

## Aspetti geomorfologici e sedimentologici dei depositi eolici del settore occidentale del promontorio del M. Calamita (Isola d'Elba)

### *Geomorphological and sedimentological features on the aeolian deposits in the western sector of the Mt. Calamita promontory (Elba Island – Italy)*

D'OREFICE M. (\*), GRACIOTTI R. (\*)

**RIASSUNTO** - Nel presente lavoro vengono descritti alcuni depositi di origine eolica affioranti nel tratto di costa occidentale del M. Calamita, ove sono conservate le migliori esposizioni di tutta l'Isola d'Elba. In generale, i sedimenti eolici poggiano in discordanza sulle coste rocciose modellate nel substrato metamorfico e sedimentario del promontorio del M. Calamita, risalendo spesso le valli fluviali anche fino ad oltre i 100 m s.l.m. Essi sono costituiti prevalentemente di sabbie medio grossolane ed in misura minore da ghiaie minute con tessitura a supporto di clasti e grado di cementazione abbastanza elevato. Al loro interno i depositi mostrano evidenti strutture sedimentarie, rappresentate da stratificazione incrociata e piano-parallela a grande scala. Nella stratificazione incrociata, solitamente di tipo piana-tabulare, prevalgono i set di strati frontali, che hanno una forma tangenziale ed un'immersione generalmente verso terra. I singoli set di strati, interessati internamente da numerose superfici di riattivazione, sono troncati da superfici d'erosione interdunari immergenti verso mare. In alcuni affioramenti, i depositi eolici sono caratterizzati da concrezioni intrasedimentarie sub-orizzontali e verticali. Queste ultime possono dar luogo nella zona supratidale a peculiari microforme d'erosione superficiale, costituite essenzialmente di "tubuli" verticali internamente vuoti. Non mancano, comunque, le macroforme d'erosione rappresentate da vaschette di corrosione e da marmitte d'abrasione ma-

rina. I depositi sono costituiti principalmente di bioclasti carbonatici e di clasti silicatici. I primi derivano da frammenti di gusci di lamellibranchi, di gasteropodi, di echinodermi, di briozoi, di foraminiferi bentonici e di alghe rosse nodulari, mentre i secondi sono costituiti prevalentemente di granuli di quarzo e subordinatamente di feldspato. Sulla base dei componenti più comuni, le rocce in esame possono essere classificate come quarzoareniti bioclastiche. Frequentemente i depositi eolici sono intercalati da degli orizzonti prevalentemente sabbiosi rubefatti e da brecce di versante costituite di clasti poligenici ed eterometrici a spigoli vivi. La prosecuzione dei depositi eolici al di sotto dell'attuale livello del mare e la loro erosione ad opera dell'odierna dinamica marina, dimostrano che questi si sono formati durante una fase di basso stazionamento del livello marino. In sostanza si può ipotizzare che la loro messa in posto sia connessa ad una fase di regressione marina, durante la quale emergeva progressivamente dal mare un fondo sabbioso che ha agito come zona d'alimentazione dei depositi. I depositi eolici possono essere, quindi, collegati alla prime fasi di ritiro del mare verificatisi all'inizio dell'ultimo glaciale e pertanto la loro età è attribuibile al Pleistocene superiore.

**PAROLE CHIAVE:** Deposit eolici, strutture sedimentarie, forme di erosione, Pleistocene superiore, Isola d'Elba, Italia.

(\*) APAT – Dipartimento Difesa del Suolo – Servizio Geologico d'Italia, via Curtatone 3, 00185 Roma

**ABSTRACT** - The best preserved outcrops of aeolian deposits on the Elba Island occur on the western coast of the Mt. Calamita promontory. These deposits unconformably overlay the metamorphic and sedimentary bedrock of the Calamita promontory, up to 100 m a.s.l. within ancient fluvial valleys. They commonly consist of medium to coarse sands and to some extent of fine gravels. On the western coast of the Mt. Calamita promontory they are characterized by a clast supported texture with high grade of cementation. Cross bedding are the most peculiar and conspicuous sedimentary structures at large scale. In the cross bedding, usually of tabular planar type, high angle foresets dipping landward and tangent to the base level are dominant. The single sets of cross-strata have internal reactivation surfaces and are truncated by low angle erosional surfaces dipping seaward. Elsewhere, the aeolian deposits are characterized by horizontal and vertical sedimentary rhizocretion that form micro landforms such as hollow tubules in the supra-tidal zone. Macro landforms such as erosional pools occur on erosion planes. The aeolian deposits on the western coast of the Mt. Calamita promontory are formed mainly by carbonate bioclastics and silicate clasts. The former derive from shell fragments of gasteropodes, echinoderms, bryozoans, benthonic, foraminifera, and nodular red algae. The latter are formed primarily by quartz grains and secondary by feldspate. On a mineralogic-petrographic basis, the rocks can be classified as bioclastic quartz-arenites. Frequently, red paleosols and slope breccias of polygenic, and heterometric clasts are intercalated into the aeolian deposits. The continuation of the aeolian deposits below the present sea level as well as erosion by coastal processes demonstrate that these sedimentary bodies originated during a low standing sea level phase caused by marine regression. During this phase, the sandy sea-floor progressively emerged from the sea, acting as a feeding source for the deposits. According to CREMASCHI & TROMBINO (1998), the origin of the aeolian deposits could be linked to the regressive phases that occurred during the last Glacial period; their age can thereby be linked to the Upper Pleistocene.

**KEYWORDS:** Aeolian deposits, sedimentary structures, erosional landforms, upper Pleistocene, Elba Island, Italy.

## 1. - INTRODUZIONE

Durante il rilevamento geomorfologico di tutte le isole dell'Arcipelago Toscano (1), sono stati approfonditi alcuni aspetti legati alla geomorfologia ed alla geologia del Quaternario di queste isole.

Una particolare attenzione è stata tuttavia rivolta ai depositi di origine eolica affioranti in più punti nel territorio dell'Isola d'Elba. In particolare, in questa nota vengono descritti i depositi eolici presenti tra le località di Barabarca e Madonna delle Grazie, ubicate nel settore occi-

dentale del promontorio del Calamita (fig. 1). Per la loro peculiarità e completezza di esposizione, i sedimenti esaminati consentono d'incrementare le conoscenze finora disponibili su questo litotipo, la cui esistenza nell'isola era già stata segnalata da diversi Autori, tra i quali possiamo citare BARBERI *et alii* (1967; 1969), MAZZANTI (1983), CENTAMORE *et alii* (1988) e CREMASCHI & TROMBINO (1998). Questo lavoro si propone di descrivere gli aspetti morfologici e le varie strutture sedimentarie interne dei depositi eolici, al fine di contribuire a chiarire la loro genesi e le più significative vicende evolutive che hanno interessato l'Isola d'Elba nel tardo Quaternario.

## 2. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La geologia dell'Isola d'Elba è molto articolata per la presenza, in uno spazio relativamente ristretto (circa 224 km<sup>2</sup>), di una notevole varietà di rocce ignee, metamorfiche e sedimentarie con un complesso assetto tettonico, contraddistinto da una struttura a scaglie tettoniche embriciate e ripetute, separate da superfici di scorrimento sub-orizzontali.

Queste varie unità tettoniche, che caratterizzano la parte centro-orientale dell'Isola d'Elba, furono per la prima volta suddivise dal TREVISAN (1950) in cinque "Complessi". Lo schema classico di TREVISAN, successivamente ripreso e lievemente modificato da BARBERI *et alii* (1967; 1969), è stato recentemente reinterpretato, rinominato ed integrato da BORTOLOTTI *et alii* (2001).

Questi ultimi Autori, in occasione del nuovo rilevamento geologico 1:10.000 dell'Elba centro-orientale, hanno, infatti, individuato nove principali unità tettoniche, di cui tre affioranti nell'area del M. Calamita, che verranno sinteticamente descritte di seguito a partire da quella più profonda.

1 - "Unità di Porto Azzurro" (corrispondente al "Complesso I" di TREVISAN, 1950). È costituita di rocce polimetamorfiche, che formano la maggior parte del promontorio del Calamita; essa comprende una successione paleozoica costituita di filladi, micascisti e quarziti, sormontata, in discordanza stratigrafica, da meta-sedimenti silicoclastici del Verrucano triassico e da successioni carbonatiche del ?Triassico superiore-?Hettangiano. Nell'area di Porto Azzurro e

(1) - Il rilevamento è stato effettuato nell'ambito della Convenzione tra il Servizio Geologico Nazionale, ora APAT - Servizio Geologico d'Italia, e l'Università degli Studi Roma Tre, Dipartimento di Scienze Geologiche.

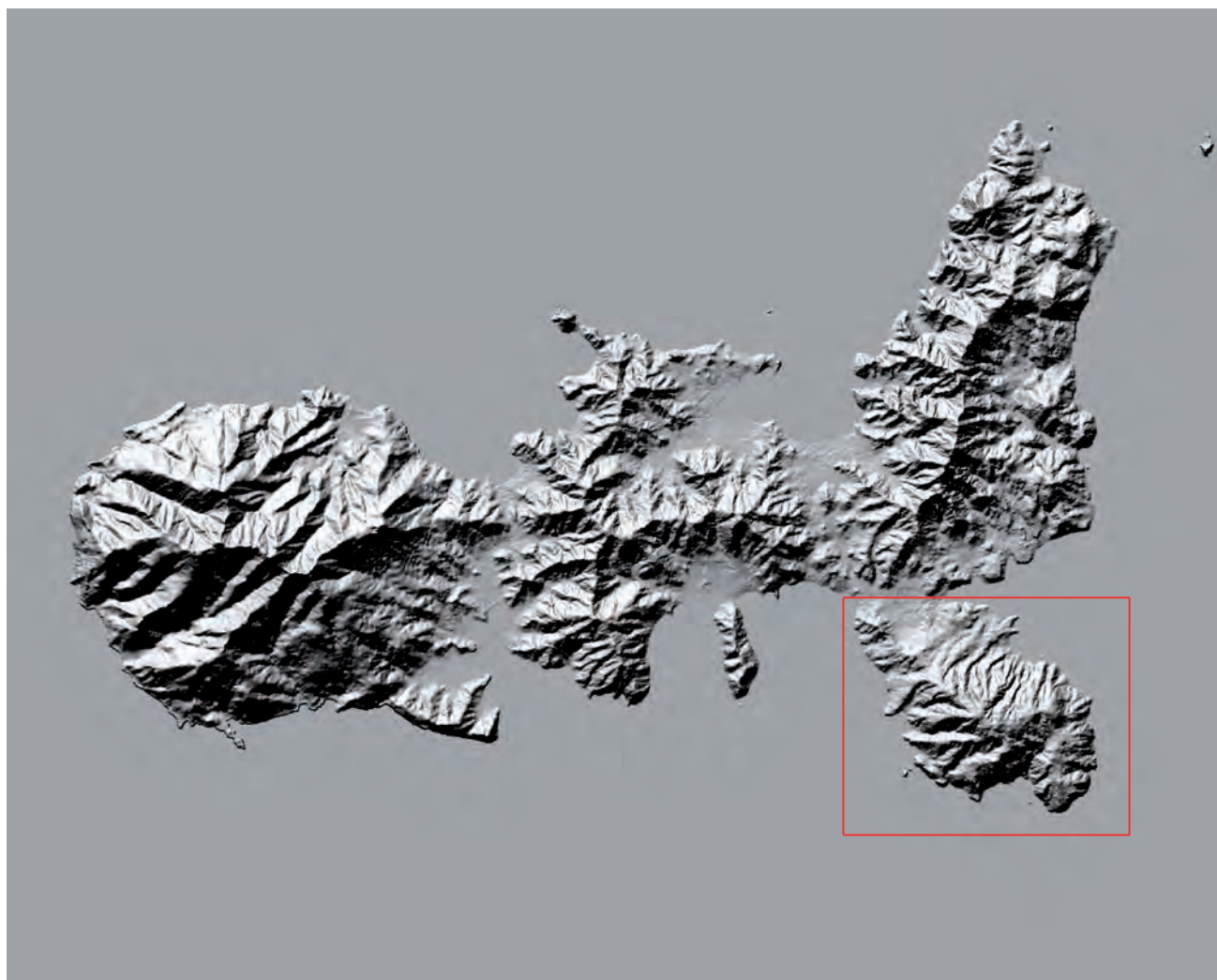


Fig. 1 – Rilievo ombreggiato, ricavato dal Modello Digitale del Terreno con risoluzione di 25 m e localizzazione dell'area in studio.  
 - Shaded relief, developed from Digital Elevation Model of 25 m resolution. The study area is framed.

nel settore orientale del promontorio del Calamita, quest'unità è attraversata da numerosi filoni aplitici e subordinatamente granitico-granodioritici connessi al plutone di "La Serra-Porto Azzurro" (MARINELLI, 1959).

2 - "Unità Ofiolitica" ("Complesso IV" di TREVISAN, 1950). Affiora solo nella più occidentale delle due Isole Gemini ed è rappresentata da serpentiniti e gabbri del Giurassico superiore - Cretacico inferiore. Quest'unità non è quindi compresa nelle aree degli affioramenti esaminati nel presente lavoro.

3 - "Unità del Flysch Cretacico" (parte superiore del "Complesso V" di TREVISAN, 1950). Si estende tra la Spiaggia delle Calanchiole ed il centro abitato di Capoliveri; inoltre, un piccolo affioramento è rappresentato dallo Scoglio Corbella. Essa è separata dalla sottostante Unità di Porto Azzurro da un orizzonte cataclastico

decametrico, associato alla faglia estensionale a basso angolo dello Zuccale (KELLER & PIALLI, 1990; PERTUSATI *et alii*, 1993; BORTOLOTTI *et alii*, 2001; COLLETTINI & BARCHI, 2004; GARFAGNOLI *et alii*, 2005). L'unità è rappresentata da una sequenza di terreni del Cretacico superiore in facies di flysch.

### 3. - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'Elba si erge da una piattaforma continentale, che si estende dal litorale toscano sino al Canale di Corsica. La relativa regolarità del fondale marino, appartenente all'area di piattaforma circostante l'Elba, è interrotta a nord e a sud dalle depressioni che si immettono rispettivamente nel bacino marino ubicato tra Capraia ed il con-

tinente ed in quello situato tra Montecristo ed il Giglio, e ad ovest dalla dorsale sottomarina Elba-Pianosa (WEZEL, 1982), allungata in direzione N-S parallelamente al Bacino Corso.

L'assetto e l'evoluzione geomorfologica dell'Isola d'Elba sono poco noti, anche a causa della scarsità di depositi marini e continentali quaternari; essi, infatti, affiorano in areali piuttosto ristretti e sono principalmente costituiti di depositi alluvionali, di spiaggia, eolici, di versante e da coltri eluvio-colluviali.

Ad uno sguardo d'insieme, il territorio elbano si presenta fortemente accidentato per la contiguità di rilievi di varia altezza e conformazione morfologica. L'elevata acclività dei versanti elbani è a volte interrotta da piccole superfici sub-orizzontali, distribuite a varie quote, le quali hanno suscitato l'interesse di studiosi come DESIO (1922), MAZZANTI (1983) e CENTAMORE *et alii* (1988). In particolare, gli Autori di quest'ultimo lavoro riconoscono, in quasi tutta l'isola, almeno tre ordini di superfici di spianamento relitte (90-120 m, 45-75 m e 15-20 m s.l.m.) ed ipotizzano, anche se in assenza di precisi riferimenti crono-biostratigrafici, il loro collegamento con i livelli marini pleistocenici.

I rilievi sono spesso delimitati verso mare da ripide falesie e nell'entroterra sono solcati da profonde incisioni vallive che terminano in anguste insenature o piccole baie marine. Solo una modesta porzione del territorio elbano è contraddistinta da esigue piane alluvionali e costiere.

Come hanno fatto notare prima RÜHL (1912) e poi BARBERI *et alii* (1969), le insenature marine, presenti lungo le coste frastagliate in corrispondenza delle valli fluviali, possono essere interpretate come forme di sommersione, dovute non solo all'ultima risalita eustatica del livello marino, ma anche ad una generale subsidenza dell'isola. Questa ipotesi è in accordo con la mancanza di depositi neogenici e quaternari marini nel territorio elbano. Per contro, depositi di questa età affiorano nella vicina Isola di Pianosa (FORESI *et alii*, 2000; GRACIOTTI *et alii*, 2004).

L'area del promontorio del M. Calamita è caratterizzata da una peculiare forma "massiccia", che si erge bruscamente dal mare, raggiungendo la quota massima di 412 m s.l.m. Tale conformazione orografica è strettamente connessa al particolare assetto strutturale dell'area, contraddistinto dalla presenza della blanda mega-antiforme del M. Calamita (GARFAGNOLI *et alii*, 2005).

Più dell'80% di costa è alta, con ripide falesie, in gran parte attive, che raggiungono a volte altezze anche superiori ai cento metri, come nel

tratto della Costa dei Gabbiani (estremo settore meridionale del promontorio).

La linea di costa è molto frastagliata ed articolata a causa delle numerose piccole baie delimitate da dorsali rocciose che si protendono verso il mare.

La parte sommitale del M. Calamita mostra un allungamento in direzione E-O, corrispondente alla dorsale M. Calamita - Poggio Fino. Da essa si dipartono, con andamento radiale, numerose vallecicole a "V", che con un'elevata pendenza, dopo un percorso di circa 2 km, raggiungono direttamente il mare.

Le aste fluviali, in genere abbastanza rettilinee e di ordine gerarchico basso secondo la classificazione di STRAHLER (1957), non superiore al 4° alla scala dello studio, sono comprese in bacini imbriferi spesso stretti ed allungati. Tali bacini hanno una pendenza media variabile tra i 10° e i 22° ed un'estensione media di circa 0,8 km<sup>2</sup>.

Gli attuali *thalweg* fluviali sono fortemente incisi sia nel substrato metamorfico e sedimentario, sia nei depositi alluvionali più antichi.

Piccoli conoidi alluvionali di origine mista, generati da dinamiche fluviali e di massa, sono ubicati allo sbocco dei corsi d'acqua nelle cale prospicienti la costa.

#### 4. - I DEPOSITI EOLICI

##### 4.1. - CARATTERI GENERALI

Testimonianze di antichi ed un tempo ben più estesi depositi eolici si possono a tratti osservare lungo le coste dell'Isola d'Elba.

In particolare, come già puntualmente segnalato dal MAZZANTI (1983), essi si rinvencono tra Cala Mandriola e Cala Cancherelli, a Viticcio, a Scaglieri, nel Golfo della Biodola, lungo i due versanti del promontorio di Capo Stella, tra la Punta di Zuccale e la Cala dell'Innamorata e in alcune valli ad est di Capoliveri. Comunque, lungo la costa occidentale del promontorio del Calamita, ed in particolare nel tratto di costa compreso tra la Punta di Barabarca e la Spiaggia della Madonna, sono conservate le migliori esposizioni, su cui sono stati focalizzati gli studi oggetto del presente lavoro. Lungo questa fascia costiera i sedimenti eolici affiorano con continuità, ammantando le antiche coste rocciose modellate nel substrato. I depositi eolici si rinvencono, inoltre, all'interno delle profonde incisioni fluviali che sfociano in corrispondenza delle insenature marine di Barabarca, di Stecchi, di Madonna delle Grazie, di Peducelli, di Mor-



cone, di Pareti e dell'Innamorata. In questi casi, essi danno luogo a corpi di spessore più che decametrico, alloggiati all'interno dei fondovalle fluviali, che risalgono, a partire dalla costa, per distanze di diverse centinaia di metri, superando anche i 100 m di quota s.l.m., come nel caso degli affioramenti della Madonna delle Grazie.

Generalmente, la superficie di erosione attraverso la quale i depositi eolici poggiano in discordanza sul substrato metamorfico e sedimentario è abbastanza identificabile sia lungo la linea di costa sia all'interno delle incisioni vallive; a questo fa tuttavia eccezione l'affioramento della Spiaggia della Madonna, dove, nella zona supratidale, la superficie d'erosione non è visibile in quanto collocata al di sotto dell'attuale livello marino (fig. 2).

Dal punto di vista granulometrico, le rocce in esame sono rappresentate prevalentemente da sabbie a grana media e grossolana ed in minor misura da ghiaie minute (granuli di diametro tra 2 e 4 mm). La matrice è quasi del tutto assente

e la tessitura è prevalentemente aperta. Queste rocce presentano un differente grado di cementazione che comunque, nella maggioranza dei casi, è elevato al punto tale da formare delle vere e proprie areniti e ruditi.

Sono visibili inclusi litici di dimensioni millimetriche. Macrofaune fossili sono quasi del tutto assenti ad eccezione di qualche frammento di bivalve marino e rari gusci di gasteropodi terrestri, mentre si possono notare con una certa frequenza delle impronte di radici (rizocrezioni).

#### 4.2. - STRUTTURE SEDIMENTARIE

Nel loro insieme, i depositi in esame sono caratterizzati internamente da strutture sedimentarie, rappresentate principalmente da stratificazione incrociata a grande scala e ad alto angolo. Il riconoscimento di tali strutture sedimentarie costituisce il criterio diagnostico essenziale per attribuire ai depositi in questione un'origine eolica.



Fig. 2 - Depositi eolici nei pressi della Spiaggia della Madonna (Madonna delle Grazie - Capoliveri). Pacco di strati (foreset) che mostrano la migrazione del lato frontale della duna verso l'entroterra. Il pacco, delimitato da due superfici di erosione debolmente inclinate verso mare, è caratterizzato al suo interno da numerose superfici di riattivazione. Sulla superficie d'erosione superiore poggiano in discordanza strati piano-paralleli a basso angolo d'inclinazione. È interessante notare la prosecuzione del corpo sedimentario verso mare e la sua continuità verticale al di sotto dell'attuale battigia. - Aeolian deposits at the Madonna delle Grazie beach. (Mad.na delle Grazie - Capoliveri). Some foresets that show the migration of the frontal side of a dune landward. The foresets are characterized by internal reactivation surfaces, and they are limited by low angle interdunal erosional surfaces dipping seaward. On the interdunal surface lay, in unconformity, plain parallel layers with low angles. Seaward, the sedimentary body continues below the present shore.



Uno dei migliori esempi di strutture sedimentarie di tipo eolico è visibile nello spaccato di origine antropica ubicato circa 200 m a nord della Spiaggia della Madonna (fig. 2), dove è osservabile in tre dimensioni la stratificazione sopra descritta, ascrivibile a dune eoliche di tipo trasversale. La sezione è contraddistinta da stratificazione incrociata di tipo piana-tabulare.

Prevalgono i *set* di strati frontali, i quali hanno uno spessore massimo di circa 4,5 m. Gli strati frontali hanno una forma tangenziale alla base ed un'immersione generalmente verso terra (figg. 2 e 3). I singoli strati sono spessi da 5 mm a 25 mm ed hanno, nella loro porzione più elevata, inclinazioni prevalentemente ad alto angolo variabili tra i 25° ed i 32°, ma che in alcuni casi possono raggiungere i 35°.

I singoli *set* di strati sono troncati da superfici di erosione, inclinate di circa 10° - 12° verso mare e contraddistinte da un'evidente ondulazione.

In particolare, nell'affioramento della Spiaggia della Madonna sono visibili due superfici

d'erosione che troncano verso l'alto due *set* di strati frontali, caratterizzati da giaciture differenti. Infatti, il *set* più alto, delimitato a tetto dalla superficie erosiva superiore, è costituito di strati frontali con una direzione d'immersione variabile tra N60° e N80° ed inclinazione degli stessi, come prima citato, che in alcuni casi raggiunge i 35°; il *set* sottostante è formato, invece, da strati con direzione d'immersione N40° ed una pendenza di circa 10°. I *set* di strati frontali contengono al loro interno delle superfici di riattivazione, dovute ad una interruzione periodica della migrazione della duna e all'erosione sul lato frontale della stessa a causa di venti subordinati rispetto a quelli dominanti.

Al di sopra della superficie d'erosione superiore, poggiano in discordanza strati a geometria piano-parallela, costituiti di depositi clastici di provenienza locale, riferibili a dinamiche di versante. Le superfici di strato sono contraddistinte da un basso angolo d'inclinazione, variabile tra 10° e 12°, ed un'immersione in genere verso mare (N220°).

In diversi affioramenti, all'interno dei de-



Fig. 3 – Depositi eolici a nord della Spiaggia della Madonna. I foreset, immergenti verso terra, sono nettamente troncati alla loro sommità da una superficie di erosione.

– Aeolian deposits on the northern side of the Madonna delle Grazie beach. The foresets, dipping landward, is truncated by an interdunal erosional surface.

positi eolici si rinvenivano rizoconcrezioni sub-orizzontali e verticali da ricondurre ad impronte calcificate di apparati radicali appartenenti ad un'antica vegetazione dunare (fig. 4). Le rizoconcrezioni sub-orizzontali, più frequenti, si presentano come corpi arenacei a sezione trasversale circolare, ellittica o variamente irregolare (diametro variabile tra 0,5 e 2 cm), inclinati verso mare di circa  $10^\circ$ . Le rizoconcrezioni verticali, più rare, sono corpi arenacei analoghi ai precedenti, dai quali si distinguono nettamente per essere allungati verticalmente, per una minore uniformità di cementazione e per le dimensioni molto minori.

#### 4.3. - FORME DI EROSIONE

I depositi eolici in esame, ed in particolare quelli tra Stecchi e la Spiaggia della Madonna, sono interessati, sulla loro superficie superiore, da peculiari forme di erosione di varia tipologia. In analogia con quanto osservato da MAZZANTI & PAREA (1977) lungo il litorale livornese, tali forme sono disposte lungo distinte fasce fisiografiche parallele alla linea di riva e di ampiezza variabile in funzione dell'acclività della costa. Esse sono distribuite fra il limite

massimo raggiunto dai marosi di tempesta e la parte terminale degli affioramenti eolici al di sotto del livello del mare. Nella presente nota, comunque, sono state prese in considerazione solo le forme di erosione al di sopra del livello della bassa marea.

Partendo dal limite inferiore della zona completamente ricoperta da una vegetazione tipica della macchia mediterranea e procedendo verso mare, è possibile distinguere una zona supratidale e una zona intertidale. Questa distinzione può essere agevolmente operata nei tratti di costa bassa, come appunto tra Stecchi e la Spiaggia della Madonna.

Nella zona supratidale, si riconoscono almeno due fasce allungate parallelamente alla costa (fig. 5). Nella fascia superiore, il deposito eolico assume una colorazione chiara e la vegetazione è quasi del tutto assente ad eccezione di piccoli pulvini di piante erbacee. Dopo una sottile striscia, contraddistinta da clasti di natura detritica provenienti dal versante retrostante, prende corpo una superficie interessata da una elevata spugnosità conferita da "tubuli" verticali internamente vuoti, che si ergono dal suolo per circa 20 cm. Tali microforme sono legate all'erosione superficiale dei depositi eolici ca-



Fig. 4 - Linea di costa tra Punta di Barabarca e Stecchi. Depositi eolici caratterizzati da rizoconcrezioni sub-orizzontali e verticali.  
- The coastline between Punta di Barabarca and Stecchi. Aeolian deposits characterized by sub-horizontal and vertical intra-sedimentary concretions.





Fig. 5 – Spiaggia di Stecchi. Superficie di abrasione marina a spese del deposito eolico. Nella zona supratidale sono evidenti almeno due fasce fisiografiche allungate parallelamente alla costa.  
- The Stecchi beach. Marine abrasion surface on the aeolian deposits. Two physiographic bands are evident in the supratidal zone parallel to the coast.



Fig. 6 – Spiaggia di Stecchi. Marmite d'abrasione marina modellate nelle quarzoareniti eoliche, affioranti nella zona intertidale superiore.  
- The Stecchi beach. Heterometric rock pools modelled on aeolian deposits are apparent in the upper intertidal zone.





Fig. 7 – Tratto di costa tra Punta di Barabarca e Stecchi. Depositi eolici al di sopra di detriti di versante, discordanti sul substrato metamorfico. Attualmente tali depositi sono oggetto di un'intensa azione erosiva da parte del mare, con conseguente innesco di fenomeni di crollo o ribaltamento.  
 –The coastline between Punta di Barabarca and Stecchi. Beds of slope debris intercalated in a body of aeolian deposits, which lay in unconformity with the underlying metamorphic bedrock. The deposits are affected by strong erosive marine processes, the intense erosion leads to rock falls and topples.

ratterizzati da rizoconcrezioni verticali. I “tubuli” verticali sono associati a piccole vaschette di forma irregolare svasate verso l’alto e con il fondo riempito da suolo su cui attecchiscono essenze vegetali. Questa fascia sfuma verso mare in una seconda più scura, caratterizzata da vaschette di corrosione in genere a contorno irregolare per la coalescenza di più forme di erosione. Le vaschette, prive di un’orientazione preferenziale, hanno un diametro variabile da qualche decimetro ad alcuni metri. Esse tendono, comunque, a regolarizzarsi con l’approssimarsi della fascia intertidale. I setti divisorii tra le varie vaschette, spesso sottili e taglienti, sono cesellati da un insieme di vacuoli disposti “a nido d’ape”, con apertura generalmente orientata verso mare e con l’asse immergente verso terra. Il loro diametro massimo è di 2 cm e la profondità a cui possono arrivare è di circa 5 - 6 cm.

Nella zona intertidale, si distingue una fascia di qualche metro di ampiezza di colore più scuro rispetto alla precedente, poiché satura di acqua marina. Qui le cavità assumono progressivamente una forma cilindrica e possono essere considerate delle vere e proprie marmitte di abrasione marina (fig. 6). Esse sono in genere singole, hanno un diametro massimo di circa 1 m ed una profondità che può raggiungere i 40-50 cm. Le pareti tendono ad essere aggettanti verso l’alto, mentre il fondo è piatto e privo di deposito. Nella parte inferiore della zona intertidale si osservano solchi allungati derivanti dall’unione di più marmitte.

In corrispondenza dei tratti di costa alta, come quello tra la Punta di Barabarca e Stecchi, le forme d’erosione sulle rocce eoliche sono invece occasionalmente rappresentate da solchi di battente, i quali in genere si sviluppano al di sopra del livello della bassa marea.



In queste aree i solchi di battente sono, comunque, frequentemente oblitterati da numerosi corpi di frana innescati dal moto ondoso. Una delle cause predisponenti questi fenomeni franosi va ricercata nella presenza, nelle quarzoareniti eoliche, di alcune tipologie di discontinuità variamente orientate.

Queste rocce sono, infatti, interessate da due principali famiglie di fratture verticali, con direzione rispettivamente N50 e N140 e spaziatura di alcuni metri, e da superfici di discontinuità sub-orizzontali, legate alla stratificazione o alla presenza di superfici erosive. L'intersezione tra tutte queste famiglie di discontinuità porta all'isolamento di prismi di una decina di m<sup>3</sup> di volume, che a causa dell'erosione marina possono, pertanto, trovarsi in condizioni d'instabilità o addirittura essere coinvolti in crolli o ribaltamenti (fig. 7).

## 5. - PALEOSUOLI E DEPOSITI DI VERSANTE ASSOCIATI A QUELLI EOLICI

Alternati ai depositi eolici di solito si rinven-  
gono dei paleosuoli di colore rosso e/o delle  
brecce di versante costituite di clasti poligenici,  
eterometrici ed a spigoli vivi.

In particolare, nel tratto di costa tra la Punta di Barabarca e la spiaggia di Stecchi sono state individuate due sequenze eoliche, con intercalato un paleosuolo (fig. 8). Quest'ultimo è costituito di sabbie limose a volte debolmente argillose, con spessori che possono superare abbondantemente il metro (fig. 9). Al loro interno si possono notare, a varie altezze, livelli sub-orizzontali o debolmente inclinati di materiale detritico, costituito di elementi metamorfici, eterometrici (dimensioni da millimetriche a decimetriche) e spigolosi, legati a fasi erosive dei versanti retrostanti. Generalmente, la tessitura è a supporto di matrice e la disposizione dei clasti è caotica.

Molto probabilmente si tratta di depositi eolici, alterati da un paleosuolo rubefatto di colore 2,5 YR 4/6 (rosso). Sia nella frazione fine sia in quella grossolana non si riscontra presenza di carbonato di calcio a causa di fenomeni di decarbonatazione molto spinti. La materia organica, in genere scarsa, è rappresentata da piccoli frammenti di carbone, che hanno fornito un'età <sup>14</sup>C di 48.000 ± 1.900 anni B.P. (CREMASCHI & TROMBINO, 1998). Le superfici esposte agli agenti atmosferici presentano un certo grado di compattezza. Il paleosuolo poggia su una superficie d'erosione modellata generalmente



Fig. 8 - Tratto di costa tra Punta di Barabarca e Stecchi. Si possono osservare due sequenze di natura eolica, con intercalato un paleosuolo rosso.

-The coastline between Punta di Barabarca and Stecchi. It is possible to see two aeolian sequences alternating with reddish sandy deposits. strong erosive marine processes, the intense erosion leads to rock falls and topples.

sul substrato metamorfico o sui depositi eolici sottostanti.

Le brecce di versante, disposte sia in lenti (fig. 10) sia in strati più o meno tabulari alla scala dell'affioramento, s'intercalano ai depositi eolici.

I clasti sono rappresentati da frammenti di roccia metamorfica e sono spesso caratterizzati da un elevato grado di alterazione. Essi sono a spigoli vivi, hanno dimensioni variabili da millimetriche a decimetriche e sono fortemente cementati. La matrice sabbiosa è scarsa e la tessitura varia da supporto di clasti a supporto di matrice. La presenza di questi corpi detritici, è da riferire alla vicinanza di un versante in degradazione, che in condizioni climatiche fredde ha fornito il materiale in questione.





Fig. 9 - Tratto di costa tra Punta di Barabbarca e Stecchi. Paleosuolo rosso intercalato tra due corpi sedimentari di natura eolica. Al loro interno si notano dei livelli sub-orizzontali formati da clasti, anche decimetrici, eterometrici e spigolosi.  
 - The coastline between Punta di Barabbarca and Stecchi. Reddish sandy deposits intercalated in two sedimentary bodies of aeolian origin. Within the aeolian sedimentary bodies two sub-horizontal levels composed by heterometric and angular clasts (sometimes greater than one decimeter), can be seen.



Fig. 10 - Spiaggia della Madonna delle Grazie. Particolare dei depositi eolici caratterizzati da stratificazione incrociata. Al loro interno è evidente una lente costituita da detrito di versante cementato. La tessitura è a supporto di clasto.  
 - The Madonna delle Grazie beach. Enlargement of the cross stratification within the aeolian deposits. A lens composed by cemented slope debris is evident within the aeolian sedimentary body.



## 6. - DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

La presenza di stratificazione incrociata a grande scala, con *set* di strati a volte immergenti verso terra e con inclinazione sino a 35°, permette di attribuire un'origine eolica ai depositi affioranti nel tratto di costa occidentale del M. Calamita.

Questi depositi si sono formati in un periodo di basso stazionamento marino. Infatti, la loro prosecuzione al di sotto del livello del mare e la loro erosione ad opera dell'odierna dinamica marina, confermano un equilibrio dei corpi sedimentari in studio con una linea di costa molto più avanzata di quella attuale. Inoltre, anche i versanti rocciosi su cui tali depositi poggiano in discordanza e i fondovalle che essi stessi colmano appaiono morfologicamente legati ad un livello di base più basso.

Lo sviluppo delle dune eoliche in esame è strettamente connesso alla disponibilità di un'abbondante quantità di sabbia da parte dei venti dominanti, i quali devono essere dotati di una sufficiente capacità di trasporto per rimuovere le particelle di sabbia o ghiaia minuta. Tali particelle, comunque, affinché possano essere asportate dal vento, non devono aver subito nel frattempo processi di stabilizzazione da parte della vegetazione o di cementazione ad opera delle acque meteoriche circolanti o di altri fenomeni diagenetici.

Tutte queste specifiche condizioni possono verificarsi nel corso di una fase di regressione marina, durante la quale avviene la lenta e progressiva emersione dal mare di un fondo sabbioso. Tale fondo, appartenente alla vasta piattaforma continentale toscana oggi sommersa, costituisce un'idonea zona d'alimentazione di questi materiali, i quali sono in grado di risalire, sospinti dai venti dominanti, i versanti e le preesistenti valli fluviali fino ad oltre 100 m sul livello del mare attuale.

Dato che analoghi depositi eolici rinvenuti sulle coste continentali toscane, sulla vicina isola di Pianosa ed in Sardegna, poggiano spesso in discordanza su una "panchina" marina tirreniana (BLANC, 1935; 1953; OTTMAN, 1954; MANCINI, 1960; RADMILLI, 1956; BARBERI *et alii*, 1969; ULZEGA A. & OZER A., 1980; MAZZANTI *et alii*, 1981), si può ipotizzare anche in questo caso una situazione stratigrafica simile, in cui però le arenite eoliche mantellano e nascondono completamente i sottostanti sedimenti marini tirreniani, qualora questi si fossero depositi e preservati. Pertanto, in base alle considerazioni su espone, alle analogie

con altri depositi eolici presenti nel bacino tirrenico, e soprattutto alle datazioni con il radiocarbonio, che hanno fornito un'età di  $48.000 \pm 1.900$  anni B.P., i sedimenti del presente studio possono essere legati, in accordo con CREMASCHI & TROMBINO, 1998, ai due stadi freddi dell'ultimo glaciale (stadio isotopico 4 e 2). La loro età è quindi attribuibile al Pleistocene superiore.

La presenza nell'area esaminata di detriti di versante, alternati ai depositi eolici, sta ad indicare una temporanea disattivazione della sedimentazione eolica ed una momentanea deposizione ad opera dei processi fluvio-denudazionali di versante, che hanno portato all'accumulo di materiale in parte proveniente dal dilavamento delle sabbie eoliche precedentemente deposte ed in parte dall'erosione dei retrostanti versanti interessati da processi crioclastici.

Infine, l'esistenza di un paleosuolo all'interno delle sequenze eoliche può essere attribuita ad una oscillazione climatica di tipo interstadiale, nell'ambito dell'ultimo periodo glaciale.

## BIBLIOGRAFIA

- BARBERI F., GIGLIA G., INNOCENTI F., MARINELLI G., RAGGI G., RICCI C.A., SQUARCI P., TAFFI L. & TREVISAN L. (1967) - *Carta geologica dell'Isola d'Elba scala 1:25000*. C.N.R. Roma.
- BARBERI F., DALLAN L., PRANZINI M., GIGLIA G., INNOCENTI F., MARINELLI G., RAGGI G., SQUARCI P., TAFFI L. & TREVISAN L. (1969) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 126 Isola d'Elba*: pp. 41. Servizio Geologico d'Italia.
- BLANC A. C. (1935) - *Le dune fossili di Castiglioncello e la regressione marina post-tirreniana*. Riv. Geogr. It., 42.
- BLANC A. C. (1953) - *Plage Tyrrhénienne et dunes fossiles de la Buca dei Corvi (Castiglioncello)*. Ivème Congrès International pour l'étude du Quaternaire, Roma-Pisa.
- BORTOLOTTI V., FAZZUOLI M., PANDELI E., PRINCIPI G., BABBINI A. & CORTI S. (2001) - *Geology of Central and Eastern Elba Island, Italy*. Ofioliti, 26 (2a): 97-150.
- CENTAMORE E., DRAMIS F. & FEDERICI P. R. (1988) - *Superfici di spianamento relitte e vicende morfotettoniche dell'Isola d'Elba*. Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 1: 155-160.
- CREMASCHI & TROMBINO (1998) - *Eolianites, sea level changes and paleowinds in the Elba Island (Central Italy) during Late Pleistocene*. In: A.J. BUSACCA (Ed.): "Dust aerosols, loess soils and global change": pp.131-134 Washington State University College of Agriculture and Home Economics, Pullman, WA.
- COLLETTINI C. & BARCHI M. (2004) - *A comparison of structural data and seismic images for low-angle normal faults in the Northern Apennines (Central Italy)*:



- constraints on activity. In: G.I. ALSOP & R.E. HOLDSWORTH (Eds.) - *Flow processes in fault and shear zones*. Geol. Soc. London, Spec. Publ., **224**: 95-112.
- DESIO A. (1922) - *Qualche osservazione morfologica sull'Isola d'Elba*. L'Universo, **3** (10): 671-676.
- FORESI L. M., CORNAMUSINI G., BOSSIO A., FERRANDINI J., FERRANDINI M., MAZZANTI R., MAZZEI R. & SALVATORINI G. (2000) - *The Miocene sedimentary succession of the Pianosa Island, Northern Tyrrhenian Sea*. In: Atti Conv. "Evoluzione Geologica e Geodinamica dell'Appennino" in memoria del Prof. G. Pialli. Foligno, 16-18 Febbraio 2000: pp. 155-157.
- GARFAGNOLI F., MENNA F., PANDELI E. & PRINCIPI G. (2005) - *The Porto Azzurro Unit (Mt. Calamita promontory, south-eastern Elba Island, Tuscany): stratigraphic, tectonic and metamorphic evolution*. Boll. Soc. Geol. It., vol. spec. **3**: 119-138.
- GRACIOTTI R., FORESI L. & PANTALONI M. (2004) - *Lineamenti geomorfologici dell'Isola di Pianosa*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Serie A, **108**: 95-111.
- KELLER J.V.A. & PIALLI G. (1990) - *Tectonics of the Island of Elba: a reappraisal*. Boll. Soc. Geol. It., **109**: 413-425.
- MANCINI F. (1960) - *Sulla geologia della Piana d'Albegna (Grosseto)*. Boll. Soc. Geol. It., **79** (2): 1-90.
- MARINELLI G. (1959) - *Le intrusioni terziarie dell'Isola d'Elba*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., ser. A, **66**: 50-223.
- MAZZANTI R. (1983) - *Il punto sul Quaternario della fascia costiera e dell'Arcipelago di Toscana*. Boll. Soc. Geol. It., **102**: 419-556.
- MAZZANTI & PAREA G.C. (1977) - *Erosione della "Panchina" sui litorali di Livorno e di Rosignano*. Boll. Soc. Geol. It., **96**: 457-489.
- MAZZANTI R., PRANZINI E. & TACCINI S. (1981) - *Studi di geomorfologia costiera: VII - Variazioni della linea di riva dal Pleistocene medio-superiore ad oggi, caratteristiche sedimentologiche e stato delle associazioni vegetali del Litorale di San Vincenzo (Toscana)*. Boll. Soc. Geol. It., **99** (4): 341-364.
- OTTOMAN F. (1954) - *Le Quaternaire dans la region de Quercianella-Rosignano (Livorno)*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. Mem., **61**: 249-258.
- PERTUSATI P.C., RAGGI G., RICCI C. A., DURANTI S. & PALMERI R. (1993) - *Evoluzione post-collisionale dell'Elba centro-orientale*. Mem. Soc. Geol. It., **49**: 297-312.
- RADMILLI A. M. (1956) - *La Grotta Bolella ad Ansedonia*. Boll. Paleont. It., **65** (1).
- RÜHL A. (1912) - *Elba*. Sond. Zeit. Gesell. Erdkunde zu Berlin. Berlin.
- STRAHLER (1957) - *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. Trans. Am. Geophys. Union, **38**: 279-300.
- TREVISAN L. (1950) - *L'Elba orientale e la sua tettonica di scivolamento per gravità*. Mem. Ist. Geol. Paleont. Univ. Padova, **16**: pp. 39.
- ULZEGA A. & OZER A. (1980) - *Excursion-table Ronde sur le Tyrrhénien de Sardaigne*. Actes Congress INQUA - Commission des Lignes de Rivage. Cagliari, 21-28 avril 1980: pp. 1-87.
- WEZEL F. C. (1982) - *The Tyrrhenian Sea: a rifted kricogernic-swell basin*. Mem. Soc. Geol. It., **24**: 531-568.