

Dati geomorfologici, geocronologici e d'archivio nella identificazione dell'impatto di maremoti storici

Geomorphological, geochronological and archival data in the identification of the impact of historical tsunamis

MASTRONUZZI G. (*)(**), COLAIANNI A. (***),
PIGNATELLI C. (*)(**), SANSÒ P. (****)

RIASSUNTO - La costa della penisola italiana è segnata dalla presenza di sedimenti e forme costiere che ne fanno supporre la loro origine come conseguenza dell'impatto di eventi parossistici quali i maremoti. Essi sono rappresentati da: i - blocchi di grosse dimensioni che eccedono in peso la tonnellata, isolati o organizzati in campi o in berme; ii - strati di sabbie e/o limi di origine marina intercalati in depositi di retroduna/stagno costiero; iii - strati anomali intercalati nelle sequenze deposizionali della piattaforma continentale; iv - forme di accumulo di grandi dimensioni quali ventagli di *washover* nelle aree di retroduna.

Nel corso di studi condotti sul terreno nell'ultimo decennio lungo le coste del mediterraneo sono state riconosciute le tracce di almeno 15 differenti maremoti che le hanno colpite negli ultimi circa 6000 anni. L'attribuzione cronologica degli eventi è sempre stata fatta grazie ad analisi geocronologiche con il metodo del C14/AMS condotte su reperti biogenici associati al sedimento. Le caratteristiche intrinseche all'analisi e alla storia del campione però non indicano una data, pur calibrata, che non sia espressa da un range di età più o meno ampio. Non è quindi possibile ottenere risultati che permettano il riconoscimento dell'evento ne' alla precisione dell'anno ne' tanto meno a quella del giorno ma piuttosto alle centinaia di anni. L'unico modo che permetta di correlare il sedimento rilevato ad una data precisa è confrontare i risultati delle analisi C14 alle cronache e ai documenti storici d'archivio.

PAROLE CHIAVE: maremoti, indagini geomorfologiche, analisi C14, dati storici

ABSTRACT - Italian coasts are marked by sediments and landforms which suggest the impact of catastrophic marine processes like tsunamis. They are represented by: i - large boulders weighing more than a ton, which can be found isolated, sparse in fields or arranged in berms; ii - marine sand/silt layers interbedded with backdune/coastal swamp; iii - anomalous strata placed inside shelf depositional sequence; iv - large washover fans in backdune areas.

Recent research carried out along the Mediterranean coasts recognized the geological evidence of at least 15 different tsunamis occurred during the last 6000 years. Chronological data related to these events have been obtained by C14/AMS analysis performed on biogenic material associated to tsunami sediments and forms. Unfortunately, absolute age determinations provide a more or less wide range of age. Then, it is not possible to single out a seismic event responsible for tsunami generation without comparing absolute age data to historical chronicle and archive data.

KEY WORDS: tsunamis, geomorphological surveys, radiocarbon analysis, historical data

1. - PREMESSA

Nell'arco dell'ultimo decennio, le ricerche condotte in ambito costiero, sopra e sotto il livello del mare, con metodi propri della geomorfologia e della sedimentologia

(*) Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università degli Studi "Aldo Moro", Bari

(**) LAGAT-TA Laboratorio Gis Geoambientale e di Telerilevamento - Taranto, II Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali, Università degli Studi "Aldo Moro", Bari

(***) Scuola di Dottorato in Scienze della Terra, Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università degli Studi "Aldo Moro", Bari

(****) Osservatorio di Chimica, Fisica e Geologia Ambientali, DISTEBA, Università del Salento, Italy

hanno permesso di individuare una lunga serie di depositi e di forme la cui genesi è stata attribuita all'impatto lungo costa di eventi marini eccezionali (fig. 1).

In essi non sempre è possibile discriminare fra gli effetti delle ondate di origine meteorologica e quelli dovuti a processi geologici quali eruzioni vulcaniche, frane sottomarine, sismi o impatto di meteoriti; questi sono definiti maremoti, termine corrispondente a "tsunami", usato nella letteratura internazionale e derivato dal giapponese *tsu* "porto" e *nami* "onda", ovvero "onda nel porto". Dall'analisi della cospicua letteratura internazionale appare evidente che questo fenomeno, sottovalutato anche a scala mondiale rispetto alle sue effettive possibilità di impattare lungo la costa determinando danni all'ambiente e all'uomo, non solo ha avuto una ricorrente frequenza lungo la maggior parte delle coste del Mar Mediterraneo (fig. 2), ma ha interessato nel passato aree costiere ben estese nell'entroterra (BRYANT, 2001). In quelle aree costiere, in Italia e all'estero, oggi è diffusa una estesa antropizzazione che non si limita alla presenza di strutture destinate a fruizione stagionale estiva ma che è anzi ben marcata dalla presenza di aree urbane e di strutture strategiche quali

aree portuali, impianti industriali, centrali energetiche e aree militari. Le recenti esperienze vissute nell'Oceano Indiano (2004) ed in Oceano Pacifico (Isole Samoa nel 2009 e Cile nel 2010) hanno attirato l'attenzione per l'alto numero delle vittime e per i danni estesi tanto alle strutture antropiche quanto all'ambiente. Nel caso del maremoto che ha colpito il Cile nel febbraio del 2010 (fig. 3), esattamente 50 anni dopo quello disastroso del 1960, anche questa volta le onde si sono propagate sino in Giappone. Lì i danni sono stati limitati grazie alle opere di mitigazione realizzate, ai piani di evacuazione e al lungo tempo di preavviso. In questo caso le onde hanno colpito un paese che – a causa dell'incredibile frequenza dei maremoti che lo investono – è preparato culturalmente, materialmente e tecnologicamente a prevenire e a mitigare gli effetti di tali ondate (fig. 4). Lo stesso non può dirsi per le coste del Mediterraneo in cui il loro particolare andamento, frastagliato e discontinuo, è vero può attenuare l'energia del moto ondoso ma può anche amplificarlo o deviarlo, esponendo aree costiere ad ondate amplificate il cui tempo di propagazione - e quindi di preallarme - è minimo (p.es. MASTRONUZZI *et alii*, 2010a,b).

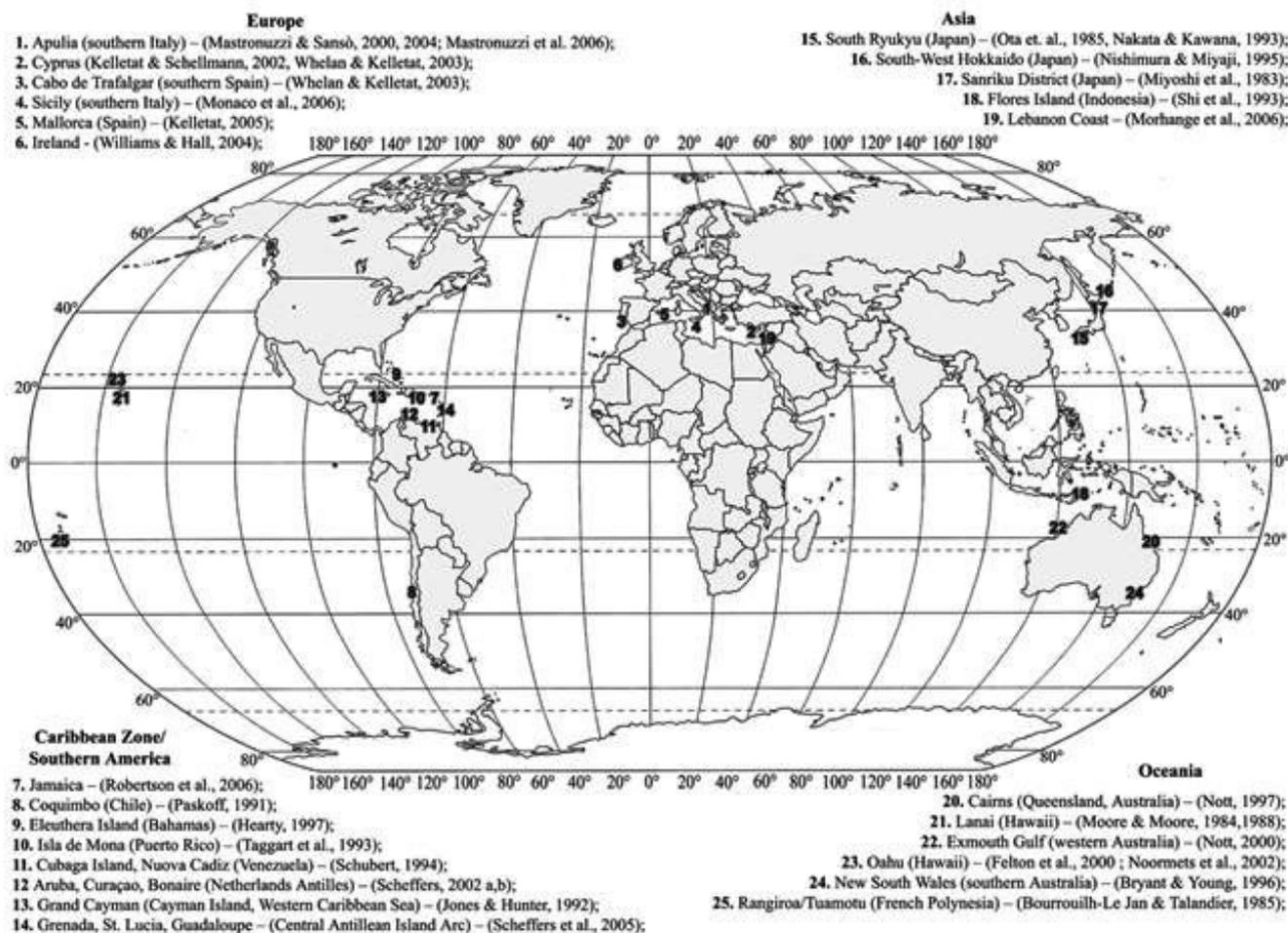


Fig. 1 – Distribuzione sul pianeta dei siti in cui sono stati rinvenute evidenze morfologiche e/o sedimentologiche dell'impatto di ondate eccezionali (da MASTRONUZZI *et alii*, 2008).

- *Worldwide distribution of morphological/sedimentological evidences of catastrophic waves impact (from MASTRONUZZI *et alii*, 2008).*

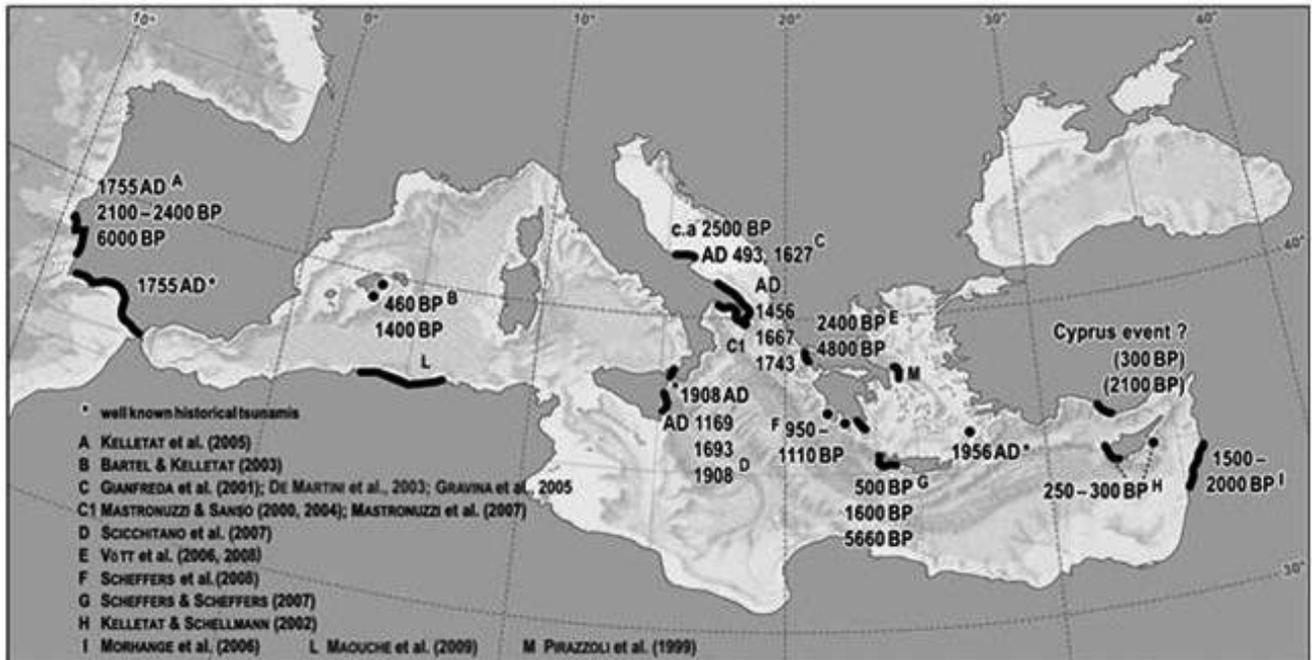


Fig. 2 – Distribuzione lungo le coste del bacino del Mediterraneo dei siti in cui sono state riconosciute evidenze morfologiche e/o sedimentologiche dell'impatto di tsunami (da MASTRONUZZI, 2010)

- *Morphological and/or sedimentological evidences of tsunamis impact along the Mediterranean coasts (from MASTRONUZZI, 2010).*



Fig. 3 – Effetti dell'impatto dell'onda dello tsunami del 2010 lungo la costa di Costituaico, Cile; il *run-up* in questo caso è stato di circa 24 m.

- *Effects of 2010 tsunami impact on the coast of Costituaico, Chile; in this case a run-up of about 24 m was recorded.*

Il riconoscimento degli eventi avvenuti nel passato e la loro corretta collocazione temporale è assolutamente importante per definire la frequenza degli eventi pur nell'impossibilità di definire un preciso tempo di ritorno. Tale parametro corrisponde alla pericolosità, cioè la probabilità che un evento parossistico possa avvenire. Lo studio della estensione nell'entroterra delle inondazioni avvenute nel passato permette di valutare i danni, probabili e possibili, nel caso del ripetersi dell'evento. Questa è la vulnerabilità dei beni esposti che invece sono esprimibili in termini di valore. Insieme pericolosità, valore e vulnerabilità definiscono il rischio. La necessità di definire questi parametri nel miglior dettaglio possibile è evidente per quelle aree con alta concentrazione di attività antropiche (MASTRONUZZI *et alii*, 2004; MASTRONUZZI & SANSÒ, 2006; MASTRONUZZI & PIGNATELLI, 2011; PIGNATELLI *et alii*, 2008, 2009, 2010). Un approccio multidisciplinare allo studio dei maremoti del passato e al loro possibile ripetersi nel futuro è dimostrazione di un corretto approccio alla Gestione Integrata dello Spazio Costiero (*Integrated Coastal Zone Management - ICZM*) in quanto esso permette di realizzare piani di sviluppo costiero ma anche piani di mitigazione del rischio e di pronto soccorso.

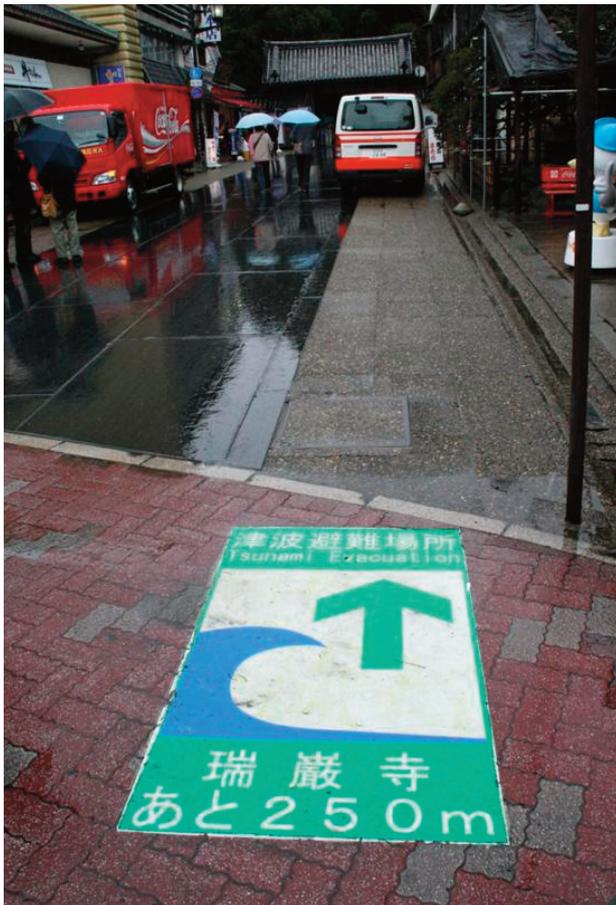


Fig. 4 – Segnali del “Tsunami evacuation plan” nella regione di Sanriku, Giappone settentrionale.
- Signals of the “Tsunami evacuation plan” in the Sanriku region, northern Japan.

2. - LA METODOLOGIA DI ANALISI

L'identificazione dell'impatto lungo costa di maremoti, ma anche di mareggiate eccezionali, avvenuti nel passato è stata possibile mediante l'analisi delle forme del paesaggio costiero e dei depositi ad esse attribuibili. Nonostante gli enormi passi avanti compiuti negli ultimi anni nel campo delle “*tsunami sciences*” anche grazie, purtroppo, all'interesse suscitato dal grande maremoto del 26 dicembre del 2004, non è stato possibile individuare caratteri delle forme o delle successioni sedimentarie che possano inequivocabilmente essere attribuite all'impatto di tale fenomeno e pertanto fungere da riferimento nello studio di forme dovute a paleoeventi. Lungo costa, la dinamica di un maremoto, per quanto estremamente energetica e capace di alterarne profondamente le caratteristiche morfologiche, è troppo condizionata dai caratteri dell'ondazione, sempre diversa in funzione dell'energia liberata in mare dal fenomeno che lo ha generato (eruzione, frana o sisma sottomarino), e da quelle morfobatimetriche e morfografiche dei fondali e della fascia costiera (LAVIGNE *et alii*, 2006; GOTO *et alii*, 2007; 2010; RICHMOND *et alii*, 2006; UMITSU *et alii*, 2007; PARIS *et alii*, 2009; KELLETAT *et alii*, 2006; 2007; SRINIVASALU *et alii*, 2007). La propagazione di un maremoto che avviene attraverso propagazione di energia e quindi attraverso onde, sottocosta è considerata assimilabile a variazioni rapide e ripetute del livello del mare: una sorta di mega marea molto più veloce. Onde di pochi decimetri al largo possono essere amplificate sino a divenire sulla costa muri di acqua alti alcuni metri, capaci di penetrare nell'entroterra per chilometri e a varia altezza in funzione della pendenza del rilievo e della scabrezza delle superfici.

È evidente che in tale scenario l'“onda”, o le poche onde, di un maremoto, può definire una panoplia di effetti a volte combinati che sfuggono ad una classificazione esaustiva; al tempo stesso questi possono essere assolutamente evidenza di convergenza sedimentaria e/o morfodinamica rispetto a quello che può produrre la sequenza di più onde, migliaia, di una mareggiata eccezionale (SHIKI *et alii*, 2008; MASTRONUZZI *et alii*, 2010). Sono considerate forme legate all'impatto di maremoti tanto gli accumuli di blocchi di grandi dimensioni (fig. 5), comunque eccedenti quelle dei blocchi normalmente spostati dalle mareggiate, quanto gli strati di sedimenti (fig. 6), schiettamente marini ma con componenti rimaneggiate dalla fascia costiera, impilati fra quelli tipici di aree lacustri, lagunari o palustri di ambiente costiero, o nelle sequenze di piattaforma, eventualmente evidenziate da forme come ventagli di *washover* (fig. 7) (MASTRONUZZI & SANSÒ, 2000, 2004; GIANFREDA *et alii*, 2001; MASTRONUZZI *et alii*, 2007; SCICCHITANO *et alii*, 2007; KELLETAT; MOAUCHE *et alii*, 2009; DE MARTINI *et alii*, 2010; VOTT *et alii*, 2006, 2007; 2008, 2009 a, b; SCHEFFERS *et alii*, 2008). In entrambi i casi è possibile, ma non necessario, rinvenire incrostat



Fig. 5 – Blocchi spostati da maremoti lungo la costa della Sicilia ionica (SCICCHITANO *et alii*, 2007).
- *Tsunami boulders along the coast of Ionian Sicily (SCICCHITANO et alii, 2007).*



Fig. 6 – Strati sabbiosi nei limi organici delle aree retrodunari della regione costiera di Sendai, Giappone. Essi evidenziano l'impatto di due maremoti avvenuti il primo in epoca preistorica e l'altro nell'869 a.D. (Jogan Tsunami).
- *Sandy layers in backdunes deposits of the coastal plain of Sendai, Japan. They highlight the impact of two tsunamis that occurred in prehistoric times and on 869 AD (Jogan Tsunami).*



Fig. 7 – Ventaglio di washover nella laguna di Lefkada, Isole Ionie, Grecia (VÖTT *et alii*, 2006; 2009a).
- *Washover fan in the Lefkada lagoon, Ionian Islands, Greece (VÖTT et alii, 2006, 2009a).*

sui blocchi o come parte integrante del sedimento componenti biotiche con eso, o endoscheletro carbonatico, molluschi, coralli, briozoi, alghe, che possono essere sottoposte a datazione con il metodo del C14 AMS (*Accelerator Mass Spectrometry*). L'età ottenuta indicherebbe il momento in cui l'organismo ha cessato di vivere perché trasportato in ambiente subaereo o acquoso con caratteristiche biochimiche e fisiche differenti da quelle in cui era vissuto (fig. 8) (PIRAZZOLI *et alii*, 1999; MASTRONUZZI & SANSÒ, 2000, 2004). Tale assunto non è però sempre assolutamente vero. Esistono infatti una serie di difficoltà che possono annullare o ridurre l'attendibilità di un tale procedimento, per esempio un organismo può essere morto prima del suo trasporto.

Altri metodi utilizzati per la datazione di eventi di alta energia (HUNTLEY & CLAQUE, 1996; AITKEN, 1998;

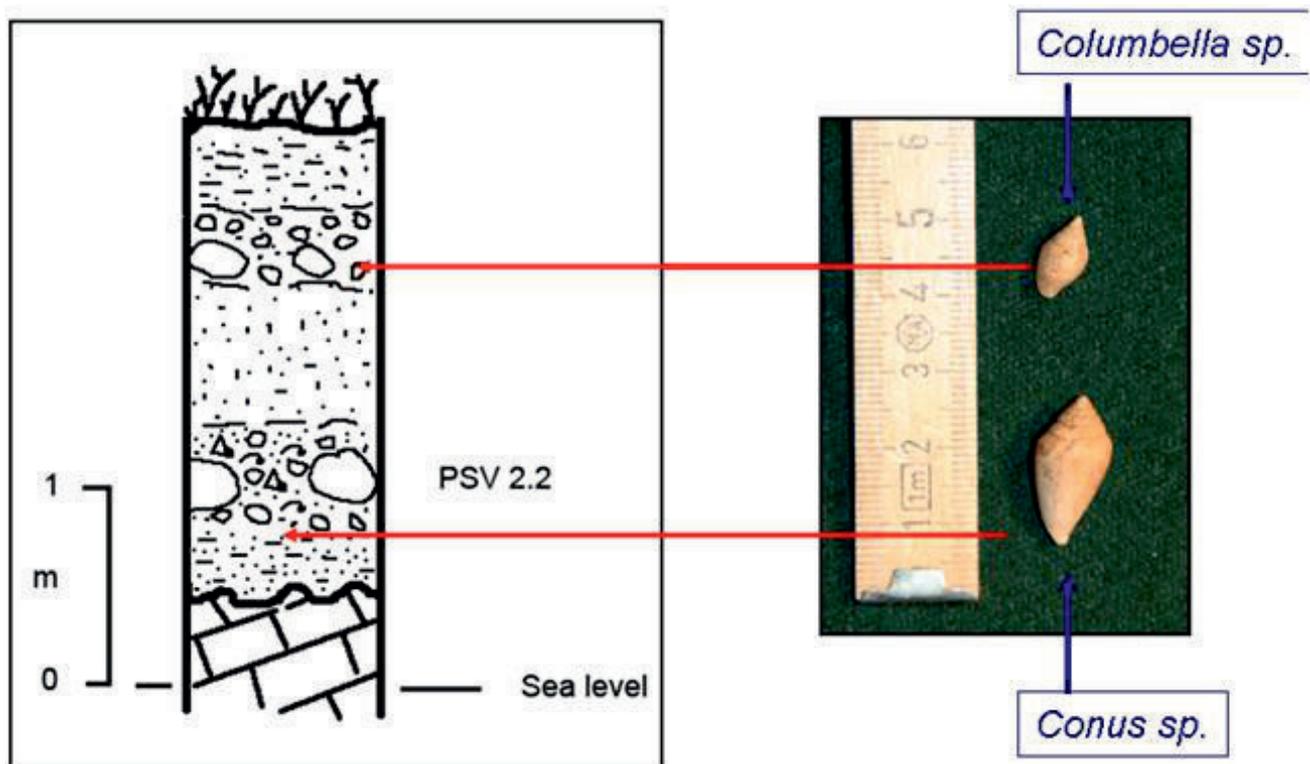


Fig. 8 – Sequenza sedimentaria anomala lungo la costa della Puglia adriatica e indicatori biologici sottoposti ad analisi C14.

- Anomalous sedimentary sequence along the Adriatic coast of Puglia and biological indicators analyzed by means of ^{14}C analysis Washover fan in the Lefkada lagoon, Ionian Islands, Greece (VÖTT *et alii*, 2006, 2009a).

BANERJEE *et alii*, 2001) sono la TL (*Thermoluminescence*) e l'OSL (*Optically Stimulated Luminescence*) applicati rispettivamente a resti di manufatti archeologici (ad esempio, frammenti di ceramiche trasportate dall'onda) o al deposito stesso. È evidente che nel primo caso viene datato un elemento, il coccio, che indica una data *postquem* è avvenuto l'evento. In entrambi i casi il materiale datato è essenzialmente il quarzo contenuto nell'impasto o nel sedimento (potrebbero essere analizzati anche i feldspati), un dosimetro naturale che, grazie a difetti presenti nella sua struttura, accumula energia proveniente dai decadimenti radioattivi degli isotopi presenti in natura. A partire da un fenomeno di azzeramento quale il riscaldamento (TL) o l'esposizione alla luce (OSL) i grani del minerale immagazzinano una dose proporzionale al tempo intercorso tra l'evento e la misura in laboratorio.

3. - I CASI STUDIO

Nel recente passato sono stati condotti diversi studi che di tipo geomorfo-sedimentologico ma anche geo-archeologico, lungo tutte le coste del mondo (v. fig. 1), hanno permesso di riconoscere l'impatto di maremoti avvenuti nel passato grazie allo studio di forme e depositi anomali rispetto alla normale dinamica sedimentaria e morfologia degli ambienti costieri. In base a

questo, nel solo bacino del Mar mediterraneo sono stati riconosciuti almeno 15 differenti eventi di maremoto succedutisi negli ultimi circa 6mila anni (tab. 1); di tutti sono state riconosciute evidenze sotto forma di accumuli di blocchi, ventagli di *washover* o strati fuori posto.

Oltre ai 15 riportati, altri maremoti sono avvenuti in tempi recenti come debitamente riportato da più cataloghi redatti per il Mediterraneo (SOLOVIEV *et alii*, 2000; GUIDOBONI & COMASTRI, 2005; TINTI *et alii*, 2007). Di questi alcuni sono stati caratterizzati da un impatto lungo costa appena percettibile, che non ha lasciato evidenze; altri ancora non hanno lasciato evidenze morfologiche o per lo meno non sono state ancora riconosciute. Fra questi quello di Amorgos nel Mar Egeo del 1956, che pur caratterizzato da *run-up* che in particolari condizioni morfografiche ha raggiunto i circa 20 m di quota, non ha lasciato evidenze morfologiche o sedimentologiche.

Fra quelli riportati in tabella 1, il maremoto innescato dal terremoto di Messina e Reggio Calabria del 28 dicembre del 1908 è il solo di cui esistono fotografie delle evidenze morfologiche indotte, riprese immediatamente dopo l'impatto dell'onda, e dettagliatissime descrizioni del *run-up* e degli effetti; gli altri, sono stati riconosciuti mediante una lunga serie di analisi iniziata con rilievi sul terreno, analisi dei depositi e datazioni assolute con il metodo del C14 AMS.

Tanto in Grecia (PIRAZZOLI *et alii*, 1999; VÖTT *et alii*,

Tab. 1 – *Tabella riassuntiva dei soli maremoti che oltre ad aver lasciato evidenze morfologiche e sedimentologiche lungo le coste del Mar Mediterraneo sono stati riconosciuti in base a dati storici ed archeologici o grazie a cronache.*

- Summary of tsunamis that hit the Mediterranean coasts recognized thanks to geological evidences, historical and archaeological data or described in historical chronicles.

Anno	Area colpita	Bibliografia
1500 a.C.	Santorini, Bacino del Mediterraneo	VÖTT <i>et alii</i> , 2008; BRUINS <i>et alii</i> , 2008
736 a.C.	Lesina, Apulia	GIANFREDA <i>et alii</i> , 2001; GRAVINA <i>et alii</i> , 2005
365 a.D.	Creta, Sicilia, Bacino del Mediterraneo	DE MARTINI <i>et alii</i> , 2010; STIROS, 2001
493 a.D.	Lesina, Apulia	GIANFREDA <i>et alii</i> , 2001; GRAVINA <i>et alii</i> , 2005
1087 a.D.	Lesina, Apulia	GIANFREDA <i>et alii</i> , 2001; GRAVINA <i>et alii</i> , 2005
4 febbraio 1169	Sicilia Ionica	SCICCHITANO <i>et alii</i> , 2007
1300 a.D.	Peloponneso, Grecia	SCHEFFERS <i>et alii</i> , 2008
5 dicembre 1456	Puglia Ionica	MASTRONUZZI & SANSÒ, 2000
30 luglio 1627	Lesina, Apulia	GIANFREDA <i>et alii</i> , 2001; DE MARTINI <i>et alii</i> , 2003; GRAVINA <i>et alii</i> , 2005
6 aprile 1667	Puglia Adriatica	MASTRONUZZI & SANSÒ, 2004
11 gennaio 1693	Sicilia Ionica	SCICCHITANO <i>et alii</i> , 2007
20 febbraio 1743	Puglia Meridionale	MASTRONUZZI & SANSÒ, 2004; MASTRONUZZI <i>et alii</i> , 2007
6 febbraio 1783	Scilla, Calabria Tirrenica	ANTONIOLI <i>et alii</i> , 2004
I ^a metà XIX sec. (1836?)	Puglia Ionica	MASTRONUZZI & PIGNATELLI, 2011
28 dicembre 1908	Sicilia e Calabria Ionica	BARATTA, 1910; SCICCHITANO <i>et alii</i> , 2007

2008; SCHEFFERS *et alii*, 2008), quanto in Libano (MORHANGE *et alii*, 2006), a Cipro (KELLETAT & SCHELMAN, 2002) e lungo le coste dell'Algeria (MAOUCHE *et alii*, 2009) gli studi condotti hanno permesso di individuare evidenze, campi di blocchi, ventagli di *washover* e sedimenti fuori posto, dell'impatto di tsunami avvenuti in epoca storica ma non è stato possibile correlarli se non dubitativamente ad un definito evento tsunamogenico perché la datazione assoluta fornisce un intervallo di tempo più o meno definito. Nel caso dell'Algeria, per esempio, si parla di due generici e distinti tsunami, avvenuti fra il 400 e il 1700; nel caso delle isole Ionie in Grecia, generalmente si parla di quattro eventi avvenuti fra il 3500 (evento di Santorini) e l'attuale (VÖTT *et alii*, 2008); sempre in Grecia nel Peloponneso sono stati individuati due eventi di maremoto, avvenuti fra il 180 e il 380 a.D. e c.a nel 1300 a.D. (SCHEFFERS *et alii*, 2008).

In altri casi, è stato invece assolutamente possibile correlare i sedimenti, e quindi l'evento di maremoto, ad

una data definita grazie alla presenza di dati archeologici incontestabili, come l'evento di Santorini riconosciuto lungo la costa settentrionale dell'Isola di Creta (fig. 9) (BRUINS *et alii*, 2008).

Lungo le coste settentrionali della Puglia, il lago di Lesina è segnato dalla presenza di alcuni ventagli di *washover* che rompono la continuità del cordone litorale (GIANFREDA *et alii*, 2001; GRAVINA *et alii*, 2005). Dati radiometrici e dati archeologici indicano l'impatto di quattro distinti maremoti; questi sarebbero occorsi in epoca preromana, nel 493 a.D., nel 1087 a.D. e nel 1627 a.D. È stato possibile riconoscere con precisione questi ultimi tre eventi perché ad ognuno di essi è legata una documentazione storica: nel caso del maremoto del 493 a.D., la leggenda dell'apparizione dell'Arcangelo Michele sul Gargano e del correlato terremoto, mentre nel caso del 1087 la leggenda di Matilde di Canossa e del correlato terremoto, insieme, sostengono bene l'ipotesi di tale attribuzione. Ma quella più evidente è la dotazione



Fig. 9 – La successione dei depositi attribuiti all’impatto dello tsunami del 3500 B.P. presso Palaikastro sull’isola di Creta, Grecia (BRUINS *et alii*, 2008).
- The deposits attributed to the impact of the 3500 B.P. tsunami at Palaikastro on the island of Crete, Greece (BRUINS *et alii*, 2008).

di dati che permette senza dubbio di riconoscere l’impatto di uno tsunami avvenuto il 30 luglio del 1627. Testimonianze documentarie parlano di “... il mare si ritirò dentro il suo letto tre miglia, e poi uscì fuori con grand’impeto di miglia entro terra ...” (DEL VASTO, 1627) o ancora “...“ il mare della riviera di Fortone e di San Nicandro se ritirò indietro due miglia e poi uscì fuori da’ suoi confini altre due miglia, essala dalla terra una puzza di fuoco come zolfo.” come scrive il frate Cappuccino Giromino Di Napoli in una lettera mandata al suo Padre Generale (FOGLIA, 1627,

pagg. 7-8); ed in ultimo “...Lacus Lesinensis vigenti milium pass. Ambito illico axaurit. Pelago retrocedens, mox insilit, omnia per Tres horas ad stragem et vastitatem composita, visa ed audita...” (PIGNORIA, 1629). Tali testi, che evidentemente descrivono le variazioni del livello del mare proprie di un maremoto, sono suffragate dalla carta di Greuter, nella quale si vedono pesci guizzare sul fondo secco del lago di Lesina (fig. 10).

Un altro caso, è quello del maremoto generato dallo sciame sismico del terremoto del 1743, con epicentro

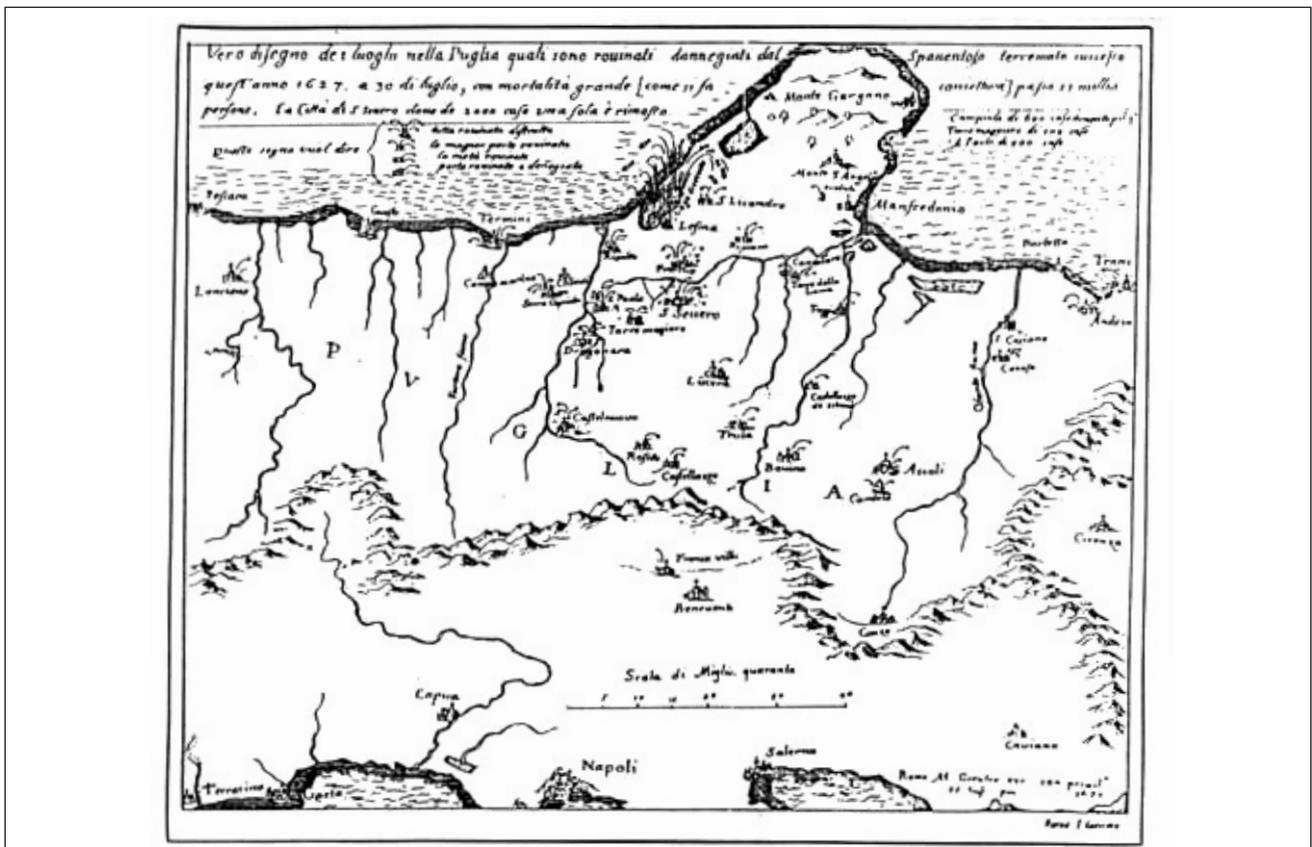


Fig. 10 – La carta del Greuter del 1627, in cui sono riportati i danni conseguenti al terremoto del 30 luglio di quell’anno; in evidenza, lo svuotamento del lago di Lesina marcato dalla presenza di pesci che vi guizzano “a secco” prima dell’arrivo dello tsunami.
- The map of Greuter (1627) reporting damages produced by 30th July 1627 earthquake; fish jumping in the Lesina Lake dried before tsunami hit the coast.

nel Canale d'Otranto fra la Puglia e le Isole Ionie in Grecia (MASTRONUZZI & SANSÒ, 2004; MASTRONUZZI *et alii*, 2006; MASTRONUZZI *et alii*, 2007). In tal caso, il rinvenimento di accumuli di blocchi isolati o in campi e berme, lungo la costa orientale della Puglia fra Capo Santa Maria di Leuca, Otranto e Brindisi, è stata accompagnata da cinque differenti datazioni che hanno attribuito l'accumulo dei blocchi ad a circa 600 anni fa (età non calibrata) corrispondente a un intervallo di tempo compreso fra il 1650 e il 1800 a.D. (età calibrata); in quella circostanza sia in località Santa Sabina (Carovigno, Brindisi) sia in località Sant'Emiliano (Otranto, Lecce), sono stati rinvenuti al di sotto dei blocchi, resti di strutture e di cocci attribuiti alla fine del '600 - inizio del '700 (fig. 11). Ad ulteriore supporto sono stati i preziosi dati archivistici; in una cronaca di Cagnes e Scalsese (1743) del 20 febbraio del 1743, si legge: "...e finalmente, è stato così spaventoso, che ritirandosi il mare, faceansi vedere aperture della terra, et il molo di Porta Reale diviso in tre parti...". L'attribuzione delle forme allo tsunami generato da quel terremoto, noto in tutti i cataloghi redatti, diviene evidentemente facile.

Nei casi esposti sinteticamente la datazione tramite analisi C14 ha permesso di individuare un *range* approssimativo, ma solo la presenza di dati archeologici e documenti archivistici ha permesso la correlazione degli accumuli con un evento sismico noto, riportato nei cataloghi.

La maggior parte degli accumuli anomali riconosciuti lungo costa, viene quindi datata con metodi radiometrici ma l'effettiva correlazione con eventi "tsunami-genici" noti, avviene solo se ricorrono due condizioni: in prima istanza se il dato radiometrico è convalidato da quello archeologico; in seconda istanza l'esistenza di un catalogo di terremoti e di tsunami riconosciuti in base a indagini storico-archivistiche. Insieme, queste condizioni, permettono di restringere i *range* di attribuzione sino alla definizione di una data precisa al giorno e forse anche all'ora.

4. - DISCUSSIONE

La datazione del resto organico, sembra agli occhi dei più essere risolutiva; il passo che permette di attribuire ad un deposito una data certa e di conseguenza di correlare ad esso un maremoto noto o meno. Non è però tutto così immediato, nè così semplice. Occorre innanzi tutto ricordare che le analisi C14 sono effettuate su un campione, in genere una conchiglia o una bioconcrezione, ma anche un deposito organico di area umida, che per quanto scelto dal rilevatore con attenzione è comunque rappresentativo solo di esso. Generalmente, negli studi sino ad ora realizzati, per ogni orizzonte riconosciuto in carota o per ogni campo di blocchi rinvenuto, i campioni sottoposti ad analisi AMS non hanno superato il numero di tre. Raramente questi campioni provengono da uno stesso blocco o da uno stesso orizzonte. Questo significa che pure in presenza di tre blocchi (o di un orizzonte in tre carote differenti) per ognuno dei quali una bioconcrezione o una conchiglia ha restituito la stessa età, in presenza di altri resti organici è verosimile che da quel blocco potessero derivare altre indicazioni cronologiche; è evidente quindi che per ogni blocco sarebbe opportuno datare più di un campione, almeno tre, e da ogni campo di blocchi occorrerebbe datare almeno tre blocchi.

La prima approssimazione deriva quindi dalla attendibilità, addirittura dalla fortuna, del campionamento.

Una volta disponibile il campione, questo diventa oggetto delle analisi di laboratorio che prevedono innanzi tutto la separazione fisica da esso di tutte le impurità derivanti da particelle del basamento geologico, più vecchio del campione. In effetti è stato rilevato che spesso il campione rappresentato da gusci di organismi, conchiglie, viventi in ambiente continentale ha un inquinamento che non deriva dalla presenza di micro particelle asportabili, ma dal suo ciclo biologico. La nutrizione dei molluschi può comportare un significa-



Fig. 11 – Il sito ed i cocci databili fra la fine del XVII e l'inizio del XVIII secolo che hanno permesso di correlare la berma di blocchi di Torre Sant'Emiliano (Otranto, Lecce), già datata con il metodo del radiocarbonio, all'evento di maremoto determinato dal terremoto del 20 febbraio 1743 (MASTRONUZZI *et alii*, 2007).

- The site and ceramic remains, dating back to the late seventeenth and early eighteenth century, which allowed to correlate the berm of Torre Sant'Emiliano (Otranto, Lecce), already dated by means of radiocarbon, to the tsunami generated by the 20th February 1743 earthquake (MASTRONUZZI *et alii*, 2007).

tivo invecchiamento della conchiglia per ingestione sia di particelle del substrato sia di vegetali cresciuti su di esso (MASTRONUZZI & ROMANIELLO, 2008; ROMANIELLO *et alii*, 2008; QUARTA *et alii*, 2007). Occorre inoltre considerare che il risultato di un'analisi C14 non è unico ma un insieme di risultati che opportunamente trattati in maniera statistica definiscono un intervallo di età più o meno ampio che raramente è nell'ordine di una decina di anni.

La seconda approssimazione deriva quindi dalla effettiva capacità e possibilità di eliminare ciò che altera il risultato finale.

Le datazioni al radiocarbonio tendono ad invecchiare i campioni di età maggiore ai 2100 anni o a ringiovanire quelli più recenti. Le età al radiocarbonio di organismi vissuti in mare sono generalmente alcune centinaia di anni più vecchie di quelle di organismi coevi ma vissuti sul continente. Ciò è dovuto all'effetto serbatoio indotto dalla grande quantità di carbonio stivato nelle acque marine. Ciò impone che i risultati debbano essere calibrati in funzione delle caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua del braccio di mare da cui il campione proviene e quindi la correzione varia in funzione della circolazione delle acque. La differenza regionale è detta ΔR (STUIVER & BRAZIUNAS, 1993). Tale parametro è caratteristico per un significativo tratto di mare ed è calcolato dalla differenza fra l'età C14 di un campione marino di età conosciuta precedente all'inquinamento dovuto alle attività nucleari antropiche e il *dataset* di calibrazioni marine fornito da REIMER *et alii* (2004). In effetti il *dataset* è valido solo per campioni che provengano dai primi superficiali "miscelati" strati di acqua non eccedenti i circa 80 m di profondità. Il parametro regionale ΔR derivato dalla banca dati *online* (<http://calib.qub.ac.uk/calib/>) è da inserire nelle equazioni di calibrazione quali ad esempio CALIB (STUIVER & REIMER, 1993; REIMER & STUIVER, 2010), or OxCal (BRONK RAMSEY, 1995). In alternativa esistono delle tabelle di calibrazione molto più empiriche. Ma quale sia il corretto ΔR da utilizzare è un problema di difficile soluzione; spesso accade che il ΔR disponibile noto in bibliografia più vicino al campione in analisi sia stato ottenuto in un braccio di mare distante da quello in esame anche alcune centinaia di km; va da sé che la sua attendibilità rispetto alla calibrazione del campione considerato è molto approssimata.

È, quindi, necessario affiancare ulteriori misure per rendere solido il *set* di dati accumulato studiando l'evento dal punto di vista geomorfologico, sedimentologico e geocronologico adoperando esclusivamente il radiocarbonio. Le tecniche dosimetriche, Termoluminescenza e Luminescenza Otticamente Stimolata, possono potenzialmente rendere più solido l'edificio teorico costruito: infatti è importante sottolineare che proprio l'OSL permette di datare il momento in cui lo strato campionato è stato ricoperto da ulteriore materiale (HUNTLEY & CLAQUE, 1996; AITKEN, 1998;

BANERJEE *et alii*, 2001). Come nel caso del Carbonio-14 avremo degli svantaggi quali l'incremento delle percentuali di errore legate alla datazione ottenuta; perfino l'impossibilità di analizzare il quarzo raccolto a causa di caratteristiche intrinseche al materiale o di condizioni esterne (mancato "azzeramento" di questo orologio naturale per inefficace esposizione alla luce solare del sedimento), o perché presente in piccole quantità o addirittura assente.

È evidente che in tali scenari è sempre auspicabile disporre di un dato archeologico, storico o derivato dalle cronache che validi la datazione assoluta qualunque sia il metodo adottato.

5. - CONCLUSIONI

L'indagine volta a riconoscere i depositi di maremoti avvenuti nel passato e a costruire la successione temporale degli eventi assume valore essenziale per la definizione della pericolosità da questi eventi cui è esposto un dato tratto di costa. Dal suo valore dipende quello del rischio a sua volta essenziale per la corretta pianificazione territoriale nell'ambito dell'ICZM. I metodi di rilievo geomorfologico sono alla base del riconoscimento delle aree in cui tali eventi sono impattati e per definirne l'estensione. La successione temporale degli eventi è però possibile solo con un corretto confronto dei dati cronologici disponibili. I soli dati geocronologici, siano essi radiometrici o derivati da analisi della luminescenza, forniscono risposte sotto forma di intervalli cronologici molto ampi, a volte sino alle centinaia di anni, non assolutamente attendibili specialmente se si deve discriminare fra due eventi molto vicini nel tempo. È evidente che è essenziale poter disporre di altri dati che siano attendibili. I dati archeologici e le fonti storiche-archivistiche forniscono dati che sono approssimati, nei casi più recenti, sino all'ora. Anche essi mostrano delle difficoltà di raccolta: sono in archivi non sempre di facile accesso e consultazione, a volte persi nella memoria storica degli archivi, spesso in dialetti o lingue di non immediata e facile interpretazione.

Dall'insieme dei dati e delle considerazioni esposte nelle pagine precedenti deriva che in qualunque studio della ricostruzione degli eventi di maremoto, impattati lungo la fascia costiera, deve esistere uno stretto connubio fra l'indagine geomorfologica e sedimentologica finalizzata al riconoscimento delle evidenze del fenomeno, e l'indagine cronologica che deve essere effettuata in base alle risposte geocronologiche, comunque non sostituibili perché caratterizzano il sedimento alla grande scala, ma anche attraverso l'esame dei dati archeologici che restringono quell'intervallo e delle fonti storiche-archivistiche che possono arrivare a fornire oltre che la data e l'orario, preziose descrizioni del manifestarsi dell'evento e dei danni da esso causati.

Ringraziamenti

Il presente lavoro riassume tre differenti relazioni del Prof. Mastronuzzi, del Prof. Sansò e del Dott. Pignatelli presentate in occasione del convegno "Testo, contesto ed evento. Testi antichi, documentazione storica, eventi naturali" tenutosi a Policoro, Matera, dal 6 all'8 ottobre 2010. Si ringrazia il Dott. Mario Aversa per aver fortemente voluto la nostra partecipazione.

I risultati esposti sono frutto di ricerche condotte nell'ambito dei progetti INGV / DPC nel 2004-2006 (Progetto S2) (Resp.UOL: G. Mastronuzzi) e 2007-2009 (Progetto S1) (Resp.UOL: G. Mastronuzzi) e con finanziamenti di Ateneo dell'Università degli Studi "Aldo Moro" di Bari (Resp.: G. Mastronuzzi).

BIBLIOGRAFIA

- AITKEN M.J. (1998) - *An introduction to Optical Dating - The Dating of Quaternary Sediments by the use of Photon-Stimulated Luminescence*. Oxford University press, 1998.
- ANTONIOLI F., DAI PRA G., SEGRE A.G. & SYLOS LABINI S. (2004) - *New data on Late Holocene uplift rates in the Messina strait area, Italy*. *Quaternaria Nova*, 8, 45-67.
- BANERJEE D., MURRAY A.S. & FOSTER I.D.L. (2001) - *Scilly Isles, UK: optical dating of a possible tsunami deposit from the 1755 Lisbon earthquake*. *Quaternary Science Reviews*, 20, 715-718.
- BARATTA M. (1910) - *La catastrofe sismica calabro messinese*. Relazione Società Geografica Italiana, 426 pp., Roma.
- BRONK RAMSEY C. (1995) - *Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: The OxCal program*. *Radiocarbon*, 37(2) 425-430.
- BRUNS H.J., MACGILLIVRAY J. A., SYNOLAKIS C.E., BENJAMIN C., KELLER J., KISCH H. J., KLÜGEL A. & VAN DER PLICHT J. (2008) - *Geoaerchaeological tsunami deposits at Palaikastro (Crete) and the Late Minoan IA eruption of Santorini*. *Journal of Archaeological Science*, 35 (1), 191-212.
- BRYANT E.A. (2001) - *Tsunami: The Underrated Hazard*. Cambridge University Press, 320 pp.
- DE MARTINI P.M., BURRATO P., PANTOSTI D., MARAMAI A., GRAZIANI L. & ABRAMSON H. (2003) - *Identification of tsunami deposits and liquefaction features in the Gargano area (Italy): paleoseismological implication*. *Annals of Geophysics*, 46 (5), 883-902.
- DE MARTINI P.M., BARBANO M.S., SMEDILE A., GERARDI F., PANTOSTI D., DEL CARLO P. & PIRROTTA C. (2010) - *A unique 4000 year long geological record of multiple tsunami inundations in the Augusta Bay (eastern Sicily, Italy)*. *Marine Geology*, 276 (1-4), 42-57.
- DEL VASTO F. (1627) - *Vera relazione del terribile terremoto seguito in Puglia nel prossimo passato mese di luglio, con danno et rovina di molte terre, et di due città, con mortalità grandissima di persone; nella quale s'intende la ritirata dal mare dentro il proprio letto per spazio di tre miglia, et la subita uscita dal detto letto con grandissimo empio et rovina, con stupore e meraviglia*. Ferrara.
- FOGLIA G.A. (1627) - *Historico discorso del gran terremoto successo nel Regno di Napoli, nella Provincia di Capitanata di Puglia, nel corrente anno 1627, a dì 30 di Luglio a bore sedici*. Napoli, 1627.
- GIANFREDA F., MASTRONUZZI G. & SANSÒ P. (2001) - *Impact of historical tsunamis on a sandy coastal barrier: an example from the northern Gargano coast, southern Italy*. *Natural Hazard and Earth System Sciences*, 1, 213-219.
- GOTO K., CHAVANICH S.A., IMAMURA F., KUNTHASAP P., MATSUI T., MINOURA K., SUGAWARA D. & YANAGISAWA H. (2007) - *Distribution, origin and transport process of boulders deposited by the 2004 Indian Ocean tsunami at Pakarang Cape, Thailand*. *Sedimentary Geology*, 202, 821-837.
- GOTO K., MIYAGI K., KAWAMATA H. & IMAMURA F. (2010) - *Discrimination of boulders deposited by tsunamis and storm waves at Ishigaki Island, Japan*. *Marine Geology*, 269, 34-45.
- GRAVINA A., MASTRONUZZI G. & SANSÒ P. (2005) - *Historical and prehistorical evolution of the Fortore River coastal plain and the Lesina Lake area (Southern Italy)*. *Mediterraneë*, 1-2, 107-117.
- GUIDOBONI E. & COMASTRI A. (2005) - *Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean area from the 11th to the 15th century*. 2, INGV-SGA 2005.
- HUNTLEY D.J. & CLAGUE J.J. (1996) - *Optical dating of tsunami-laid sands*. *Quaternary Research*, 46, 127-140.
- KELLETAT D. (2008) - *Tsunami deposits in the geological record*. *Comments to Dawson*. A.G. & Stewart, I. (2007), *Sedimentary Geology*, 211, 87-91.
- KELLETAT D. (2009) - *Bibliography of tsunami research since 2000*. *Suppl. Geogr. Rundschau*, 12, (3 parts, 221 references in total), Braunschweig.
- KELLETAT D. & SCHELLMANN G. (2002) - *Tsunamis on Cyprus*. *Field Evidences and ¹⁴C Dating Results*, *ZGeomorph N.F.*, 46, 1, 19-34.
- KELLETAT D., SCHEFFERS A. & SCHEFFERS S. (2007) - *Field Signatures of the SE-336 Asian Mega-Tsunami along the West Coast of Thailand compared to Holocene Paleo-Tsunami from the Atlantic Region*. *Pure and Applied Geophysics*, 164, 2/3, 413-431.
- KELLETAT D., SCHEFFERS S. & SCHEFFERS A. (2006) - *Learning from the SE-Asian tsunami: examples from Thailand's west coast*. *Geograph. Rundschau Int.*, 1, 4-9, Braunschweig.
- LAVIGNE F., PARIS R., WASSMER P., GOMEZ C., BRUNSTEIN D., GRANCHER D., VAUTIER F., SARTOHADI J., SETIAWAN A., SYAHNAN T.G., FACHRIZAL B.W., MARDIATNO D., WIDAGDO A., CAHYADI R., LESPINASSE N. & MAHIEU L. (2006) - *Learning from a Major Disaster (Banda Aceh, December 26th, 2009): A Methodology to Calibrate Simulation Codes for Tsunami Inundation Models*. *ZGeomorph. N.F., Suppl.-Bd.*, 146, 253-265.
- MAOUCHE S., MORHANGE C. & MEGHRAOUI M. (2009) - *Large boulder accumulation on the Algerian coast evidence tsunami events in the western Mediterranean*. *Marine Geology*, 262, 96-104.
- MASTRONUZZI G. (2010) - *Tsunami in Mediterranean sea*. *The Egyptian Journal of Environmental Change*, 2, 1, 1-9.
- MASTRONUZZI G., BRÜCKNER H., SANSÒ P. & VÖTT A. (2010) - *An introduction to palaeo-tsunami research*. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 54, 3, 5-13.
- MASTRONUZZI G., BRÜCKNER H., SANSÒ P. & VÖTT A. (Eds.) (2010) - *Tsunami fingerprints in different archives. Sediments, dynamics and modelling approaches*. *Zeitschrift für Geomorphologie, N.F., Suppl.-Bd.*, 54, 3.
- MASTRONUZZI G. & PIGNATELLI C. (2011) - *Determination of Tsunami Inundation Model Using Terrestrial Laser Scanner Techniques*. In: N.-A. MÖRNER (Ed.), "The Tsunami Threat, Research and Technologies", INTECH, 219-236 pp.
- MASTRONUZZI G. & PIGNATELLI C. (2011) - *The boulders berm of Punta Saquerra (Taranto, Italy): a morphological imprint of 4th April, 1836 Rossano Calabro tsunami?*. *Earth, Planet and Space*, 64, 1-14.
- MASTRONUZZI G., PIGNATELLI C. & SANSÒ P. (2004) - *Assessment of catastrophic wave impact in Apulia region (Southern Italy)*. In: C.A. BREBBIA (Ed.), *Risk Analysis IV*, Wessex Institute of Technology Press, 681-689.
- MASTRONUZZI G., PIGNATELLI C. & SANSÒ P. (2006) - *Boulder fields: a valuable morphological indicator of paleotsunami in the Mediterranean Sea*. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F., 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. & ROMANIELLO L. (2008) - *Holocene aeolian morphogenetic phases in Southern Italy: problems in age determinations using terrestrial gastropods*. *Quaternary International*, 183, 123-134.

- 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.
- MORHANGE C., MARRINER N. & PIRAZZOLI P.A. (2006) - *Evidence of Late-Holocene Tsunami Events in Lebanon*. Zeitschrift für Geomorphologie, NF, Suppl., 146, 81-95.
- MASTRONUZZI G., SANSÒ P., BRÜCKNER H., PIGNATELLI C., VÖTT 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, GIS Coast Coast – Gruppo Informale di Studi Costieri, Research Publication, 7, 198 pp, Digilabs s.r.l., Bari.
- PARIS R., WASSMER P., SARTOHADI J., LAVIGNE F., BARTHOMIEUF B., DESGAGES E., GRANCHER D., BAUMERT P., VAULTIER F., BRUNSTEIN D. & GOMEZ C. (2009) - *Tsunamis as geomorphic crisis: lessons from the December 26, 2004 tsunami in Lombok, west Banda Aceh (Sumatra, Indonesia)*. Geomorphology, 104, 1-2, 59-72.
- PIGNATELLI C., DE LEONARDIS M., MASTRONUZZI G. & SANSÒ P. (2008) - *Valutazione di impatto di onde estreme lungo la costa fra Capo San Vito e Polignano (Puglia, Italia) mediante tecniche GIS*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 78, 207-222.
- PIGNATELLI C., FERILLI S., CAPOLONGO D., MARSICO A., MILELLA M., PENNETTA L., PISCITELLI A. & MASTRONUZZI G. (2010) - *Evidenze morfologiche, rilievo digitale ed applicazioni informatiche al fine della valutazione del limite di inondazione da tsunami*. Italian Journal of Remote Sensing, 42(2), 129-142.
- PIGNATELLI C., PISCITELLI A., DAMATO B. & MASTRONUZZI G. (2010) - *Estimation of the value of Manning's coefficient using Terrestrial Laser Scanner techniques for the assessment of extreme waves flooding*. Zeitschrift für Geomorphologie, 54, 3, 317-336.
- PIGNATELLI C., SANSÒ P. & MASTRONUZZI G. (2009) - *Evaluation of tsunami flooding using geomorphologic evidence*. Marine Geology, 260, 6-18.
- PIGNORIA L. (1629) - *Symbolarum epistolarum*. Liber primus, p. 139, Padova.
- PIRAZZOLI P.A., STIROS S.C., ARNOLD M., LABOREL J. & LABOREL-DEGUEN F. (1999) - *Late Holocene Coseismic Vertical Displacements and Tsunami Deposits Near Kynos, Gulf of Euboea, central Greece*. Phys. Chem. Earth, 24 (4), 361-367.
- QUARTA G., ROMANIELLO L., D'ELIA M., MASTRONUZZI G. & CALCAGNILE L. (2007) - *Radiocarbon ages anomalies in pre- and post-bomb land snails from the coastal area of the Mediterranean basin*. Radiocarbon, 49 (2).
- REIMER P.J., BAILLIE M.G.L., BARD E., BAYLISS A., BECK J.W., BERTRAND C.J.H., BLACKWELL P.G., BUCK C.E., BURR G.S., CUTLER K. B., DAMON P.E., EDWARDS R.L., FAIRBANKS R.G., FRIEDRICH M., GUILDERSON T.P., HOGG A.G., HUGHEN K.A., KROMER B., MCCORMAC, F.G., MANNING S.W., RAMSEY C.B., REIMER R.W., REMMELE S., SOUTHON J.R., STUIVER M., TALAMO S., TAYLOR F. W., VAN DER PLICHT, J. & WEYHENMEYER C.E. (2004) - *IntCal04 Terrestrial radiocarbon age calibration, 26 - 0 ka BP*. Radiocarbon, 46: 1029-1058.
- RICHMOND B.M., JAFFE B.E., GELFENBAUM G. & MORTON R.A. (2006) - *Geologic impacts of the 2004 Indian Ocean Tsunami on Indonesia, Sri Lanka, and the Maldives*. Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Suppl., 146, 235-251.
- ROMANIELLO L., QUARTA G., MASTRONUZZI G., D'ELIA M. & CALCAGNILE L. (2008) - *¹⁴C age anomalies in modern land snails shell carbonate from Southern Italy*. Quaternary Geochronology, 3, 68-75.
- SCHEFFERS A., KELLETAT D., VÖTT A., MAY S.M. & SCHEFFERS S. (2008) - *Late Holocene tsunami traces on the western and southern coastlines of the Peloponnese (Greece)*. Earth Planetary Science Letters, 269, 271-279.
- 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, 1-4, 75-91.
- SHIKI T., TSUJI Y., YAMAZAKI T. & MINOURA K. (Eds.) (2008) - *Tsunamiites. Features and implications*. Elsevier, 411 pp.
- SOLOVIEV S.L., SOLOVIEVA O.N., GO C.N., KIM K.S. & SHCHETNIKOV N.A. (2000) - *Tsunamis in the Mediterranean Sea 2000 B.C.-D*. Advances in Natural and Technological Hazards Research, Kluwer Academic Publisher, 242.
- SRINIVASALU S., THANGADURAI N., SWITZER A.D., RAM MOHAN V. & AYYAMPURUMAL T. (2007) - *Erosion and sedimentation in Kalpakkam (N Tamil Nadu, India) from the 26th December 2004 Tsunami*. Marine Geology, 240, 1-4, 65-75.
- STIROS S.C. (2001) - *The AD 365 Crete Earthquake and Possible Seismic Clustering During the Fourth to Sixth Centuries AD in the Eastern Mediterranean: A Review of Historical and Archaeological Data*. Journal of Structural Geology, 23, 545-562.
- STUIVER M., REIMER P.J. & REIMER R.W. (2010) - CALIB 6.0. <http://www.calib.qub.ac.uk/>
- STUIVER M. & BRAZIUNAS T.F. (1993) - *Modeling atmospheric ¹⁴C influences and ¹⁴C ages of marine samples to 10,000 BC*. Radiocarbon, 35, 137-189.
- STUIVER M. & REIMER P.J. (1993) - *Extended ¹⁴C data base and revised CALIB 3.0 ¹⁴C age calibration program*. Radiocarbon, 35, 215-230.
- SZCZUCISKI W., NIEDZIELSKI P., RACHLEWICZ G., SOBCZYNSKI T., ZIOLA A., KOWALSKI A., LORENC S. & SIEPAK J. (2005) - *Contamination of tsunami sediments in a coastal zone inundated by the 26 December 2004 tsunami in Thailand*. Environmental Geology, 49, 2, 321-331
- TINTI S., MARAMAI A. & GRAZIANI L. (2007). *The Italian Tsunami catalogue (ITC)*, Version 2. http://web1.ingv.it:8080/portale_ingv/servizi-erisorse/cartella-banche dati/catalogotsunami/catalogodegli-tsunami-italiani.
- UMITSU M., TANAVUD C. & PATANAKANOG B. (2007) - *Effects of landforms on tsunami flow in the plains of Banda Aceh, Indonesia, and Nam Khem, Thailand*. Marine Geology, 242, 1-3, 141-153.
- VÖTT A., BRÜCKNER H., MAY S.M., SAKELLARIOU D., NELLE O., LANG F., KAPSIMALIS V., JAHNS S., HERD R., HANDL M. & FOUNTOULIS I. (2009b) - *The Lake Voukaria (Akarania, NW Greece) palaeoenvironmental archive – a sediment trap for multiple tsunami impact since the mid-Holocene*. Zeitschrift für Geomorphologie, N.F., Suppl.-Bd., 53, 1-37.
- VÖTT A., BRÜCKNER H., BROCKMÜLLER S., HANDL M., MAY S.M., GAKI-PAPANASTASSIOU K., HERD R., LAN, F., MAROUKIAN H., NELLE O. & PAPANASTASSIOU D. (2009a) - *Traces of Holocene tsunamis across the Sound of Lefkada, NW Greece*. Global Planetary Change, 66, 112-128.
- VÖTT A., BRÜCKNER H., MAY S.M., LANG F. & BROCKMÜLLER S. (2007) - *Late Holocene tsunami imprint on Actio headland at the entrance to the Ambrakian Gulf*. Méditerranée, 108, 43-57.
- VÖTT A., BRÜCKNER H., MAY S.M., LANG F., HERD R. & BROCKMÜLLER S. (2008) - *Strong tsunami impact on the Bay of Aghios Nikolaos and its environs (NW Greece) during Classical-Hellenistic times*. Quaternary International, 181, 105-122.
- VÖTT A., MAY S.M., BRÜCKNER H. & BROCKMÜLLER S. (2006) - *Sedimentary evidence of late Holocene tsunami events near Lefkada Island (NW Greece)*. Zeitschrift für Geomorphologie, N.F., Suppl.-Bd., 146, 139-172.