

UNA METODOLOGIA GIS PER STUDIARE L'IMPATTO DI UN POSSIBILE TSUNAMI LUNGO LA COSTA TIRRENICA DELLA CALABRIA

Mari Nicola^{1 2} e *Gravina Teresita*³

¹ Michigan Technological University

² Università degli Studi di Milano-Bicocca

³ Università degli Studi Guglielmo Marconi

1 – Introduzione

1.1 - Scopo dello studio

Le eruzioni vulcaniche sottomarine, pur avvenendo a chilometri di distanza da aree abitate, possono determinare perdite umane e danni poiché, a parte il rischio vulcanico primario, possono generare rischi vulcanici secondari tra i quali le onde di tsunami (Smith, 2013). Attualmente le zone costiere italiane non hanno opportuni sistemi di allarme riguardo questo rischio naturale (Federici, 2006). A circa 70 km di distanza dalla costa tirrenica calabra si trova il più grande vulcano sottomarino europeo: il Marsili, recentemente l'area è stata studiata da Iezzi et al. (2014) che hanno evidenziato una diminuzione del campo magnetico e la presenza di zone di instabilità lungo i fianchi dell'apparato, il cui collasso potrebbe innescare una o più onde di tsunami dirette verso la costa tirrenica che va dalla Campania alla Sicilia. I residenti lungo la costa dovrebbero quindi fronteggiare un'emergenza tsunami in tempi coerenti con la velocità di propagazione delle onde attraverso il Tirreno. Al fine di ridurre il rischio per la popolazione esposta e predisporre piani di prevenzione è necessario analizzare i tempi di arrivo delle onde di tsunami (*tsunami travel time*) lungo la costa tirrenica e creare un apposito sistema di allerta della popolazione (Smith, 2013). Il rischio per la popolazione esposta non dipende solo dalla pericolosità del fenomeno naturale ma è il risultato di complesse interazioni tra l'atteggiamento della comunità e le esperienze della stessa riguardo il rischio in questione (Smith, 2013). Infatti l'implementazione di un *Early Warning System* richiede una solida conoscenza del fenomeno naturale e delle dinamiche sociali interne alla comunità a rischio (Barberi et al., 2008).

Il presente lavoro descrive la creazione di una carta preliminare dello *tsunami travel time* costruita grazie a dati preesistenti di *Digital Elevation Model* (DEM) batimetrici con una metodologia GIS. Parallelamente all'analisi del rischio tsunami è stata svolta un'analisi qualitativa della percezione del rischio tsunami della popolazione della costa tirrenica della Calabria. I dati derivanti dal questionario e dall'analisi dello *tsunami travel time* sono stati confrontati per verificare la correlazione tra percezione del rischio della popolazione calabra ed il rischio a cui è esposta.

1.2 - Vulcano sottomarino Marsili

L'Arco Eoliano (Quaternario) è formato da sette isole vulcaniche maggiori, due delle quali (Stromboli e Vulcano) attive negli ultimi 100 anni, e numerosi vulcani sottomarini che delineano un arco magmatico con direzione nord-ovest (Trua et al., 2002). Dal punto di vista geodinamico si tratta di un sistema arco-fossa sviluppato a causa della subduzione della Placca Africana sotto la Placca Euroasiatica, con annessa risalita magmatica (Barberi et al., 1973; Beccaluva et al., 1994).

Tra gli apparati sottomarini il vulcano Marsili (fig. 1), è stato classificato, grazie a dati batimetrici rilevati con tecnologia *multibeam* (Marani e Trua, 2002), come il più grande vulcano sottomarino europeo. L'intera struttura si eleva fino a più di 3.000 m dal fondale del Tirreno, situato a 3.500 m. Il chimismo del Marsili è stato studiato da Savelli e Gasparotto (1994) che hanno evidenziato la presenza di magmi calcicalini, che variano da basalti poveri in K fino ad andesiti ricchi in K (Trua et al., 2002), inoltre, studi recenti basati su dati magnetici e gravimetrici suggeriscono la presenza di un grande corpo magmatico situato sotto il vulcano (Caratori Tontini et al., 2010).

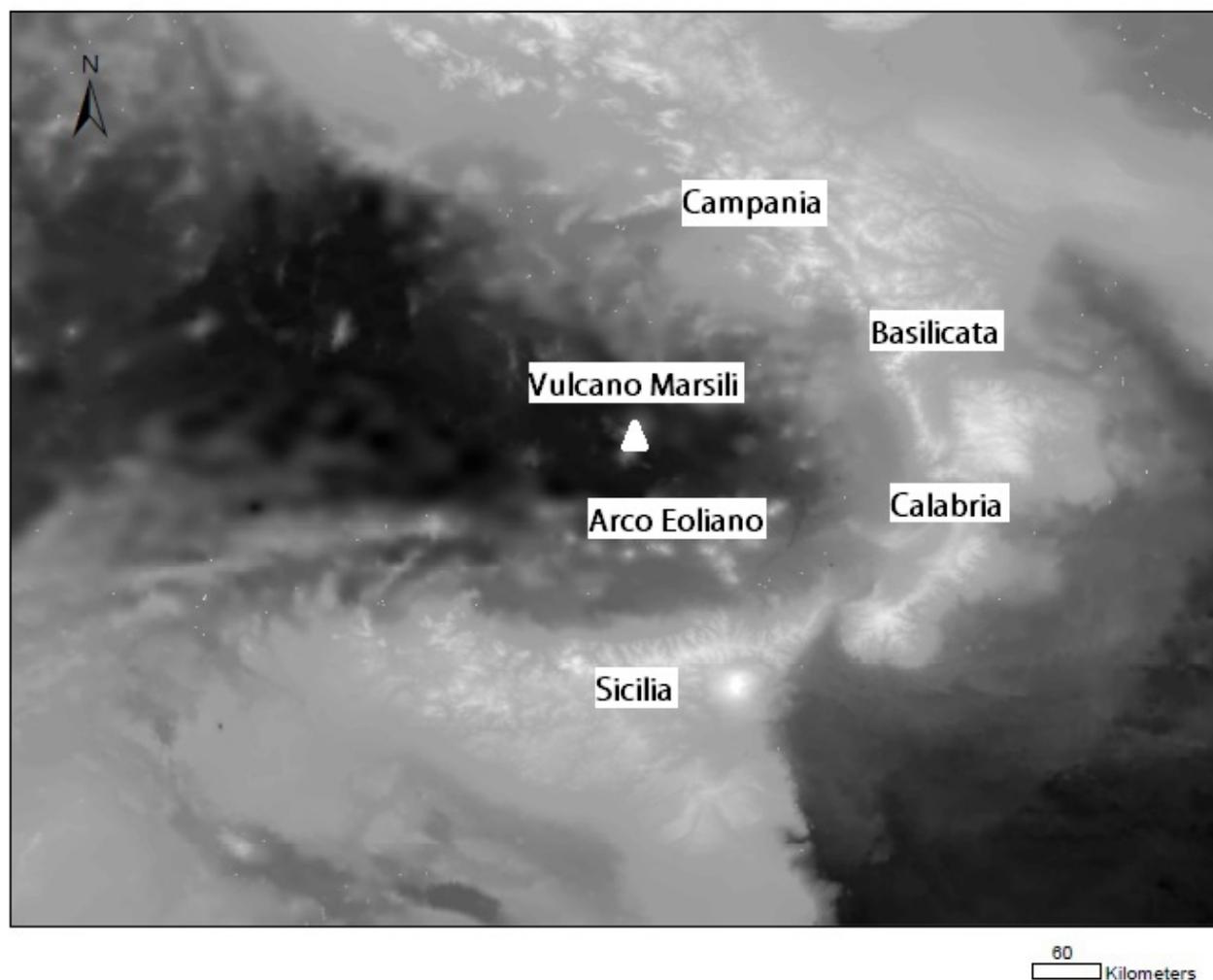


Fig. 1 – DEM del mar Tirreno utilizzato in questo studio, il vulcano Marsili (triangolo bianco) è localizzato nella porzione assiale del Bacino del Marsili, un bacino di retroarco relativamente piccolo e profondo 3.600 m

Iezzi *et al.* (2014) hanno analizzato una carota prelevata nel settore centrale del Marsili evidenziando la presenza di depositi da caduta di *tephra* (molto porosi e poco consolidati) insieme a colate laviche, entrambi con segni di alterazione idrotermale, fattori che aumentano l'instabilità dei fianchi dell'edificio vulcanico (Finn *et al.*, 2001; Reid, 2004). I depositi del Marsili sono stati datati al ^{14}C , assegnando un'età di 3.0 ka per i depositi di *tephra* superiore e 5.0 ka per quelli inferiori, suggerendo uno stile eruttivo di tipo esplosivo, con tempi di ritorno di 2.0 ka (Iezzi *et al.*, 2014).

La struttura e morfologia del Marsili, la presenza di depositi poco consolidati sulle sue pendici, la presenza di attività sismica (D'Alessandro *et al.*, 2012) ed eruttiva sono tutti fattori tsunamogenici, infatti uno studio di Caratori Tontini *et al.* (2010), a partire dall'analisi di dati *multibeam*, ha rilevato degli antichi collapsi laterali lungo le pendici del vulcano, che in caso di nuovi eventi, metterebbero in moto circa 100 km³ di materiale roccioso alterato. Queste evidenze geologiche e vulcanologiche rendono necessari studi sul vulcano Marsili al fine di prevenire situazioni di rischio per le popolazioni della costa tirrenica. Per questo motivo abbiamo deciso di analizzare i tempi di arrivo di una probabile onda di tsunami sulla costa tirrenica della Calabria a seguito del collasso di un fianco del vulcano Marsili.

2 – Metodologia

2.1 - Map algebra

I dati batimetrici utilizzati in questo studio, derivano da una combinazione di *depth soundings* da nave e misure gravimetriche da satellite, disponibili presso il British Oceanographic Data Centre (http://www.bodc.ac.uk/data/online_delivery/gebco/). I dati presi da GEBCO sono stati convertiti dal formato binario NETCDF ad ASCII usando lo strumento Raster di GIS. Il DEM è stato ricostruito

in WGS 84, mentre il file Raster è stato riprogettato usando un sistema di proiezione “Gnomonic” centrato al vulcano Marsili, con un interpolazione bilineare e una risoluzione di *output* correlata alla dimensione delle celle del file Raster. Una volta riproiettati i dati batimetrici in un sistema di coordinate più utile sono state rimosse le terre emerse con il comando nel *Raster calculator*:

$$\text{Con}(\text{"gnombath"} > 0, 0, \text{"gnombath"})$$

dove “gnombath” è il raster della batimetria, riproiettato usando una proiezione “Gnomonica”. Successivamente è stata convertita la profondità per la velocità delle onde, e quindi per il *travel time* con l'equazione:

$$\text{SquareRoot}(\text{Abs}(\text{"remove_land_topography"} * 9.8))$$

dove 9.8 è l'accelerazione di gravità, mentre per la conversione del *travel time* è stato utilizzato il seguente comando:

$$(\text{DistanceWithinTheCells} / \text{"conversion_wave_speed"})$$

dove "DistanceWithinTheCells" è la dimensione delle celle dell'immagine. Infine, è stata eseguita una “Cost-Distance Analysis” per calcolare la distribuzione del *travel time* da una locazione sorgente, in questo caso la sorgente (punto iniziale) è rappresentata da uno *shapefile* in proiezione Gnomonica, raffigurante la posizione del vulcano Marsili. Per la “Cost-Distance Analysis” e il *travel time* cumulativo è stato utilizzato lo strumento *Cost distance*, inserendo come *input* il punto iniziale lo *shapefile* localizzato al vulcano Marsili e il *travel time* calcolato come *input cost*. Infine, è stato utilizzato il comando:

$$(\text{"Cost_Distance_Analysis"} / (\text{DistanceWithinTheCells} * 600))$$

per trovare il *travel time* in termini di 10 minuti (600 secondi).

2.2 - Caratteristiche del questionario

La percezione del rischio tsunami è stata analizzata con un'indagine qualitativa realizzata grazie ad un questionario appositamente realizzato con Google Docs[®] disponibile all'indirizzo <https://docs.google.com/forms/d/1jNBeisBHeapGtj-55gJR7OjGsKd7tzNibvseZxfixsA/viewform> distribuito attraverso i social network, email, messaggistica istantanea ed in formato cartaceo.

Area Tematica	scopo	Numero	Domanda	Tipo risposta		
				Aperta	Scelta multipla	Si/no
A	Dati anagrafici	1	Stato nascita	x		
		2	Sesso		x	
		3	Età		x	
		4	Titolo di studio	x		
		5	Comune di residenza	x		
B	conoscenze	1	Significato tsunami			x
		2	Definizione tsunami			x
		3	Origine tsunami			x
		4	Origine tsunami		x	
		5	Ultimo tsunami			x
		6	Ultimo tsunami	x		
		7	Tempi arrivo tsunami		x	
C	percezione	1	Esposizione tsunami		x	
		2	Genesi tsunami		x	
		3	Incolunità personale		x	x
		4	Preoccupazione tsunami			
D	informazione	1	Rischio tsunami			x
		2	Studi su tsunami			x
		3	Comportamento corretto			x
		4	Preparazione		x	
		5	Comportamento corretto	x		
		6	Attività prevenzione			x
		7	Partecipazione prevenzione			

Tab. 1 - Schema del questionario

L'inserimento dati è stato eseguito attraverso Google Docs[®], l'indagine è stata eseguita dal 7/6/2015 al

25/8/2015 e sono state intervistate 305 persone, è stata utilizzata una tecnica di campionamento non probabilistica (Sarantakos, 2012), in quanto gli intervistati presentano una caratteristica comune (Patton, 1990; McGuirk e O'Neill, 2005): vivere o frequentare la costa tirrenica della Calabria. Il questionario è indirizzato ad una popolazione eterogenea, per questo è stato utilizzato un linguaggio semplice per determinare conoscenze, percezioni ed opinioni. In Tab 1 sono riassunte il tipo di risposte e domande.

3 – Risultati

3.1 - Evidenze dai tempi di arrivo dello tsunami

In Fig. 2 è riportata la carta dello *tsunami travel time*, ottenuta con la metodologia descritta nel paragrafo 2.1, dalla sua analisi emergono particolari interessanti sull'impatto di un probabile tsunami sulla costa tirrenica Calabria.

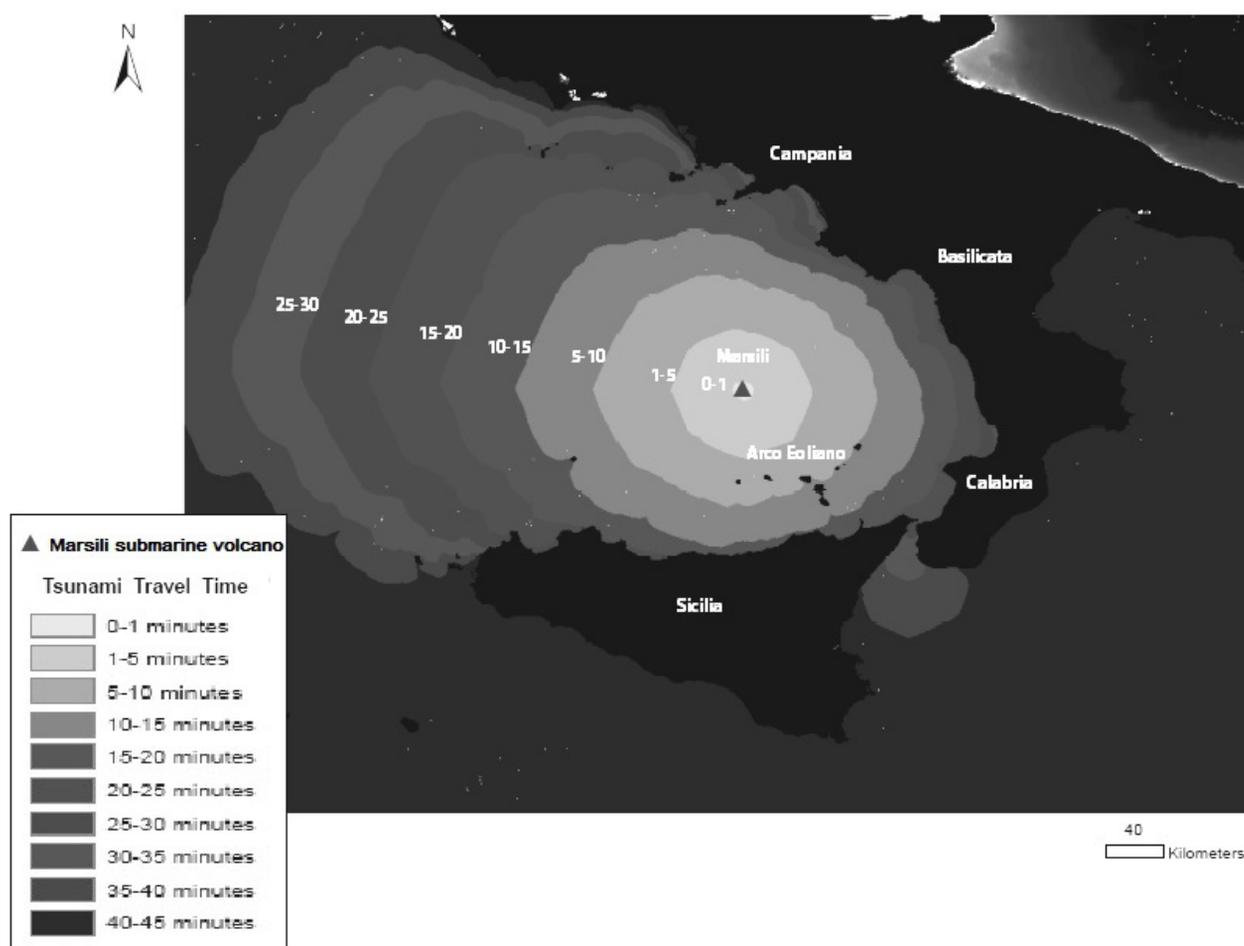


Fig. 2 - Carta dello tsunami travel time a seguito di un ipotetico evento tsunamogenico in corrispondenza del Marsili

In genere vicino alla costa si osserva un significativo decremento di velocità delle onde di tsunami (Igarashi *et al.*, 2011), ma nel basso Tirreno questo fenomeno non dovrebbe essere molto accentuato a causa della elevata profondità dei fondali lungo la costa, dovuta alla presenza dei Bacini di Paola e del Bacino di Gioia (Fabbri *et al.*, 1980). Una probabile onda di tsunami, quindi, colpirebbe le coste calabre con una velocità leggermente superiore ed altezze d'onda più basse rispetto a fondali meno profondi (D'Agostino *et al.*, 2004).

In base alla nostra analisi uno tsunami generato in corrispondenza del Marsili colpirebbe le coste tirreniche della Calabria in 20-25 minuti, che diventano 25-30 minuti per l'area del Golfo di Sant'Eufemia. Le coste siciliane dovrebbero essere raggiunte dal treno d'onda in circa 15-20 minuti, anche se l'azione dello tsunami potrebbe essere in parte smorzata dalle Isole Eolie che si comportano come una barriera. Le coste della Basilicata presentano *travel time* simili alle coste Calabre, mentre le coste Campane dovrebbe essere raggiunte dal treno d'onda con circa 10 minuti di ritardo.

La presente analisi può essere migliorata integrando l'attuale mappa con ulteriori dati sulla morfologia delle coste tirreniche, permettendo di studiare la propagazione del *run up* dell'onda di tsunami, e quindi comprendere la massima distanza di propagazione dell'onda e tutte le coste colpite (Keller e Keller, 1964).

3.2 - Considerazioni sulla percezione del rischio tsunami

Di seguito si riportano i principali risultati del questionario riportati in percentuale rispetto al numero totale degli intervistati.

Dall'analisi dei dati anagrafici (sezione A) il campione risulta formato dal 51% di uomini e 49% di donne con un'età prevalentemente distribuita tra i 18 e 35 anni, la maggior parte residenti nei comuni della costa tirrenica, prevalentemente, Nicotera Marina, Feroleto della Chiesa e Laureana di Borrello, questi ultimi due più verso l'entroterra.

Per quanto riguarda le conoscenze degli intervistati (Sezione B) il 92% degli intervistati dichiara di conoscere il significato di tsunami (B1), il 37% conosce la definizione del fenomeno (B2), il 75% i fenomeni che possono originarlo (B3) e solo il 26% ricorda l'ultimo tsunami avvenuto nell'area (B5). La domanda B4 chiede agli intervistati di indicare le possibili origini di un'onda di tsunami, la maggior parte del campione (65%) collega le onde di tsunami prevalentemente terremoti sottomarini, il 22% indica le eruzioni sottomarine e solo il 4% il collasso di apparati vulcanici (fig. 3)

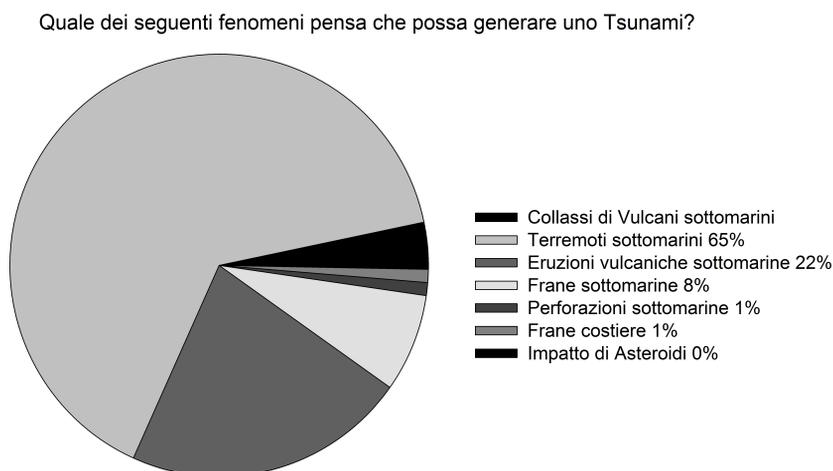


Fig. 3 – Risposte degli intervistati alla domanda B4

In fig. 4 sono riportate le risposte degli intervistati riguardo i tempi di arrivo delle onde di tsunami sulla costa tirrenica della Calabria (domanda B7), la popolazione intervistata appare consapevole dell'esposizione al rischio in quanto il 39% del campione ritiene che a seguito di un evento generatore le onde di tsunami raggiungeranno la costa dopo 10 minuti.

Secondo le sue attuali conoscenze dopo quanto tempo da un evento generatore di Tsunami l'onda anomala colpirebbe la costa Calabria?

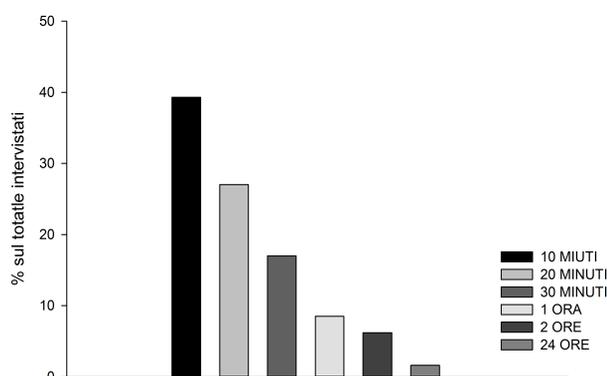


Fig. 4 – Risposte degli intervistati alla domanda B7

La sezione C del questionario indaga riguardo la percezione del rischio del campione intervistato, in fig. 5 sono riportate le risposte riguardo l'esposizione al rischio tsunami (C1), la popolazione appare consapevole dell'esposizione al rischio, infatti il 37% del campione si dichiara abbastanza preoccupato, gli intervistati collegano il rischio prevalentemente a eruzioni vulcaniche sottomarine (tab. 2)

Quanto ritiene di essere sposto al rischio Tsunami nel territorio in cui vive?

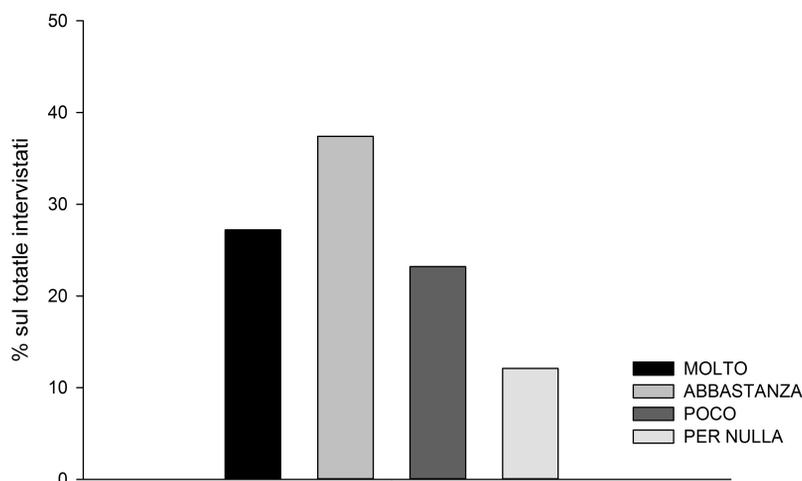


Fig. 5 – risposte alla domanda C1

<i>Secondo Lei quale tra questi eventi può generare uno Tsunami nell'area dove vive?</i>			
	%		%
Collasso di vulcani sottomarini	4,3	Perforazioni sottomarine	0,7
Terremoti sottomarini	38	Frane costiere	3,9
Eruzioni vulcaniche sottomarine	47,5	Impatto di asteroidi	1,3
Frane costiere	3,9		

Tab. 2 - Risposte degli intervistati alla domanda C2

Nonostante il campione degli intervistati percepisce l'esposizione al rischio tsunami, alla domanda C3 "Lei ritiene che uno tsunami possa rappresentare una minaccia reale alla sua incolumità personale?" la maggior parte del campione (51%) non crede di poter essere vittima di questo fenomeno.

La sezione D del questionario indaga riguardo l'informazione agli intervistati riguardo l'esposizione al rischio tsunami, il 69% degli intervistati dichiara di non essere informato riguardo questo rischio (D1), non conoscere studi scientifici sull'argomento (D2 85%) i comportamenti da tenere in caso di tsunami (D3 67%) ed attività di prevenzione organizzate da enti territoriali (D5 93%). La domanda D4 chiede di indicare un comportamento corretto da tenere in caso di allerta per tsunami, e nonostante le risposte alla domanda D3 la maggior parte degli intervistati ritiene corretto allontanarsi dalla costa e raggiungere zone a quote elevate.

3.3 - Confronto tra risultati questionario e mappa del rischio

I risultati dei questionari relativi alla percezione del rischio (domanda B7, fig. 4) sono stati confrontati con i tempi di arrivo delle ipotetiche onde di tsunami (fig. 2), la nostra analisi si concentra sulle province di Reggio Calabria e Vibo Valentia, dove sono residenti la maggior parte degli intervistati. In questa zona a seguito di un evento tsunamogenico il treno d'onde dovrebbe impattare la costa dopo circa 20-25 minuti, i risultati del questionario mostrano che la popolazione è consapevole dei tempi ridotti tra l'origine e l'arrivo di uno tsunami. In realtà, gli intervistati ipotizzano uno scenario peggiore rispetto a quello elaborato, infatti la maggior parte del campione (39%) prevedeva l'arrivo di uno tsunami sulla costa dopo 10 minuti dalla sua origine, questo evidenzia una sensibilità della popolazione della costa tirrenica riguardo l'argomento, che purtroppo non trova lo stesso riscontro riguardo la preoccupazione in caso di un evento di tsunami (fig. 5).

I prossimi sviluppi della presente analisi vedono l'utilizzo delle metodologie GIS per riportare su mappa

le risposte degli intervistati, per comprendere se le opinioni della popolazione sono confrontabili con le previsioni dei tempi di arrivo di un probabile tsunami generato in corrispondenza del Marsili.

4 – Risultati

I tempi di arrivo dell'onda iniziale di tsunami possono essere molto utili per l'implementazione di un sistema di allerta adeguato. I risultati del presente studio prevedono un intervallo di tempo di 20-25 minuti tra un evento tsunamogenico, in corrispondenza del vulcano Marsili, e l'impatto dell'onda di tsunami sulla gran parte delle coste Calabre. L'attuale elaborazione dei tempi di arrivo delle onde di tsunami può essere migliorata inserendo ulteriori dati batimetrici nel DEM, sia per quanto riguarda i tempi di arrivo delle onde di tsunami che le singole situazioni dovute alla morfologia dei fondali lungo la costa Calabria. Il confronto con i risultati dell'indagine qualitativa ha evidenziato che il campione intervistato non è particolarmente preoccupato riguardo l'impatto di uno tsunami lungo la costa Calabria, i rispondenti sono informati riguardo le tempistiche rapide dell'evento ed i comportamenti da tenere, anche se si dichiarano non informati e non preparati in caso di tsunami. Anche la presente analisi può essere perfezionata con l'integrazione dei risultati dell'indagine qualitativa nel GIS, al fine di sovrapporre i dati relativi ai tempi di arrivo delle onde di tsunami ed i tempi attesi dalla popolazione, questo strumento può essere utilizzato sia per redigere dei piani di evacuazione adeguati per le singole località della costa che per svolgere attività formative per i residenti nell'area.

Riferimenti bibliografici

- Barberi F., Gasparini P., Innocenti F. e Villari L., 1973, *Volcanism of the southern Tyrrhenian Sea and its geodynamic implications*, Journal of Geophysical Research, 78, pp. 5221-5232.
- Barberi F., Davis M.S., Isaia R., Nave R. e Ricci T., 2008, *Volcanic risk perception in the Vesuvius population*, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 172, pp. 244-258.
- Beccaluva L., Coltorti M., Galassi B., Macciotta G. e Siena F., 1994, *The Cainozoic calcalkaline magmatism of the western mediterranean and its geodynamic significance*, Bollettino di geofisica teorica ed applicata, 36, pp. 293-308.
- Caratori Tontini, F., Cocchi, L., Muccini, F., Carmisciano, C., Marani, M., Bonatti, E., Ligi, M. e Boschi, E., 2010, *Potential-field modeling of collapse-prone submarine volcanoes in the Southern Tyrrhenian Sea (Italy)*, Geophysical Research Letters, 37, L03305.
- D'Agostino G., Ortolani F. e Pagliuca S., 2004, *Tsunami made in Italy*, Geologi - Bollettino trimestrale dei Geologi della Campania, 3-4, pp. 20-37.
- Fabbi A., Ghisetti F. e Vezzani L., 1980, *The Peloritani-Calabria range and the Gioia basin in the Calabrian arc (Southern Italy): relationships between land and marine data*. Geologica Romana, 19, pp. 131-150.
- Federici B., 2006, *Analisi del rischio tsunami applicata ad un tratto della costa ligure*, MondoGIS, 57, pp. 53-57.
- Finn C.A., Sisson T.W. e Deszcz-Pan M., 2001, *Aerogeophysical measurements of collapse-prone hydrothermally altered zones at Mount Rainier volcano*, Nature, 409, pp. 600-606.
- Iezzi G., Caso Ventura G., Vallefucio M., Cavallo A., Behrens H., Mollo S., Paltrinieri D., Signanini P. e Vetere F., 2014, *First documented deep submarine explosive eruptions at the Marsili Seamount (Tyrrhenian Sea, Italy): A case of historical volcanism in the Mediterranean Sea*. Gondwana Research, 25, pp. 764-774.
- Igarashi Y., Kong L., Yamamoto M. e McCreery C.S., 2011, *Anatomy of historical tsunamis: lessons learned for tsunami warning*, Pure Appl. Geophys., 168, pp. 2043-2063.
- Keller J.B. e Keller H.B., 1964, *Water wave run-up on a beach*, Service bureau corporation, New York, Research report, Contract NONR-3828(00).
- Smith K., 2013, *Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster*, sixth edition (Routledge), ISBN 0415681065.
- Marani M. e Trua T., 2002, *Thermal constriction and slab tearing at the origin of a super-inflated spreading ridge: the Marsili volcano (Tyrrhenian Sea)*. J. Geophys. Res., 107, B22188.
- McGuirk P. M. e O'Neill P., 2005, *Using questionnaires in qualitative human geography*, Qualitative Research

Method in Human Geography, pp. 147-162.

Newhall C. G., 2000, *Volcano Warnings*, In: Encyclopaedia of Volcanoes (Chief Editor H. Sigurdsson), Academic Press, San Diego, pp. 1185-1197.

Patton M. Q., 1990, *Qualitative Evaluation and research model*, 2nd edition Sage Publication Newbury Park.

Reid M., 2004, *Massive collapse of volcano edifices triggered by hydrothermal pressurization*, *Geology*, 32, pp. 373-376.

Sarantakos S., 2012, *Social research*, Palgrave Macmillan, London.

Trua T., Serri G., Marani M., Renzulli A. e Gamberi F., 2002, *Volcanological and petrological evolution of Marsili seamount (southern Tyrrhenian Sea)*. *J. Volc. Geoth. Res.*, 114, pp. 441-464.