

A. CHELLI (*), M. PAPPALARDO (**), E. ROSA (**)

LE PIATTAFORME LITORALI DELL'ISOLA PALMARIA (GOLFO DELLA SPEZIA): UN ESEMPIO DI FORME EREDITATE NELLA COSTA ROCCIOSA DELLA LIGURIA ORIENTALE

Abstract - *The shore platforms of Palmaria Island (La Spezia Gulf): a case-study of inherited landforms in the rocky coast of eastern Liguria.* Shore platforms are landforms shaped in the rocky coasts; they are widespread and studied especially along ocean's coastlines, characterized by wide tidal ranges, where they can be found in the intertidal and lower supratidal zone. Among rock coasts geomorphologists there is not agreement about the role that wave erosion and weathering exert in the genesis of these landforms. Studies carried out in different contexts stated the prevalence of either one process or the other or, in some cases, claim the occurrence of both. In the Mediterranean Sea shore platforms are not the main landform. When present, they are constrained in the supralittoral, up to the elevation directly affected by marine processes. This is variable from place to place. The study of shore platforms of Palmaria Island, in the La Spezia Gulf, was approached classifying them according to the classical skeme of Sunamura (1992), which differentiates rocky coasts types in cliffs, type A and type B shore platforms. For the supralittoral zoning those criteria proposed first by Schneider (1976) was adopted. Geomorphological analysis and age constraints (due to the presence of dated slope deposits), enabled to assess that investigated shore platforms are inherited. Schmidt hammer test, traditionally employed to compare the degree of weathering of exposed rock surfaces through rock hardness value, provided some insight on processes operating on these shore platforms. Comparative tests were performed between natural shore platforms, rock outcrops artificially exposed since the 19th century and new artificial rock cuts. The evidence provided by Schmidt hammer test confirmed the results of previous works for different parts of the coast of eastern Liguria. In fact they display a seaward trend of increasing weathering. Rock hardness decreases in the intertidal and lowermost supratidal where repeated wetting and drying and biological weathering prove to be active. The comparison with old and new artificial rock outcrops demonstrated that weathering loosens the rock in a very short time span. The reduction in hardness of the rock is on the order of 15% to 50% compared to unweathered rock. This work demonstrates that shore platforms of Palmaria Island are being dismantled due to different types of weathering processes.

Key words - Shore platform, morphological inheritance, Schmidt hammer test, Liguria, western Italy.

Riassunto - Le piattaforme litorali sono forme modellate nelle coste rocciose e sono molto diffuse e studiate soprattutto nelle coste oceaniche caratterizzate da escursioni di marea variabili, dove si collocano tra l'inter- e il supratidale. Tra coloro che si occupano dello studio delle coste rocciose e, in particolare, delle piattaforme litorali, non c'è pieno accordo sul ruolo e/o il peso che rivestono, nella genesi di queste forme, i processi dovuti all'ondazione piuttosto che quelli di alterazione della roccia. Gli studi compiuti in diverse situazioni sembrano attribuire ora all'uno ora all'altro un ruolo centrale, quando non li invocano

entrambi. Nel Mediterraneo, anche se non sono le forme principali delle coste rocciose, le piattaforme litorali sono presenti e tipicamente occupano il supralitorale, fino alla quota interessata direttamente dai processi meteo-marini, che è naturalmente leggermente diversa da luogo a luogo. Lo studio delle piattaforme litorali dell'Isola Palmaria, nel Golfo della Spezia, è stato approcciato inquadrando nella classica tripartizione delle coste rocciose in falesia, piattaforma di Tipo A e di Tipo B (Sunamura, 1992) e suddividendo il supralitorale secondo quanto proposto per primo da Schneider (1976). L'esame della morfologia della costa rocciosa e i vincoli cronologici relativi a depositi di versante, hanno permesso di stabilire in maniera certa, per le piattaforme indagate, la natura di forme ereditate da sistemi morfoclimatici diversi da quello attuale. L'uso del test del martello di Schmidt in geomorfologia ha una lunga tradizione di impiego per saggiare lo stato di alterazione relativo tra differenti superfici rocciose attraverso il confronto del valore di durezza. Esso ha permesso di indagare i processi attivi sulle piattaforme litorali. Qualche spunto di riflessione sulle modalità di attuazione dei processi è stato introdotto grazie ai risultati del test applicato, per confronto, su alcune superfici in roccia antropiche, esposte almeno dalla prima metà del secolo XIX, e con superfici di roccia, cosiddetta «fresca», liberata dai primi decimetri di roccia alterata in occasione del rilevamento dei dati. I risultati dell'applicazione del test del martello di Schmidt hanno confermato quanto già evidenziato da alcuni degli Autori di questo lavoro per le piattaforme litorali poste in altre parti della costa ligure orientale. Esse infatti presentano un profilo di alterazione nel senso della loro larghezza (direzione dal mare verso l'interno) con alterazione della roccia più spinta tra l'intertidale e l'immediato supralitorale grazie ai processi meteo-marini e a quelli dovuti alla componente biologica che colonizza questa parte della costa. Il confronto con le superfici antropiche e con quelle in roccia «fresca» ha mostrato che gli effetti dell'alterazione sono tangibili già su superfici rocciose esposte da relativamente poco tempo. La riduzione del valore di durezza della roccia rispetto alla roccia fresca è variabile in percentuale tra il 15% e il 50%. Generalmente si può affermare che le piattaforme litorali dell'Isola Palmaria sono in smantellamento per effetto dei processi di alterazione della roccia.

Parole chiave - Piattaforma litorale, eredità morfologica, test del martello di Schmidt, Liguria, Italia occidentale.

INTRODUZIONE

La ricerca geomorfologica sulle coste rocciose sta vivendo un rinnovato interesse per le «piattaforme litorali» a causa del dibattito sulla loro origine ed evoluzione; infatti è aperto e vivo il confronto sul contributo relativo dato dai diversi agenti morfogenetici e dai processi meteo-marini nel modellamento di queste forme (es. azione delle onde,

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Parma, viale G.P. Usberti 157/A, 43100 Parma. E-mail: achelli@unipr.it

(**) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Pisa, via S. Maria 53, 56100 Pisa. E-mail: pappalarado@dst.unipi.it

fenomeni di weathering, effetti della marea) (Stephenson & Kirk, 2001; Trenhaile, 2002; Dasgupta, 2010).

Con piattaforma litorale (shore platform per la scuola di lingua anglosassone) viene indicata una superficie in roccia posta in prossimità del livello del mare attuale e comunque ad una quota tale da essere attualmente interessata dagli effetti del moto ondoso (Bird, 2008) o dai processi generati dagli agenti meteo-marini (Stephenson, 2000). Non esiste perciò, nell'accezione attuale del termine (per un rapido esame dell'evoluzione della terminologia morfologica sulle piattaforme litorali si veda Stephenson, 2000) alcuna volontà di classificazione genetica, proprio a causa del dibattito ancora in corso.

Dal punto di vista morfologico le piattaforme litorali vengono suddivise in due tipi (Fig. 1): il Tipo A, caratterizzato dalla presenza di una superficie in roccia che degrada verso mare con un'inclinazione in genere di pochi gradi, spalleggiata (*backed*) da una falesia, e il Tipo B,

una superficie in roccia circa sub-orizzontale, anch'essa spalleggiata da una falesia, che termina, nel suo lato verso mare, con un'altra falesia (*cliff*) che raramente supera le poche decine di centimetri di altezza sul livello del mare. Questa tipizzazione, oggi generalmente accettata, discende direttamente dalla classificazione delle coste rocciose proposta da Sunamura (1992) che ai due tipi sopra riportati aggiunge il terzo: la falesia direttamente strapiombante in mare (*plunging cliff*).

Gli studi sulle piattaforme litorali sono nati ed hanno avuto una tradizione in quelle aree dove queste forme sono più diffuse e ben sviluppate, come nel caso delle coste rocciose dell'Australia (Guilcher, 1989), della Nuova Zelanda (Bal, 1997; Stephenson & Kirk, 1998, 2000a e b, 2001; de Lange & Moon, 2005; Kennedy & Beban, 2005; Dickson, 2006; Thornton & Stephenson, 2006) e quelle che circondano l'Oceano Atlantico Settentrionale (Trenhaile, 1974, 1999; Blanco Chao *et al.*, 2003,

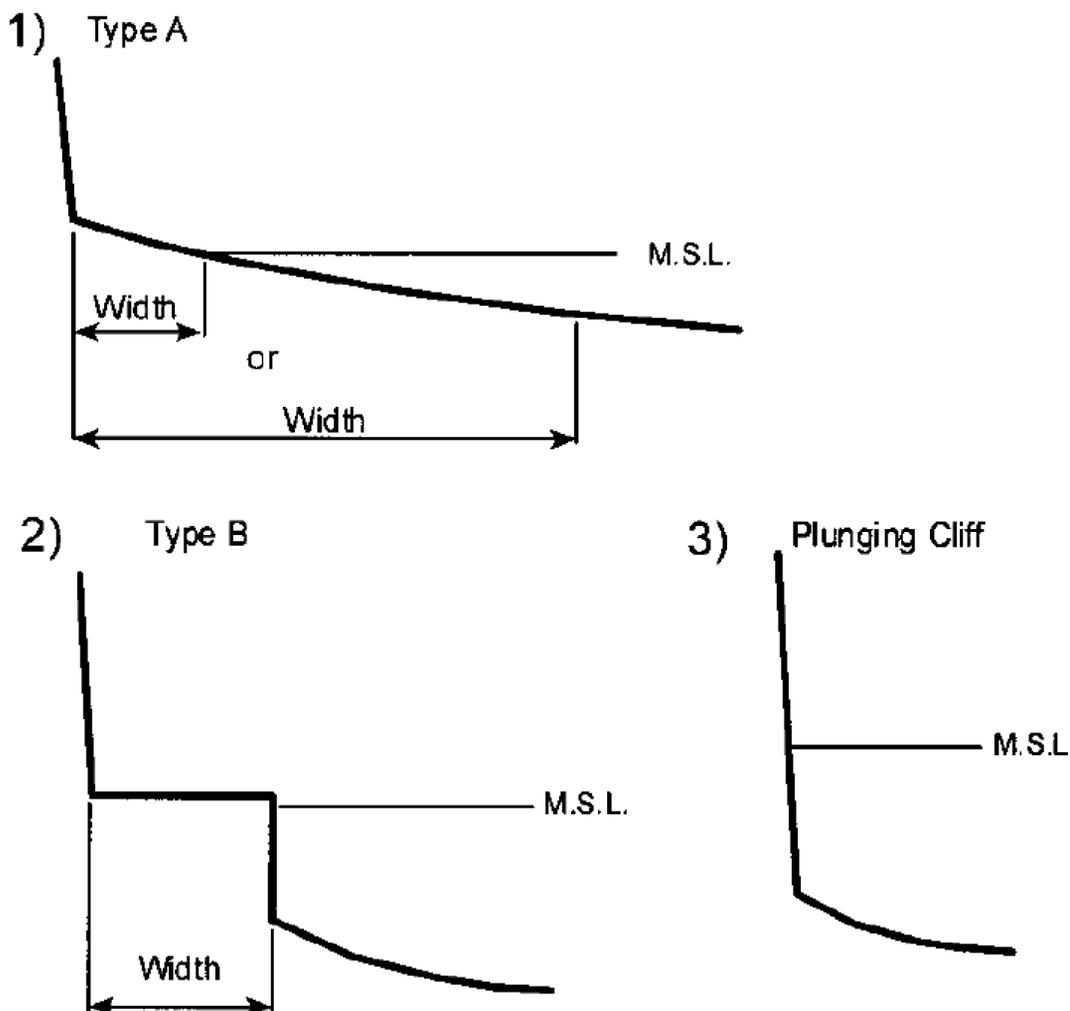


Fig. 1 - La classificazione delle coste rocciose secondo Sunamura (1992) (da Stephenson, 2000).

2007; Trenhaile & Kanyaya, 2007; Moura *et al.*, 2006). In Italia nell'ambito delle ricerche sulle coste rocciose, soltanto una limitata attenzione (Cinque *et al.*, 1995; Andriani & Walsh, 2007; Mastronuzzi *et al.*, 2007) è stata riservata allo studio delle piattaforme litorali data la loro scarsa presenza lungo le coste della penisola, rivolgendo maggiore interesse nei confronti delle falesie, dei solchi di battente e delle micro- e mesoforme in genere dovute all'azione combinata, o meno, delle onde e del disfacimento della roccia, quest'ultimo inteso in senso generale, nelle sue diverse componenti. Tuttavia una considerevole parte della tradizione della ricerca sulle coste, quella che si occupa delle variazioni del livello del mare nel Quaternario, usa comunemente i terrazzi marini come indicatori dei passati stazionamenti del livello del mare nelle sue variazioni relative. Ma i terrazzi privi di depositi marini o comunque con una copertura continentale successiva alla loro emersione, sono stati delle piattaforme litorali o delle superfici di abrasione, come la tradizione geomorfologica italiana preferisce indicarli (Carobene, 1980). L'importanza dello studio delle piattaforme litorali, di ciò che accade quando queste si trovano rialzate rispetto al livello del mare ma ancora nel suo raggio d'azione e, soprattutto, se la loro evoluzione possa essere limitata alla sola azione abrasiva, come sembra intendere la terminologia adottata, operata dal moto ondosio «armato» di sedimenti, oppure debba essere ascritta anche ai processi che agiscono dopo questa prima fase di modellamento «erosiva», ammesso che essa possa essere sempre l'unica ragione della loro formazione, è una questione non banale. Infatti ciò ha importanti implicazioni sulla comprensione della morfologia di queste superfici in roccia e sul loro utilizzo come indicatori del livello del mare. Diversi tra gli Autori citati sopra hanno fornito il loro contributo al dibattito sulla genesi delle piattaforme litorali utilizzando il test del martello di Schmidt per pesare la durezza relativa della roccia nelle differenti parti della superficie delle piattaforme (Trenhaile, 1999; Stephenson & Kirk, 2000a, 2000b; Dickson *et al.*, 2004; Kennedy & Beban, 2005; Blanco Chao *et al.*, 2007). Infatti in geomorfologia, il test del martello di Schmidt è stato utilizzato classicamente (Selby, 1980; Augustinus, 1991) per stimare, in maniera speditiva, e poco costosa, la durezza della roccia e confrontare i gradi di meteorizzazione tra superfici differenti. Di recente anche nel Mediterraneo, dove le piattaforme litoranee rivestono un ruolo marginale rispetto alle falesie, sono stati eseguiti studi quantitativi sui processi e i fattori che ne determinano l'evoluzione (Gomez Pujol *et al.*, 2006; Swantesson *et al.*, 2006) anche attraverso l'utilizzo del test del martello di Schmidt (Chelli *et al.*, 2010). Tra i processi che interagiscono con la superficie rocciosa, ci sono anche quelli legati alla componente biologica che colonizza i litorali. In questo caso è palese la componente dovuta alla capacità erosiva (bioerosione) da parte di alcuni organismi soprattutto nelle loro attività di pascolamento (Patelle, Echinidi) ma esiste probabilmente anche la capacità da parte di certi organismi di agire predisponendo il substrato roccioso all'alterazione e alla successiva rimozione del materiale o agendo essi stessi come fattori dell'alterazione.

Chelli *et al.* (2010) hanno lavorato utilizzando il test del martello di Schmidt lungo la costa rocciosa del Golfo della Spezia applicando la zonazione verticale del supralitorale proposta da Schneider (1976) per le coste del Mediterraneo. I test sono stati eseguiti suddividendo il supralitorale in due fasce altimetriche sovrapposte: la fascia *b* (bassa) e la fascia *a* (alta). Nella fascia *b* la roccia assume un colore scuro per la presenza di Cianobatteri e del lichene *Verrucaria*. Nella parte inferiore di questa fascia, costantemente bagnata dal mare, è presente principalmente un cirripede sessile (*Chthamalus* spp.) che incrosta il substrato con il suo guscio calcareo. Nella fascia *a* la roccia ha un colore nettamente più chiaro rispetto alla precedente a causa della mancanza dei Cianobatteri. I risultati della metodologia applicata hanno messo in luce come esista una forte dipendenza dei valori di resistenza della roccia costituente la piattaforma litoranea dalla litologia e ancor più dall'alterazione (dovuta sia ai processi dell'ambiente meteo-marino ma, indiziariamente, anche dalla presenza della componente biologica) che arriva ad annullare le differenze tra superfici in roccia modellate in diverse litologie. I valori di resistenza variano all'interno di una stessa piattaforma litoranea in funzione della distanza dal mare: risultando maggiormente «deboli» le superfici più prossime a questo. I risultati raggiunti da Chelli *et al.* (2010) permettono di avanzare l'ipotesi che, verosimilmente, la morfologia delle piattaforme litoranee investigate sia in qualche misura funzione dalla loro forma originaria e in questo senso esse risentano di una certa eredità morfologica.

Quest'ultimo è un aspetto interessante del dibattito che riguarda le coste rocciose, incentrato sulla determinazione della misura in cui le macroforme che le caratterizzano (piattaforme litorali e falesie) siano contemporanee, e in equilibrio con l'attuale sistema meteo-marino, o ereditate da precedenti fasi glaciali ed interglaciali del Quaternario, quando il livello del mare ed il clima erano rispettivamente del tutto diversi o prossimi a quelli attuali. Lungo la costa ligure orientale esistono diverse situazioni con superfici in roccia poste a varie altezze entro i primi 10-15 metri sul livello del mare attuale, il cui significato in termini della distribuzione altimetrica merita di essere indagato e compreso. Come ha osservato Trenhaile (2002), questa è una sfida importante ma difficile, poiché non è facile «misurare» l'evoluzione delle coste rocciose, a causa principalmente della loro lenta velocità di trasformazione, nella maggior parte dei casi, per la mancanza di riferimenti cronologici certi, essendo le coste rocciose dominate principalmente dall'erosione.

Teorie e modelli sullo sviluppo delle piattaforme litorali (Trenhaile, 1980, 1987; Sunamura, 1992) sono stati scarsamente applicati alla costa rocciosa del Mediterraneo, dove prevalgono e sono ben sviluppate soprattutto falesie, rampe e benches, queste ultime due ponendosi quasi come morfologie intermedie tra le falesie e le piattaforme (per l'area di studio si veda Chelli *et al.*, 2010). È perciò di fondamentale importanza approfondire il tema delle piattaforme litorali anche lungo le coste dove esse non rappresentano le forme più tipiche, per discutere su come il fattore «eredità» possa essere la chiave per l'in-

interpretazione di profili costieri complessi, intermedi tra piattaforme litorali e falesie. Il concetto di eredità per le piattaforme litorali (Trenhaile, 2002; Blanco Chao *et al.*, 2003), può essere inteso nella sua accezione più ampia come il risultato dell'erosione di superfici originariamente sviluppate in una fase morfoclimatica più antica.

Nel presente lavoro sono state indagate alcune piattaforme litoranee, poste lungo la costa rocciosa dell'Isola Palmarmia, nel Golfo della Spezia, che si collocano a quote poco al di sopra del livello del mare attuale. Inoltre sono state prese in considerazione, per confronto con le precedenti, anche alcune superfici in roccia che simulano piattaforme litoranee ma sono state modellate, almeno in parte, dall'attività antropica legata all'estrazione di rocce ornamentali e da costruzione, così da non poter essere considerate «naturali».

Lo scopo del lavoro è stato quello di fornire un'interpretazione genetica per le piattaforme litoranee indagate, cercando di soppesare anche il ruolo dei fattori che ne hanno guidato lo sviluppo. A questo proposito i risultati del test del martello di Schmidt applicato sulle superfici delle piattaforme naturali, di origine antropica e su superfici di roccia messe a giorno nel corso della raccolta dei dati (roccia fresca) hanno permesso di aggiungere ulteriori indizi sui processi che modellano, almeno in parte, le piattaforme litoranee nel Golfo della Spezia.

CARATTERI GENERALI DELL'ISOLA PALMARMA

L'isola Palmarmia, assieme a quelle di Tino e Tinetto, minori per estensione, rappresenta una sorta di prosecuzione del promontorio occidentale del golfo della Spezia (promontorio di Porto Venere) (Fig. 2). L'isola Palmarmia ha una superficie di circa 1,65 km² e raggiunge la massima quota di 185 m s.l.m. in corrispondenza del suo lato occidentale. Dal punto di vista geologico l'Isola Palmarmia è costituita da rocce appartenenti alla Falda Toscana e attribuite all'intervallo di tempo dal Trias superiore al Giurassico inferiore. L'assetto strutturale del promontorio è dato da una grandiosa piega vergente a ovest il cui asse immerge debolmente verso NNW. In corrispondenza dell'isola affiora il fianco rovesciato di questa piega e affiorano, procedendo geometricamente dal basso verso l'alto: i calcari con strati dolomitici, marne e scisti appartenenti alla Formazione di La Spezia (Norico-Retico), i calcari dolomitici neri o grigio scuri con venature color oro o bianche, appartenenti alla formazione Portoro (Retico sup.-Hettangiano) e i calcari e le dolomie, della formazione delle Dolomie di Monte Castellana (Retico sup.-Hettangiano) (Abbate *et al.*, 2005). La direzione degli strati è quasi invariabilmente NW-SE, mentre le pieghe alla macro e alla meso-scala, che talvolta raddrizzano localmente gli strati, tendono ad immergere verso ovest o verso est.

Il quadro tettonico del Golfo della Spezia è complesso e vari sistemi di faglie tagliano le strutture a pieghe. Il promontorio di Porto Venere rappresenta infatti la parte sud-occidentale dell'horst che limita a occidente il sistema di graben rappresentato, morfologicamente, dalle valli dei fiumi Vara e Magra (VVG e VMG in Fig. 2). Esso è tagliato, oltre che dalla ben nota faglia della Spezia, da sistemi di faglie ad alto angolo immergenti a SW e da

faglie a basso angolo immergenti a NE (Bernini *et al.*, 1991; Argnani *et al.*, 2003). A questi sistemi principali di discontinuità tettoniche se ne aggiunge uno secondario con direzioni prevalenti NE-SW che taglia tutta la struttura del promontorio.

Il lato occidentale del promontorio di Porto Venere e delle isole è tagliato da faglie a direzione NW-SE appartenenti al sistema di discontinuità responsabile della dislocazione della piattaforma continentale orientale ligure (Fanucci, 1978).

I dati sismici indicano che, sottocosta, questo sistema di faglie taglia i depositi del Pleistocene Superiore (Abbate *et al.*, 2005).

Le faglie appartenenti al sistema principale, orientate NW-SE e immergenti verso NE, affiorano lungo il lato occidentale e nella parte centrale dell'isola Palmarmia, mentre quelle orientate NE-SW, con immersione SE, dislocano le rocce nella parte settentrionale. La falesia sud-occidentale dell'isola è espressione di una faglia, più precisamente del sistema di faglie, orientate NW-SE immergenti SW. La ripida scarpata raggiunge un'altezza di 100-150 metri e precipita in mare ad una profondità di -20 m s.l.m.

I dati degli spostamenti verticali della costa nel tratto relativo all'Appennino Ligure per il Quaternario sono disomogenei e variabili. Abbate *et al.* (1994), utilizzando il metodo delle tracce di fissione dell'apatite in rocce della Falda Toscana affioranti nel promontorio di Porto Venere, hanno determinato un tasso di esumazione per l'area della Spezia di 0,7 mm/anno per gli ultimi 5 Ma. Federici (1980), utilizzando *markers* geomorfologici, ha ipotizzato che il promontorio di Porto Venere possa essersi sollevato a partire dal Pliocene medio per poi tornare in una condizione di sostanziale stabilità almeno dal MIS 5.5 (Tirreniano). Dati indipendenti sulla geodinamica della catena derivano dagli studi sui terrazzi marini. Essi evidenziano un moderato sollevamento riguardante la Liguria orientale (Federici & Pappalardo, 2006) con valori decrescenti dal MIS 9.3 (Biagioni, 2008) sino all'Olocene (Chelli *et al.*, 2005).

Il sistema meteo marino dell'area di studio è caratterizzato da onde provenienti da SW (onde di Libeccio). Il settore di massimo *fetch* si trova tra la Corsica e l'isola d'Hyères (Francia) e ha valori massimi di 50 miglia nautiche. Le frequenze percentuali annue delle direzioni dei venti che spazzano l'area, mostrano una predominanza di venti con direzione NE e SW. Le onde con altezze comprese tra 0,10 e 4 m hanno una frequenza annuale di circa il 70% (fonte: Istituto Idrografico della Marina).

La presenza dell'Isola Palmarmia genera la rifrazione dei fronti d'onda provenienti da SW; inoltre la profondità media del fondo alla base della falesia lungo la costa sud-occidentale dell'isola, pari a circa -20 m, determina spesso la mancata rottura dei fronti d'onda sulla costa e la loro riflessione. Lungo la costa orientale, il fondale è meno profondo dato che il piede della falesia raggiunge una profondità di -10 m, così la transizione tra quest'ultimo e il fondo del mare è graduale.

L'ambiente è microtidale con regime semidiurno e l'escursione della marea non supera di norma i 40 cm, anche se situazioni nelle quali gli effetti della marea si combinano con i picchi sia di alta che di bassa pressione atmosferica, possono portare a variazioni complessive della superficie dell'acqua del mare di oltre 80 cm.

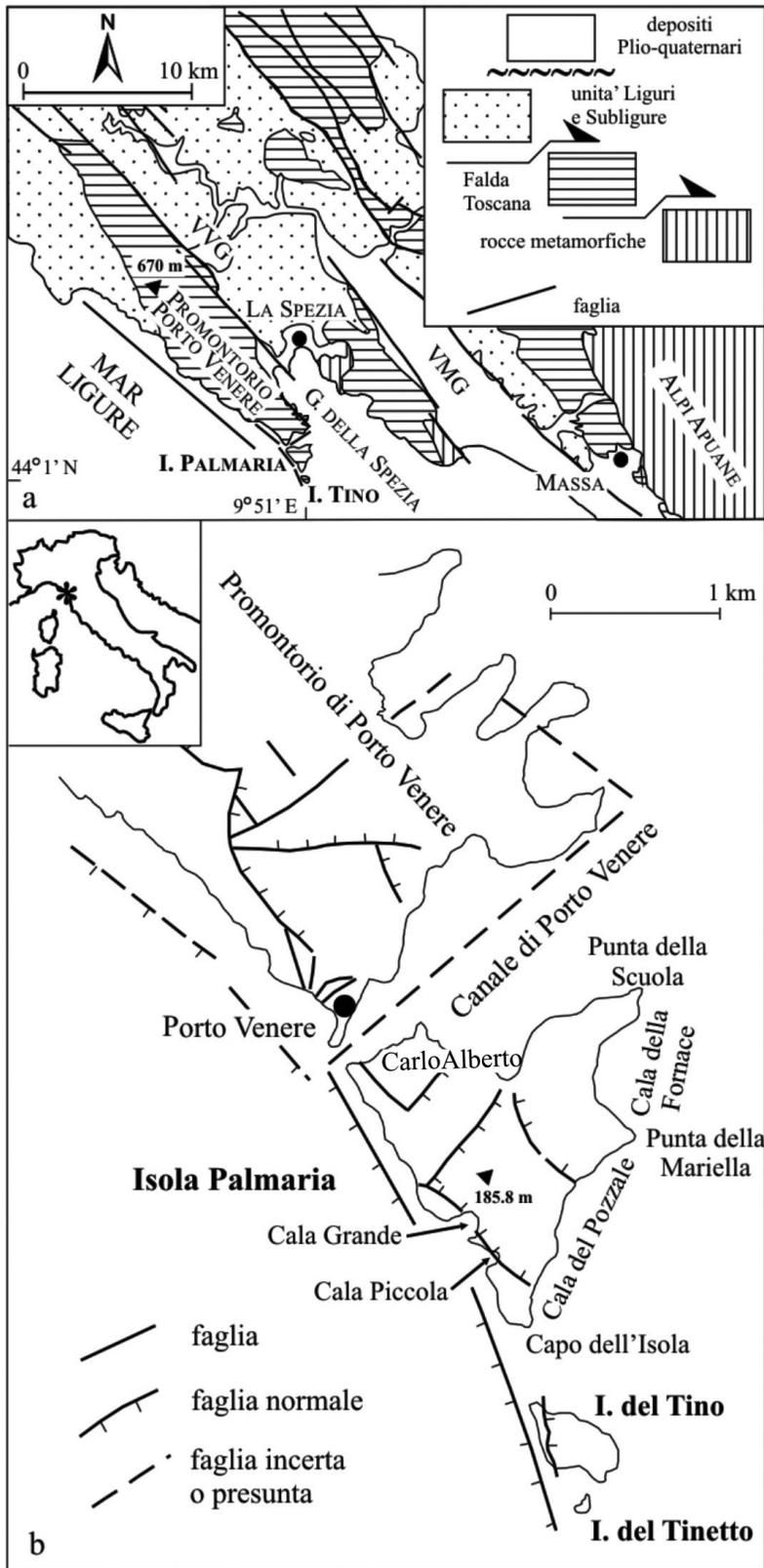


Fig. 2 - Inquadramento geografico dell'Isola Palmaria e schema geologico dell'area del Golfo della Spezia.

Dal punto di vista morfologico generale più del 50% della costa dell'Isola Palmaria è costituito da una falesia attiva, la restante parte è rappresentata da alcune spiagge a tasca e da depositi antropici lasciati dall'attività estrattiva del «marmo» portoro (Del Soldato & Pintus, 1985). La falesia modellata dal moto ondoso è marcata da un limite superiore che non supera generalmente l'altezza di 5 m s.l.m. Al di sotto di questo limite, il profilo delle scarpate è verticale e mostra spesso una concavità levigata compresa tra 2 e -2 m rispetto al livello del mare attuale; nell'intervallo di marea, molluschi, crostacei e alghe incrostano la roccia. Come già accennato la falesia precipita rapidamente a profondità comprese tra 10 e 20 m sotto il livello del mare attuale e questo fa sì che la riflessione dei fronti d'onda domini la costa determinando a sua volta, almeno in apparenza, la predominanza dell'effetto martello come il principale processo indotto dalle onde.

Diversi elementi convergono nell'indicare l'esistenza di forme relitte e quindi la sopravvivenza di morfologie ereditate.

Per esempio in corrispondenza di alcuni dei versanti costieri dell'isola, sono presenti lembi di depositi di detrito che sono stati riferiti a periodi con condizioni climatiche differenti dalle attuali. In particolare quelli più antichi, rinvenuti in corrispondenza del versante costiero occidentale dell'isola, sono stati datati, utilizzando la luminescenza otticamente stimolata (OSL), a $38,5 \pm 1,8$ ka BP (Chelli & Pappalardo, 2006).

Questo deposito di versante stratificato è rappresentato da una serie di lembi ben conservati e il materiale selezionato per la datazione corrisponde ad un livello a granulometria fine (sabbie) posto a circa 20 m sopra la piattaforma di roccia in corrispondenza di Cala Grande.

Generalmente il deposito è composto da strati con struttura openwork alternati con livelli matrice-sostenuti di spessore estremamente variabile, da alcuni decimetri a 1-2 metri. Gli strati *openwork* mostrano clasti angolosi, generalmente di forme diverse sia equidimensionali che allungati, con dimensioni variabili dai ciottoli ai blocchi. I clasti allungati sono spesso allineati parallelamente alla direzione di massima pendenza del versante. Negli strati matrice-sostenuti, i clasti hanno dimensioni dalla ghiaia ai ciottoli e sono presenti alcuni blocchi sparsi. I clasti sono generalmente angolosi e allungati e sono anch'essi allineati tra loro e rispetto all'inclinazione del pendio. In alcune circostanze gli strati costituiti da clasti di dimensioni minute mostrano una tessitura fluidale. La matrice è un limo sabbioso rossastro. Le caratteristiche osservate sono tipiche di un deposito di versante generato in un ambiente con caratteristiche climatiche proprie del periglaciale (Chelli & Pappalardo, 2006).

Le caratteristiche tessiturali del deposito fanno ricondurre la sua formazione ad un periodo caratterizzato da condizioni climatiche più fredde di quelle attuali quando la produzione di detrito a causa del disfacimento dei versanti rocciosi era uno dei processi dominanti nell'area.

L'età del deposito rimanda alle condizioni climatiche che sono state identificate simili a quelle descritte intorno all'ultimo massimo glaciale da Jaurand (1998) per l'Appennino settentrionale e per il periodo tra il MIS 4 e il MIS 3 da Sarti *et al.* (2005) per la vicina costa della Toscana. Un altro deposito di versante ereditato si trova alle spalle

della spiaggia di Mariella, alla base del versante costiero orientale dell'isola. Questo è stato datato, sempre con il metodo OSL, a $3,9 \pm 0,20$ ka BP (Chelli & Pappalardo, 2006). Si tratta di un deposito molto diverso dal precedente, in cui manca l'organizzazione in livelli come descritta sopra; tuttavia, esso è caratterizzato da clasti di dimensioni in media centimetriche con una scarsa presenza di matrice limoso-sabbiosa. La spigolosità dei clasti e comunque suggerisce una genesi legata al verificarsi nell'area di processi di detritazione oggi non più attivi, che davano luogo alla formazione di falde e coni di detrito, probabilmente con condizioni di copertura vegetale dei versanti molto ridotta se non addirittura assente. L'età del deposito colloca la sua formazione nell'ambito del periodo Neoglaciale. Data la costituzione geologica prevalentemente calcarea delle rocce che formano l'isola, c'è una grande diffusione di forme carsiche sia ipogee che epigee. In un recente lavoro Chelli *et al.* (2008) hanno sottolineato come la presenza di almeno quattro ben definiti livelli di carsificazione (-5, +3, +12, e +32 m s.l.m.) nelle tre isole possa essere posta in relazione con altrettanti stazionamenti del livello del mare nel corso del Quaternario.

METODI

L'identificazione delle piattaforme consegue al rilevamento geomorfologico dell'Isola Palmaria presentato in Chelli & Pappalardo (2008). Per distinguere i depositi naturali da quelli antropici, il rilevamento geomorfologico è stato integrato con la consultazione di mappe storiche, disponibili negli archivi IGMI (Istituto Geografico Militare Italiano), datate tra la fine del diciannovesimo secolo e l'inizio del ventesimo, quando le attività estrattive sull'isola erano ancora poco sviluppate (Del Soldato e Pintus, 1985); informazioni utili sulla topografia antecedente l'impianto delle cave sono state ottenute anche analizzando alcune minute di campagna e acquerelli risalenti agli anni dal 1809 al 1811, conservate presso l'Archivio della Biblioteca Comunale della Spezia (Ratti, 2008), redatti dalla brigata di topografi guidata dal capitano Pierre Antoine Clerc che venne inviata nel golfo dall'Imperatore Napoleone con lo scopo di rilevarlo nel dettaglio.

Sono stati misurati i principali parametri morfometrici delle piattaforme litoranee e delle superfici antropiche (lunghezza, larghezza e altitudine). La quota dei margini interni ed esterni è stata determinata utilizzando un altimetro di accuratezza comunque accettabile per lo scopo (± 1 m).

Per il test con il martello di Schmidt è stato usato un martello di tipo N. Il martello di Schmidt è composto da un asta metallica alla cui estremità è posta una massa battente che viene rilasciata da una molla e impatta sulla superficie della roccia; su una scala graduata si legge direttamente l'indice di rimbalzo (R) ottenuto dall'interazione martello-roccia. Il valore R è considerato un indice della durezza della roccia, ed è in relazione alla resistenza a compressione uniassiale (Basu and Aydin, 2004; Aydin and Basu, 2005), in geomorfologia si utilizza per stimare il valore di resistenza complessiva

(*rock resistance*) dell'ammasso roccioso (Selby, 1980; Dickson *et al.*, 2004).

Seguendo la metodologia di acquisizione dei dati proposta da Day e Goudie (1977), le misure sono state effettuate mantenendo lo strumento in posizione perpendicolare rispetto alla superficie della roccia; i punti di misura sono stati scelti ad una distanza di almeno 6 cm da tutte le discontinuità della roccia.

L'acquisizione dei dati è stata condotta in modo sistematico su ogni piattaforma litorale e superficie antropica utilizzando la stessa strategia di campionamento. Sono stati tracciati uno o più transetti rettilinei, orientati perpendicolarmente rispetto alla linea di costa. Lungo ciascun transetto i dati sono stati collezionati prendendo un punto di campionamento ogni 2 m, procedendo dal livello del mare, considerato il punto di origine del transetto, verso il margine interno della piattaforma o superficie. Per ciascun punto di misura è stata annotata la posizione lungo il transetto e sono state condotte osservazioni sullo stato della roccia (stato di alterazione ed eventuale colonizzazione da parte della popolazione biologica). In ogni punto di misura sono state effettuate 35 misure del valore di R, effettuate all'incirca in un'area quadrata di lato 10x10cm preventivamente ripulita da eventuali detriti.

L'esecuzione di 35 misure per ogni punto di campionamento consente di ottenere un valore medio di R attendibile, che non risente della variabilità alla micro-scala causata dalla presenza di diversi grani minerali nella massa rocciosa. Per ogni punto di campionamento, prima di effettuare la media dei valori, dai 35 valori di R collezionati sono stati scartati i 10 più bassi, poiché il martello di Schmidt tende a sottostimare la durezza della roccia per la rottura dei grani causata dall'impatto con la massa battente (Basu & Aydin, 2004). Per ogni punto di campionamento, è stata misurata l'inclinazione della superficie e si è provveduto, attraverso l'impiego delle tabelle e curve fornite dal costruttore del martello, a normalizzare i valori di R rispetto alla posizione orizzontale, cioè riportando le misure come se lo strumento fosse stato mantenuto nella posizione orizzontale durante l'acquisizione.

Successivamente sono stati calcolati il valore medio e il valore di deviazione standard di R per ogni punto di campionamento. Per ciascun transetto i valori ricavati

sono stati rappresentati attraverso l'ausilio di grafici cartesiani.

Per l'esame delle relazioni tra i risultati derivanti dall'utilizzo del test del martello di Schmidt e i processi di weathering considerato nella sua accezione generale, è stata impiegata la zonazione della costa già utilizzata da Chelli *et al.* (2010). Questa sfruttando la partizione del supralitorale in due fasce con differenti caratteri in relazione con la distanza dal livello del mare, permette di illustrare le variazioni del valore di R in funzione di quest'ultima variabile indipendente.

Il test è stato condotto, inoltre, su superfici di roccia fresca liberata all'atto dell'acquisizione dei dati, tramite l'impiego di una mazza da 5 kg di peso e di vari scalpelli a taglio e a punta. È stata posta cura nel cercare, il più possibile, di rimuovere la roccia senza danneggiare la superficie sulla quale si sarebbe dovuta effettuare la prova. La roccia fresca è stata testata in corrispondenza di ognuna delle piattaforme indagate in almeno tre punti di campionamento, ripetendo le modalità già descritte sopra. Il dato restituito rappresenta per ogni situazione la media delle medie di ciascun punto di campionamento. L'effettiva significatività delle differenze tra i diversi valori di R è stata verificata utilizzando il t-test di Student (95% e 99% di confidenza). In particolare per ogni piattaforma litorale, sono stati confrontati i valori medi di R tra le due fasce a differente colonizzazione biologica.

RISULTATI

La Tabella 1 riassume le principali caratteristiche morfometriche delle piattaforme litorali investigate. Le due piattaforme denominate Cala del Pozzale e Carlo Alberto sono state modellate dall'attività antropica, avendo alle spalle aree adibite ad attività di cava.

La distribuzione altimetrica del margine interno delle piattaforme varia da 1,50 a 4,00 m s.l.m. Tutte le piattaforme hanno dimensioni ridotte, con un'inclinazione media della superficie mai superiore a 9°.

Costa sud-occidentale

La maggior parte della costa sud-occidentale, esposta al mare aperto, è costituita da una falesia strapiombante con

Tab. 1 - Principali caratteri delle piattaforme litorali e delle superfici in roccia indagate (N = piattaforma litorale naturale; A = superficie di roccia antropica)

NOME (ID) N/A	FORMAZIONE	QUOTA MARG. EST.(m)	QUOTA MARG INT.(m)	DIM SUP (m ²)	LARGH. MAX (m)	LUNGH. MAX (m)	ORIENT. FRONTE COSTA	INCL. MEDIA SUP (°)
Cala Pozzale (PAL_1) A	Calcari Portovenere	0,5	2,0	292	14,0	29,0	E	6
Cala Piccola (PAL_2) N	Calcari Portovenere	1,5	4,0	664	21,6	50,5	SW	5
Carlo Alberto (PAL_3) A	Portoro	0,6	2,0	1037	23,4	57,0	NW	4
Cala Fornace (PAL_4) N	Calcari e marne di M. S. Croce	0,2	2,0	559	15,0	51,0	SE	9
Punta Mariella (PAL_5) N	Calcari e marne di M. S. Croce	0,5	1,5	308	19,0	21,3	S	8

un'altezza di circa 5m (Capo dell'Isola) e al di sopra si sviluppa una scarpata strutturale che raggiunge all'incirca i 30 metri di quota. In questo tratto di costa sono presenti alcune grotte, le cui imboccature sono comprese tra -5 m e 25 m s.l.m. I versanti costieri diventano più ripidi procedendo verso nord e raggiungono la loro massima altezza in corrispondenza del punto più alto dell'isola.

Nella parte meridionale di questo tratto, la costa è frastagliata e forma due insenature chiamate Cala Grande e Cala Piccola.

Il profilo del versante retrostante Cala Grande è caratterizzato da una falesia attiva, che raggiunge i 5 m s.l.m., sovrastata da una stretta spianata. Su questa superficie irregolare, discontinua e a bassa pendenza, la roccia è fortemente fratturata; la rimozione del materiale disgregato avviene solitamente durante le tempeste più violente. Alle spalle della spianata il versante è ripido ($> 45^\circ$) ed è coperto da un lembo del deposito di versante già citato (*éboulis ordonnée*). Il deposito è modellato secondo una scarpata subverticale indicativa della sua forte cementazione.

La morfologia complessiva è piuttosto diversa a Cala Piccola. Nella parte più interna di questa seconda insenatura, più stretta rispetto alla precedente, è presente una piattaforma in roccia (Fig. 3) di larghezza circa pari a 21 m, il suo margine esterno si spinge sino a 150 cm s.l.m. in corrispondenza della parte centrale della piattaforma mentre quello interno raggiunge al massimo 4 m s.l.m.

Su questa piattaforma sono stati effettuati 3 transetti di misura, che corrispondono a tre porzioni distinte della

sua superficie; il profilo topografico si mantiene pressoché simile lungo tutti i transetti.

Il primo transetto di misure (Fig. 4) riguarda la porzione più occidentale della piattaforma dove il margine esterno mostra una falesia netta e il suo limite superiore si attesta alla quota di 1,5 m s.l.m.; ciò fa sì che questa parte della piattaforma si trovi tutta in fascia a giustificando, di fatto, l'elevato valore medio di R pari a 39 già in prossimità del margine esterno, senza mostrare un apprezzabile incremento dei valori andando verso monte, anzi si nota una debolissima tendenza opposta. Il valore di rimbalzo della roccia «fresca» è pari a 46, con la differenza di soli 7 punti in media rispetto alla roccia soggetta a meteorizzazione.

Il secondo transetto di misure (Fig. 4), effettuato nella parte centrale della piattaforma, il margine esterno si abbassa a circa 0,5 m s.l.m. ed è stato possibile rilevare il valore di due punti di misura all'interno della fascia b, colonizzata prevalentemente, oltre che dalle cianoficee, da *Verrucaria*. Questi 2 punti di campionamento mostrano una tendenza apprezzabile alla diminuzione di R, rispetto ai valori rilevati nella fascia a, che non mostrano sostanziali oscillazioni, rispetto al precedente transetto. Il valore medio di R della superficie della roccia nella fascia a è pari a 37, mentre il valore medio di R per la roccia fresca è il medesimo del transetto precedente.

L'ultimo transetto di misure effettuate sulla piattaforma di Cala Piccola (Fig. 4) è stato tracciato a ridosso di alcuni massi di grosse dimensioni crollati, che



Fig. 3 - Il lembo della piattaforma litorale di Cala Piccola (costa occidentale dell'isola) visto dall'alto.

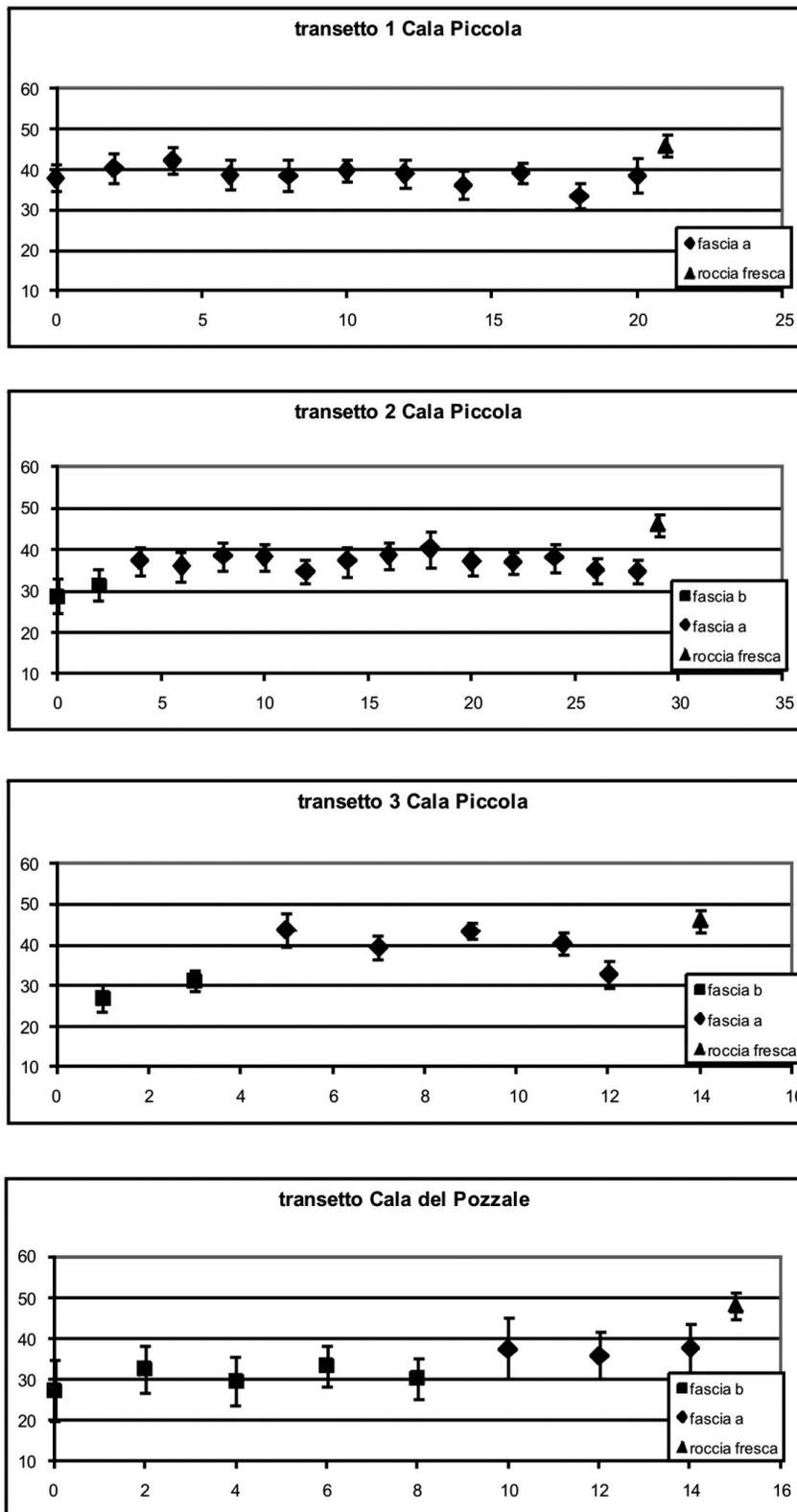


Fig. 4 - I grafici mostrano i valori di R (ordinate) riferiti ai punti di misura (ascisse) in funzione della loro distanza (m) lineare dal mare per i diversi transetti analizzati.

nascondono la piattaforma nella parte immediatamente a est del transetto. La situazione è analoga a quella riportata nei transetti precedenti. I primi 2 punti di misura sono stati campionati in fascia b, e i valori di R sono sensibilmente inferiori rispetto a quelli appartenenti alla fascia a; queste misure, tuttavia, presentano una dispersione maggiore rispetto a quelle dei transetti precedenti.

È importante sottolineare come in tutti i transetti effettuati in questa piattaforma le barre di errore (deviazione standard) dei valori di R per ciascun punto di misura siano estremamente contenute, evidenziando perciò una discreta uniformità nelle misure per ogni punto di campionamento.

Alle spalle della piattaforma è presente una paleo falesia quasi verticale che raggiunge, con il suo limite superiore, 10-15 m s.l.m. La base della falesia è intaccata da un solco di battente (Fig. 3) mentre sopra ad essa affiora, come a Cala Grande, il deposito di versante stratificato.

L'assetto generale dei livelli che costituiscono questo deposito di versante permette di stabilire i rapporti di sovrapposizione con la piattaforma di Cala Grande e soprattutto con quella di Cala Piccola, alle quali il deposito si sovrapponeva. Esso infatti doveva essere, in origine, molto più esteso di adesso, spingendosi ben al di sotto dell'attuale livello del mare attuale.

Cala del Pozzale

Tra i promontori di Capo dell'Isola e Punta della Scuola (Fig. 2), la linea di costa forma due ampie baie: Cala del Pozzale e Cala della Fornace. La prima, tra Capo dell'Isola e Punta della Mariella, mostra un versante costiero caratterizzato da quattro grandi scarpate modellate, almeno in gran parte, dalla passata attività estrattiva, che in pianta presentano una forma generalmente arcuata. La morfologia di questa porzione dell'isola era completamente differente da quella attuale ancora agli inizi del secolo XIX, come è possibile dedurre dagli acquerelli derivanti dal lavoro della Brigata Topografica napoleonica al comando del Capitano Clerc.

L'area della ex-cava del Pozzale, una delle ultime a cessare l'attività verso la fine degli anni '70 del secolo scorso, è completamente intasata dal deposito antropico cementato che costituisce quello che era il piazzale di servizio. Il deposito è stato scalzato dal moto ondoso e alla base della scarpata che si è creata oppure al di sotto della spiaggia che si è formata a spese del materiale che costituisce il deposito antropico stesso, si nota una piattaforma sviluppata, in larga parte, lungo i piani di stratificazione della roccia. Si tratta di una superficie che sebbene possa essere stata modellata a luoghi dagli agenti meteo-marini è sicuramente in larga parte antropica. Questa superficie è prossima al livello del mare attuale e si getta direttamente in esso, dove gli strati immergono verso SE, mentre mostra una superficie quasi pianeggiante quando gli strati sono quasi orizzontali e in quest'ultimo caso una falesia attiva di circa 0,5 m s.l.m. compare sul bordo esterno della piattaforma. Verso mare alcuni lembi di questa piattaforma, ormai separati da essa, sono rappresentati da scogli affioranti che mostrano superfici sommitali poste alla medesima altezza sul livello del mare della piattaforma in roccia.

In questa piattaforma si nota un aumento del valore di rimbalzo (R) del martello abbastanza marcato verso il margine interno (Fig. 4). La quota massima della parte lasciata scoperta dal deposito di cava non è superiore a 2 m s.l.m.

I 5 punti di campionamento rilevati in fascia b mostrano una prevalente copertura a *Verrucaria*, le restanti 3 misure in fascia a non hanno alcuna copertura biologica.

Il valore medio di R per i punti contenuti nella fascia a pari a 37 si distacca in media di 11 punti rispetto al valore di R, pari a 48, per la roccia fresca.

Cala della Mariella

Una piattaforma litorale in roccia è presente solamente nella parte NE di Punta della Mariella (Fig. 2). Essa misura 19 m in larghezza e segue la costa per una lunghezza di circa 21 m. Alle spalle di questa piattaforma la falesia raggiunge 5 m s.l.m. mentre il margine esterno è marcato da una scarpata di 0,5 metri di altezza. La piattaforma in roccia è mal conservata e la sua superficie è debolmente inclinata verso terra ($< 10^\circ$), e solo in parte coincide con i piani di stratificazione della roccia, cioè questi sono in parte tagliati da essa. Alla base della falesia che spalleggia la piattaforma litorale, la superficie di quest'ultima presenta un'intaccatura di profondità media pari a circa 1 m disposta secondo la lunghezza della piattaforma stessa. Questa depressione rimane al di sotto del livello del mare durante la bassa marea. Verso nord, la piattaforma scompare progressivamente quasi completamente al di sotto del livello del mare, e alcune parti di essa emergono solo durante la bassa marea. La maggior parte della superficie della piattaforma è coperta da molluschi (*Patella spp.*, *Mytilus spp.*), ctamali e alghe.

I valori medi di rimbalzo (Fig. 6) sono compresi tra 20 e 30 nei primi 4 punti misura (fino ad una distanza lineare di circa 8 m dal mare), con un gradiente positivo da marea a terra, mentre i restanti 2 punti misura, che ricadono nella fascia a, registrano valori superiori compresi, in media, tra 30 e 40. Il valore medio di R della roccia sana pari a 49, è molto superiore rispetto sia alla media dei valori in fascia b sia a quella dei valori in fascia a.

La spiaggia della Mariella è una spiaggia a tasca costituita da ciottoli grossolani e blocchi. Essa copre quasi completamente la porzione più settentrionale della piattaforma. Alle spalle della spiaggia è presente un versante con un profilo composito, formato da una falesia, con un'altezza di poco inferiore a 5 metri, e da un pendio sovrastante di minore acclività caratterizzato da un profilo concavo. Qui si trova il deposito di versante datato con il metodo OSL a circa 4000 a BP che si sovrappone alla parte verso terra della spiaggia e, perciò, al lembo della piattaforma litoranea sottostante ad essa.

Procedendo verso nord, sempre lungo il litorale di Punta della Mariella, è presente una falesia, che precipita direttamente in mare; alle sue spalle si erge un pendio con un generale profilo concavo, che raggiunge circa la quota 100 m s.l.m. La falesia è attiva e la sua altezza varia da 1 a 5 m s.l.m.; lungo questo tratto non vi è alcuna una piattaforma in roccia.

Cala della Fornace

Al tratto costiero di Punta della Mariella fa seguito Cala della Fornace. Qui è presente una spiaggia a tasca costituita da una stretta striscia di clasti grossolani (dalla ghiaia ai blocchi), da arrotondati a angolosi, che derivano dalla rielaborazione di un consistente deposito posto alle spalle della spiaggia stessa. Probabilmente l'accumulo di detriti è il risultato delle escavazioni compiute a seguito della costruzione della fortezza Umberto I, realizzata dal 1887 al 1889 sulla sommità di Punta della Scuola, e della viabilità militare di questa parte dell'isola.

La falesia compare nuovamente in corrispondenza proprio del promontorio di Punta della Scuola all'estremità settentrionale di Cala della Fornace dove si eleva fino ad una quota di 10 m s.l.m. Il promontorio, il cui profilo a gradinata è dovuto alla presenza di due superfici i cui margini interni si attestano rispettivamente intorno a 40 e 25 m s.l.m., è stato interpretato come una morfologia relitta caratterizzata da terrazzi marini (Federici, 1987). Tuttavia la forma della superficie inferiore è il risultato della pesante trasformazione causata dalla costruzione della fortezza Umberto I, mentre la superficie più alta deve avere mantenuto complessivamente la sua forma originale. Su entrambe le superfici non è stato individuato alcun deposito di origine marina.

Alla base della falesia di Punta della Scuola (Fig. 2), alcune prominenze rocciose, dal profilo longitudinale scalettato, possono essere idealmente collegate tra loro a formare un'unica piattaforma litorale (Fig. 5). Le superfici di tutti questi lembi si trovano grossomodo alla stessa quota, compresa tra 1 e 2 m s.l.m., dove il secondo valore rappresenta la quota media del margine interno. Le superfici rocciose sono guidate in maniera piuttosto evidente dall'assetto della roccia calcarea che spesso ha una giacitura orizzontale, anche se il coinvolgimento in pieghe alla mesoscala determina, a tratti, la variazione repentina dell'immersione e dell'inclinazione degli strati.

I valori di rimbalzo, acquisiti sulla superficie di uno di questi lembi di piattaforma, aumentano marcatamente procedendo dal margine esterno verso quello interno (Fig. 6), come si è visto per la piattaforma di Punta della Mariella. I punti di misura effettuati nella fascia bassa (b), sono preponderanti per numero (5 punti in fascia b e 1 in fascia a) e restituiscono un valore medio di R pari a 26, il punto di misura in fascia a ha restituito un valore di 36 punti. Il valore di rimbalzo per la superficie di roccia fresca è risultato pari a 50.

Molti scogli affiorano dalla superficie del mare a differenti distanze dalla costa della punta; questi mostrano, generalmente, una morfologia spianata anche se le superfici sono profondamente incise e quindi molto irregolari. Il più grande tra questi scogli ospita la Fortezza Torre Scuola, costruita dalla Repubblica di Genova nei primi anni del XVII secolo con scopi difensivi e successivamente profondamente rimaneggiata. Così come avviene per i lembi di piattaforma litoranea, anche le superfici degli scogli al largo di Punta della Scuola sono comprese tra le quote 1 e 2 m s.l.m. e si possono, perciò, mettere in relazione con i lembi di piattaforma litoranea.



Fig. 5 - I lembi di piattaforma litorale presso Punta della Scuola. Si noti il profilo a gradinata del versante costiero.

Costa settentrionale

La costa nord-occidentale dell'isola è orientata mediamente WSW-ENE, per una lunghezza di circa 300 m. Il versante al di sopra di questo tratto costiero è ripido e raggiunge la quota sommitale dell'isola. La parte inferiore del pendio, al di sotto della quota di 50 m, è stata profondamente rimodellata in più punti a seguito dell'attività estrattiva. Attualmente una superficie in roccia grossomodo orizzontale che si mantiene in media tra 0,5 e 1 m s.l.m. è presente lungo la base del versante costiero nella zona denominata Carlo Alberto (Fig. 2). La superficie in roccia è in questo caso interamente antropica. Infatti, in uno degli acquerelli della già menzionata Brigata Topografica, è raffigurato questo tratto di costa modellato secondo una falesia moderatamente elevata (circa 5 m di altezza), che si getta direttamente in mare. In posizione antistante la piattaforma rocciosa, la batimetria mostra l'esistenza di una superficie sommersa a -2,5 m s.l.m. in connessione al promontorio di Porto Venere.

Anche per questa piattaforma è stato eseguito il test del martello di Schmidt.

Dal grafico (Fig. 6) si può osservare la variazione del valore di R rispetto alla posizione dei punti misura. Infatti procedendo dal margine esterno verso quello interno della superficie, si nota la marcata tendenza

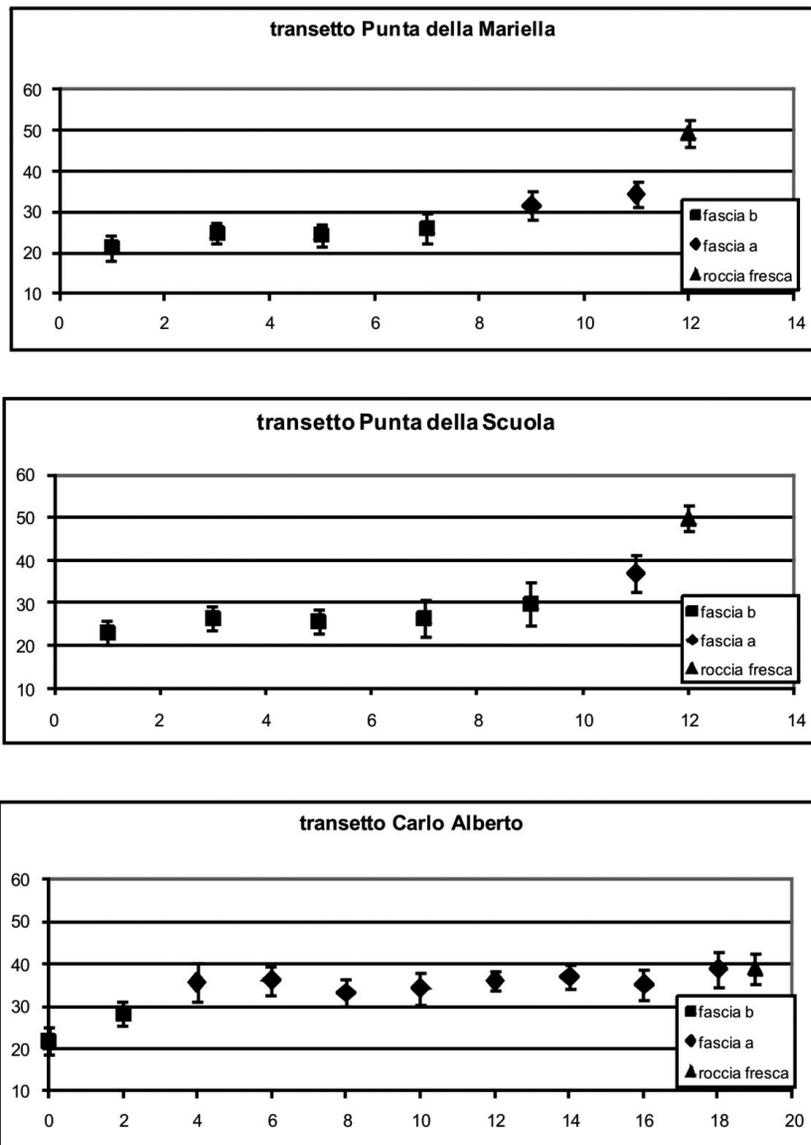


Fig. 6 - I grafici mostrano i valori di R (ordinate) riferiti ai punti di misura (ascisse) in funzione della loro distanza (m) lineare dal mare per i diversi transetti analizzati.

all'aumento di R nei punti di misura che ricadono nella fascia b. Si nota, inoltre, come queste misure, effettuate su una superficie con copertura biologica (*Chthamalus spp.* e *Verrucaria spp.*), presentino un valore R nettamente inferiore a quelli dei punti di misura effettuati in fascia a, dove l'influenza del mare è meno intensa. Le misure in fascia a hanno oscillazioni abbastanza contenute e il loro valore medio si avvicina al valore di R testato su una superficie di roccia fresca: 35 è il valore medio di R per i punti di misura in fascia a e 39 per il punto di misura effettuato sulla roccia fresca.

DISCUSSIONE

I versanti costieri rocciosi naturali dell'Isola Palmaria mostrano due diverse tipologie di profili: 1) versanti costituiti da una falesia direttamente immergente in mare e 2) versanti caratterizzati da strette piattaforme litorali poste sul livello medio del mare o a pochi metri sopra di esso, con alle spalle ripidi pendii o falesie. I versanti costieri caratterizzati alla base da piattaforme litoranee si possono trovare sia in corrispondenza di insenature riparate, come accade in corrispondenza del lato sud-occidentale dell'isola, sia in posizione di maggiore esposizione al moto ondoso, come avviene per quello orientale.

I lembi di deposito di versante presenti a Cala Grande e a Cala Piccola (~40.000 a BP) sono ereditati da periodi durante i quali l'evoluzione morfologica di questo territorio è avvenuta in un contesto morfoclimatico molto diverso dall'attuale. Infatti, condizioni caratterizzate da temperature medie più basse di quelle attuali e, verosimilmente, accompagnate da escursioni termiche stagionali, ma anche giornaliera, più consistenti sia per entità della variazione che per il numero dei cicli di passaggio della temperatura a cavallo dello zero termico, determinavano una minore copertura vegetale dei versanti ed una maggiore aggressività dei processi di clastesi.

I depositi di versante, che in realtà rappresentano due lembi della stessa coltre, hanno ricoperto la piattaforma litorale di Cala Piccola e quella di Cala Grande, quest'ultima ormai rappresentata soltanto da qualche lembo di superficie rocciosa, probabilmente un tempo unite in una medesima forma pressoché continua lungo gran parte di questo versante dell'isola.

Considerazioni analoghe possono essere fatte per la Cala della Mariella, dove il deposito di versante della spiaggia di Mariella (~4.000 a BP) ricopre il lembo più settentrionale della piattaforma in roccia lì presente, connotandola perciò come forma ereditata.

In entrambi i casi quindi le piattaforme litorali, che hanno una quota molto prossima al livello del mare attuale, potrebbero rappresentare forme esumate ad opera del moto ondoso, come sembrerebbero confermare il contesto morfologico e l'età dei depositi di versante che vi si sovrapponevano. Per la piattaforma di Cala Piccola l'età del deposito e la sostanziale stabilità dell'area, a partire da circa 130.000 anni dal presente (Federici, 1980), potrebbero indirettamente collocare la sua genesi durante una fase di alto stazionamento del livello del mare nel corso dello stadio isotopico MIS5. Il sottostadio MIS 5.5 al quale, per le aree stabili del Mediterraneo, è stata attribuita la quota di circa 6 ± 3 m sul livello medio marino attuale (Ferranti *et al.*, 2006), sembra essere l'ultimo nel corso del quale il mare sia stato in grado di modellare forme compatibili con la situazione prospettata. Infatti, durante i sottostadi del MIS 5, in alcune curve eustatiche viene riportato un livello del mare mai superiore a -20 m rispetto al livello odierno (Waelbroeck *et al.*, 2002; Antonioli *et al.*, 2004), anche se esistono evidenze che sembrerebbero collocare alcuni alti stazionamenti del livello del mare, con quote di poco superiori al livello del mare attuale, al MIS 5.1 e al MIS 5.3, come prospettato in alcune curve eustatiche (Shackleton, 2000) e da dati indipendenti dovuti ad evidenze di terreno, ad esempio in Campania e nelle Baleari (Iannace *et al.*, 2001; Dorale *et al.*, 2010).

I lembi della piattaforma litorale di Cala della Fornace indicano che il suo sviluppo è stato condizionato sicuramente dalla struttura della roccia. L'assetto della stratificazione ha infatti guidato la formazione della piattaforma, favorita dalla presenza degli interstrati marnosi e scistosi della Formazione della Spezia che hanno, evidentemente, offerto una minore resistenza ai processi erosivi meteorologici, venendo eliminati a favore dell'emergenza degli strati calcarei e dolomitici più resistenti. L'aspetto scalettato che i lembi della piattaforma di Cala della Fornace assumono a luoghi è tipico delle piattaforme litorali che si enucleano come conseguenza dell'assetto strutturale della

roccia (Bird, 2008). Per questa piattaforma non è possibile fare alcuna ipotesi in merito ai tempi della sua formazione, mancando completamente qualsiasi elemento che consenta di avanzare anche solo un'ipotesi. È possibile soltanto notare che la quota s.l.m. alla quale si collocano i diversi lembi della superficie rocciosa, compresi quelli posti a qualche distanza dalla costa, è confrontabile con le quote delle altre piattaforme naturali descritte all'Isola Palmaria. L'intervallo di quota, compreso tra 0 e 4 m s.l.m., entro cui si collocano tutte le piattaforme litorali indagate le pone in corrispondenza dell'attuale fascia altimetrica di influenza diretta degli agenti fisici e biologici meteorologici, lasciandole perciò, sostanzialmente, nella condizione di potere essere ancora «in evoluzione». A questo punto, è necessario spendere qualche parola per esprimere compiutamente il concetto che sottende, in questo lavoro, l'espressione «in evoluzione». Una piattaforma litorale è attiva quando è in allargamento (*enlarging*) e/o in abbassamento (*downwearing*), mentre la falesia che si trova alle sue spalle, così come quella che borda il margine esterno, nel caso del Tipo B di Sunamura (1992), arretra (*backwearing*). Tuttavia questo è un punto di vista molto spostato verso l'origine prettamente «abrasiva» delle piattaforme litoranee, ma se i processi di alterazione della roccia, nelle loro diverse componenti, possono essere considerati parte efficace nell'evoluzione delle piattaforme litorali, probabilmente è necessario ampliare il concetto di attività, anche perché nel gioco di «ruoli» e di «pesi» tra alterazione e abrasione, in alcuni periodi potrebbero prevalere, nell'evoluzione della costa, piuttosto gli uni rispetto agli altri, o viceversa.

Il test del martello di Schmidt condotto sulla superficie delle piattaforme litorali ha evidenziato comportamenti che si ripetono e che confermano quanto già determinato da Chelli *et al.* (2010) per l'area del golfo spezzino. Il valore medio di R è, in tutti i casi indagati, sempre significativamente (test t) inferiore nella fascia bassa (b), più prossima al livello del mare, rispetto alla fascia alta (a) (Tab. 2). La fascia bassa è interessata, oltre che dai processi fisici dell'ambiente meteo-marino (umidificazione e disseccamento, effetto delle onde sulla roccia), anche dalla colonizzazione delle alghe azzurre (cianofite) e dei licheni (*Verrucaria*) oltre che da molluschi (*Patella*) e cirripedi (*Chthmalus sp.*).

Questa differenza nei valori di R è indicativa del maggiore stato di alterazione in cui si trova la superficie della roccia che costituisce la parte bassa delle piattaforme rispetto alla parte alta delle stesse. Per entrambe il valore di R risulta minore rispetto a quello della roccia «fresca» con percentuali di riduzione del valore di R compreso tra 13 e 32% per la fascia a, mentre esso aumenta sensibilmente per la fascia b, tra 34,7 e 48% (Tab. 2, ultima colonna a destra). I risultati del test del martello di Schmidt applicato alle superfici di roccia antropiche (Tab. 2) sono significativi perché anche in questo caso si hanno differenze tra i valori di rimbalzo della roccia della fascia b e quelli della fascia a con differenze che sono confrontabili con quelle riscontrate nelle piattaforme litorali. Ciò significa che i processi di alterazione, che anche in questo caso si differenziano per tipo e intensità in funzione della distanza dal mare della parte di superficie rocciosa interessata, agiscono nel cor-

Tab. 2 - Sintesi dei risultati del test del martello di Schmidt per le piattaforme litorali e le superfici in roccia dell'Isola Palmaria.

PIATTAFORMA/ SUPERFICIE	R medio fascia b (R_{mfb})	R medio fascia a (R_{mfa})	t	df	P	R medio roccia fresca (R_{mrf})	$\frac{R_{mrf}-R_{mfb}}{R_{mrf}-R_{mfa}}$ (%)
Cala Piccola (N) (transetto 1)	-	39 ± 2	-	-	-	46 ± 3	-/15
Cala Piccola (N) (transetto 2)	30 ± 2	37 ± 2	5,4296	13	0,0001**	46 ± 3	34,7/19,5
Cala Piccola (N) (transetto 3)	29 ± 3	40 ± 4	3,1197	5	0,0263*	46 ± 3	36,9/13
Cala Pozzale (A)	31 ± 2	37 ± 1	4,3510	6	0,0048**	48 ± 4	35,4/22,9
Punta Mariella (N)	24 ± 2	33 ± 2	5,1339	4	0,0068**	49 ± 3	51/32,6
Cala Fornace (N)	26 ± 2	37 ± 4	?	?	?	50 ± 3	48/26
Carlo Alberto (A)	25 ± 5	36 ± 2	5,9879	8	0,0003**	39 ± 4	35,8/7,6

I valori medi di R sono distinti nelle due fasce a diversa colonizzazione biologica il cui significato è stato illustrato nel testo; inoltre sono stati riportati: i valori t del test di Student (df = gradi di libertà, P = livello di significatività, * = confidenza al 95%, ** = confidenza al 99%); - = dati non rilevati; ? = impossibilità ad effettuare il test di Student (N = piattaforma litorale naturale; A = superficie di roccia antropica; rf = roccia fresca; fa = fascia a; fb = fascia b)

so di un tempo relativamente breve, rendendo inefficace il test del martello di Schmidt per differenziare superfici recenti, o se si vuole attuali, da superfici ereditate e più a lungo soggette all'azione dei processi di alterazione.

Per le stesse superfici antropiche, anche i valori percentuali di riduzione di R rispetto al valore della roccia fresca (Tab. 2), sono confrontabili con quanto già visto per le superfici litoranee, confermando ulteriormente l'efficacia dei processi di alterazione che si verificano a breve termine, su superfici che sono esposte all'azione degli agenti da relativamente poco tempo rispetto alle piattaforme litoranee considerate.

Il test del martello di Schmidt sembra quindi indicare che le piattaforme litorali dell'isola Palmaria sono «in evoluzione» ad opera dei processi di alterazione che si differenziano per tipo (sostanzialmente chimici e fisici nella fascia a e anche biochimici e biologici nella fascia b) e per intensità in funzione della distanza dal livello del mare.

CONCLUSIONI

I risultati di questo lavoro contribuiscono alla conoscenza delle piattaforme litorali nel Mediterraneo con particolare riguardo alla loro morfologia ed alla natura e intensità dei processi in atto su di esse. Inoltre consentono di introdurre qualche elemento di discussione circa la dinamica del margine continentale dell'estremità più orientale del Mar Ligure a partire dall'ultimo interglaciale.

Le piattaforme litorali dell'Isola Palmaria sono morfologicamente simili alle classiche piattaforme attive (ovvero che si formano in equilibrio con le attuali condizioni meteo-marine) diffuse in diverse aree costiere del mondo. Tuttavia su di esse agiscono processi di degradazione fisica e biologica con intensità crescente da mare verso terra. Le analisi compiute dimostrano che la parte più esterna della piattaforma presenta una riduzione della durezza della roccia fino al 50% rispetto a quella della roccia intatta. Queste evidenze suggeriscono che le piattaforme litorali in esame

sono in evoluzione, nel senso di un loro smantellamento, e possono essere considerate ereditate da un precedente contesto morfoclimatico. La presenza di depositi di versante che ad esse si sovrappongono, formati durante il MIS 3 ed il Subboreale, vincolano la genesi delle piattaforme della Palmaria ad un tempo precedente a quello di formazione dei suddetti depositi. Sulla base della letteratura geomorfologica del Mediterraneo e delle coste della Liguria, abbiamo proposto una non conclusiva ma relativamente affidabile teoria, collegando le piattaforme ad un alto stazionamento del livello del mare relativo al MIS5.

BIBLIOGRAFIA

- Abbate E., Balestrieri M.L., Bigazzi G., Norelli P., Quercioli C., 1994. Fission-track datings and recent rapid denudation in Northern Apennines, Italy. *Mem. Soc. Geol. It.* 48: 579-585.
- Abbate E., Fanucci F., Benvenuti M., Bruni P., Cipriani N., Falorni P., Fazzuoli M., Morelli D., Pandeli E., Papini M., Saggi M., Reale V., Vannucchi P. (Eds.), 2005. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000-Foglio 248-La Spezia. Regione Liguria-Dipartimento Ambiente Edilizia e Lavori Pubblici, Servizio Politiche dell'Assetto Territoriale, Genova, 204 pp.
- Andriani G., Walsh N., 2007. Rocky coast geomorphology and erosional processes: a case study along the Murgia coastline South of Bari, Apulia - SE Italy. *Geomorphology* 87: 224-238.
- Antonoli F., Bard E., Silenzi S., Potter E.K., Improta S., 2004. 215 KYR history of sea level based on submerged speleothems. *Global and Planetary Change* 43: 57-68.
- Argnani A., Barbacini G., Bernini M., Camurri F., Ghielmi M., Papani G., Rizzini F., Rogledi S., Torelli L., 2003. Gravity tectonics driven by Quaternary uplift in the Northern Apennines: insights from La Spezia-Reggio Emilia geo-transect. *Quat. Int.* 101-102: 13-26.
- Augustinus P., 1991. Rock resistance to erosion: some further considerations. *Earth Surf. Proc. Land.* 16: 563-569.
- Aydin A., Basu A., 2005. The Schmidt hammer in rock material characterization. *Eng. Geol.* 81: 1-14.
- Bal A.A., 1997. Sea caves, relict shore and rock platforms: evidence for the tectonic stability of Banks Peninsula, New Zealand. *New Zealand Jour. Geol. Geoph.* 40: 299-305.
- Basu A., Aydin A., 2004. A method for normalization of Schmidt hammer rebound values. *Int. Jour. Rock Mech. Min. Sc.* 41: 1211-1214.

- Bernini M., Papani G., Dall'Asta M., Heida P., Lasagna S., 1991. The upper Magra Valley extensional basin (Massa Province): a cross section between Orsaro Mt. and Zerì. *Boll. Soc. Geol. It.* 110: 451-458.
- Biagioni F. 2008. Identificazione ed analisi di antichi livelli di stazionamento del mare nella Liguria Orientale. Unpublished PhD Thesis, Pisa University, Pisa, Italy.
- Bird E., 2008. Coastal geomorphology: an introduction. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd., Chichester (UK), 411 pp.
- Blanco Chao R., Costa Casais M., Martínez Cortizas A., Pérez Alberti A., Trenhaile A.S., 2003. Evolution and inheritance of a rock coast: western Galicia, northwestern Spain. *Earth Surf. Proc. Land.* 28: 757-775.
- Blanco-Chao R., Pérez-Alberti A., Trenhaile A.S., Costa-Casais M., Valcárcel-Díaz M., 2007. Shore platform abrasion in a para-periglacial environment, Galicia, northwestern Spain. *Geomorphology* 83: 136-151.
- Carobene L., 1980. Terrazzi marini, eustatismo e Neotettonica. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.* 3: 35-41.
- Chelli A., Federici P.R., Pappalardo M., 2005. Geomorphological and archaeological evidence of Roman Times shoreline in the La Spezia Gulf. *Geogr. Fis. Dinam. Quat. Suppl.* VII: 97-103.
- Chelli A., Pappalardo M., 2006. Isola Palmaria (Liguria Orientale). In: Chelli A., D'Aquila P., Firpo M., Ginesu S., Guglielmin M., Pappalardo M., Pecci M., Piacentini T., Queirolo C., Robustelli G., Scarciglia F., Sias S., Tellini C. (Eds.), Testimoni di una montagna scomparsa, Bononia University Press, Bologna, Italy, 50-54.
- Chelli A., Pappalardo M., 2008. Geomorphological mapping, a basic tool for interpreting rock coasts landforms: an example from Eastern Liguria (Italy). *Geogr. Fis. Dinam. Quat.* 31: 13-19.
- Chelli A., Pappalardo M., Callegari F., 2008. Rapporti fra livelli di carsificazione e paleo-linee di riva nelle isole del Golfo della Spezia. *Atti Soc. tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A* 113: 25-37.
- Chelli A., Pappalardo M., Arozarena Llopis I., Federici P.R., 2010. The relative influence of lithology and weathering in shaping shore platforms along the coastline of the Gulf of La Spezia (NW Italy) as revealed by rock strength. *Geomorphology* 118: 93-104.
- Cinque A., De Pippo T., Romano P., 1995. Coastal slope terracing and relative sea-level changes: deductions based on computer simulations. *Earth Surf. Proc. Land.* 20: 87-103.
- Dasgupta R., 2010. Whether shore platforms? Progress in Physical Geography published online 14 September 2010, DOI: 10.1177/0309133310375730.
- Day M.J., Goudie A.S., 1977. Field assessment of rock hardness using the Schmidt test hammer. *British Geomorph. Res. Group Tech. Bull.* 18: 19-29.
- De Lange W.P., Moon V.G., 2005. Estimating long-term cliff recession rates from shore platform widths. *Eng. Geol.* 80: 292-301.
- Del Soldato M., Pintus S., 1985. Studio geologico-storico delle attività e delle tecniche estrattive nella Liguria orientale (Area compresa tra Genova e La Spezia). *Mem. Acc. Lunig. di Scienze, Lettere ed Arti «G. Capellini»* 45-47: 1-138.
- Dickson M.E., 2006. Shore platform development around Lord Howe Island, southwest Pacific. *Geomorphology* 76: 295-315.
- Dickson M.E., Kennedy D.M., Woodroffe C.D., 2004. The influence of rock resistance on coastal morphology around Lord Howe Island, Southwest Pacific. *Earth Surf. Proc. Land.* 29: 629-643.
- Dorale J.A., Onac B.P., Fornós J.J., Ginés J., Ginés A., Tuccimei P., Peate D.W., 2010. Sea-level highstand 81,000 years ago. *Science* 327: 860-863.
- Fanucci F., 1978. Neotettonica dei margini continentali del mar Ligure. *Mem. Soc. Geol. It.* 19: 535-542.
- Federici P.R., 1980. Note illustrative della neotettonica del Foglio 95 - La Spezia e del margine meridionale del Foglio 84 - Pontremoli. Contributi preliminari alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, Pubbl. n. 356 del Progetto Finalizzato Geodinamica: 1345-1364.
- Federici P.R., 1987. Uno sguardo alla struttura e alla morfologia del Golfo della Spezia. *Quaderni dell'Istituto di Geologia dell'Università di Genova* 5: 293-306.
- Federici P.R., Pappalardo M., 2006. Evidence of Marine Isotope Stage 5.5 highstand in Liguria (Italy) and its tectonic significance. *Quat. Int.* 145-146: 68-77.
- Ferranti L., Antonioli F., Mauz B., Amorosi A., Dai Pra G., Mastro-nuzzi 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.
- Gomez Pujol L., Cruslock E.M., Fornós J.J., Swantesson O.H., 2006. Unravelling factors that control shore platforms and cliffs in microtidal coasts: the case of Mallorcan, Catalanian and Swedish coasts. *Z. Geomorph. N.F. Suppl.* 144: 117-135.
- Guilcher A., 1989. Shore platforms in Australia and elsewhere. In: LeMaitre R.W. (Ed.), Pathways in Geology. Essays in Honour of Edwin Sherbon Hills. Blackwell/Hills Memorial Committee, Melbourne, Victoria, Australia: 103-110.
- Iannace A., Romano P., Santangelo N., Santo A., Tuccimei P., 2001. The OIS 5c along Licosa Cape Promontory (Campania region, southern Italy): morphostratigraphy and U/Th dating. *Z. Geomorph.* 45: 307-319.
- Jaurand E., 1998. Les glaciers disparus de l'Apennin. Université de Paris I - Panthéon Sorbonne, Géographie 10, Paris: 382 pp.
- Kennedy D.M., Beban J.G., 2005. Shore platform morphology on a rapidly uplifting coast, Wellington, New Zealand. *Earth Surf. Proc. Land.* 30: 823-832.
- Mastro-nuzzi G., Quinif Y., Sansò P., Selli G., 2007. Middle-Late Pleistocene polycyclic evolution of a stable coastal area (southern Apulia, Italy). *Geomorphology* 86: 393-408.
- Moura D., Albardeiro L., Veiga-Pires C., Boski T., Tigano E., 2006. Morphological features and processes in the central Algarve rocky coast (South Portugal). *Geomorphology* 81: 345-360.
- Ratti M., 2008. Presentazione del fondo «Clerc» conservato alla Spezia. In: Napoleone e il Golfo della Spezia. Topografi francesi in Liguria tra il 1809 e il 1811, Rossi L. (a cura di), Silvana Editoriale S.p.A., Cinisello Balsamo, Milano: 14-18.
- Sarti G., Zanchetta G., Ciulli L., Colonese A., 2005. Late Quaternary ologotipical non-marine mollusc fauna from southern Tuscany: climatic and stratigraphic implications. *GeoActa* 4: 159-167.
- Shackleton N.J., 2000. The 100,000-year ice age identified and found to lag temperature, carbon dioxide and orbit eccentricity. *Science* 289: 1897-1902.
- Schneider J., 1976. Biological and inorganic factors in the destruction of limestone coasts. *Contr. Sedimentol.* 6: pp. 112.
- Selby M.J., 1980. A rock mass strength classification for geomorphic purposes: with tests from Antarctica and New Zealand. *Z. Geomorphology* 24: 31-51.
- Stephenson W.J., 2000. Shore platforms: a neglected coastal feature? *Progress Phys. Geogr.* 24 (3): 311-327.
- Stephenson W.J., Kirk R.M., 1998. Rates and patterns of erosion on inter-tidal shore platforms, Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand. *Earth Surf. Proc. Land.* 23: 1071-1085.
- Stephenson W.J., Kirk R.M., 2000a. Development of shore platforms on Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand. Part One: The role of waves. *Geomorphology* 32: 21-41.
- Stephenson W.J., Kirk R.M., 2000b. Development of shore platforms on Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand. Part One: The Role of Subaerial Weathering. *Geomorphology* 32: 43-56.
- Stephenson W.J., Kirk R.M., 2001. Surface swelling of coastal bedrock on inter-tidal shore platforms, Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand. Part One: The Role of Subaerial Weathering. *Geomorphology* 41: 5-21.
- Sunamura T., 1992. Geomorphology of rock coasts. Wiley, Chichester, UK, 302 pp.
- Swantesson J.O.H., Gomez-Pujol L., Cruslock E.M., Fornós J.J., Balaguer L., 2006. Processes and patterns of erosion and down-wearing on micro-tidal rock coasts in Sweden and the Western Mediterranean. *Z. Geomorph. N.F. Suppl.* 144: 137-160.
- Thornton L., Stephenson W.J., 2006. Rock hardness: a control of shore platform elevation. *J. Coast. Res.* 22: 224-231.
- Trenhaile A.S., 1974. The geometry of shore platforms in England and Wales. *Trans. Inst. of British Geograph.* 56: 127-144.
- Trenhaile A.S., 1980. Shore platforms: a neglected coastal feature. *Progr. Phys. Geogr.* 4: 1-23.
- Trenhaile A.S., 1987. The Geomorphology of Rock Coasts. Oxford Univ. Press, Oxford, 384 pp.

- Trenhaile A.S., 1999. The width of shore platforms in Britain, Canada and Japan. *J. Coast. Res.* 15: 355-364.
- Trenhaile A.S., 2002. Rock coasts, with particular emphasis on shore platforms. *Geomorphology* 48: 7-22.
- Trenhaile A.S., Kanyaya J.I., 2007. The role of wave erosion on sloping and horizontal shore platforms in macro- and mesotidal environments. *J. Coast. Res.* 23: 298-309.
- Waelbroeck C., Labeyrie L., Michel E., Duplessy J.C., Lambeck K., McManus J.F., Balbon E., Labracherie M., 2002. Sea-level and deep water temperature changes derived from benthic foraminifera isotopic records. *Quat. Sci. Rev.* 21: 295-305.

(ms. pres. il 18 febbraio 2011; ult. bozze il 16 maggio 2011)