra tutti quelli simulati (Max).

- Le Tabelle attributi avranno la seguente struttura (NB: tutti i valori sono inseriti a titolo di esempio):

#### 1) Shapefile Nicchie di distacco

Name
1
2
3

Queste sono le nicchie di distacco mappate per la definizione dell'elemento Frants e la cui massima altezza d'onda sopra il baricentro è inferiore al valore di 0.5 m.

#### 2) Shapefile Nicchie tsunamigeniche

Name
37
75
146

Queste sono le nicchie di distacco mappate per la definizione dell'elemento Frants, la cui massima altezza d'onda sopra il baricentro è superiore al valore di 0.5 m e sulle quali quindi è stata effettuata la simulazione della propagazione dell'onda di maremoto generata.

#### 3) Shapefile Elementi morfobatimetrici

GM_LAYER	ID	0_TRATTO_N	2_EROSCO_N	8- SEDIMP_N
04 scarpata erosiva	22	1	1	1
13 scarpata canyon canale	33	2	3	3
04 scarpata erosiva	444	3	4	2

L'identificativo dell'elemento (ID) è uguale a quello utilizzato per la classificazione di livello preliminare delle coste ricadente nei fogli MaGIC. 0\_TRATTO\_N; 2\_EROSCO\_N; 8- SEDIMP\_N sono invece riferiti rispettivamente al nuovo tratto di costa a cui è associato l'elemento morfobatimetrico ed alla sua classificazione rispetto ai "georischì" ErosCo e SedimentP.

#### 4) Shapefile punti

GM_LAYER	ID	2-EROSCO_N	0_TRATTO_N
106 blocco	37	2	3
106 blocco	246	3	5

L'identificativo del punto (ID) è uguale a quello utilizzato per la classificazione di livello preliminare delle coste ricadente nei fogli MaGIC. 0\_TRATTO\_N; 2\_EROSCO\_N; sono invece riferiti rispettivamente al nuovo tratto di costa a cui è associato l'elemento morfo-batimetrico e alla sua classificazione rispetto al "georischio" ErosCo e SedimentP.



5) Shapefile Tratti di Costa 2 km

0 - Tratto	1- FranTs	2- ErosCo	3- RipidC	4- RipidP	8- SedimP
1	1	2	2	1	3
2	3	2	3	2	1

6) Shapefile Tratti di Costa dettaglio

0 - Tratto	ID	Fraa37	Fraa38	Fraa39	Fraa75	Fraa148	Fraa150	Fraa151	Fraa152	Fraa185	FraaGioia77	Max
1	1	2	2	2	1	3	2	2	1	1	3	3
1	2	1	2	3	2	1	1	3	2	1	2	3