

I TERRAZZI MARINI NELL'AREA DI CAPO VATICANO (ARCO CALABRO): SOLO UN RECORD DI SOLLEVAMENTO REGIONALE O ANCHE DI DEFORMAZIONE COSISMICA?

Luigi Cucci & Andrea Tertulliani

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Sismologia e Tettonofisica,
Via di Vigna Murata, 605 - 00143 Roma
E-mail: cucci@ingv.it, tertul@ingv.it

RIASSUNTO: Cucci L. & Tertulliani A., *I terrazzi marini nell'area di capo vaticano (Arco Calabro): solo un record di sollevamento regionale o anche di deformazione cosismica?* (IT ISSN 0394-3356, 2006).

In questo lavoro presentiamo uno studio di dettaglio dei terrazzi nell'area di Capo Vaticano (Calabria tirrenica), insieme ad una revisione del piano quotato del terremoto del 1905.

Il campo macrosismico rivisitato conferma che le massime intensità sono state raggiunte in un'area estesa fra Vibo Valentia e Capo Vaticano per un evento di magnitudo $M=6.8\pm 0.2$; la più probabile struttura sismogenetica responsabile dell'evento è una faglia di dimensioni 36×14 km e direzione 80° (faglia "macrosismica").

Lo studio dei terrazzi ha invece messo in evidenza che l'area in studio è in sollevamento attivo da almeno 700.000 anni, che tale processo è in lieve ma progressivo aumento nel tempo, con tassi negli ultimi 124.000 leggermente inferiori a ~ 1 mm/anno, e che a settentrione di Capo Vaticano i terrazzi sono chiaramente tiltati verso Nord. Inoltre, le variazioni di quota osservate nelle paleolinee di riva a cavallo di una struttura tettonica ad andamento ONO-ESE indicano che tale struttura (faglia "geologica") è attiva da almeno 330.000 anni, con tassi verticali medi che variano negli ultimi 215.000 anni fra 0,12 e 0,16 mm/anno.

Per verificare quanto ognuna di queste due strutture fosse congruente con gli elementi geologici, topografici e macrosismici a disposizione, abbiamo calcolato il campo di deformazione indotto in superficie dall'azione della faglia "macrosismica" rispetto a quello della faglia "geologica". Il confronto qualitativo fra le deformazioni aspettate evidenzia una buona congruenza nella risposta della faglia "geologica" e rafforza l'ipotesi che a tale struttura possa essere associato l'evento del 1905, anche alla luce di recenti localizzazioni ipocentrali ottenute da inversione di registrazioni storiche.

ABSTRACT: Cucci L. & Tertulliani A., *The marine terraces in the area of Capo Vaticano (Calabrian Arc): only a record of regional uplift or even of coseismic deformation?* (IT ISSN 0394-3356, 2006).

The area of Capo Vaticano in western Calabria displays a well-developed suite of marine terraces. This same region was hit in 1905 by one of the strongest - and still poorly cleared - earthquakes of the instrumental era.

Our revision of the intensity map of the event confirms the location of the most damaged area (between Vibo Valentia and Capo Vaticano) and indicates that the most likely source is a $N80^\circ$ -trending, $36(L)\times 14(W)$ km structure with a macroseismic magnitude $M=6.8\pm 0.2$.

A detailed study of the marine terraces shows that sustained uplift has been the long-term dominant process of tectonic deformation in this area over the past 700 kyr, with an average long-term uplift rate slightly less than 1.0 mm/yr, and that terraces are tilted northward. Moreover, the four lowest paleoshorelines are displaced by a WNW-ESE trending fault, that indicates that the fault is active in the last 215,000 years with mean vertical slip rates of 0.12-0.16 mm/yr.

Finally, we perform a qualitative comparison between the set of geological, topographic and macroseismic data available and the expected deformation fields induced by each of the afore-mentioned faults. It is therefore suggested that the good response of the WNW-trending fault strengthens the hypothesis of this structure as the source of the 1905 earthquake.

Parole chiave: terrazzi marini - Arco Calabro - sismicità - Capo Vaticano.

Keywords: marine terraces - Calabrian Arc - seismicity - Capo Vaticano.

INTRODUZIONE

L'area di Capo Vaticano nella provincia calabrese di Vibo Valentia fu colpita cento anni fa da uno dei più forti, ma poco chiariti, terremoti italiani del secolo passato, che produsse gravi danni in una vasta zona della Calabria centrale, con massimo risentimento lungo la costa tirrenica fra Lametia e Nicotera. Nonostante la sua energia ($M_w=7.1$; Gruppo di Lavoro CPTI (2004); $M_s=7.5$ MARGOTTINI *et al.*, (1993); I=X-XI MCS), la sorgente dell'evento dell'8 Settembre 1905 è ancora dibattuta, poiché gli Autori hanno proposto diversi epicentri sia a mare che a terra, senza associarli in modo univoco a faglie sismogenetiche conosciute.

In questa stessa area è ben visibile una notevole sequenza di terrazzi marini, che sono uno degli effetti

più spettacolari del sollevamento Quaternario lungo le coste dell'Arco Calabro. Antiche linee di riva sollevate sono presenti in tutta la regione sia lungo la costa tirrenica (Fuscaldo, Amantea, Capo Vaticano), che lungo quella ionica (Sibari, Crotona) così come lungo le coste dello stretto di Messina.

In questo lavoro presentiamo uno studio di dettaglio dei terrazzi nell'area di Capo Vaticano, lungo un tratto di ~ 60 km di costa, insieme ad una revisione degli effetti del terremoto del 1905. Confrontiamo quindi i dati geologici di sollevamento e deformazione locale evidenziati dai terrazzi marini con lo scenario del terremoto desunto dalle osservazioni macrosismiche, per cercare di valutare l'attività di alcune strutture tettoniche e di verificarne la compatibilità con l'evento del 1905.

GEOLOGIA E SISMOTETTONICA

Il promontorio di Capo Vaticano è un alto strutturale localizzato nella parte centrale dell'Arco Calabro, in un'area chiave per comprendere alcuni processi direttamente connessi alla subduzione di litosfera oceanica ionica nel piano di Benioff del Tirreno meridionale. Ad esempio, il probabile detachment dello *slab* in subduzione (SPAKMAN *et al.* 1993; WESTAWAY, 1993; HYPPOLITE ET AL. 1994; GVIRTZMANN & NUR, 1999) o l'arretramento dello *slab* stesso (MALINVERNO & RYAN, 1986; GIUNCHI *et al.* 1996; MELETTI *et al.* 2000; BARBERI *et al.* 2004) sono alternativamente proposti dagli Autori come responsabili dell'estensione attiva instauratasi perpendicolarmente alla catena e del rapido sollevamento dell'Italia Meridionale (GIGNOUX, 1913; BOUSQUET, 1973; BROGAN *et al.* 1975; AÏFA *et al.* 1988; WESTAWAY, 1993; BORDONI & VALENSISE, 1998; FERRANTI *et al.* 2006).

Il basamento cristallino che costituisce l'ossatura del promontorio di Capo Vaticano è rappresentato da

graniti, gneiss e quarzofilliti, coperti da affioramenti discontinui di carbonati miocenici-pleiocenici e da depositi terrigeni. In tutta l'area di studio e a diverse quote affiorano diffusamente depositi terrazzati marini pleistocenici a luoghi ricoperti da un sottile velo di sedimenti continentali recenti ed attuali.

La storia Quaternaria dell'area di Capo Vaticano ricalca dunque piuttosto fedelmente quella dell'intero Arco Calabro, con l'instaurarsi di un regime estensionale sin dal Pliocene superiore, caratterizzato dalla presenza di numerose faglie normali sia parallele (NE-SO) che perpendicolari (ONO-ESE) alla direzione generale dell'Arco stesso (Fig. 1). A partire dal Pleistocene medio, i processi estensionali sono stati accompagnati da un forte sollevamento regionale, di cui i numerosi terrazzi marini sono il principale e più spettacolare effetto sul paesaggio costiero.

Lo schema tettonico sopra descritto per le zone in affioramento si estende probabilmente anche *offshore*, lungo il basamento sommerso del promontorio, come

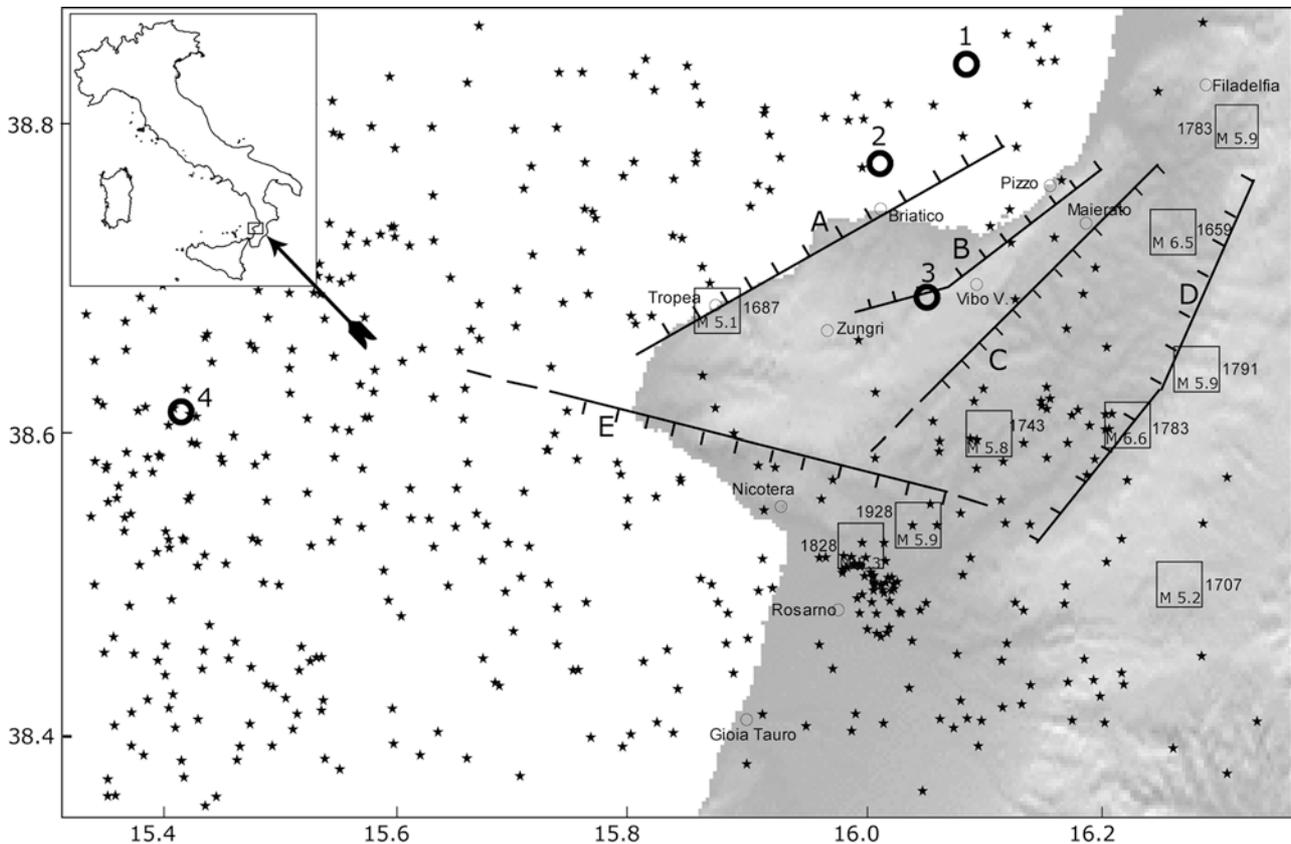


Fig. 1 - Mappa sismotettonica dell'area di Capo Vaticano.

La sismicità storica (quadrati neri) (217 BC–2002 AD, $M \geq 5.5$) è da CPTI (Gruppo di Lavoro CPTI, 2004); la sismicità strumentale (stelle nere) nel periodo 1981–2002 ($M \leq 4$) è da CASTELLO *et al.* (2004). I cerchi neri numerati da 1 a 4 indicano i diversi epicentri calcolati sulla base di dati macrosismici per l'evento del 1905 e proposti rispettivamente da 1) POSTPISCHL (1985); 2) CAMASSI & STUCCHI (1997); 3) Gruppo di Lavoro CPTI (2004), e sulla base di dati sismologici da 4) MICHELINI *et al.* (2005). Le strutture tettoniche principali (faglie da 'A' a 'E') sono da GALADINI *et al.* (2000), VALENSISE & PANTOSTI (2001), e TORTORICI *et al.* (2003). Non c'è uniformità di vedute fra i vari Autori sulla cinematica e/o sulla cronologia di tali strutture tettoniche.

Seismotectonic map of the Capo Vaticano area

Black squares indicate $M \geq 5.5$ historical earthquakes in the period 217 BC–2002 AD (Gruppo di Lavoro CPTI, 2004) and black stars indicate ($M \leq 4$) instrumental seismicity between 1981 and 2002 (CASTELLO *et al.* 2004). Black circles numbered 1 to 4 correspond to four different epicenters based on macroseismic data and suggested by 1) POSTPISCHL (1985); 2) CAMASSI & STUCCHI (1997); 3) Gruppo di Lavoro CPTI, (2004), and based on seismological data by 4) MICHELINI *et al.* (2005). Main tectonic structures (faults indicated by letters 'A' to 'E') are from GALADINI *et al.* (2000), VALENSISE & PANTOSTI (2001) and TORTORICI *et al.* (2003). Authors do not fully agree about kinematics and chronology of these lineaments.

suggerito da TRINCARDI *et al.* (1987) e da ARGNANI & TRINCARDI (1988) sulla base di profili sismici e dati batimetrici. Inoltre, CHIOCCI & ORLANDO (1996) descrivono terrazzi marini sommersi lungo la piattaforma continentale a 4-6 km dalla costa di Briatico e Vibo Marina (Fig. 1).

L'area in studio risulta caratterizzata da una sismicità relativamente sparsa e poco frequente (Fig. 1). Se si eccettua il grande terremoto del 1905, per il quale vengono proposti quattro differenti epicentri a riprova della incertezza associata a tale evento, il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI) riporta in zona solo un altro evento avvenuto nel 1928 ($M=6$, $I=VII-VIII$) lungo il bordo meridionale del promontorio. Altri terremoti storici, avvenuti fra il 1659 ed il 1783, pur avendo causato diffusi risentimenti nell'area studiata sono probabilmente ascrivibili all'attività di faglie localizzate nell'adiacente Graben del Mesima. Similmente, la sismicità strumentale nel periodo 1981-2002 è caratterizzata da eventi isolati e di bassa magnitudo; anche in questo caso, le uniche sequenze sismiche registrate (comunque con $M \leq 3.3$) sono localizzate nella stessa area dell'evento storico del 1928.

IL TERREMOTO DELL' 8 SETTEMBRE 1905

Il terremoto dell' 8 settembre 1905, pur essendo uno dei più forti eventi della storia sismica italiana, resta scarsamente chiarito, soprattutto per quello che riguarda la definizione di una sorgente di riferimento. Diversi furono gli studi coevi sul terremoto (i.e. BARATTA, 1906; MERCALLI, 1906; RIZZO, 1907) che proposero ipotesi "sismogenetiche" legate alle conoscenze dell'epoca, mentre in tempi più recenti gli studi hanno riguardato maggiormente la distribuzione degli effetti dalla quale è stato ricavato un epicentro macrosismico (POSTPISCHL, 1985; CAMASSI & STUCCHI, 1997; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004). L'unica magnitudo calcolata da dati strumentali conosciuta è di MARGOTTINI *et al.*, (1993) $M_s=7.5$, mentre quella di derivazione macrosismica è $M_w=7.1$ (Gruppo di Lavoro CPTI, 2004).

GALLI & BOSI (2002) sono gli unici che hanno tentativamente associato un epicentro *onshore* dell'evento ad una struttura ben definita, la faglia di Monte Poro (faglia 'E' in Fig. 1). Il maremoto conseguente al terremoto è stato modellato da PIATANESI & TINTI (2002) su alcune faglie note in letteratura, senza risultati definitivamente attendibili. Le due faglie, i cui parametri sono risultati i più vicini al modello numerico risultano quella di Capo Vaticano e quella di Vibo Valentia (faglie 'A' e 'B' in Fig. 1), anche se la sorgente del maremoto, secondo gli autori andrebbe cercata più ad ovest.

Per raccogliere ulteriori elementi utili alla valutazione di ipotesi interpretative sulla sorgente del terremoto è stata avviata la revisione degli effetti dovuti all'evento. Il piano quotato di partenza è quello presente sul CFTI (BOSCHI *et al.* 1995). Scopo di questa parte del lavoro è stato quello di revisionare il piano quotato a partire dalle descrizioni degli effetti su fonti coeve all'evento, privilegiando i lavori tecnico-scientifici (BARATTA, 1906; MERCALLI, 1906; RIZZO, 1907). In seconda istanza sono state consultate le cronache locali (COTRONEO, 1906) e giornalistiche (MALAGODI, 1905) ed alcune storie locali (PUGLIESE, 1996; KOSTNER, 2002) pubblicate di recente. Parte della ricerca è stata svolta sul posto al

fine di recuperare materiali inediti, soprattutto di tipo iconografico e urbanistico (Fig. 2). L'insieme delle informazioni raccolte, incrociato con una rilettura critica delle fonti, ha portato in diversi casi a modificare l'intensità proposta in BOSCHI *et al.* (1995), soprattutto in zone maggiormente discoste dall'area più colpita, dove, per molte località, l'intensità al sito è risultata essere più contenuta. Sono stati anche corretti errori di localizzazione di alcuni punti di intensità presenti in BOSCHI *et al.* (1995).

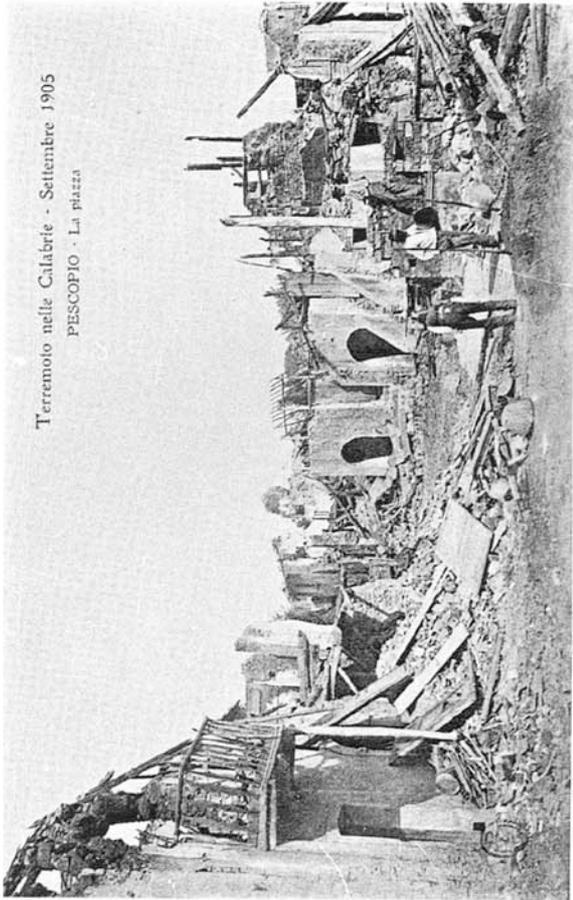
In particolare viene abbassata da X-XI a X l'intensità massima che viene assegnata a diverse località nell'area intorno a Monteleone (attuale Vibo Valentia). Gli effetti risultarono particolarmente distruttivi su molte piccole località site all'interno del promontorio, dove si concentrano quasi tutte le intensità più elevate. C'è da rilevare che in questa zona, diversamente che sulla costa, l'edilizia era particolarmente povera e quindi vulnerabile, come riscontrato direttamente su alcuni edifici superstiti e come già evidenziato da BARATTA (1906) all'epoca del terremoto. Vi è inoltre da considerare la presenza di probabili effetti di sito che hanno aggravato l'impatto del terremoto, spesso in aree lontane dalla zona di massima intensità (a questo proposito vedi MERCALLI, 1906; MUCCIARELLI, 2005).

Il riesame dei punti di intensità è stato effettuato allo scopo di poter utilizzare l'algoritmo Boxer (GASPERINI *et al.* 1999) per il calcolo di localizzazione, dimensioni e orientamento della sorgente. Lo stesso codice Boxer usa, per il calcolo della magnitudo momento (M_w), il metodo di GASPERINI & FERRARI (1995), basato sulla relazione di WELLS & COOPERSMITH (1994) per quanto riguarda l'ipotesi sulla dimensione della rottura. Entrambe le procedure necessitano di un set di dati macrosismici il più affidabile possibile. Poiché in linea di massima la distribuzione delle intensità più elevate è legata alle caratteristiche della sorgente, il calcolo dei parametri di faglia è stato effettuato usando i punti con $I \geq VIII-IX$, pienamente in accordo con quanto suggerito da GASPERINI *et al.* (1999). Il risultato (Fig. 3) ci mostra una struttura 36×14 km orientata circa N800 (± 210). La soluzione pone l'epicentro del terremoto a 38.68 N - 16.03 E, con M_w pari a 6.8 ± 0.2 .

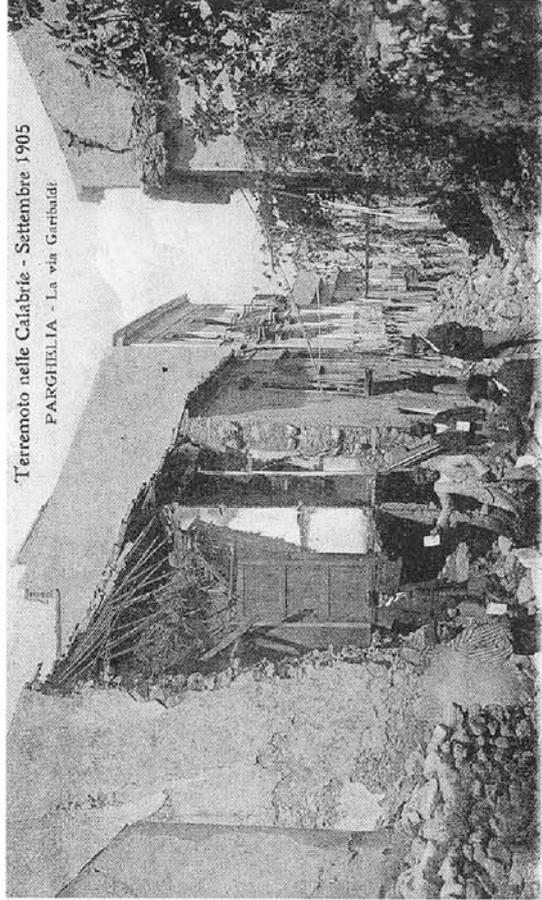
La soluzione epicentrale è fortemente vincolata a terra dalla distribuzione dei punti di intensità, per cui non si può in questa fase escludere che l'origine del terremoto dell'8 settembre 1905 possa essere al largo della costa di Capo Vaticano.

I TERRAZZI MARINI

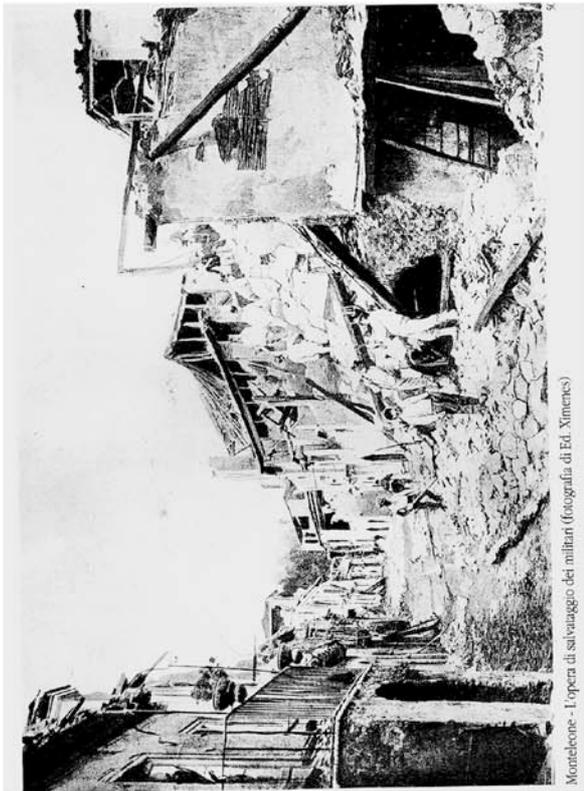
I terrazzi marini, visibili fino a quote di diverse centinaia di metri sul livello del mare nell'area di Capo Vaticano così come in gran parte del territorio calabrese, rappresentano la testimonianza fossile di antichi episodi di abrasione marina. Queste forme del paesaggio, se datate, sono indicatori molto precisi dei tassi di deformazione verticale, poiché ogni terrazzo rappresenta la traccia di un dato regionale incisa nel paesaggio durante una risalita eustatica che culmina con un *highstand* (alto picco eustatico interglaciale). Pertanto, se si riesce a datare uno o più terrazzi all'interno di una sequenza (assumendo che ogni paleolinea di riva sia associabile ad uno dei principali *highstands* della curva



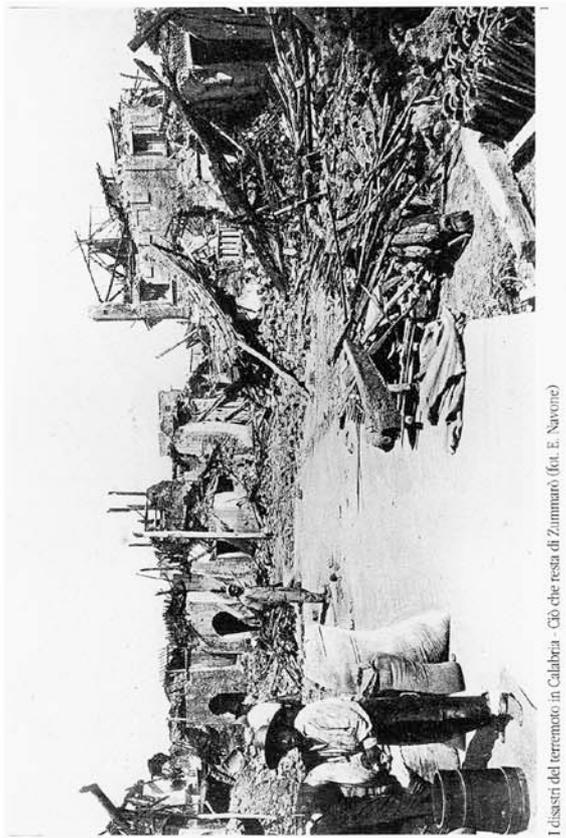
b



d



a



c

Fig. 2 - In figura sono mostrati alcuni esempi degli effetti disastrosi del terremoto sulle località del Vibonese. Le immagini, prese dal libro di PUGLIESE (1997), sono anche rappresentative delle tipologie edilizie, molto povere, in uso all'epoca nella zona del terremoto. a) Vibo Valentia (ex Monteleone); b) Piscopio; c) Zammarò; d) Parghelia.
 Some photos about the disastrous effects of the earthquake. In the photos the poor quality of buildings is clearly visible. a) Vibo Valentia (ex Monteleone); b) Piscopio; c) Zammarò; d) Parghelia. The photos are from the book of PUGLIESE (1997).

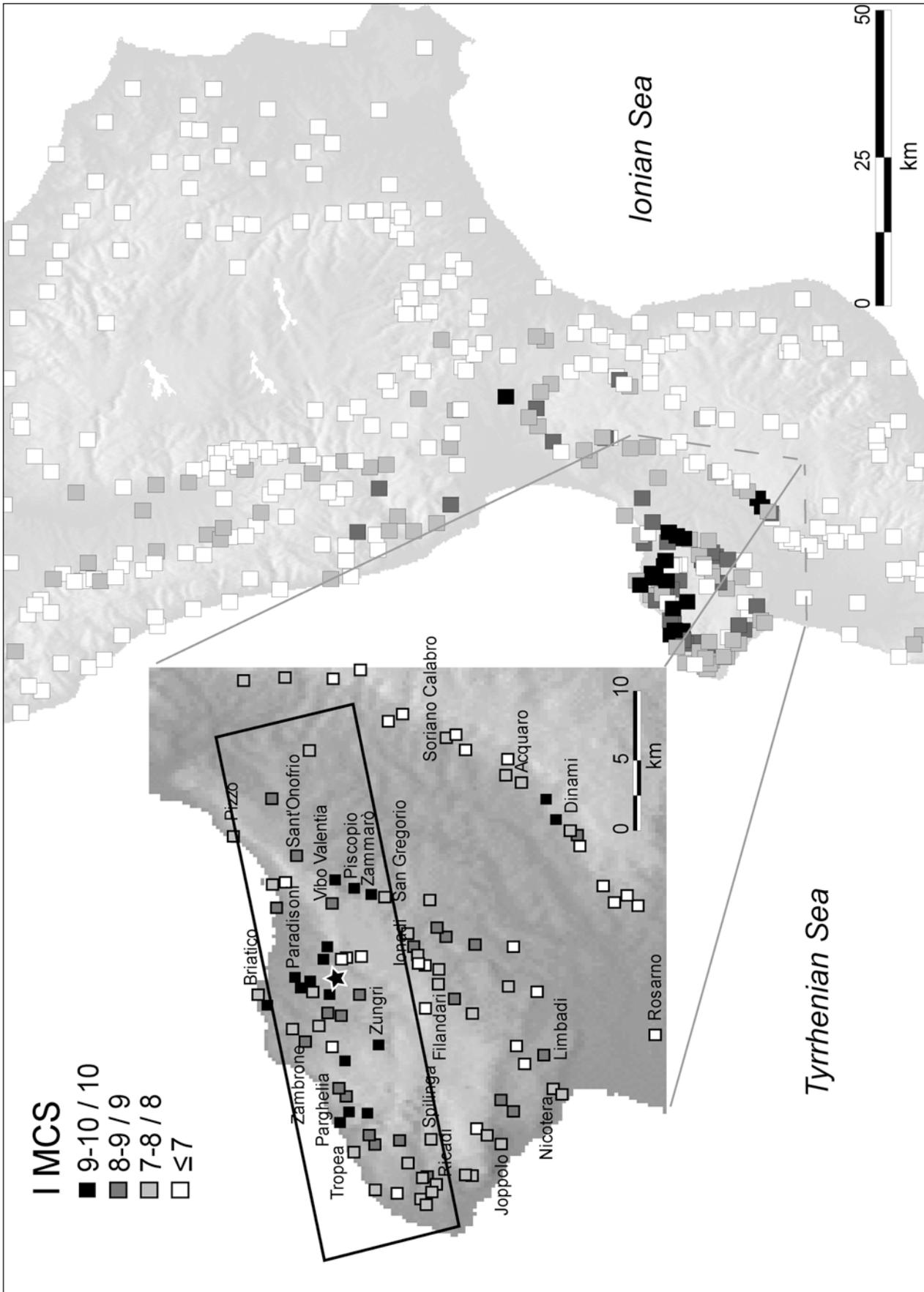


Fig. 3 - In figura viene mostrato il settore centrale del piano quotato del terremoto dell'8 settembre 1905. Nel riquadro è riportato il dettaglio dell'area di massima intensità. La scala delle intensità è la stessa per le due figure. Il rettangolo visibile in figura rappresenta la sorgente di riferimento come ottenuta dal programma Boxer (GASPERINI et al., 1999). La stella indica l'epicentro calcolato dal medesimo codice. Per l'inversione sono stati usati i punti di intensità $\geq 8-9$. *The intensity scale for the two figures is the same. We also indicate the solution of the source model with a solid box, and the macroseismic epicentre with the black star, both computed by the Boxer code (GASPERINI et al., 1999). Only intensities $\geq 8-9$ were used to compute the intensity data map of the September 8, 1905 earthquake; we also show a zoom of the epicentral area. The intensity scale for the two figures is the same. We also indicate the solution of the source model with a solid box, and the macroseismic epicentre with the black star, both computed by the Boxer code (GASPERINI et al., 1999). Only intensities $\geq 8-9$ were used to compute the intensity data map. The solution shown is obviously constrained by the intensity data set, that partially represents the attenuation field of the event, elongated on the coast.*

eustatica) è possibile ricostruire con grande accuratezza la storia dei sollevamenti della regione costiera in esame, nonché cercare di separare gli effetti del sollevamento regionale da quelli della deformazione locale imposta dalla vicinanza di faglie attive.

I terrazzi di Capo Vaticano sono già stati investigati da alcuni Autori, con risultati ed interpretazioni anche profondamente discordanti. A titolo di esempio, DUMAS *et al.* (1987) individuano almeno 25 paleolinee di riva Pleistoceniche e suggeriscono che il sollevamento differenziale osservato nel settore settentrionale è in qualche modo connesso all'attività della faglia 'B' in Figura 1. WESTAWAY (1993) riconosce solo cinque terrazzi pleistocenici, sollevati uniformemente al tasso di 1 mm/anno e deformati ad un ulteriore tasso di 0.05 mm/anno dalla faglia 'A' (Fig. 1). Al contrario, MIYAUCHI *et al.* (1994)

descrivono almeno 12 ordini di terrazzi, sollevati a tassi oscillanti fra 0,3 e 1,0 mm/anno a causa dell'alternarsi di "doming uplift" e di "regional uplift", che costituiscono anche l'unica causa di deformazione nell'area. Infine, TORTORICI *et al.* (2003) riconoscono sei terrazzi completi (più una superficie superiore) e ricostruiscono, esclusivamente sulla base di datazioni TL, sollevamenti compresi fra 0,9 e 4,0 mm/anno, attribuendo la differenza tra questi due valori a deformazione tettonica locale, in gran parte lungo la faglia 'E' di Fig. 1.

Nel presente lavoro, la ricostruzione dei terrazzi è stata ottenuta tramite interpretazione aerofotogrammetrica, analisi di carte topografiche alla scala 1:10.000, ed osservazioni di campagna; l'errore associato alle quote rilevate è di ± 5 m. Margini interni e superfici terrazzate così mappati sono stati correlati morfologica-

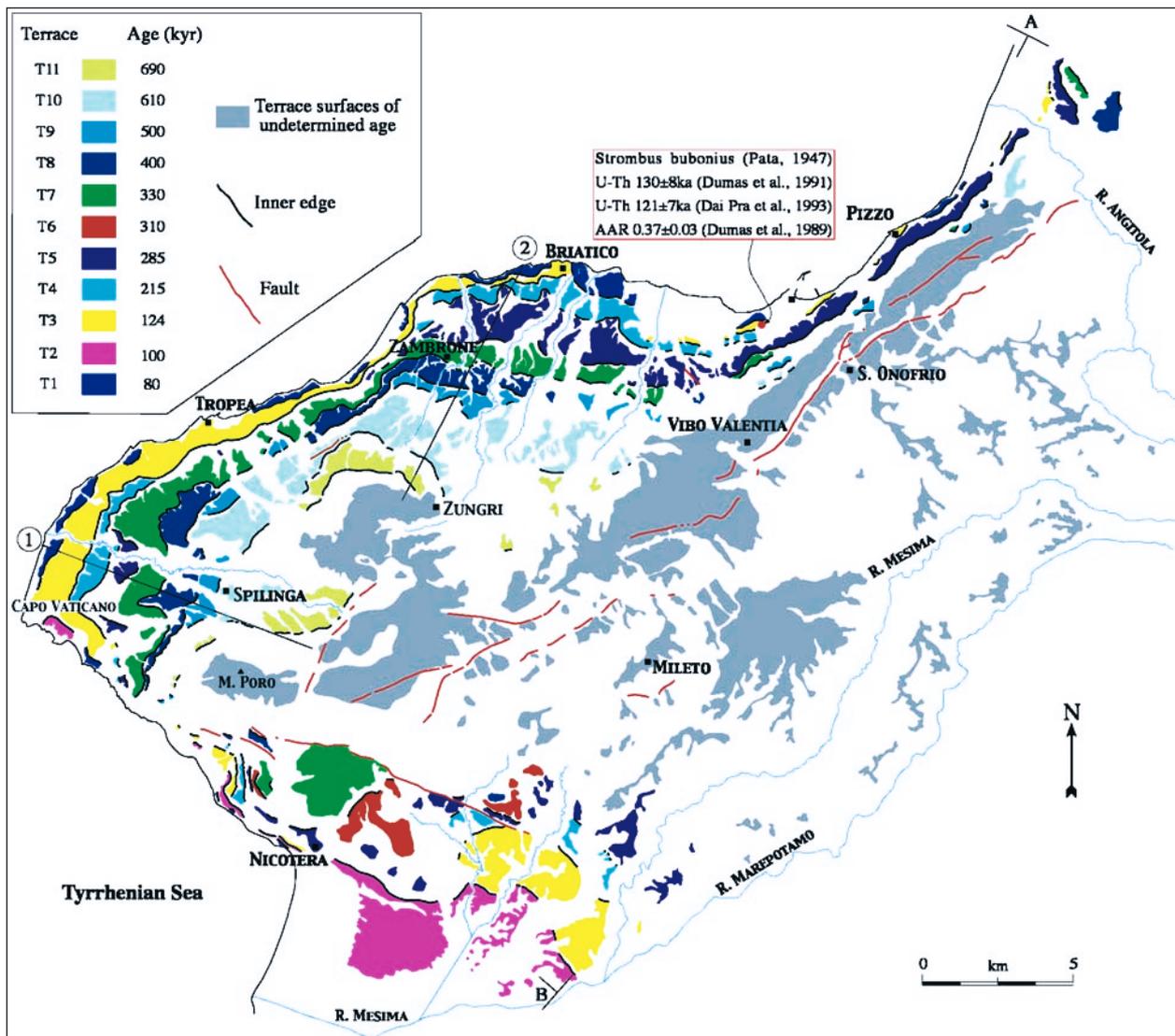


Fig. 4 - Mappa dei margini interni e delle superfici terrazzate cartografate nell'area in studio in base alle foto aeree ed al rilevamento di campagna. I terrazzi sono numerati in ordine crescente di quota. L'attribuzione cronologica dei terrazzi è basata sulla correlazione con i picchi interglaciali della curva eustatica di WAELBROECK *et al.* (2002). Vengono anche riportati gli estremi A-B del profilo altimetrico di Figura 5 e le tracce dei profili topografici 1 e 2 di Figura 6.

Map of the marine terraces (#1 to #11, lowest to highest) that contour the study area; different colours are associated with the wave-cut platforms and black thick lines mark the inner edges. The age of the terraces is based on the correlation with the interglacial peaks of the eustatic curve by WAELBROECK *et al.* (2002). Black segments marked by "1" and "2" indicate the traces of the topographic profiles in Figure 5; letters "A" and "B" indicate the tips of the profile in Figure 6.

mente, basandosi sulla continuità laterale dei terrazzi meglio conservati e sulla spaziatura verticale fra interfluvii adiacenti. Questo processo ha portato all'identificazione di 11 terrazzi marini principali (ordinati da T1 a T11 per quote crescenti, Fig. 4), con quote comprese fra 20 e 575 metri slm. Le piattaforme di abrasione marina possono essere incise sia direttamente sul basamento metamorfico Paleozoico, sia su depositi marini Plio-Pleistocenici. I depositi di terrazzo consistono in sabbie e arenarie marine a contenuto fossilifero quasi sempre scarso. Le superfici terrazzate sono generalmente ben preservate (Fig. 5); i margini interni ad esse associati, spesso chiaramente riconoscibili per chilometri, sono coperti localmente da un sottile strato di depositi colluviali. A causa di una più prolungata degradazione subaerea i terrazzi più alti e vecchi sono morfologicamente meno evidenti, mentre la superficie sommitale affiorante fino alla quota di ~700 metri appare più profondamente erosa e priva di margine interno.

L'andamento delle quote dei margini interni dei terrazzi su un piano verticale parallelo alla linea di costa (Fig. 6) è piuttosto variabile. È evidente un incremento delle altezze procedendo verso SO, fino alla progressiva km 40 del profilo. Il gradiente locale di sollevamento differenziale aumenta procedendo verso i terrazzi più antichi e sollevati, a testimonianza di un processo prolungato nel tempo e tuttora in atto, mentre il progressivo aumento del tasso di basculamento (rapporto fra gradiente locale ed età del singolo terrazzo) in senso inverso è indicativo di un aumento, seppur modesto, delle velocità di sollevamento. A Sud di Capo Vaticano (km 40-45) i terrazzi raggiungono la massima altezza sul livello del mare, mentre il sollevamento differenziale si annulla. Si osservano, inoltre, due zone con evidenti anomalie nell'andamento sub-orizzontale dei terrazzi, alle progressive km 18-23 e km 45-50.

La ricostruzione della storia dei sollevamenti nell'area studiata si basa sulla revisione critica di una serie di datazioni disponibili in letteratura (vedi box in Fig. 4). La datazione-correlazione chiave è quella di Vibo Marina, dove T3 è stato associato al picco dell'ultimo interglaciale (MIS 5.5, ~124 ka), sulla base di una robusta convergenza di: a) la presenza di *Strombus bubonius* nel deposito terrazzato (Pata, 1947); b) due datazioni radiometriche U-Th indipendenti effettuate su

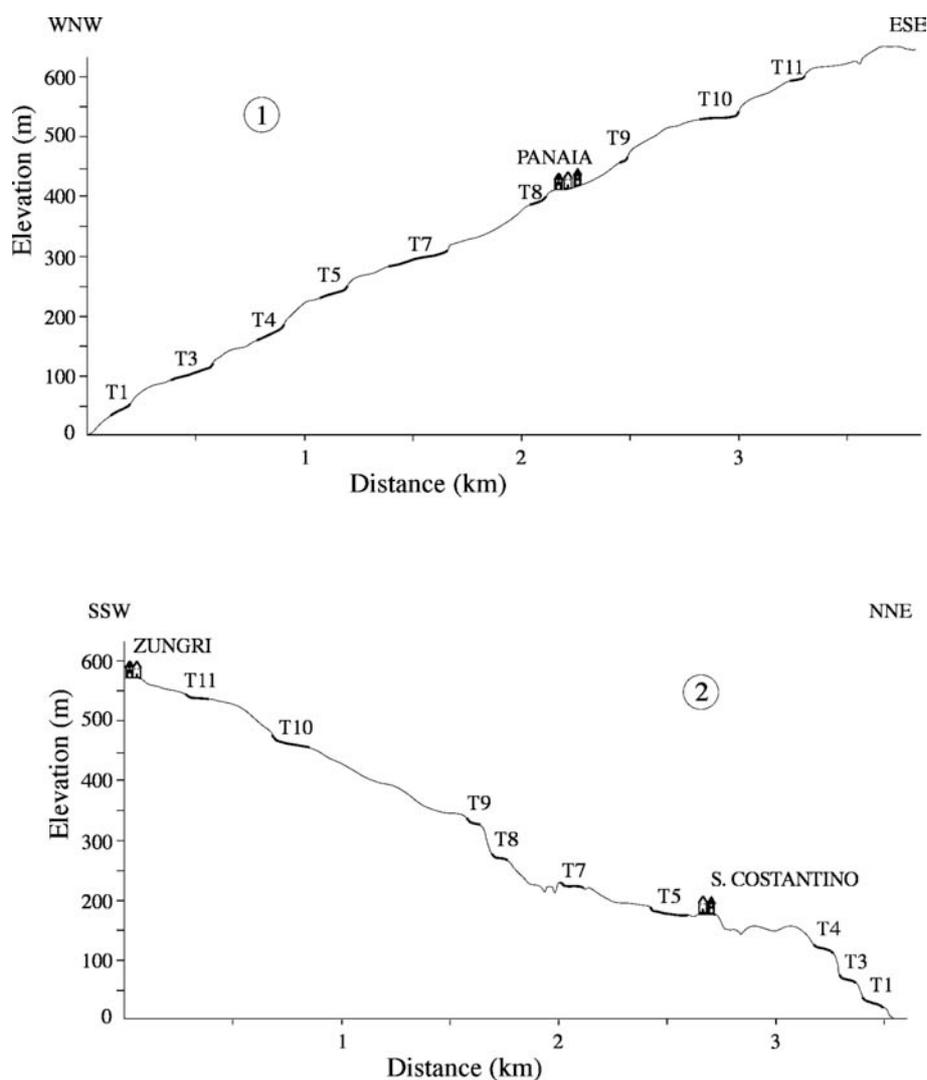


Fig. 5 - Profili topografici lungo due sezioni rappresentative dell'area in studio (vedi Fig. 4 per la localizzazione delle sezioni). I segmenti più spessi marciano le superfici di terrazzo. La scala verticale è esagerata 3x.

Topographic profiles along two sections representative of the area (see Fig. 4 for location of the sections). Thicker lines mark the different terrace surfaces. Vertical exaggeration of both profiles is 3x.

campioni di *Cladocora caespitosa* da DUMAS *et al.* (1991) e da DA PRA *et al.* (1993) con risultati omogenei (130.000 anni \pm 8.000 e 121.000 anni \pm 7.000, rispettivamente); c) una datazione AAR su *Glycymeris* che ha fornito un ratio di aminoacidi di 0.37 ± 0.03 (DUMAS *et al.* 1989), in accordo con un'età dell'ultimo interglaciale.

A conferma della correlazione T3-MIS 5.5 c'è l'osservazione che all'*highstand* più pronunciato e prolungato nel tempo corrisponde il terrazzo morfologicamente più sviluppato e continuo della zona.

Sulla base delle evidenze citate la Figura 7 suggerisce che la storia dei sollevamenti nell'area può essere tracciata a ritroso nel tempo fino a circa 600-700.000 anni fa, con la formazione e la successiva emersione dei due terrazzi superiori (T10 e T11), per i quali comunque esiste un margine di incertezza più ampio. Per quanto riguarda la genesi della superficie sommitale, essa è presumibilmente di età Siciliana inferiore (~1 Ma) sulla base della presenza di *Globorotalia truncatulinoides*.

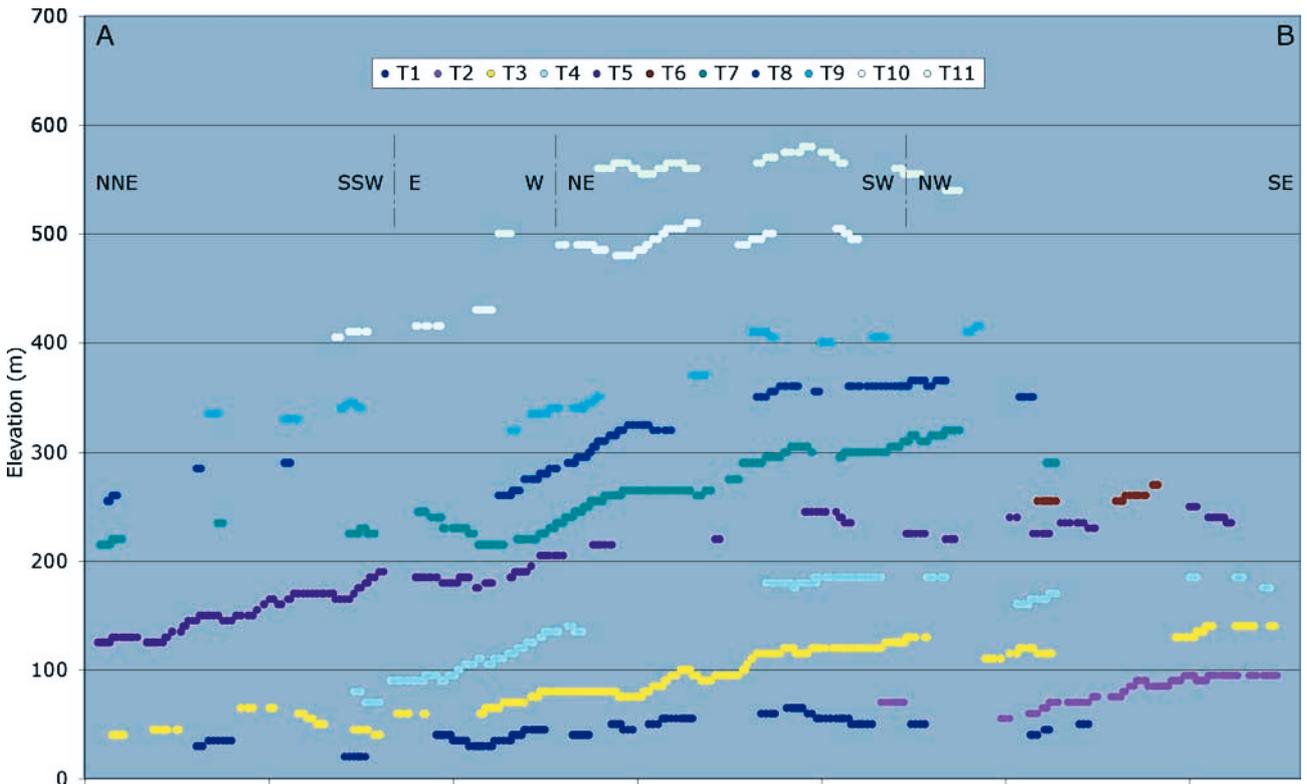


Fig. 6 - Andamento altimetrico delle linee di riva lungo una sezione parallela alla costa. I colori corrispondono a quelli di Figura 4. *Elevation profile of inner edges (black thick lines) and wavecut platforms (coloured areas, same colors of Fig. 4) along a vertical section parallel to the coast.*

des excelsa nei depositi ad essa associati (MIYAUCHI *et al.* 1994). Pur mancando evidenze di brusche variazioni nei tassi di sollevamento calcolati per ogni intervallo di tempo fra due terrazzi consecutivi, tale processo sembra in lieve ma progressivo aumento nel tempo, con velocità medie che passano da ~0.79 mm/anno (calcolate nel periodo 0.7-0.5 Ma) a ~0.93 mm/anno (a partire dal picco dell'ultimo interglaciale). In particolare, i valori illustrati in Figura 7 sono riferiti alla zona di Capo Vaticano, dove le paleolinee di riva raggiungono le massime quote nell'area in studio e dove la sequenza di terrazzi è presente quasi al completo.

Più in generale, lo studio dei terrazzi marini in quest'area mette in luce un inizio del processo di sollevamento a 0.7-1.0 Ma e velocità medie leggermente inferiori a 1 mm/anno. Tali caratteristiche sono pienamente confrontabili con quelle osservate lungo i ~200 km di Arco Calabro che vanno dalla Piana di Sibari a Nord all Stretto di Messina a Sud (vedi, fra gli altri: WESTAWAY, 1993; BORDONI & VALENSISE, 1998; CUCCI, 2004; FERRANTI *et al.* 2006).

A Sud di Capo Vaticano (fra le progressive km 45 e 50 di Fig. 4) le paleolinee di riva sono intersecate da una struttura tettonica ad andamento ONO-ESE (faglia 'E' in Fig. 1, "Coccorino Fault" o "Calimera Fault" Auct). Lo stato di attività di questa faglia è piuttosto dibattuto fra gli Autori, dato che alcuni la ritengono tuttora attiva dal Pleistocene superiore (MICHETTI *et al.* 2000; TORTORICI *et al.* 2003), altri le attribuiscono una generica attività durante il Quaternario (AMBROSETTI *et al.* 1987; MIYAUCHI *et al.* 1994), mentre DUMAS *et al.* (1987),

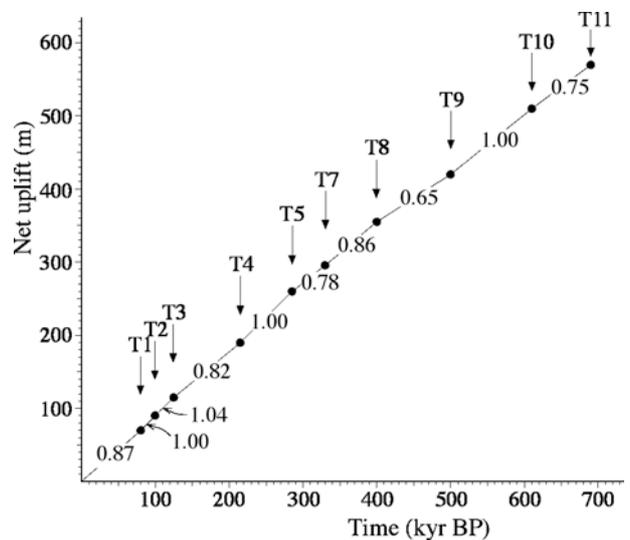


Fig. 7 - Il grafico mette in relazione il sollevamento netto delle paleolinee di riva a Capo Vaticano (quota di osservazione corretta per il paleolivello del mare all'epoca della formazione) con l'età corrispondente desunta dalla curva eustatica di WAELBROECK *et al.* (2002). Vengono anche indicati i tassi di sollevamento calcolati per ogni intervallo di tempo fra due terrazzi consecutivi.

*Relation between the net uplift of the paleoshorelines at Capo Vaticano, calculated as the observed elevation corrected for the altitude of the paleosea-level, and the corresponding ages from the sea-level curve by WAELBROECK *et al.* (2002). Figures indicate calculated uplift rates between adjacent couples of terraces.*

GALADINI *et al.* (2000) e VALENSISE & PANTOSTI (2001) la considerano inattiva o non la riconoscono.

A tale struttura è comunque associata una evidente scarpata morfologica di una decina di chilometri di lunghezza, la cui continuazione *offshore* per un tratto almeno altrettanto lungo è molto probabile dall'osservazione della batimetria (ARGNANI & TRINCARDI, 1988). Le paleolinee di riva appaiono chiaramente dislocate e la valutazione dell'entità delle dislocazioni permette di ricavare informazioni sull'attività di questa faglia. In Figura 8 evidenziamo la separazione verticale osservata sui quattro terrazzi inferiori con i corrispondenti tassi verticali medi a lungo termine attraverso la struttura tettonica, che oscillano fra 0.12 mm/anno e 0.16 mm/anno. Tassi verticali su periodi più brevi possono essere desunti dalla dislocazione netta calcolata su ogni coppia di paleolinee consecutive; gli *slip rates* verticali così ottenuti variano tra 0.04÷0.06 mm/anno (fra il MIS 9.3 ed il MIS 5.5 – da 330 ka a 124 ka) e 0.21÷0.25 mm/anno (fra il MIS 5.5 ed il MIS 5.1 – da 124 ka a 80 ka).

DISCUSSIONE

L'applicazione del codice Boxer (GASPERINI *et al.* 1999) al campo macrosismico revisionato del terremoto del 1905 mostra come la più probabile struttura sismo-

genetica responsabile dell'evento possa essere una faglia di dimensioni 36x14 km e direzione ~80°. Parallelamente, abbiamo anche visto come le variazioni altimetriche osservate lungo le paleolinee di riva attraverso la faglia 'E', la cui direzione è invece circa 100°, abbiano permesso di confermare che tale struttura è attiva. Per verificare quanto ognuna di queste due strutture sia congruente con gli elementi geologici, topografici e macrosismici a disposizione, abbiamo calcolato e posto a confronto il campo di deformazione indotto in superficie dall'azione della faglia ottenuta da Boxer (faglia "macrosismica") rispetto a quello della faglia osservata in campagna (faglia "geologica"). La modellazione, basata sulla teoria della dislocazione elastica ed eseguita con il codice 'Faultstudio' (BASILI, 2005) assume uno *slip* uniforme su faglie piane e rettangolari in un semi-spazio elastico (OKADA, 1985). Geometria e dimensioni delle due strutture sono vincolate in un caso dall'*output* del programma Boxer per la faglia "macrosismica", nell'altro dalle evidenze morfologiche e batimetriche già descritte, oltre che dall'alto valore di magnitudo associato all'evento del 1905. La Figura 9 mostra qualitativamente i risultati di questo test applicato a quattro differenti ipotetiche sorgenti sismogenetiche secondo il seguente criterio: una coppia di strutture tipo "macrosismica", in cui rimanendo costanti tutti gli altri parametri viene fatta variare solo la vergenza della

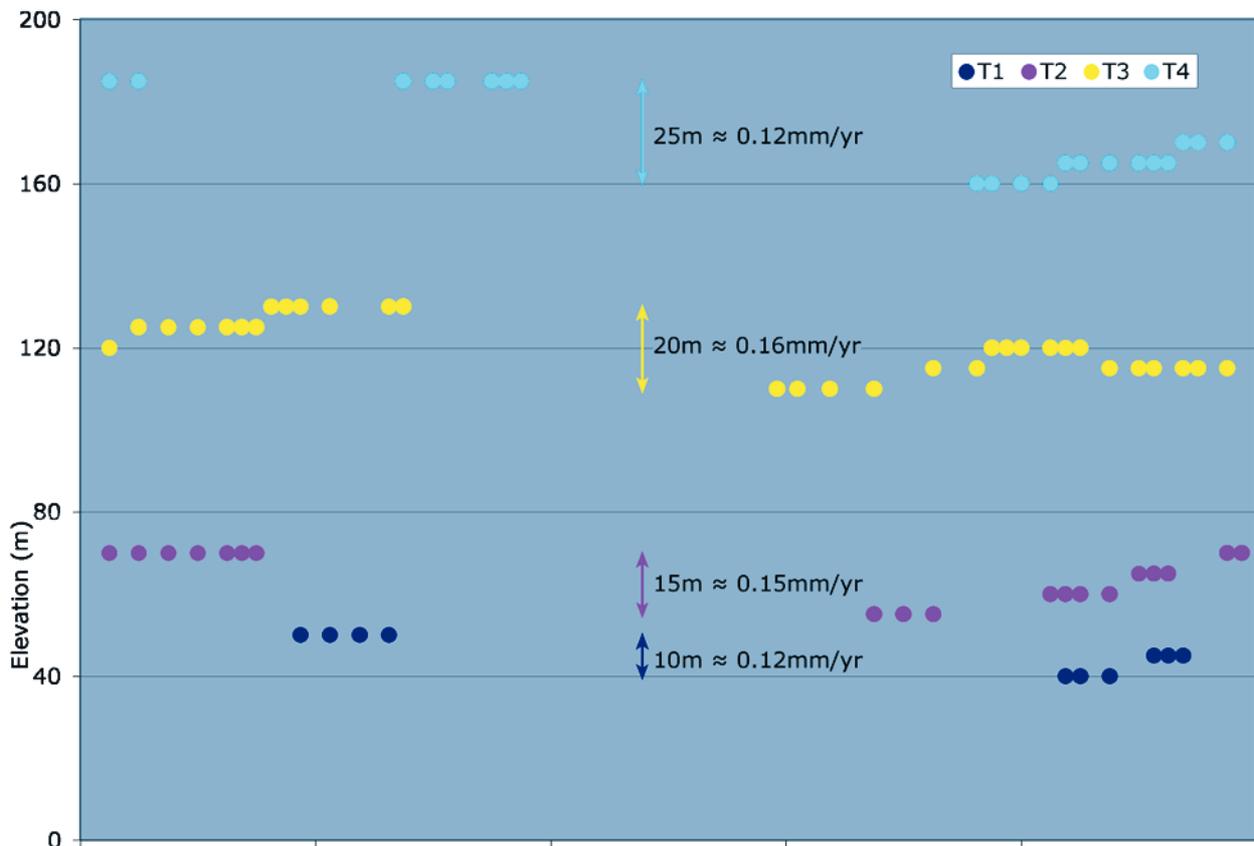


Fig. 8 - In questo ingrandimento fra le progressive km 43 e 53 di Figura 4 evidenziamo la dislocazione verticale delle quattro paleolinee di riva inferiori attraverso la faglia 'E'. Vengono anche indicati i corrispondenti tassi verticali medi a lungo termine attraverso la struttura tettonica, che oscillano fra 0.12 mm/anno e 0.16 mm/anno.

This zoom between km 43 and 53 of Figure 4 shows the vertical separation evidenced along the four lower paleoshorelines across fault 'E'. Long-term vertical slip rates across this structure range between 0.12 and 0.16 mm/yr.

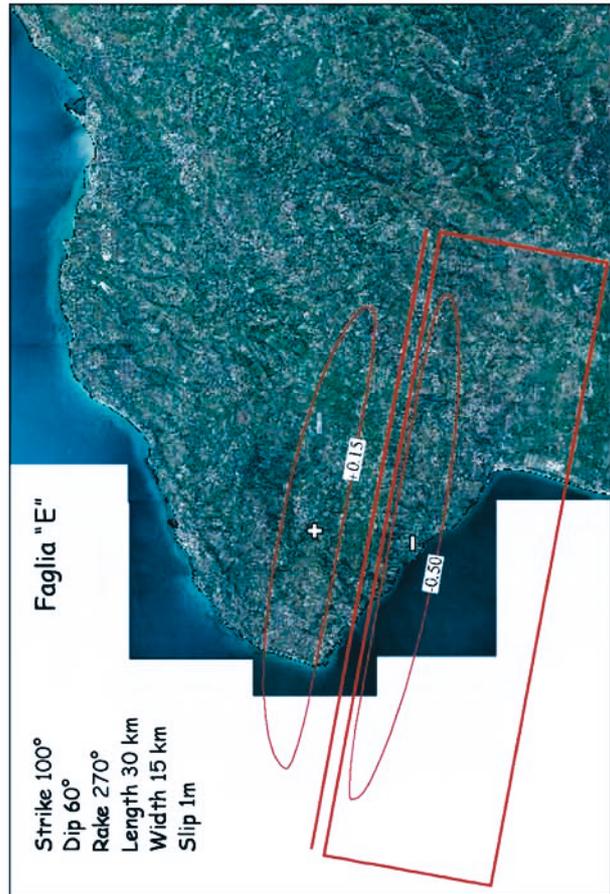
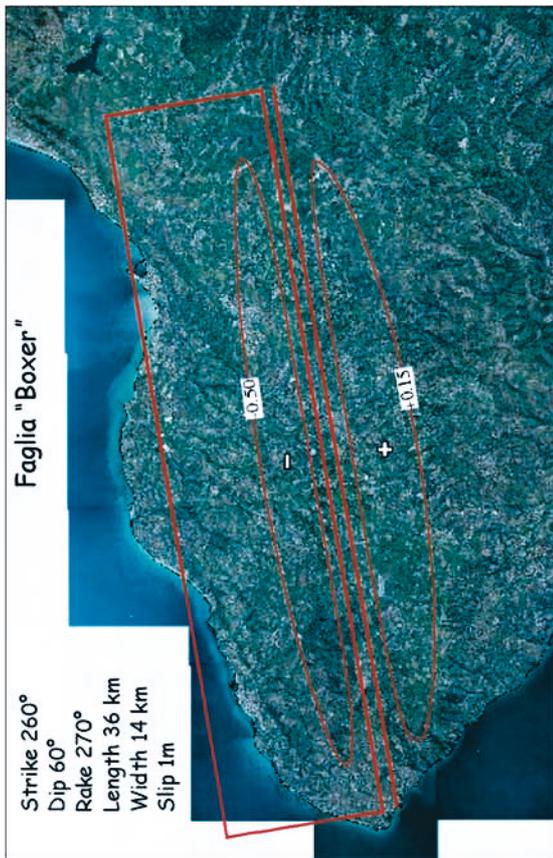
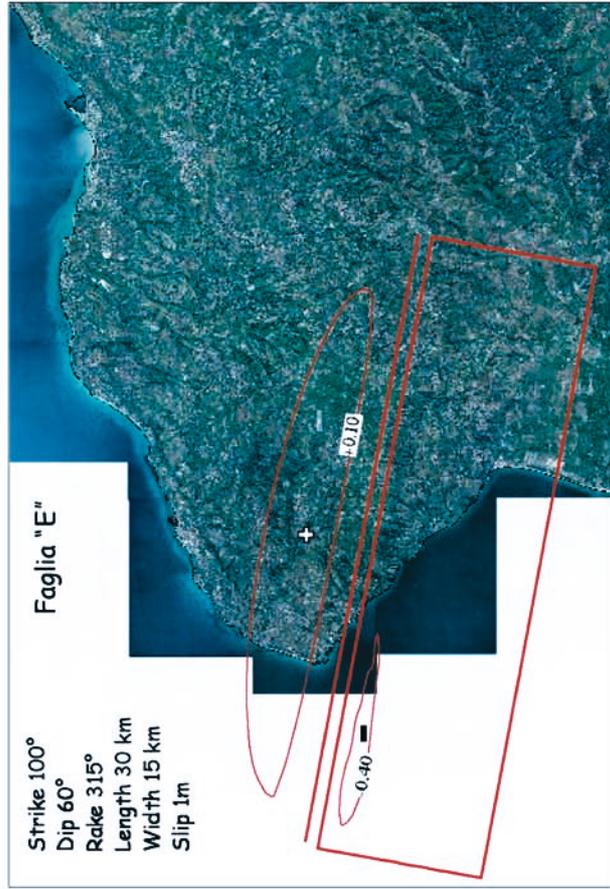
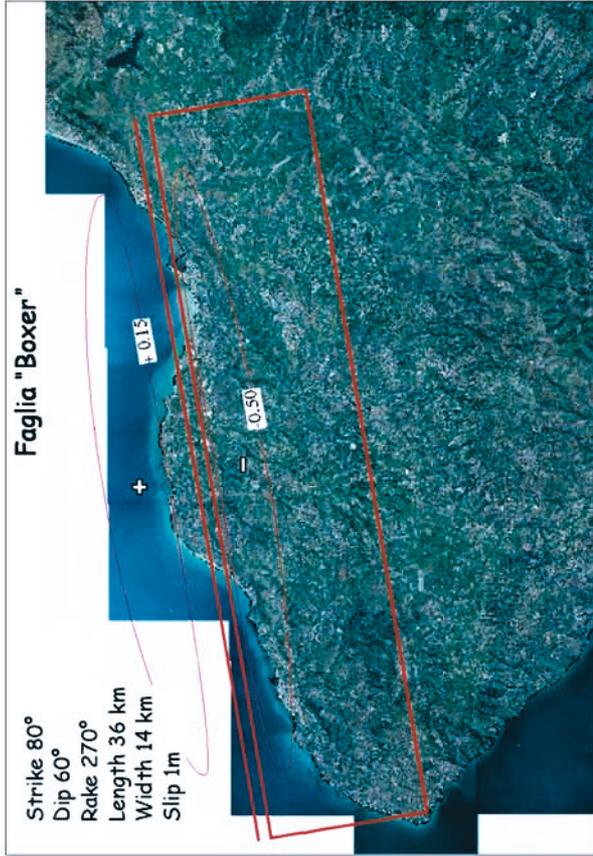


Fig. 9 - Variazioni altimetriche previste da modellazioni di faglie piane e rettangolari in un semi-spazio elastico. Per ogni modellazione riportiamo la zona di massimo sollevamento e subsidenza aspettati (espressi come frazione dello slip unitario), oltre alla proiezione verticale del piano di faglia ed alla sua intersezione con la superficie. *Modelling of expected vertical displacement (expressed as a fraction of the unitary slip) along planar faults embedded in an elastic half-space. We also show the cut-off line of the up-dip projection of the model fault and its surface projection.*

faglia (60° verso NNO o verso SSE, rispettivamente), dato che il programma "Boxer" non fornisce informazioni al riguardo; una coppia di strutture tipo "geologica" in cui, rimanendo costanti tutti gli altri parametri, viene fatta variare solo la cinematica della faglia (normale pura in un caso, transtensiva sinistra nell'altro). Per ogni modellazione la figura riporta la zona di massimo sollevamento e subsidenza aspettati (espressi come frazione dello *slip* unitario), oltre alla proiezione verticale del piano di faglia ed alla sua intersezione con la superficie.

Le due modellazioni relative alla faglia "Boxer" forniscono indicazioni piuttosto discordanti. Infatti, il campo di deformazione associato alla faglia Nord-vergente interessa marginalmente l'area di massima intensità, mentre la soluzione con il piano di faglia Sud-vergente è quella che meglio circoscrive all'interno dell'area a massimo gradiente di deformazione aspettato i punti di maggiore intensità osservate. Inoltre, la soluzione con la faglia Sud-vergente è quella che meglio giustifica la generazione di un maremoto, dato che produrrebbe deformazioni verticali apprezzabili nell'area che è stata effettivamente interessata dall'azione dello *tsunami* associato all'evento del 1905 (vedi anche PIATANESI & TINTI, 2002).

D'altro canto, nessuna delle due soluzioni "Boxer" sembra essere in accordo con le evidenze topografiche e/o geomorfologiche, dato che le aree di depressione allungata che esse produrrebbero non hanno riscontro con l'andamento reale della topografia, né tantomeno con l'andamento delle quote dei terrazzi marini.

Le due modellazioni ottenute con la faglia "geologica" forniscono indicazioni più omogenee. La soluzione con *rake* = 270° (faglia normale pura) produrrebbe un gradiente di deformazione simmetrico trasversalmente al piano di faglia, con una depressione piuttosto pronunciata al margine settentrionale della Piana di Gioia Tauro ed un più modesto sollevamento nella dorsale di Monte Poro. Questa soluzione conferma inoltre un elevato accordo fra campo di deformazione previsto ed andamento delle quote delle linee di riva, che verrebbero cosismicamente sollevate soprattutto nei dintorni di Capo Vaticano e subirebbero una vistosa subsidenza spostandosi verso Sud fino a Nicotera. La soluzione con *rake* = 315° (faglia normale con componente trascorrente sinistra) ricalca sostanzialmente quella appena descritta, all'infuori di un gradiente di deformazione leggermente meno 'piccato' nei valori assoluti e di un'area di massima subsidenza spostata in mare aperto, che però non ne modifica qualitativamente il confronto con le evidenze topografiche e geomorfologiche. Entrambe le soluzioni, infine, mostrano un accordo solo parziale con i dati macrosismici a disposizione, mentre produrrebbero deformazioni verticali vistose nell'area interessata dallo *tsunami* del 1905.

I dati geologici e macrosismici presentati in questo lavoro, nonché il loro confronto con le elaborazioni provenienti dalle modellazioni di sorgenti sismogenetiche, forniscono una serie di evidenze ed offrono lo spunto per la discussione di un numero di questioni ancora aperte.

Le evidenze sono: a) sono stati riconosciuti undici terrazzi marini principali; b) l'area di Capo Vaticano è in sollevamento attivo da almeno 700.000 anni, a velocità medie leggermente inferiori a ~1 mm/anno; c) il proces-

so di sollevamento sembra in lieve ma progressivo aumento nel tempo, con velocità medie che passano da ~0.79 mm/anno (fra 0.7 e 0.5 Ma) a ~0.93 mm/anno (ultimi 124 kyr); d) è evidente un fenomeno di *tilting* di terrazzi, con altezze delle paleolinee di riva progressivamente minori procedendo lungo la costa da Sud (Capo Vaticano) verso Nord (Pizzo). Il *tilting* diviene trascurabile a Sud di Capo Vaticano; e) le variazioni di quota osservate nelle paleolinee di riva a cavallo della faglia 'E' indicano che tale struttura è attiva da almeno 330.000 anni; f) i tassi verticali medi sulla faglia 'E' variano negli ultimi 215.000 anni fra 0.12 e 0.16 mm/anno. Ci sono evidenze di tassi verticali maggiori (fino a 0.25 mm/anno) relativi a periodi più brevi; g) il piano quotato rivisitato del terremoto del 1905 conferma che le massime intensità sono state raggiunte in un'area estesa fra Vibo Valentia e Capo Vaticano; h) la magnitudo macrosismica (M=6.8) conferma l'importanza dell'evento in termini energetici.

Le evidenze appena descritte possono altresì fornire un contributo importante nell'approccio della questione fondamentale riguardante il rapporto fra l'evento del 1905, la sua sorgente, e le faglie sismogenetiche nell'area. Abbiamo visto che i terrazzi marini forniscono una chiara indicazione sullo stato di attività recente della faglia 'E', anche se è probabile che tale struttura non sia l'unica attiva nell'area; abbiamo anche constatato come la faglia 'E', indipendentemente dal tipo di cinematica imposta (normale pura o con componente trascorrente), sia pienamente compatibile con la magnitudo dell'evento del 1905 (ed indirettamente anche con il dato di magnitudo ottenuto per via macrosismica), e produca deformazioni verticali vistose nell'area interessata dall'azione dello *tsunami* associato all'evento stesso. Se si considera che la modellazione del dato macrosismico fornisce indicazioni vincolanti soprattutto per le dimensioni della sorgente e che il più recente lavoro di rilocalizzazione del terremoto del 1905 ne colloca l'epicentro a mare (sebbene con un certo margine di errore) ad una ventina di chilometri ad Ovest di Capo Vaticano (MICHELINI *et al.* 2005), allora anche l'apparente scarso accordo fra deformazione teorica prodotta dalla faglia e campo macrosismico reale prodotto dal terremoto potrebbe assumere un significato diverso. In questo caso l'epicentro di MICHELINI *et al.* (2005) potrebbe corrispondere alla nucleazione unilaterale lungo una struttura ad elevata direttività, così da giustificare da un lato la sostanziale omogeneità nelle intensità osservate in tutto il promontorio di Capo Vaticano data la notevole distanza dall'epicentro, e dall'altro l'evidente decremento delle intensità registrate nella Piana di Gioia Tauro. In questo caso, tale faglia agirebbe, con una possibile cinematica transtensiva, come lineamento regionale trasversale di trasferimento della deformazione estensionale fra le già citate strutture ad andamento NE-SO nell'*offshore* tirrenico e quelle, con il medesimo andamento, riportate nella Piana di Gioia Tauro (VALENSISE & PANTOSTI, 2001; GALLI & BOSI, 2002).

In conclusione, l'analisi di dati geologici evidenziati dai terrazzi marini ed il confronto con lo scenario del terremoto desunto dalle osservazioni macrosismiche hanno permesso la ricostruzione della storia dei sollevamenti nell'area di Capo Vaticano e la formulazione di alcune ipotesi riguardanti geometria e cinematica della sorgente del terremoto del 1905. Pur nella consa-

pevolezza che esistano soluzioni alternative, ed auspicando una più cospicua mole di dati di tipo strutturale soprattutto nell'*offshore* tirrenico, la soluzione proposta indica una struttura con una chiara espressione morfologica e batimetrica, con una attività recente ed attuale testimoniata dalla geologia e dalla microsismicità, in un quadro nel quale la deformazione tettonica locale associata a sorgenti sismogenetiche rimane comunque quasi un ordine di grandezza inferiore al sollevamento regionale.

RINGRAZIAMENTI

Desideriamo ringraziare i due referees anonimi per i commenti e i preziosi suggerimenti che hanno contribuito a migliorare l'articolo. Questo lavoro è stato finanziato nell'ambito della convenzione DPC-INGV, Progetto S2: "Valutazione del potenziale sismogenetico e probabilità dei forti terremoti in Italia".

BIBLIOGRAFIA

- AIFA T., FEINBERG H. & POZZI J.P. (1988) - *Pliocene-Pleistocene evolution of the Tyrrhenian arc: Paleomagnetic determination of uplift and rotational deformation*, Earth Planet. Sci. Lett., **87**, 438-452.
- AMBROSETTI P., BOSI C., CARRARO F., CIARANFI N., PANIZZA M., PAPANI G., VEZZANI L. & ZANFERRARI A. (1987) - *Neotectonic Map of Italy*, Quad. Ric. Scient., **114**, 4.
- ARGNANI A. & TRINCARDI F. (1988) - *Paola slope basin: evidence of regional contraction of the eastern Tyrrhenian margin*, Mem. Soc. Geol. It., **44**, 93-105.
- BARATTA M. (1906) - *Il grande terremoto calabro dell' 8 settembre 1905*, Atti Soc. Toscana di Sc. Nat., **XXII**, pp. 57-80
- BARBERI G., COSENTINO M.T., GERVAZI A., GUERRA I., NERI G. & ORECCHIO B. (2004) - *Crustal seismic tomography in the Calabrian Arc region, south Italy*, Physics of the Earth and Planetary Interiors, **147**, 297-314.
- BASILI R. (2005) - *New software for the analysis of landscape response to faulting, WP8:Modelling of topographic signal*, Deliverable 8.3, EU Project SAFE, EVG1-2000-2005.
- BORDONI P. & VALENSISE G. (1998) - *Deformation of the 125 ka marine terrace in Italy: tectonic implications*, in: STEWAER I.S. & VITA-FINZI C. (Eds.), *Coastal tectonics*. Geological Society, London Special Publications, **146**, 71-110.
- BOSCHI E., GUIDOBONI E., FERRARI G., VALENSISE G., GASPERINI P. (1995) - *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*, ING-SGA, Bologna.
- BOUSQUET J.C. (1973) - *La tectonique récente de l'Apennin Calabro-Lucanien dans son cadre géologique et géophysique*, Geol. Rom., **12**, 1-103.
- BROGAN G.E., CLUFF L.S. & TAYLOR C.L. (1975) - *Seismicity and uplift of southern Italy*, Tectonophysics, **29**, 323-330.
- CAMASSI R. & STUCCHI M. (a cura di) (1997) - *NT4.1 un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno*. CNR-GNDT. <http://emidius.mi.ingv.it/NT/>
- CASTELLO B., MORO M., CHIARABBA C., DI BONA M., DOUMAZ F., SELVAGGI G. & AMATO A. (2004) - *Revised magnitudes of relocated Italian earthquakes catalogue (1981-2002): a new seismicity map of Italy*, Riassunti del XXIII Congresso del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida (GNGTS), 220-222, 14-16 Dicembre 2004, Roma.
- CHIOCCI F.L. & ORLANDO L. (1996) - *Lowstand terraces on Tyrrhenian Sea steep continental slopes*, Mar. Geol., **134**, 127-143.
- COTRONEO R. (1906) - *In Calabria. In giro sulle rovine del terremoto*. Edizioni Brenner, Cosenza, 1990.
- CUCCI L. (2004) - *Raised marine terraces in the northern Calabrian Arc (southern Italy): a ~600 ka-long geological record of regional uplift*, Ann. Geophys., **47**, 4, 1391-1406.
- DAI PRA G., MIYAUCHI T., ANSELMI B., GALLETTI M. & PAGANIN G. (1993) - *Età dei depositi a Strombus bubonius di Vibo Valentia Marina (Italia meridionale)*, Il Quaternario, **6**(1), 139-144.
- DUMAS B., GUEREMY P., LHENAFF R. & RAFFY J. (1987) - *Rates of uplift as shown by raised Quaternary shorelines in Southern Calabria (Italy)*, Z. Geomorph. N. F., **63**, 119-132.
- DUMAS B., GUEREMY P., HEARTY P.J., LHENAFF R. & RAFFY J. (1989) - *Difficulties with connecting geomorphological transects and dating a lot of late Quaternary uplifted shorelines in the Capo Vaticano Peninsula (South Italy)*, in: Geooko, 2nd Int. Conf. Geomorphol., Frankfurt/Main, 3-9 Sept., **1**, pp. 79-80.
- DUMAS B., GUEREMY P., HOANG C., LHENAFF R. & RAFFY J. (1991) - *Gisement et rivages tyrrhéniens de Vibo Marina (Italie du Sud): datation 230Th/234U, soulèvement différentiel de la Calabre meridionale*, C. R. Acad. Sci. Paris, **312**, 785-791.
- FERRANTI L., ANTONIOLI F., MAUZ B., AMOROSI A., DAUI PRA G., MASTRONUZZI G., MONACO C., ORRÙ P., PAPPALARDO M., RADTKE U., RENDA P., ROMANO P., SANSÒ P. & VERRUBBI V. (2006) - *Markers of the last interglacial sea-level high stand along the coast of Italy: tectonic implications*, Quat. Int., **145-146**, 30-54.
- GALADINI F., MELETTI C. & VITTORI E. (2000) - *Stato delle conoscenze sulle faglie attive in Italia: elementi geologici di superficie*, in: GALADINI F., MELETTI C. & REBEZ A. (EDS.), *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999)*, Internal report of CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 397 pp.
- GALLI P. & BOSI V. (2002) - *Paleoseismology along the Cittanova fault: Implications for seismotectonics and earthquake recurrence in Calabria (southern Italy)*, J. Geoph. Res. **107**, B3, 2044, 10.1029/2001JB000234, 2002.
- GASPERINI P. & FERRARI G. (1995) - *Stima dei parametri sintetici*, in *Catalogo dei Forti terremoti Italiani dal 461 a.C. al 1980*, E. BOSCHI et al. (Ed.), ING-SGA publ., 96-111.
- GASPERINI P., BERNARDINI F., VALENSISE G., BOSCHI E. (1999) - *Defining seismogenic sources from historical earthquake felt reports*, Bull. Seism. Soc. Am., **89**, 94-110.

- GIGNOUX M. (1913) - *Les formations marines Pliocènes et Quaternaires de l'Italie du sud et de la Sicile*, Annales de l'université de Lyon, **36**.
- GIUNCHI C., SABADINI R., BOSCHI E. & GASPERINI P. (1996) - *Dynamic models of subduction: geophysical and geological evidences in the Tyrrhenian*, Geophys. J. Int., **126**, 555-578.
- GRUPPO DI LAVORO CPTI (2004) - *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. ING, GNDT, SGA, SSN, Bologna 1999, 92 pp.
- GVIRTZMANN Z. & NUR A. (1999) - *Plate detachment, asthenosphere upwelling, and topography across subduction zones*, Geology, **27**, 563-566.
- HYPPOLITE J.-C., ANGELIER J. & ROURE F. (1994) - *A major geodynamic change revealed by Quaternary stress patterns in the Southern Apennines (Italy)*, Tectonophysics, **230**, 199-210.
- KOSTNER F. (2002) - *La tragedia di Aiello Calabro* - Edizioni Klipper, Cosenza.
- MALAGODI O. (1905) - *Calabria desolata*, edizioni Klipper, Cosenza, ristampa 2005.
- MALINVERNO A. & RYAN W.B.F. (1986) - *Extension in the Tyrrhenian Sea and shortening in the Apennines as result of arc migration driven by sinking of the lithosphere*, Tectonics, **5**, 227-245.
- MARGOTTINI C., AMBRASEYS N.N. & SCREPANTI A. (1993) - *La magnitudo dei terremoti italiani del XX secolo*. ENEA, Roma, 57 pp.
- MELETTI C., PATACCA E. & SCANDONE P. (2000) - *Construction of a Seismotectonic Model: The Case of Italy*, Pageoph, **157**, 11-35.
- MERCALLI G. (1906) - *Alcuni risultati ottenuti dallo studio del terremoto calabrese dell' 8 settembre 1905*, Atti Acc. Pontoniana di Napoli, **XXXVI**, Mem. 8, pp. 1-9.
- MICHELINI A., LOMAX A., NARDI A., ROSSI A., PALOMBO B. & BONO A. (2005) - *A modern re-examination of the locations of the 1905 Calabria and the 1908 Messina Straits earthquakes*, Geophysical Research Abstracts, **7**, 07909, European Geosciences Union.
- MICHETTI A.M., SERVA L., VITTORI E. (2000) - *ITHACA (Italy hazard from Capable Faulting), a database of active capable faults of the Italian onshore territory, Database on CD-ROM*. Internal report of ANPA-Agenzia Nazionale Protezione Ambiente, Roma.
- MIYAUCHI T., DAI PRA G. & SYLOS LABINI S. (1994) - *Geochronology of Pleistocene marine terraces and regional tectonics in the Tyrrhenian coast of South Calabria, Italy*, Il Quaternario, **7**(1), 17-34.
- MUCCIARELLI M. (2005) - *Gli effetti di sito del terremoto di Pizzo Calabro negli studi dell'epoca*, 240 GNGTS, 15-17 novembre 2005, Roma.
- OKADA Y. (1985) - *Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space*, Bull. Seism. Soc. Am., **75**, 1135-1154.
- PATA O. (1947) - *Su di un nuovo giacimento a Strombus bubonius Lmk presso Vibo Valentia*, Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., **54**, 159-166.
- PIANTANESI A. & TINTI S. (2002) - *Numerical modelling of the September 8, 1905 Calabrian (southern Italy) tsunami* Geophysical Journal International, **150**, 271-284.
- POSTPISCHL D., ed. (1985) - *Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980*, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Progetto Finalizzato Geodinamica (CNR-PFG). Quaderni de "La Ricerca Scientifica", n. 1145, 2b, pp. 239. Bologna.
- PUGLIESE F. (1996) - *Il terremoto dell'8 settembre 1905 in Calabria*, Arti Grafiche BMB, Firenze,.
- RIZZO G.B. (1907) - *Contributo allo studio del terremoto della Calabria del giorno 8 settembre 1905*, Atti R. Acc. Peloritana, **XXII**, fasc. I, pp. 2-87.
- SPAKMAN W., VAN DER LEE S. & VAN DER HILST R. (1993) - *Travel-time tomography of the European-Mediterranean mantle down to 1400 km*, Phys. Earth Planet. Inter., **79**, 3-74.
- TORTORICI G., BIANCA M., DE GUIDI G., MONACO C. & TORTORICI L. (2003) - *Fault activity and marine terracing in the Capo Vaticano area (southern Calabria) during the Middle-Late Quaternary*, Quat. Int., **101-102**, 269-278.
- TRINCARDI F., CIPOLLI M., FERRETTI P., LA MORGIA J., LIGI M., MAROZZI G., PALUMBO V., TAVIANI M. & ZITELLINI N. (1987) - *Slope basin evolution on the Eastern Tyrrhenian margin: preliminary report*, Giornale di Geologia, **49/2**, 1-9.
- VALENSISE G. & PANTOSTI D. (EDS.) (2001) - *Database of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy*, Supplement. to Ann. Geofis., **44** (4).
- WAELEBROECK C., LABEYRIE L., MICHEL E., DUPLESSY J.C., McMANUS J.F., LAMBECK K. BALBON, E. & LABRACHERIE M. (2002) - *Sea-level and deep water temperature changes derived from benthic foraminifera isotopic records*. Quat. Sci. Rev., **21**, 295-305.
- WELLS, D. & COPPERSMITH K. (1994) - *New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement*, Bull. Seismol. Soc. Am., **84**, 974-1002.
- WESTAWAY R. (1993) - *Quaternary uplift of Southern Italy*, J. Geophys. Res., **98**, 21741-21772.

Ms. ricevuto il 16 maggio 2006

Testo definitivo ricevuto il 10 ottobre 2006

Ms. received: May 16, 2006

Final text received: October 10, 2006