

Rilievo con laser scanner e ricostruzione 3D di blocchi accumulati da eventi estremi in Italia Meridionale

Antonella Marsico (*), Cosimo Pignatelli (*), Arcangelo Piscitelli (*),
Giuseppe Mastronuzzi (**), Luigi Pennetta (*)

(*) Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università degli Studi di Bari, (Italy), via E. Orabana 4, 70125 Bari,
tel. 0805442562, e-mail: a.marsico@geo.uniba.it

(**) LaGAT-Ta, Laboratorio Gis geo-ambientale e di Telerilevamento, II Facoltà di Scienze MM. FF. NN.
dell'Università degli Studi di Bari, sede di Taranto

Riassunto

La crescente antropizzazione delle aree costiere le rende particolarmente vulnerabili al manifestarsi di eventi ad alta energia e bassa frequenza, quali i maremoti e le forti mareggiate.

Alcuni tratti della costa ionica e di quella adriatica dell'Italia Meridionale, sedi di strutture produttive di interesse strategico per la nazione, ma anche di notevole interesse turistico e ambientale, sono caratterizzati dalla presenza di blocchi rocciosi di grandi dimensioni messi in posto da eventi eccezionali.

Valutati dimensione e peso di tali blocchi, s'è avviato lo studio dei fenomeni, dei processi e delle forze che li hanno dislocati anche a notevoli distanze dalle zone d'origine.

A tal proposito un certo numero di blocchi è stato rilevato utilizzando la tecnologia laser che ne consente una ricostruzione tridimensionale di dettaglio. I rilievi sono stati condotti in Puglia nelle località di Torre Santa Sabina (Brindisi), lungo la costa Adriatica, e Torre Squillace (Lecce), sul lato ionico, e in Sicilia nella zona di San Lorenzo (Siracusa). Il rilievo laser di ciascun blocco, ripreso da diverse angolature, ha consentito di ottenere una riproduzione fedele della realtà e di ridurre al minimo le zone d'ombra. L'elaborazione dei dati di campagna, infine, ha permesso, attraverso l'interpretazione dei punti, la loro interpolazione e la chiusura di *gaps* nella nuvola tridimensionale, di definire le caratteristiche geometriche di ogni singolo blocco.

Grazie alla conoscenza di altri parametri meccanici e ambientali, quali la densità del materiale costituente il blocco, la pendenza e la rugosità del substrato, è possibile stimare le caratteristiche dell'onda che ha preso in carico il blocco e circoscrivere, con maggiore accuratezza, i dettagli relativi all'evento scatenante.

Abstract

The increasing development of coastal areas makes them particularly prone to low frequency - high magnitude events, such as tsunamis and strong wave storms. Some areas of Ionic and Adriatic Southern Italy coasts are marked by the presence of large boulder accumulations placed from huge impact events. In order to detect the events causing their transport of these boulders, the weight and the dimensions suggest the detachment and displacement mechanism from the submerged zone. Then some boulders have been surveyed using terrestrial laser scanner technique in order to build a 3D model. In particular, the survey was carried out in the Apulian region on the Adriatic coast at Torre Santa Sabina (near Brindisi) and Torre Squillace (near Lecce), on the Ionian one, and at San Lorenzo, on the Ionian coast of Sicily.

Each boulder was investigated using detailed scan from different position in order to obtain a complete coverage of surveyed area. In the data processing, the point clouds of each scan were linked together through tie points in order to obtain a virtual reconstruction of boulders. Then, to rebuild the surface morphology the point clouds were elaborated and interpolated to close gaps and

create the 3D model. The software allows to define the geometric characteristics of the block and to calculate surface and volume of 3D model. These features and the knowledge of others mechanic and environmental features, such as the rock density, the bedrock slope and roughness, allow to evaluate the wave characteristics able to transport boulders inland and delineate the impact event.

Introduzione

Le recenti drammatiche esperienze dello tsunami che ha colpito le coste dell'Oceano Indiano nel 2004 (2004 IOT = Indian Ocean Tsunami) e dell'hurricane che ha devastato le coste della Louisiana (USA) nel 2007 insegnano che il più importante effetto dell'impatto di onde estreme lungo le coste e del risultante innalzamento del livello marino è la capacità di produrre veloci ed estese inondazioni. Onde catastrofiche possono raggiungere gli insediamenti costieri in tempi molto brevi rispetto all'evento che le ha generate, eludendo qualsiasi sistema di allarme costiero. Questa è una realtà particolarmente sentita in quei bacini marini, quali il Mar Mediterraneo, nei quali la distanza fra le aree tsunamogeniche o la breve distanza fra coste opposte fa sì che qualsiasi onda che si propaghi ad alta velocità raggiunga la costa in tempi brevi e con caratteri spesso amplificati dalla particolare conformazione del bacino. L'esempio dello tsunami che colpì le coste calabre e siciliane dopo il forte evento sismico dell'8 dicembre del 1908 è il più recente e catastrofico ma non l'unico noto per il Mediterraneo (Tinti et al., 2004; Mastronuzzi et al., 2006; 2008). Mettere a punto un metodo che permetta di valutare il limite più interno dell'inondazione è importante sia nel campo della pianificazione delle attività concentrate nella fascia costiera, sia in quelli dell'organizzazione degli allarmi, dell'individuazione delle aree di evacuazione e della gestione del primo intervento. Lo tsunami dell'Oceano Indiano avvenuto il 26 dicembre 2004 ha drammaticamente messo in evidenza l'importanza di programmi di prevenzione che dipendono dallo studio degli scenari di inondazione basati su modelli numerici della propagazione di onda. Nelle regioni dove questi eventi eccezionali sono storicamente conosciuti ma non sono frequenti, come in Italia meridionale gli studi sulle caratteristiche geomorfologiche delle aree costiere, unitamente alle ricerche sui depositi di tsunami, possono rappresentare l'unico mezzo disponibile per determinare la grandezza e la frequenza degli eventi, la loro sorgente e per identificare le aree colpite.

Lungo le coste rocciose dell'Italia meridionale sono stati localizzati blocchi litici di diverse dimensioni e a diverse quote sul livello del mare, in particolare lungo la costa pugliese dell'Adriatico ed dello Ionio (Mastronuzzi, Sansò, 2000; 2004; Mastronuzzi et al., 2007) e lungo il litorale ionico della Sicilia del sud-orientale (Schicchitano et al., 2007). Lo studio delle possibili relazioni fra le forme costiere e i dati meteomarinari del bacino del Mediterraneo centrale ha permesso di individuare un limite in peso che esprime la capacità di mobilitare, in ambiente costiero, blocchi di grandi dimensioni da parte delle ondate estreme dovute a mareggiate eccezionali o a maremoti. La recente formulazione di modelli idrodinamici (Nott 1997, 2003; Noormets et al., 2004; Pignatelli et al., 2009) permettono di distinguere la diversa modalità di dislocazione dei blocchi sulla base di equazioni che ne considerano le dimensioni degli assi, la densità della roccia e la forma. Per ottimizzare la valutazione di tali parametri e ottenere misure più precise che rendano più affidabili i modelli, si è messo a punto un metodo di ricostruzione 3D di alcuni blocchi campione di seguito descritta e discussa.

Inquadramento geologico delle aree rilevate

Oggetto del rilievo effettuato con il laser scanner sono stati i blocchi presenti lungo la costa di tre aree dell'Italia meridionale. Fra le decine di blocchi presenti, sono stati rilevati tre blocchi più significativi in Puglia sia sulla costa adriatica, a Torre Santa Sabina (BR), che su quella ionica, a Torre Squillace (LE), e sul tratto ionico della Sicilia, nella località San Lorenzo (SR) (fig. 1).



Figura 1 - ubicazione e caratteristiche morfologiche delle aree rilevate; a) spiagge, b) costa rocciosa con debole pendio, c) falesie

Lungo il tratto costiero della località di Torre Santa Sabina, 30 km a nord di Brindisi, è stato riconosciuto un accumulo di circa 80 blocchi già segnalati da Mastronuzzi, Sansò, (2004). La costa è generalmente composta da una piattaforma rocciosa, in parte corrispondente all'ultima superficie di trasgressione interglaciale. È leggermente inclinata verso il mare con quote comprese fra 2 e 0,5 metri s.l.m. ed è costituita da calcarenite Plio-Pleistocenica interessata da un sistema di fratture sub-parallele riempite da concrezioni calcitiche. La presenza di fratture verticali e la stratificazione sub-orizzontale delle rocce calcarenitiche determina le dimensioni dei blocchi. Fra questi è stato rilevato un blocco di forma regolare e con poche vaschette di corrosione sulla superficie (fig. 2).

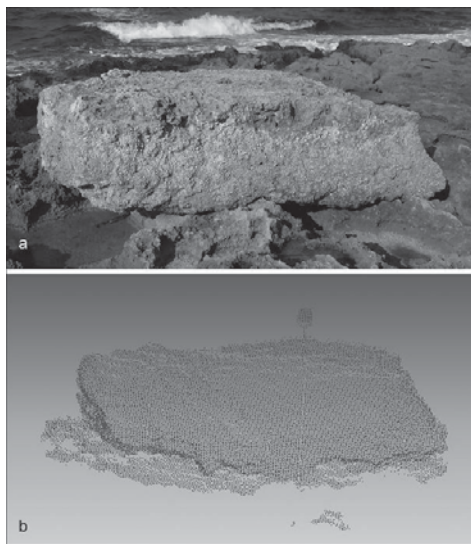


Figura 2: a) immagine del blocco rilevato in località Torre Santa Sabina, b) nuvola di punti rilevata con il laser scanner: si può notare il target sulla sommità del blocco

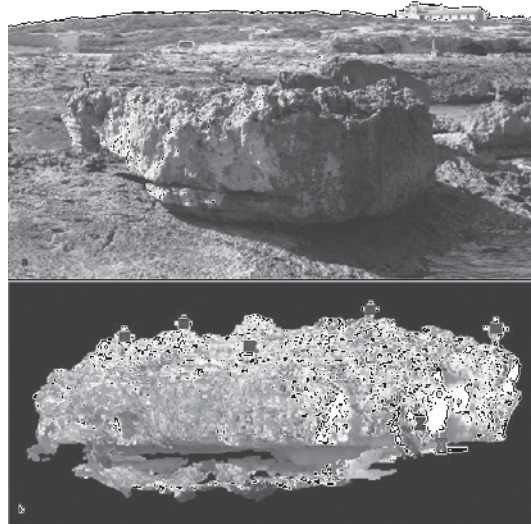


Figura 3 - a) blocco rilevato in località San Lorenzo, b) nuvola di punti rilevata con il laser scanner; in entrambe le immagini sono ben evidenti i targets

Località San Lorenzo si trova nella parte più meridionale della Sicilia lungo la costa ionica caratterizzata da un paesaggio sub-pianeggiante con pocket beach che marcano coste rocciose

digradanti piane. L'area di indagine, in particolare, è caratterizzata dall'affioramento di depositi tardo Pleistocenici, costituiti da calcareniti e calciruditi bianco-giallastre, variamente brecciate, con laminazioni incrociate e parallele, intercalati da conglomerati di facies litorale e lagunare (Amore et al., 1994; Lentini et al., 1986). Il substrato calcarenitico presenta delle fratture molto lunghe parallele alla linea di costa o orientate verso NE. Nell'area è presente un campo di blocchi che testimonia l'impatto di onde enormi. Oggetto del rilievo è un blocco molto irregolare (fig. 3) posizionato nella *spray zone* e probabilmente rimosso dalla vicina zona sommersa dove la nicchia di distacco è ancora visibile.

A Torre Squillace, località ionica a circa 40 km ad ovest di Lecce, i blocchi giacciono direttamente sul promontorio roccioso costituito da calcareniti algali riferibili al Tirreniano che poggiano su sabbie argillose Pleistoceniche (Mastronuzzi, Sansò 2000). Su tale superficie brulla, con quota di circa 2 metri s.l.m. e bordata verso il mare da una rampa con pendenza di circa il 15%, si ritrovano campi di blocchi isolati e/o embricati (fig. 4a). Il rilievo è stato effettuato su un insieme di quattro blocchi (fig. 4b, 4c) che, in base alla loro forma e posizione reciproca, sembrano appartenere ad un'unica unità spezzata e dislocata in seguito all'urto con il substrato roccioso.

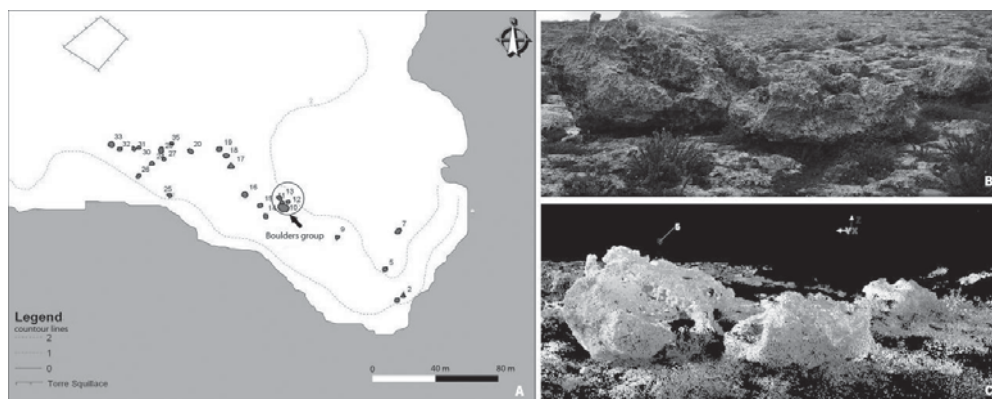


Figura 4 - a) distribuzione dei blocchi in località Torre Squillace, b) foto dell'insieme di blocchi, c) nuvola di punti rilevata con il laser scanner

Fasi del rilievo e dell'elaborazione

Per poter individuare il meccanismo più probabile di trasporto di questi blocchi, di ciascuno di essi è stato costruito il modello 3D utilizzando la tecnologia laser scanner terrestre. Il rilievo dei blocchi è stato effettuato con la strumentazione Scanstation 2 della Leica Geosystems (fig. 5A) ad alta velocità e alta precisione con un campo di visualizzazione di 360°x270° (fig. 5B); esso può acquisire 50000 punti al secondo ad una distanza massima di 300 m, in base alla riflettività dell'oggetto scansionato. La scansione laser è una tecnologia che permette di digitalizzare gli oggetti e gli elementi del paesaggio basandosi sulla misura delle distanze attraverso le onde elettromagnetiche (LIDAR – *light detection and ranging*): l'impulso laser diretto verso un oggetto è riflesso e il tempo di ritorno viene registrato dallo strumento. Tale tecnica assicura un'accuratezza molto elevata tanto che la deviazione standard sulle misurazioni è dell'ordine di pochi millimetri.

Le applicazioni principali sono in campo ingegneristico (ricostruzione tridimensionale di ponti, strade, strutture industriali, ecc.), architettonico (Caldara et al. 2008), archeologico (rilievo di siti e reperti) e, recentemente, nelle scienze della terra (rilievo di cave, dilavamento dei versanti, movimenti di magma; Hunter et al., 2003; Oparin et al., 2007). In particolare, nella gestione delle aree costiere il rilievo laser è utilizzato per la raccolta di dati batimetrici, per monitorare la dinamica della morfologia costiera anche in presenza di difese costiere (Caldara et al., 2006; Infante et al., in

stampa), per stimare l'accumulo di sedimenti, monitorare i canali (White, Wang, 2003) e l'evoluzione delle dune (Woolard, Colby, 2002).

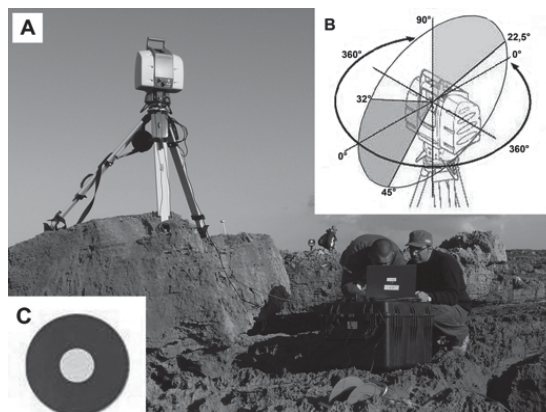


Figura 5 - A. Laser Scanner terrestre Leica Scanstation 2 usato per il rilievo in campo; B. il campo di visualizzazione di Scanstation 2; C. Target circolare usato durante il rilievo.

Durante il rilievo sul campo sono state effettuate scansioni da diverse posizioni intorno all'oggetto da rilevare, per ottenere una nuvola di punti con il minor numero possibile di zone d'ombra. Infatti, l'inconveniente più evidente nell'uso della scansione laser di forme irregolari, come i blocchi, è la creazione di zone d'ombra dovute alle asperità della superficie che ostacolano il raggio laser. Durante l'elaborazione dei dati con il software Cyclone 6.x, le diverse nuvole di punti, acquisite dalle differenti posizioni, vengono unite tramite l'uso di punti fissi (*targets*), speciali palette riflettenti (fig. 2C) posizionate in modo da essere ben visibili in ogni scansione. In tal modo si ottiene la ricostruzione della nuvola di punti che rappresenta il blocco la quale, tuttavia, presenta ancora delle zone d'ombra da eliminare per ottenere il modello 3D definitivo.

Per ricostruire la morfologia continua della superficie, le successive elaborazioni sulla nuvola di punti sono state effettuate usando un software per la modellizzazione 3D Rapidform. Con l'interpolazione, la nuvola di punti viene convertita in un modello poligonale costituito da superfici chiuse che racchiudono un volume. Il modello presenta *gaps* dovuti sia alle zone d'ombra, originate durante le scansioni, che all'interpolazione della superficie. L'operazione di riempimento dei vuoti consiste nella ricostruzione della struttura poligonale della superficie in corrispondenza del buco e nella ridefinizione dei poligoni dell'area interessata dall'operazione per rendere continua la superficie. In questo modo è possibile realizzare il modello 3D completando la struttura poligonale anche nella parte inferiore, impossibile da rilevare direttamente, e calcolare l'area della superficie e il volume di ogni singolo blocco.

Risultati e Discussione

Il monitoraggio con il laser scanner consente di rilevare una gran quantità di punti in base all'accuratezza che si vuole ottenere nella misurazione. Un maggior numero di punti comporta un maggior dispendio di energia e tempo nell'attività di campagna e un'elaborazione, durante il post-processing, più complessa. L'aumento di precisione e quindi l'elaborazione di una nuvola di punti molto dettagliata implica la creazione di un file più grande in termini di byte con i problemi legati alla capacità di elaborazione del computer e al tempo necessario per effettuare tutte le operazioni su un singolo modello 3D. Data la tipologia dell'oggetto rilevato, il modello che si ottiene è molto irregolare. Durante l'elaborazione, le successive interpolazioni smussano la superficie: le aree che derivano dalla chiusura delle zone d'ombra risultano più omogenee rispetto alle porzioni rilevate direttamente. Ciò vale anche per il piano di appoggio del blocco sul substrato, impossibile da

rilevare, che viene ricostruito completamente durante la modellizzazione. Nonostante questi inconvenienti, il risultato che si ottiene in termini di resa grafica e fedeltà all'originale è molto soddisfacente nel caso di ogni blocco rilevato (figg. 6-8).

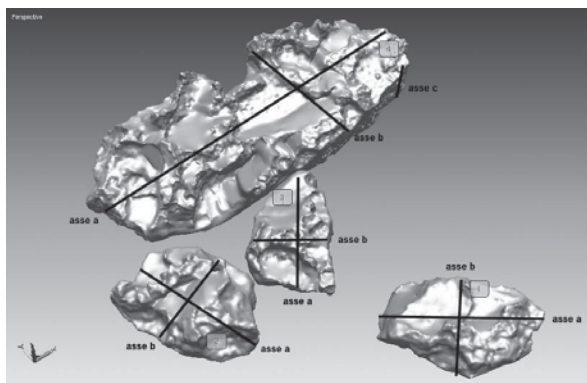


Figura 6 - modello 3D dei blocchi rilevati in località Torre Squillace riprodotti nelle loro rispettive posizioni con indicazione della direzione degli assi

La ricostruzione del modello 3D dei blocchi consente di stimare in modo più accurato le varie dimensioni, indispensabili per la corretta applicazione delle equazioni idrodinamiche. È possibile quindi misurare il volume, utilizzato per il calcolo del peso sulla base della densità del materiale, la superficie e le dimensioni degli assi, ottenute come media fra tutti i possibili assi di larghezza, lunghezza e altezza. Il calcolo della media degli assi si effettua considerando la distanza lineare fra coppie di punti presi sulla superficie del blocco i quali originano segmenti paralleli fra loro lungo la direzione di riferimento per ciascun asse. Tale operazione è stata effettuata sul modello 3D di ciascun blocco misurando almeno cinque segmenti lungo la direzione degli assi principali non sulla sommità del blocco, ma anche considerando punti sui lati opposti.

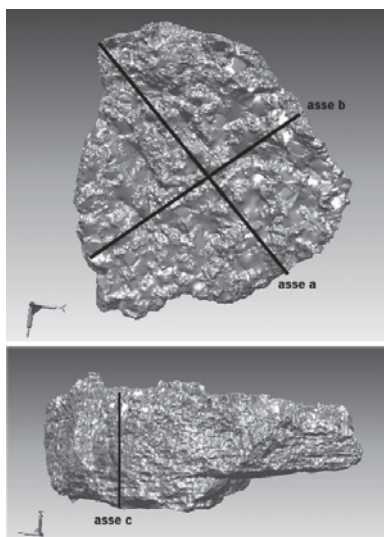


Figura 7 - modello 3D dei blocchi rilevati in località San Lorenzo con indicazione della direzione degli assi

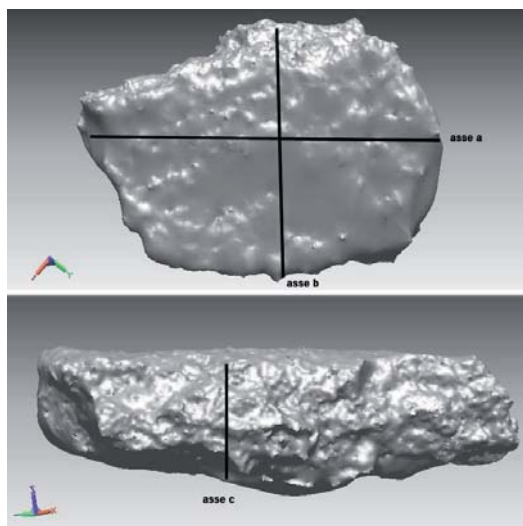


Figura 8 - modello 3D del blocco rilevato in località Torre Santa Sabina con indicazione della direzione degli assi

La ricostruzione del modello 3D consente inoltre di analizzare le forme presenti sulla superficie del blocco, come l'eventuale presenza di fratture e di forme microcarsiche. In particolare, sui blocchi rilevati a Torre Squillace sono presenti sulla superficie delle vaschette di dissoluzione carsica già analizzati da Mastronuzzi e Sansò (2000) che sono ben evidenti anche nel modello 3D (fig. 6). Questi costituiscono delle zone depresse che nel rilievo con il laser scanner non si riesce a riprendere del tutto e vengono ricostruite con l'operazione di chiusura dei *gaps*. Anche il blocco rilevato in località San Lorenzo presenta, in modo meno marcato, microforme carsiche (fig. 7) che possono essere analizzate in dettaglio sul modello 3D. Il blocco di Torre Santa Sabina presenta una superficie più regolare (fig. 8) sia per la sua morfologia reale che per le l'omogenizzazione risultante dell'elaborazione. Nel caso di Torre Squillace il modello 3D consente di apprezzare meglio la forma dei singoli blocchi e osservare come le varie parti sembrano coincidere; infatti, anche in base alla morfologia delle microforme carsiche presenti sulla superficie, sembra che il blocco 1 si incastri bene fra i blocchi 2 e 3 per ricostruire la forma concava sulla loro sommità.

Conclusione

La ricostruzione del modello 3D consente di poter effettuare misure in modo più accurato e particolareggiato. Dal confronto con le misure rilevate sul campo sui medesimi blocchi si ottiene una media più accurata (figg. 9-10) in quanto sul modello è possibile effettuare una serie infinita di misurazioni. Inoltre, lo strumento utilizzato dal software calcola la distanza lineare fra due punti, indipendentemente dalla morfologia. Le misure rilevate in campagna risultano essere sovrastimate rispetto a quelle ottenute sul modello e pertanto anche il volume è eccessivo rispetto alla realtà. Infatti, il software considera il volume effettivamente racchiuso all'interno della superficie ricostruita.

	asse <i>a</i> (m)	asse <i>b</i> (m)	asse <i>c</i> (m)	Volume (m ³)
<i>Blocco di località San Lorenzo</i>				
Misure rilevate in campagna	4	3,6	1,2	14,688
Dati dal modello 3D	3,38	2,85	1	9,162
<i>Blocco di Torre Santa Sabina</i>				
Misure rilevate in campagna	2,80	1,90	0,75	3,99
Dati dal modello 3D	1,75	1,31	0,51	1,157

Figura 9 – confronto fra i dati rilevati sul blocco e quelli misurati sul modello 3D

	asse <i>a</i> (m)	asse <i>b</i> (m)	asse <i>c</i> (m)	Volume (m ³)
Misure rilevate in campagna (totale per ciascun asse)	6,65	2,90	1,6	70
Dati dal modello 3D				
<i>Torre Squillace 1</i>	1,95	1,23	0,72	1,301
<i>Torre Squillace 2</i>	2,14	1,62	0,57	1,536
<i>Torre Squillace 3</i>	1,97	1,15	0,53	1,376
<i>Torre Squillace 4</i>	5,84	1,92	1,01	10,3

Figura 10 – dati relativi al blocco rilevato in località Torre Squillace

I risultati ottenuti con questa tecnica sono molto soddisfacenti e possono essere utilizzati per ottimizzare la valutazione dell'altezza dell'onda responsabile dello spostamento del blocco. Le misure rilevate sul modello 3D risultano essere più precise e consentono di evitare sovrastimare dell'altezza dell'onda. Infatti, le formule di Nott (2003), modificate da Pignatelli et al. (2009) e Piscitelli et al. (2009) per la stima dell'altezza minima dell'onda di tsunami (H_T) e di tempesta (H_S) in grado di spostare il blocco, si basano sul calcolo della densità e dell'altezza del blocco (asse *c*). I

dati ottenuti dal modello 3D contribuiscono in maniera determinante alla ricostruzione del modello idrodinamico del processo meccanismo che ha spostato il blocco e forniscono un'indicazione importante per la definizione dell'evento che ha prodotto l'onda e per la valutazione dei suoi effetti sulla fascia costiera.

Ringraziamenti

Il lavoro proposto è stato realizzato nell'ambito del Progetto MIUR di Ateneo 2009: "Modellizzazione e valutazione del rischio costiero da eventi parossistici" (Resp.: Prof. G. Mastronuzzi) e del Research Project S1 2007/09 "Analysis of the seismic potential in Italy for the evaluation of the seismic hazard" dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Dipartimento Protezione Civile (Project leaders: Salvatore Barba, Carlo Doglioni; (UR 03 Responsible: Prof. G. Mastronuzzi). E' un contributo all'IGCP 495 Project by UNESCO – IUGS (Project Leaders: Dr. Anthony Long, University of Durham, UK; Dr. Shahidul Islam, University of Chittangong, Bangladesh).

Riferimenti bibliografici

- Amore C., Costa B., Di Geronimo I., Giuffrida E., Randazzo G., Zanini A. (1994), "Temporal evolution, sediments and fauna of the Vendicari lagoons (Siracusa). Studies on Ecology and Paleoecology of Benthic Communities", *Boll. Soc. Paleont. Ita.*, 2: 1-15.
- Caldara M., Capolongo D., Damato B. & Pennetta L., (2006), "La tecnologia laser scanning terrestre può essere utile per il monitoraggio delle difese costiere?", *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, 1, 35-49
- Caldara M., Marsico A., Infante M., Recchia G., (2008), "Applicazioni del rilievo laser tridimensionale alle fortificazioni dell'età del Bronzo di Coppa Nevigata", in: *Atti del 28° Convegno Nazionale sulla Preistoria, Protostoria e Storia della Daunia. S. Severo, 25-26 Novembre 2007*, FOGGIA: Stab. Lit. Centrografico Francescano, p. 225-238
- Hills J.G., Mader C.L. (1997), "Tsunamis produced by the impacts of the small asteroids", *Annals of the New York Accademy of Sciences*, 822: 381-394.
- Hunter G., Pinkerton H., Airey R., Calvari S. (2003), "The application of a ling-laser scanning for monitoring volcanic activity of Mount Etna", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 123: 203-210.
- Infante M., Marsico A., Pennetta L., "Preliminary results of coastal defenses monitoring by ground laser scanning technology", *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, in stampa.
- Lentini F., Carbone S., Cugno G., Grasso M., Scamarda G., Sciuto F., Montanari L., Romeo M., Ferrara V. (1986), Geological map of the north-eastern Hyblean sector. Ed. S.E.L.C.A. Map scale 1:50.000, Firenze (in Italian).
- Mastronuzzi G., Pignatelli C., Sansò P. (2006), "Boulder Fields: A Valuable Morphological Indicator of Paleotsunami in the Mediterranean Sea", *Zeitschrift für Geomorphologie*, NF Suppl.-Bd. 146: 173-194.
- Mastronuzzi G., Pignatelli C., Sansò P., Selleri G. (2007), "Boulder accumulations produced by the 20th February 1743 tsunami along the coast of southeastern Salento (Apulia region, Italy)", *Marine Geology*, 242: 191-205.
- Mastronuzzi G., Sansò P., (2000), "Boulders transport by catastrophic waves along the Ionian coast of Apulia (southern Italy)", *Marine Geology*, 170: 93-103
- Mastronuzzi G., Sansò P. (2004), "Large boulder accumulations by extreme waves along the Adriatic coast of southern Apulia (Italy)", *Quaternary International*, 120: 173-184
- Mastronuzzi G., Sansò S. (2006), "Coastal geomorphology and tsunami vulnerability. The case study of Apulia region (Italy)", *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 29 (2): 83-91.
- Mastronuzzi G., Sansò P., Bruckner H., Pignatelli C., Vott A., Caputo R., Coppola D., Di Bucci D., Fracassi U., May S.M., Milella M., Selleri G., (2008), "Paleotsunami imprints along the coast of the central Mediterranean sea", *2nd International Tsunami Field Symposium. Ostuni (Puglia,*

- Italy) – Lefkas (Ionian Islands, Greece), 21-27 September 2003, *GI2S Coast Coast – Gruppo Informale di Studi Costieri, Research Publication*, 7, 198 pp, Digilabs s.r.l., Bari.
- Milella De Santis V., Pignatelli C., Cacciapaglia G., Selleri G., Fozzati L., Mastronuzzi G., Sansò P., Palmentola G., (2008), “Sensibilità della costa pugliese alle ondate estreme”, *Convegno Nazionale “Coste: Prevenire, Programmare, Pianificare”, Maratea (Pz), 15-17 Maggio 2008, Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata, Studi e ricerche*, II, 9, 477-487
- Nott, J. (1997), “Extremely high-energy wave deposits inside the great barrier reef, Australia: determining the cause—tsunami or tropical cyclone”, *Marine Geology*, 141: 193–207.
- Nott J. (2003), “Waves, coastal boulders and the importance of the pre-transport setting”, *Earth and Planetary Science Letters*, 210: 269–276.
- Oparin V. N., Seredovich V. A., Yushkin V. F., Ivanov A. V., Prokop'eva S. A. (2007), “Application of laser scanning for developing a 3D digital model of an open-pit side surface”, *Journal of Mining Science*, 43(5): 545-554.
- Pignatelli C., Sansò P., Mastronuzzi G. (2009), “Evaluation of tsunami flooding using geomorphologic evidence”, *Marine Geology*, 260:6-18.
- Piscitelli A., Pignatelli C., Mastronuzzi G. (2009). Hydrodynamic equations to evaluate the impact of extreme storms on the Adriatic coast of Apulia (Southern Italy). In: Damiani L., Mossa M. (eds) *Coastlab 08 - Bari, Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection*, 351-358, ISBN 978-90-78046-07-3.
- Scicchitano G., Monaco C., Tortorici L. (2007), “Large boulder deposits by tsunami waves along the Ionian coast of south-eastern Sicily (Italy)”, *Marine Geology*, 238: 75–91
- Tinti S., Maramai A., Graziani L. (2004), “The new catalogue of Italian tsunamis”, *Nat. Hazards*, 33: 439-465.
- Tinti, S., Armigliato, A. (2003), “The use of scenarios to evaluate the tsunami impact in southern Italy”, *Marine Geology*, 199: 221–243.
- Weiss R., Wünnemann K., Bahlburg H. (2006). Numerical modelling of generation, propagation and run-up of tsunamis caused by oceanic impacts: model strategy and technical solutions. *Geophysical Journal International*, 167(1): 77-88.
- White S. A., Wang Y. (2003), “Utilizing DEMs derived from LIDAR data to analyze morphologic change in the North Carolina coastline”, *Remote Sensing of Environment*, 85: 39–47.
- Woolard J. W., Colby J. D. (2002), “Spatial characterization, resolution, and volumetric change of coastal dunes using airborne LIDAR: Cape Hatteras, North Carolina”, *Geomorphology*, 48: 269-287.

