

LE EOLIANITI DELL'ISOLA D'ELBA: I DEPOSITI DEL PROMONTORIO DEL M. CALAMITA E DEL GOLFO DI VITICCIO

Maurizio D'Orefice, Roberto Graciotti & Flavio Capitanio

APAT – Servizio Geologico d'Italia/Dipartimento Difesa del Suolo – Via Curtatone, 3 - 00185 Roma.
(e-mail: maurizio.dorefice@apat.it, roberto.graciotti@apat.it, flavio.capitanio@apat.it)

RIASSUNTO: M. D'Orefice *et al.*, *Le eolianiti dell'Isola d'Elba: i depositi del promontorio del M. Calamita e del Golfo di Viticcio.* (IT ISSN 0394-3356, 2007).

Nel presente lavoro vengono descritti alcuni depositi eolici affioranti nel tratto di costa occidentale del promontorio del M. Calamita (settore sud-orientale dell'Isola d'Elba) e nel Golfo di Viticcio (settore centro-settentrionale dell'isola). I depositi eolici poggiano in discordanza sulle antiche coste rocciose modellate nel substrato, rinvenendosi finanche all'interno delle preesistenti valli fluviali, a volte oltre i 100 m di quota s.l.m.

Le eolianiti sono costituite prevalentemente da sabbie medio-grossolane ed in misura minore da ghiaie minute. La tessitura è *open-work*; tuttavia la maggior parte dei vuoti intergranulari è riempita da due generazioni di cemento carbonatico, che in alcuni casi rendono la tessitura cemento-sostenuta. Al loro interno, le eolianiti sono caratterizzate da evidenti strutture sedimentarie, che consistono essenzialmente in stratificazione incrociata a grande scala, di tipo piana-tabulare. In essa prevalgono i set di strati frontali ad alto angolo, 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, a basso angolo, immergenti verso mare. I depositi eolici, inoltre, sono contraddistinti da strutture sedimentarie secondarie, rappresentate da concrezioni intrasedimentarie verticali e sub-orizzontali. Frequentemente i depositi eolici sono intercalati con paleosuoli rubefatti e con breccie di versante.

L'analisi petrografica ha consentito di classificare le eolianiti come quarzo-areniti bioclastiche. Esse, infatti, annoverano tra i costituenti principali bioclasti carbonatici, clasti silicatici e inclusi litici. I bioclasti derivano da frammenti di gusci di lamellibranchi, gasteropodi, echinodermi, briozoi, alghe rosse nodulari e foraminiferi bentonici. I clasti silicatici consistono principalmente in granuli di quarzo e feldspati: l'analisi morfometrica in due dimensioni dei granuli di quarzo suggerisce un certo grado di uniformità tra tutti gli affioramenti studiati, soprattutto per quanto riguarda i parametri di sfericità e d'arrotondamento. Gli inclusi litici sono costituiti prevalentemente da frammenti di quarzo-areniti, con subordinate quantità di graniti l.s. e quarziti. I rapporti quantitativi dei litici sono pressoché costanti da un affioramento all'altro e non trovano corrispondenza nella litologia dei rispettivi bacini idrografici di appartenenza.

La continuazione dei depositi eolici per diversi metri al di sotto del livello del mare attuale e la loro erosione ad opera dell'odierna dinamica marina, stanno a dimostrare che essi si sono formati nel corso di una fase di basso stazionamento del livello marino. Durante questo intervallo di tempo, emergeva progressivamente dal mare un fondo sabbioso, che ha agito come zona d'alimentazione per questi depositi. I risultati delle datazioni con il radiocarbonio sui paleosuoli intercalati ai depositi eolici ed i dati cronologici sui reperti archeologici in essi contenuti, riportati in letteratura, permettono di attribuire le eolianiti in esame ai due stadi freddi dell'ultimo glaciale (stadio isotopico 4 e 2). La loro età è quindi ascrivibile al Pleistocene superiore.

ABSTRACT: M. D'Orefice *et al.*, *The Elba Island eolianites: The deposits of the Mt. Calamita promontory and the Viticcio Gulf.* (IT ISSN 0394-3356, 2007).

This paper is focused on some deposits of aeolian origin outcropping in the western coast of the Mt. Calamita promontory (south-eastern sector of the Elba island) and in the Viticcio Gulf (central- northern sector of the Elba island). The aeolian deposits lie unconformably on the ancient, modeled rocky coasts of the substrate, and also occur inside the pre-existing river valleys, sometimes as far as 100 m a.s.l.

The aeolianites are built up mainly by coarse to medium-sized sands and to a lesser extent by fine gravel. They have an open-work fabric; nevertheless, most of intergranular pores are filled by two generations of carbonatic cements, which can make the rock cement-supported. Inside the aeolianites, characteristic sedimentary structures are clearly recognizable: they consist essentially in a tabular-planar cross-stratification. High angle foresets dipping landward and tangent to the base level are prevailing. Each set is affected internally by several reactivation surfaces, and is truncated by low angle erosional surfaces dipping seaward. The aeolian deposits are also characterized by second-order sedimentary structures, which consist in vertical and sub-horizontal intra-sedimentary calcite-cemented concretions. Along the coastline, particularly on the flat coasts, the upper surface of the aeolianites shows peculiar erosional micro-forms, consisting mainly in vertical tubules. Also erosional macro-forms are present, such as kamenitza and rock pools. Frequently, the aeolian deposits are interbedded with rubefied paleosols and with slope breccias, built up by polygenetic and heterometric angular clasts.

Petrographical analysis allowed us to classify the eolianites as bioclastic quartz-sandstones. In fact, their main components are carbonate bioclasts, silicate clasts, and lithic fragments. Bioclasts derive from shell fragments of lamellibranchs, gastropods, echinoderms, briozoans, nodular red algae, and benthonic foraminifera. These latter mostly account for species belonging to a temperate to warm, intertidal marine paleoenvironment. Silicate clasts consist mainly in quartz and feldspar grains, with minor amounts of micas, spinel, hematite, and clinopyroxene. The two-dimension morphometrical analysis performed on quartz grains suggests a certain degree of uniformity among the studied occurrences, in particular with the sphericity and roundness parameters. Lithic fragments mostly count quartz-sandstones, along with minor amounts of granitic l.s. and quartzitic rocks. The quantitative ratios of lithics are nearly constant from an outcrop to another, without any correspondence with the lithology of their respective hydrographical basin.

Dipping of the aeolian deposits under the current sea level, together with their erosion by the present marine dynamics, demonstrate that aeolianites originated during a low standing phase of the sea level. During this time span, a sandy bottom progressively emerged from the sea and acted as a feeding area for these deposits. Results of the radiocarbon age measurements performed on some palaeosoils interbedded between the aeolian deposits, along with chronological data on archaeological materials found inside these palaeosoils, as reported in literature, allow us to assign the studied aeolianites to the two cold stages of the last glacial (isotope stage 4 and 2). Thus, the age of these deposits can be attributed to the Upper Pleistocene.

Parole chiave: depositi eolici, quarzo-areniti bioclastiche, strutture sedimentarie, Pleistocene superiore, Isola d'Elba - Italia.

Keywords: aeolian deposits, bioclastic quartz-sandstones, sedimentary structures, Upper Pleistocene, Elba Island - Italy.

1. INTRODUZIONE

Durante il rilevamento geomorfologico delle isole dell'Arcipelago Toscano¹, sono stati approfonditi alcuni aspetti legati alla geomorfologia ed alla geologia del Quaternario di queste isole.

In questo ambito, una particolare attenzione è stata rivolta ai depositi eolici, costituiti da areniti quaternarie con stratificazione incrociata, affioranti in più punti della fascia costiera dell'Isola d'Elba, testimonianze di depositi un tempo ben più estesi lungo le coste elbane (Fig. 1). In particolare, come già segnalato da MAZZANTI (1983), essi si rinvenivano 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, in alcune valli ad est di Capoliveri e a Cavo. A questi depositi, talvolta indicati con il nome di "panchina", è stata attribuita inizialmente un'origine marina (LOTTI, 1910) e successivamente un'origine eolica (BARBERI *et al.*, 1969). Tuttavia, il termine "panchina" può generare confusione: infatti, esso è stato utilizzato in passato per indicare areniti antiche e recenti, diffuse lungo le coste italiane e studiate con maggiore dettaglio nel litorale tosco-laziale, dove sono state ritenute in alcuni casi di origine marina (a partire dal GIOLI, 1894) e in altri eolica (a partire dal MERCIAI, 1926).

Nel presente lavoro vengono illustrati e comparati tra loro i depositi eolici situati lungo la costa occidentale del promontorio del M. Calamita (Elba sud-orientale) e nel Golfo di Viticcio (Elba centro-settentrionale). Questi affioramenti sono stati selezionati sulla base dei seguenti criteri:

- i) in essi sono conservate le migliori esposizioni di strutture sedimentarie a grande scala;
- ii) essi appartengono ad aree ubicate in settori opposti dell'isola (promontorio del Calamita e Golfo di Viticcio), contraddistinti da un contesto geomorfologico e litologico differente;
- iii) il settore del M. Calamita studiato comprende tre località contigue (Barabarca, Stecchi e Mad.^{na} delle Grazie), relativamente uniformi dal punto di vista geologico e geomorfologico, che consentono di valutare l'eventuale contributo di fattori morfologici locali.

Per la loro peculiarità e completezza di esposizione, quindi, le areniti esaminate consentono d'incrementare le conoscenze finora disponibili su questo litotipo. Il presente lavoro si propone di descrivere, oltre ad alcuni aspetti morfologici, le maggiori strutture sedimentarie interne, nonché le principali caratteristiche mineralogiche e petrografiche delle eolianiti, al fine di contribuire a chiarire la loro origine ed alcune delle vicende evolutive che hanno interessato l'Isola d'Elba nel tardo-Quaternario.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E PETROGRAFICO

La geologia dell'Isola d'Elba è molto articolata per la presenza, in uno spazio relativamente ristretto (circa 224 km²), di una notevole varietà di rocce ignee, metamorfiche e sedimentarie caratterizzate da un complesso assetto tettonico, conseguito nel corso di diverse tappe evolutive.

In sintesi, l'evoluzione tettonica dell'Isola d'Elba ha avuto inizio con l'orogenesi Varisica, che ha interessato le unità più profonde dell'edificio strutturale elbano ed in particolare il Complesso Metamorfico di M. Calamita (GARFAGNOLI *et al.*, 2005) e l'Unità di Ortano (PANDELI & PUXEDDU, 1990).

Nel corso della chiusura dell'Oceano Ligure-Piemontese, verificatasi tra il Cretacico superiore e l'Eocene, è avvenuta la deformazione delle unità liguri e liguri-piemontesi. La successiva fase collisionale, che ha interessato questo settore dell'Appennino settentrionale tra l'Eocene superiore-Oligocene ed il Miocene inferiore, ha determinato la deformazione e l'impilamento delle unità tettoniche (interne) liguri e liguri-piemontesi sulle unità (esterne) toscane.

La fase collisionale è stata seguita, probabilmente a partire dal Miocene inferiore-medio, da una tettonica estensionale che ha causato l'apertura del bacino tirrenico e la risalita prima del plutone granodioritico del M. Capanne (5,8-6,8 Ma: metodo Rb/Sr, JATEAU *et al.*, 1984; 6,7-6,9 Ma: metodo Rb/Sr, FERRARA & TONARINI, 1985; 1993) ed in seguito del più piccolo plutone monzogranitico di La Serra-Porto Azzurro (4,9-5,4 Ma: metodo Rb/Sr, SAUPÉ *et al.*, 1982; 5,9 Ma: metodo Ar⁴⁰/Ar³⁹, MAINERI *et al.*, 2003). La messa in posto dei corpi intrusivi ha determinato il termometamorfismo delle rocce incassanti, il sollevamento dell'area e lo scioglimento gravitativo dell'intero impilamento di falde (TREVISAN, 1950). Questo meccanismo di scioglimento gravitativo ha portato alla traslazione verso est ed alla sovrapposizione anomala delle unità tettoniche formatesi nella fase collisionale: si è così delineata una struttura a scaglie tettoniche embricate e ripetute, separate da superfici di scorrimento sub-orizzontali. Le ultime fasi di risalita del plutone di La Serra-Porto Azzurro possono, inoltre, aver ulteriormente deformato le precedenti strutture del M. Calamita e prodotto la blanda mega-antiforme del promontorio omonimo (GARFAGNOLI *et al.*, 2005).

L'intero edificio strutturale elbano è stato, infine, disarticolato da una fase tettonica distensiva, di probabile età Miocene superiore-Pliocene inferiore, che ha dato luogo a faglie normali ad alto angolo ad andamento prevalente N-S (BARBERI *et al.*, 1969; BORTOLOTTI *et al.*, 2001) e NE-SO e NO-SE (GARFAGNOLI *et al.*, 2005).

Promontorio del M. Calamita (Fig. 1a). Le varie unità tettoniche che caratterizzano la parte centro-orientale dell'Isola d'Elba furono per la prima volta suddivise da TREVISAN (1950) in cinque "Complessi". Questo schema tettonico, ripreso e lievemente modificato da BARBERI *et al.* (1967a; 1969), è stato successivamente reinterpretato, ridenominato ed integrato da BORTOLOTTI *et al.* (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,

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

che verranno sinteticamente descritte di seguito a partire da quella più profonda.

1) "Unità di Porto Azzurro" (corrispondente al "Complesso I" di TREVISAN, 1950). E' costituita da rocce polimetamorfiche, di almeno 800 m di spessore apparente, che formano la maggior parte del promontorio del M. Calamita. Esse vengono comunemente considerate il basamento metamorfico dell'Isola d'Elba.

L'unità comprende una successione paleozoica di probabile età pre-carbonifera, denominata da GARFAGNOLI *et al.* (2005) "Complesso Metamorfico di Monte Calamita". Le rocce di questa successione più abbondanti in affioramento sono scisti quarzoso-muscoviti-

co-biotitici. Essi contengono porfiroblasti di andalusite, plagioclasio e più raramente granato.

Il Complesso Metamorfico di Monte Calamita è sormontato, in discordanza stratigrafica, da una copertura costituita da meta-sedimenti silicoclastici triassici (Quarziti di Barabarca) e da successioni carbonatiche del ?Triassico superiore-?Hettangiano (formazioni di Tocchi e di Calanchiole). Le quarziti di Barabarca hanno uno spessore massimo apparente di circa 50 m. Esse contengono livelli fillosilicatici, filladi "macchiettate" (BONATTI & MARINELLI, 1951) e "microanageniti" (BARBERI *et al.*, 1967b). Nell'insieme, questi tipi litologici sono comunemente riferiti al Verrucano. La formazione di

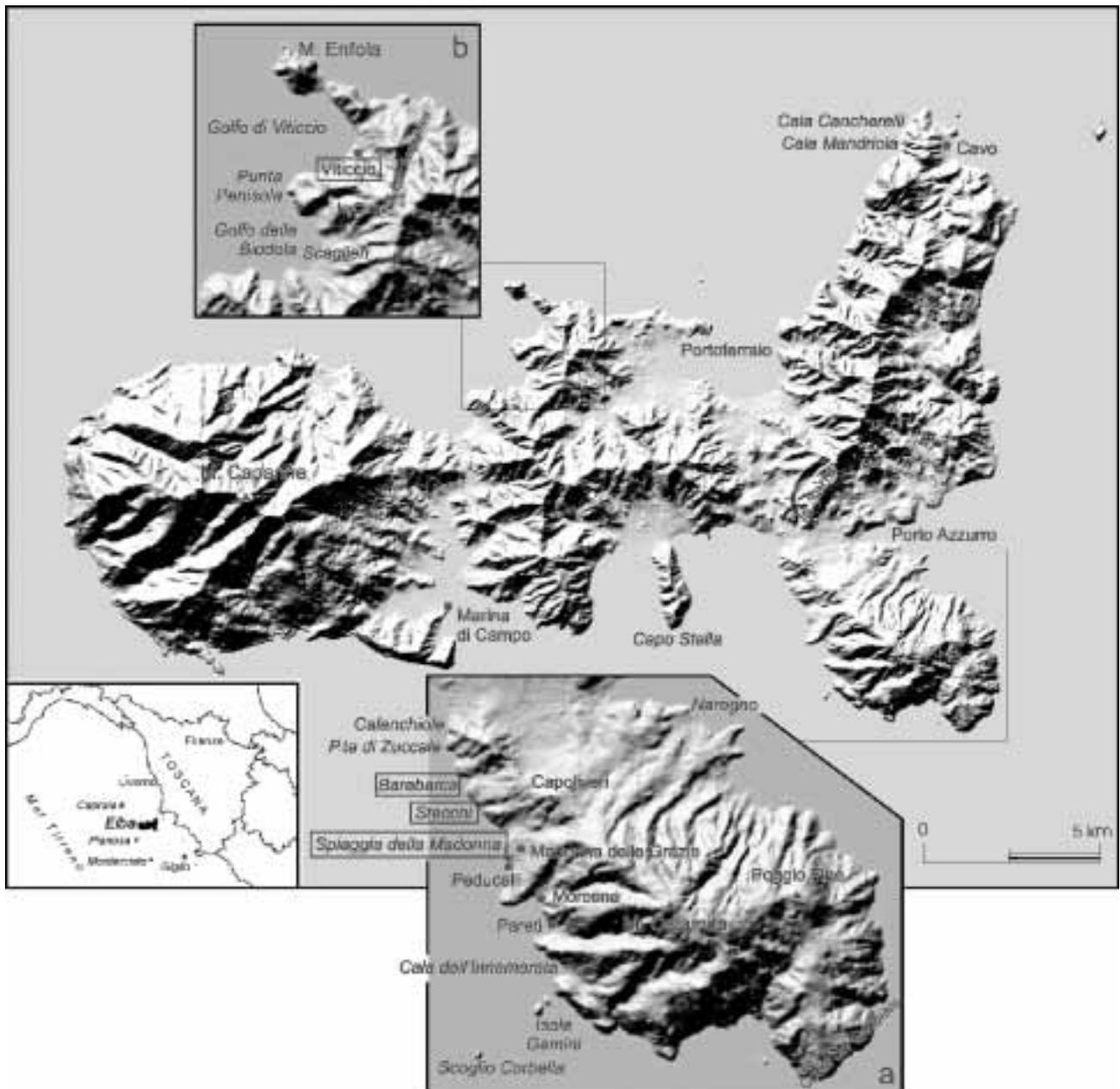


Fig. 1 – Rilievo ombreggiato dell'Isola d'Elba, ricavato dal Modello Digitale del Terreno dell'IGM con risoluzione di 20 m. Sono indicati i toponimi riportati nel testo (nei riquadri le località di studio). a) Settore del promontorio del M. Calamita. b) Settore del Golfo di Viticcio. Shaded relief of the Elba Island, obtained from the 20 meter-resolution Digital Elevation Model of IGM. Toponyms reported in the text are indicated (study areas are framed). a) Mt. Calamita sector. b) Viticcio Gulf sector.

Tocchi ha uno spessore massimo apparente di circa 150 m. Le rocce che la costituiscono sono state interpretate come metadolereoniti con letti di calcescisti, talora fortemente tettonizzate (GARFAGNOLI *et al.*, 2005). I litotipi ascritti alla formazione di Calanchiole non affiorano nelle aree oggetto del presente studio.

Nell'area di Porto Azzurro e nel settore orientale del promontorio del M. Calamita, il complesso metamorfico è attraversato 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. Questa unità non è quindi compresa nelle aree esaminate 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 costituito dallo Scoglio Corbella. Essa è separata dalla sottostante Unità di Porto Azzurro da un orizzonte cataclastico decametrico, connesso alla faglia estensionale a basso angolo dello Zuccale (KELLER & PIALLI, 1990; PERTUSATI *et al.*, 1993; DANIEL & JOLIVET, 1995).

L'unità è rappresentata da una sequenza di terreni del Cretacico superiore in facies di flysch. In particolare, si tratta di argille passanti verso l'alto ad arenarie e conglomerati torbiditici (arenarie di Ghiaietto) e successivamente alternanze di marne, calcari marnosi e arenarie (formazione di Marina di Campo). Questi litotipi sono interessati da frequenti, e localmente spesse, intrusioni filoniane e di ammassi granodioritici.

Numerosi studi mineralogici e petrografici si sono succeduti negli anni riguardo queste rocce: i loro risultati sono riportati in forma sinottica nella Tab. 1a.

Golfo di Viticcio (Fig. 1b). Il piccolo centro abitato di Viticcio si affaccia sull'omonimo golfo, il quale è compreso tra il promontorio del M. Enfola a nord ed il promontorio di Penisola a sud. Il substrato dell'area del Golfo di Viticcio comprende due sole tipologie litologiche, le cui caratteristiche sono riassunte nella Tab. 1b.

BARBERI *et al.* (1967a; 1969) evidenziano, nel settore in esame, la presenza di rocce del Cretacico superiore in facies di flysch: esse molto probabilmente corrispondono alla formazione di Marina di Campo, che costituisce l'estrema parte superiore del "Complesso V" di TREVISAN (1950), ovvero la parte superiore dell'"Unità del Flysch Cretacico" di BORTOLOTTI *et al.* (2001).

Questa successione flyschoidale, è descritta in letteratura in modo diverso da vari Autori. AIELLO *et al.* (1977) hanno distinto tre facies in cui il contenuto percentuale in pelite aumenta verso l'alto. All'interno della stessa formazione, invece, BORTOLOTTI *et al.* (2001) hanno distinto quattro litotipi: 1) arenarie quarzoso-feldspatiche senza cemento carbonatico; 2) arenarie quarzoso-feldspatiche con cemento carbonatico; 3) calcareniti e marne; 4) argilliti.

Nel settore di Viticcio, la formazione di Marina di Campo risulta frequentemente interessata da estese intrusioni di porfidi a composizione prevalentemente granitico-granodioritica, in forma di espandimenti, ammassi irregolari e filoni.

Dal punto di vista petrografico, i porfidi sono suddivisibili in due unità (MARINELLI, 1955; DINI *et al.*, 2002): 1) i "porfidi di Portoferraio", i quali affiorano in tutta l'Elba centro-settentrionale, dove formano diversi strati laccolitici spessi fino a 700 m e numerosi dicchi. Essi hanno composizione prevalentemente granodioritica, localmente sienogranitica; 2) i "porfidi di San Martino", i quali sono localizzati nei settori settentrionale e meridionale del Golfo di Viticcio, dove formano tre strati laccolitici spessi fino a 400 m e alcuni dicchi. Essi hanno composizione granodioritica.

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'Elba si erge da una piattaforma continentale, che si estende dal litorale toscano sino al Canale di Corsica (Fig. 1). 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 continente 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 mancanza in affioramento di sedimenti marini neogenici e quaternari e della scarsità di depositi continentali quaternari; questi ultimi, infatti, si rinvenivano in areali piuttosto ristretti e sono principalmente costituiti da 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) e CENTAMORE *et al.* (1988). In particolare, gli Autori di quest'ultimo lavoro riconoscono, in quasi tutta l'isola, almeno tre ordini di superfici di spianamento relitte (rispettivamente 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 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.

RÜHL (1912) e poi BARBERI *et al.* (1969) hanno interpretato le insenature marine, presenti lungo le coste frastagliate in corrispondenza delle valli fluviali, come forme di sommersione, dovute all'ultima risalita eustatica del livello marino. Oltre alla risalita eustatica, BARBERI *et al.* (1969), in conseguenza della totale assenza in affioramento di depositi marini neogenici e quaternari, ipotizzano una generale subsidenza dell'isola, che avrebbe coinvolto questi depositi in un lento abbassamento a partire dal Pliocene. Depositi di entrambe le età affiorano, invece, nella vicina Isola di Pianosa (FORSI *et al.*, 2000; GRACIOTTI *et al.*, 2002-2003) e sono stati attraversati da due pozzi, Mimosa 1 e Martina 1, eseguiti dall'Agip negli anni '70, sulla dorsale sommersa

Tab. 1 – Sinottica delle litologie e delle paragenesi del substrato delle aree in esame.
Lithology and parageneses of the substrate of the studied areas.

a) Monte Calamita

| formazione o unità | “Scisti del Calamita” | intrusioni terziarie | |
|--------------------------|---|---|----------------------------------|
| litotipi | micascisti e filladi | da graniti a granodioriti in piccoli ammassi e filoni | apliti in filoni |
| strutture e tessiture | strati quarzosi grano- e porfiroblastici; strati micacei lepido- e porfiroblastici | porfirica; pdf da granofirica a scistosa | (micro)porfirica |
| costituenti fondamentali | qtz, ms, bt, chl | fenox: qtz; pdf: pl, Kf, qtz, bt | fenox: qtz; pdf: pl, Kf, qtz, bt |
| costituenti subordinati | and, pl, sericite, crd, Kf | ap, zrn, tur, crd | tur, and, crd, ms |
| costituenti occasionali | tur, ap, zrn, ttn, rt, mag, hem, py | and, py | grt, ap, zrn |
| referenze | Scisti quarzoso-micacei (1) Scisti quarzoso-muscovitico-biotitici (3) Scisti (quarzoso-)muscovitico-biotitici (5) Micascisti e filladi (quarzitici) (10) | Porfiriti (2) Porfidi (6) | Apliti (3) |

| formazione o unità | prodotti termometamorfici | | |
|--------------------------|--|--|---|
| litotipi | anfiboliti in lenti negli scisti (C. Pianuccio - Remaiolo) | cornubianiti in piccoli ammassi (Capoliveri - M. Calamita) | skarn in piccoli ammassi (C. Calamita - Sassi Neri) |
| strutture e tessiture | da granolepido- a nematoblastica | granolepidoblastica (?) | granolepidoblastica |
| costituenti fondamentali | ortoam, pl | pl, cpx, grt | hbl, pl, Kf |
| costituenti subordinati | qtz, ms, bt, hbl, ap, zrn, ttn, tur | ttn, ap, cal | ortoam, grt, cpx, ep, mag, py |
| costituenti occasionali | | | ap, ttn, ilm |
| referenze | Anfiboliti (5; 10) | Cornubianiti (5) | Skarn (1; 10) |

| formazione o unità | Quarziti di Barabarca | |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| litotipi | quarziti | metaconglomerati |
| strutture e tessiture | da grano- a lepidoblastica | (?) |
| costituenti fondamentali | qtz fillosilicati | clasti: qtz; cemento: qtz, miche |
| costituenti subordinati | and | |
| costituenti occasionali | ap, tur, hem | |
| referenze | Quarziti di Barabarca (5; 10) | “Microanageniti” (5) |

| formazione o unità | Fm Tocchi | | Fm Calanchiole |
|--------------------------|--|--------------------|---|
| litotipi | calcarei dolomitici; calcescisti | filladi | marmi e dolomie cristalline |
| strutture e tessiture | da nemato- a lepidoblastica | diablastica | da grano- a xenoblastica |
| costituenti fondamentali | cal, dol | qtz, fillosilicati | cal, dol |
| costituenti subordinati | qtz, pl, bt, ortoam | | qtz, sericite |
| costituenti occasionali | anh, ccp, tur, mag, hem, py | | ortoam, phl, ap, hem |
| referenze | Carbonati di Capoliveri (3) Fm Tocchi (5; 10) | | Marmi del Calamita (5) Fm Calanchiole (10) |

b) Golfo di Viticcio

| formazione o unità | Fm Marina di Campo | | |
|--------------------------|--|----------|---------|
| litotipi | areniti | calcarei | scisti |
| strutture e tessiture | (?) | (?) | (?) |
| costituenti fondamentali | clasti: qtz, Kf, pl, bt, ms cemento: fillosilicati, carbonati | cal | argille |
| costituenti subordinati | | | |
| costituenti occasionali | femici (?) | | |
| referenze | Flysch (4) Fm Marina di Campo (7; 8) | | |

| formazione o unità | intrusioni terziarie | |
|--------------------------|---|-------------------------------------|
| litotipi | da graniti a granodioriti in filoni, ammassi ed espandimenti | apliti in filoni |
| strutture e tessiture | porfirica; pdf da granulare a granofirica | (micro)porfirica; pdf trachitica |
| costituenti fondamentali | fenox: Kf, qtz, bt, pl; pdf: qtz, pl, Kf, bt | fenox: qtz, Kf, pl, ms; pdf: (?) |
| costituenti subordinati | tur | tur |
| costituenti occasionali | ap, zrn, ttn, aln, mnz, thorite fasi “autometamorfiche”: sericite, chl, cal, py, argille | mnz, xenotimo, Nb-Ta-ossidi |
| referenze | Porfidi (1; 2; 9) | “Euriti” (1) Apliti (9) |

Referenze: 1 = Bonatti e Marinelli, 1951; 2 = Marinelli, 1955; 3 = Marinelli, 1959; 4 = Parea, 1964; 5 = Barberi et alii, 1967b; 6 = Barberi et alii, 1969; 7 = Aiello et alii, 1977; 8 = Bortolotti et alii, 2001a; 9 = Dini et alii, 2002; 10 = Garfagnoli et alii, 2005.

Elba-Pianosa (CORNAMUSINI *et al.*, 2002). Inoltre, i vari profili sismici eseguiti in corrispondenza della piattaforma toscana evidenziano, nella loro parte superiore, la presenza di riflettori ben definiti in *onlap* sul substrato neogenico, riferibili a depositi quaternari marini (PASCUCI, 2002). Alcune campagne oceanografiche, condotte dall'Istituto di Geologia Marina del CNR di Bologna (ROVERI & CORREGGIARI, 2004), hanno evidenziato le principali caratteristiche sedimentologiche dei depositi plio(?) - pleistocenici che costituiscono il tratto di piattaforma compreso tra l'Elba e Pianosa e quello circostante l'Isola di Capraia. I risultati di tali ricerche, basate su profili sismici e campionature, consentono di attribuire i sedimenti sopra citati a corpi deposizionali progradanti, costituiti da biocalcareni e biocalciruditi ad alghe calcaree.

Promontorio del M. Calamita. Quest'area è caratterizzata da una peculiare forma tozza che si erge bruscamente dal mare, raggiungendo la quota massima di 412 m s.l.m. (Fig. 1a). Tale conformazione orografica è strettamente connessa al particolare assetto strutturale dell'area, contraddistinto dalla presenza della sopra citata mega-antiforme del M. Calamita.

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 (non superiore al 4°) secondo la classificazione di STRAHLER (1957), sottendono bacini imbriferi spesso stretti ed allungati. Tali bacini hanno una pendenza media variabile tra i 10° e i 22° e un'estensione media di circa 0,8 km²; i bacini di maggior estensione sono esposti prevalentemente verso i quadranti occidentali. Gli attuali *thalweg* fluviali sono incisi sia nel substrato metamorfico e sedimentario, sia nei depositi alluvionali recenti. 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.

Golfo di Viticcio. I rilievi a monte dell'abitato di Viticcio presentano una minore elevazione rispetto a quelli del promontorio del M. Calamita: infatti, i primi raggiungono la quota massima di 230 m s.l.m. (località Le Cime), in corrispondenza dello spartiacque tra i bacini idrografici drenanti verso il Golfo di Viticcio e il bacino del fosso Acquaviva drenante verso nord (Fig. 1b).

In prossimità della linea di riva, questi rilievi danno luogo a coste alte, caratterizzate da falesie con altezza di circa 20 m, che si interrompono in coincidenza di alcune calette. Esse ospitano piccole spiagge contraddistinte prevalentemente da depositi grossolani, costituiti da ghiaie e blocchi, con diametro massimo di circa 1 m; i singoli elementi presentano un elevato indice di

arrotondamento e sono costituiti essenzialmente da lito-tipi flyschoidi e porfiroidi. Le spiagge, tra cui quella del Viticcio, sono ubicate allo sbocco di impluvi a regime temporaneo, che drenano modesti bacini idrografici.

Generalmente i bacini, orientati verso NO, hanno una forma stretta ed allungata ed un basso ordine gerarchico (1° o 2°) in base alla classificazione di STRAHLER (1957); solo quello più meridionale, di maggior estensione, è contraddistinto da una forma più o meno rettangolare e da un reticolo idrografico di 4° ordine gerarchico.

4. ASPETTI GEOMORFOLOGICI E STRUTTURE SEDIMENTARIE DELLE EOLIANITI

4.1. Aspetti geomorfologici

Promontorio del M. Calamita. Nell'area del M. Calamita, le eolianiti affiorano con continuità nella fascia costiera compresa tra la Punta di Barabarca e la Spiaggia della Madonna (Fig. 1a), dove ammantano le antiche coste rocciose modellate nel substrato e solitamente danno origine a corpi sedimentari disposti all'incirca parallelamente alla linea di costa. Questi depositi si rinvergono, inoltre, all'interno delle incisioni vallive, che sfociano in corrispondenza delle insenature marine di Barabarca, di Stecchi, di Mad.^{na} delle Grazie, di Peducelli, di Morcone, di Pareti e dell'Innamorata. In tal caso, 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 (Fig. 2a), superando anche i 100 m di quota s.l.m., come nel caso degli affioramenti della Mad.^{na} delle Grazie. La loro incisione da parte del reticolo idrografico attuale, dà luogo a forre, al cui interno frequentemente si rinvergono accumuli da frana di crollo e/o ribaltamento.

Generalmente, la superficie erosiva, attraverso la quale i depositi in esame poggiano in discordanza sul substrato metamorfico e sedimentario, è identificabile all'interno delle incisioni vallive e in alcuni casi lungo il litorale, a causa dell'arretramento costiero indotto dall'erosione marina. Tuttavia a questo fa 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. 2b).

Golfo di Viticcio. Le eolianiti affiorano in corrispondenza della parte medio-alta della falesia che, con un'altezza di circa 20 m, domina la Spiaggia del Viticcio (Fig. 1b).

Esse costituiscono un corpo sedimentario di forma prismatica di circa 15 m di spessore massimo, il quale va progressivamente rastremandosi verso l'entroterra, risalendo il versante retrostante sino a circa 70 m di quota s.l.m. (Fig. 3).

Il corpo sedimentario è limitato alla base da una superficie d'erosione, degradante verso mare con una pendenza di circa 20°, attraverso la quale poggia in discordanza sul substrato, rappresentato da porfidi granodioritici e granitici e dal flysch appartenente alla formazione di Marina di Campo.

Al tetto il litosoma è delimitato da una superficie

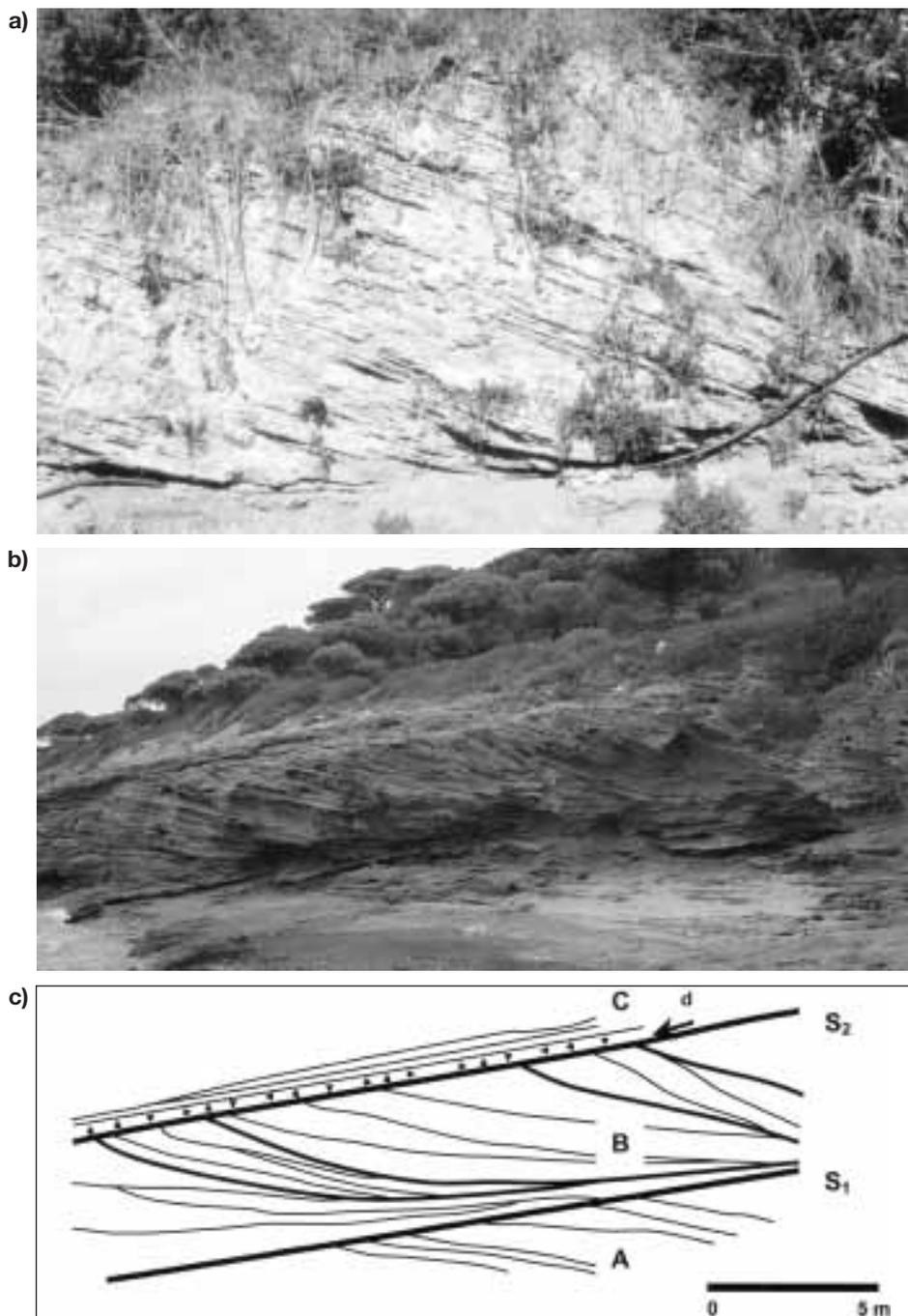


Fig. 2 – Area di Madonna delle Grazie. a) Affioramento di eolianiti nei pressi della chiesa della Madonna delle Grazie (a quota circa 30 m s.l.m.). Set di strati immergenti contro monte con una pendenza di circa 20°; b) Affioramento di eolianiti nei pressi della Spiaggia della Madonna; c) Ricostruzione schematica delle strutture sedimentarie e delle superfici d'erosione dell'affioramento di eolianiti in b). La maggior parte della sezione è composta da un set di strati, ad alto angolo, di forma tangenziale immergenti verso terra (B). Il set è delimitato da due superfici di erosione (S_1 e S_2), debolmente inclinate verso mare, ed è caratterizzato al suo interno da numerose superfici di riattivazione. Sulla superficie superiore (S_2) poggiano in discordanza detriti di versante clinostatificati (d), a cui segue in concordanza una sequenza eolica con stratificazione piano-parallela a basso angolo d'inclinazione (C). È interessante notare la prosecuzione del corpo sedimentario sia in direzione orizzontale (verso mare), sia in quella verticale (al di sotto dell'attuale battigia).

The Madonna delle Grazie area. a) Aeolianite outcrop near the church of Madonna delle Grazie (about 30 m a.s.l.). Foresets dipping about 20° landward; b) Aeolianite outcrop near the Spiaggia della Madonna; c) Schematic reconstruction of sedimentary structures and erosion surfaces of the aeolianite outcrop of b). The cut is mostly built up by a high angle foresets dipping landward and tangent to the base (B). The set is bounded by two erosional surfaces (S_1 and S_2), slightly dipping seaward, and it contains several reactivation surfaces. Stratified slope-waste deposits (d) lie unconformably on the upper erosion surface (S_2). An aeolian sequence (C), with a low angle parallel stratification, lies conformably on slope-waste deposits. It is interesting to note the extension of the whole sedimentary body in both the horizontal (towards the sea) and the vertical (under the present waterline) directions.

d'erosione corrispondente all'attuale superficie topografica.

4.2. Caratteri macroscopici delle eolianiti

Le rocce del presente studio hanno un colore 2,5 Y 5/4 (marrone giallastro). Dal punto di vista granulometrico, esse sono costituite prevalentemente da sabbie a grana media e grossolana ed in misura molto minore da ghiaie minute (granuli di diametro tra 2 e 4 mm).

In linea generale, la cementazione è elevata al punto tale da formare delle vere e proprie areniti ed in rari casi delle ruditi. Il grado di cementazione è, comunque, variabile in funzione della granulometria dei grani. Infatti, gli strati a granulometria più fine tendono ad essere maggiormente cementati rispetto a quelli a granulometria più grossolana. Il diverso grado di cementazione viene enfatizzato dalla morfoselezione, che mette in evidenza un'alternanza di strati più e meno resistenti ai processi erosivi (Fig. 2b).

All'interno dei singoli strati non si riscontra una gradazione dei granuli; sono, invece, visibili inclusi litici di dimensioni millimetriche. Macrofaune fossili sono quasi del tutto assenti ad eccezione di qualche frammento di bivalve marino (avente dimensioni non superiori a qualche centimetro) e rari gusci di gasteropodi terrestri.

4.3. Principali strutture sedimentarie delle eolianiti

Nel loro insieme, le eolianiti sono caratterizzate internamente da strutture sedimentarie principali, che consistono essenzialmente in stratificazione incrociata a grande scala.

Uno dei migliori esempi di queste strutture sedimentarie è visibile nella sezione di origine antropica ubicata circa 200 m a nord della Spiaggia della Madonna, dove è osservabile in tre dimensioni la stratificazione sopra descritta (Fig. 2c). Infatti, la gran parte della sezione, ad eccezione dell'estrema porzione superiore, è contraddistinta da stratificazione incrociata di tipo piana-tabulare. Prevalgono i set di strati frontali, i quali general-

mente hanno un'immersione verso terra ed assumono una forma tangenziale verso la base. I singoli strati sono spessi da 5 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 set di strati frontali sono di tipo composto in quanto contengono al loro interno delle superfici di discontinuità.

I singoli set di strati sono troncati da superfici di erosione, inclinate di circa 10° - 12° verso mare e contraddistinte da una evidente ondulazione. In particolare, nell'affioramento della Spiaggia della Madonna sono visibili due superfici di erosione che troncano verso l'alto due set di strati frontali, caratterizzati da giaciture differenti. Infatti, il set più alto (B), delimitato al tetto dalla superficie superiore (S₂), è spesso da circa 4,5 a 5,5 m ed è costituito da strati frontali con una direzione d'immersione variabile tra N60° e N80° ed inclinazione degli stessi fino a 35°. Il set sottostante (A), delimitato al tetto dalla superficie inferiore (S₁), è formato, invece, da strati con direzione d'immersione N40° e pendenza di circa 10°.

Al di sopra della superficie di erosione superiore (S₂), poggiano in discordanza, depositi di versante (d) di circa 70-80 cm di spessore, costituiti da strati a geometria piano-parallela con basso angolo d'inclinazione, variabile tra 10° e 12°, e con un'immersione in genere verso mare (N220°).

Ai depositi di versante, segue, in concordanza, un'altra sequenza eolica (C) di circa 50 cm di spessore, caratterizzata da una stratificazione da piano-parallela a leggermente ondulata. Quest'ultima è delimitata superiormente da una superficie d'erosione corrispondente all'attuale piano topografico.

Nell'area di Viticcio, le eolianiti sono organizzate in strati prevalentemente piano-paralleli, debolmente inclinati verso mare.

In diversi affioramenti, all'interno delle areniti si rinvengono strutture sedimentarie secondarie costituite da concrezioni intrasedimentarie sia sub-orizzontali e sia verticali (Fig. 4). Le prime, più frequenti, si presentano come corpi arenacei fortemente allungati, dalla forma più o meno cilindrica e con sezione trasversale circolare, ellittica o irregolare (diametro variabile tra 0,5 e 2 cm). Questi elementi cilindrici, spesso tra loro coalescenti, sono inclinati verso mare di circa 10°. Le seconde, più rare, sono costituite da corpi arenacei analoghi ai precedenti, dai quali si distinguono nettamente per essere allungati verticalmente, per una minore uniformità di cementazione e per le minori dimensioni.



Fig. 3 - Spiaggia del Viticcio. Depositi eolici poggianti sul substrato igneo e flyschoid attraverso una superficie d'erosione (linea bianca tratteggiata) inclinata di circa 20° verso mare. Il corpo sedimentario, contraddistinto da una forma prismatica, va progressivamente rastremandosi verso terra. Allo stato attuale, i depositi sono sottoposti ad uno scalzamento alla base da parte del mare, con conseguente innesco di fenomeni di crollo e ribaltamento.

The Spiaggia del Viticcio. Aeolian deposits lie on the igneous and flyschoid substrate by an erosion surface (dashed white line), which is almost 20° dipping seawards. The prismatic sedimentary body becomes progressively thinner landward. At present, these deposits are undergoing underwash by the seawaters: this is a triggering factor for rockfall and topple phenomena.

4.4. Paleosuoli e depositi di versante associati alle eolianiti

Alternati ai depositi arenacei si rinvengono, di solito, degli orizzonti prevalentemente sabbiosi di colore rosso, talora associati a detriti di versante costituiti da clasti poligenici con tessitura a supporto di matrice. 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 rubeffatto (Fig. 5a-b).



Fig. 4 - Tratto di costa tra Punta di Barabarca e Stecchi. Depositi eolici caratterizzati prevalentemente da tubuli sub-orizzontali e subordinatamente verticali.

Coastline between Punta di Barabarca and Stecchi. Aeolian deposits are characterized by tubules: they have mainly sub-horizontal and in a lesser extent vertical elongation.

Esso ha un colore 2,5 YR 4/6 (rosso), una geometria lenticolare ed è costituito da sabbie limose a volte debolmente argillose, con spessori che possono superare abbondantemente il metro. Sia nella frazione fine sia in quella grossolana non si riscontra presenza di carbonato di calcio. Le superfici esposte agli agenti atmosferici presentano grado di compattezza abbastanza elevato. La materia organica, in genere scarsa, è costituita da piccoli frammenti di carbone, che hanno fornito, nel caso della sezione di M.^{na} delle Grazie, un'età ¹⁴C di 48.000 ± 1.900 anni B.P. (CREMASCHI & TROMBINO, 1998). Questa datazione, seppure al limite del metodo, è in sostanziale accordo con un'altra effettuata dagli Autori sopra citati su un analogo paleosuolo rinvenuto tra due sequenze eoliche affioranti presso Cala Cancherelli (Elba settentrionale). I frammenti di carbone contenuti in questo paleosuolo, situato in un contesto stratigrafico e morfologico identico a quello di M.^{na} delle Grazie, hanno infatti fornito un'età radiometrica di 40.831 ± 1.373 anni B.P. Nel medesimo paleosuolo sono stati inoltre rinvenuti, dagli stessi Autori, manufatti musteriani.

All'interno delle eolianiti e del paleosuolo si possono notare, a varie altezze, sottili lenti oppure livelli sub-orizzontali o debolmente inclinati di materiale detritico (d), costituito da elementi poligenici, eterometrici (dimensioni da millimetriche a decimetriche) e spigolosi, spesso fortemente cementati, legati a fasi erosive dei versanti soprastanti (Fig. 5b). I corpi detritici in posizione stratigrafica inferiore sono quelli poggianti direttamente sul substrato e sottostanti ai depositi eolici, mentre quelli in posizione stratigrafica più elevata si sovrappongono direttamente alla sequenza eolica superiore.

Nell'affioramento della Spiaggia della Madonna, le lenti detritiche comprese nelle porzioni a stratificazione incrociata (B: vedi Fig. 2c) delle eolianiti possono raggiungere uno spessore massimo di 40 cm ed una lunghezza di 5 m (Fig. 6a); i clasti sono costituiti da frammenti di rocce metamorfiche nerastri e verdastri (prevalentemente micascisti, quarziti e calcari termomorfosati), spesso ad elevato grado di alterazione. Al di sopra dei depositi eolici (B), si rinvengono i sopraccitati livelli detritici a stratificazione piano-parallela (Fig. 6b).

In questo caso, però, i clasti non sono in contatto reciproco, ma sono a supporto della matrice sabbioso-ghiaiosa che costituisce le eolianiti. In questi livelli, le dimensioni dei clasti tendono ad aumentare procedendo verso l'alto, passando da alcuni millimetri di diametro a circa 10 cm. Gli elementi di forma piatta di solito sono allungati secondo il loro asse maggiore ed alcuni presentano una leggera embriatura.

4.5. Micro e macroforme di erosione superficiale e fenomenologie di dissesto

Lungo la fascia costiera, i depositi arenacei in esame, ed in particolare quelli tra Stecchi e la Spiaggia della Madonna, sono interessanti, 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 di eolianiti al di sotto del livello del mare. Procedendo verso mare, a partire dal limite inferiore della zona completamente vegetata e considerando solo le forme di erosione subaeree, è possibile

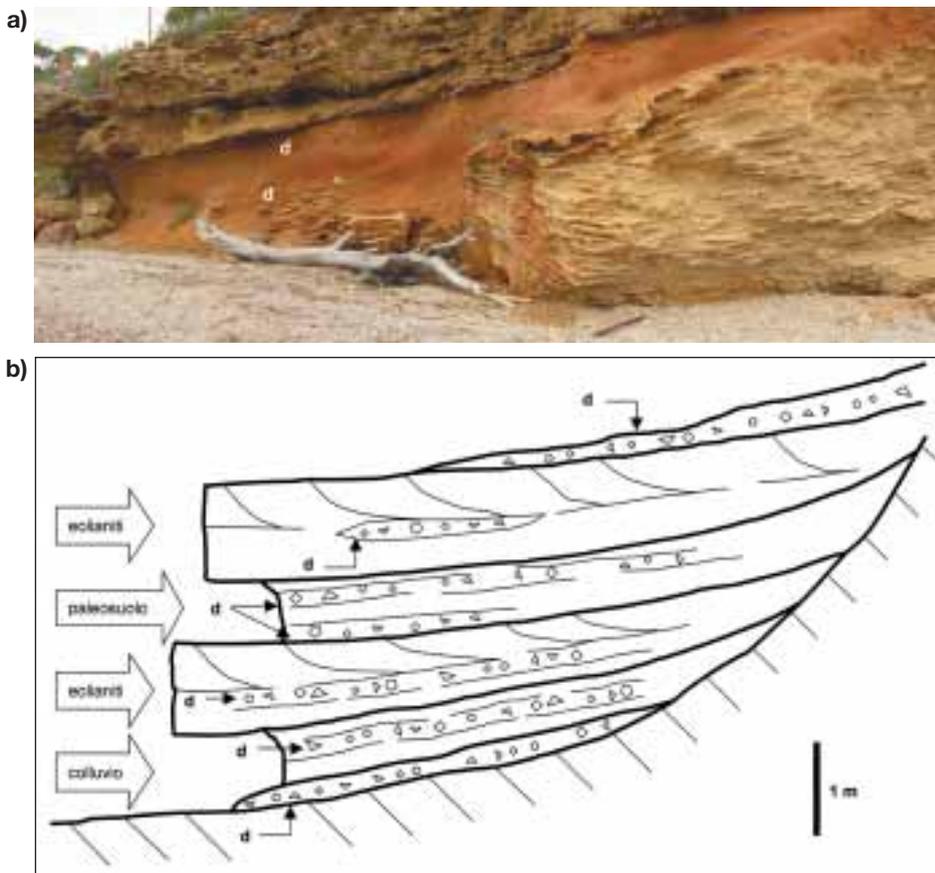


Fig. 5 - Paleosuoli e depositi di versante (d) alternati alle eolianiti. a) Tratto di costa tra Punta di Barabarca e Stecchi. Paleosuolo rosso intercalato tra due corpi sedimentari di eolianiti. All'interno del paleosuolo si notano dei livelli sub-orizzontali formati da clasti, anche decimetrici, eterometrici e spigolosi, costituiti da detriti di versante (d); b) Ricostruzione schematica della successione stratigrafica affiorante poco a nord di Stecchi. Si possono osservare due sequenze di natura eolica, con intercalato un paleosuolo rosso. La sequenza inferiore poggia su depositi di versante.

Paleosoils and slope debris (d) interbedded with the aeolianites. a) Coast between Punta di Barabarca and Stecchi. Rubified paleosol interbedded between two aeolianite sedimentary bodies. Inside the paleosol, some sub-horizontal levels are evident: they are slope debris (d) built up by angular and heterometric, up to dm-sized, clasts; b) Schematic reconstruction of the stratigraphic succession outcropping just north of Stecchi. Two aeolian sequences with an interbedded red paleosol are recognizable. The lower sequence lies on slope deposits.

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.

In sintesi, nella zona supratidale si riconosce una fascia superiore di colore chiaro, interessata da una elevata "spugnosità" conferita da "tubuli" verticali internamente vuoti, che si ergono dal suolo per circa 20 cm, a cui sono associate piccole vaschette di forma irregolare e con un diametro massimo dell'ordine del decimetro. Queste sono svasate verso l'alto e spesso hanno il fondo colmato da suolo su cui attecchiscono essenze vegetali.

Questa fascia sfuma verso mare in una seconda più scura, caratterizzata da vaschette di corrosione a contorno irregolare per la coalescenza di più forme erosive. Le vaschette, prive di un'orientazione preferenziale, hanno l'asse maggiore di lunghezza 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" e con apertura generalmente orientata verso mare.

Nella zona intertidale, di estensione metrica e colore più scuro rispetto alla precedente poiché saturata di acqua marina, le cavità assumono progressivamente una forma cilindrica e possono essere considerate delle vere e proprie marmitte di abrasione marina (Fig. 7). 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.

In corrispondenza della fascia costiera, tra Stecchi e la Spiaggia della Madonna, è possibile osservare che le eolianiti sono interessate da due principali famiglie di fratture verticali, con direzione rispettivamente N50° e N140° e spaziatura di



Fig. 6 - Diverse posizioni stratigrafiche dei detriti di versante (d). a) Eolianite affiorante presso la Spiaggia della Madonna. Lente detritica all'interno del set a stratificazione incrociata (porzione basale di B; vedi Fig. 2c); b) Stesso affioramento di a). Detriti di versante stratificati, inclinati di 10-12° verso mare, poggianti in discordanza sul set a stratificazione incrociata (porzione sommitale di B) attraverso la superficie di erosione S_2 .
Different stratigraphic positions of slope debris (d). a) Aeolianite outcropping near the Spiaggia della Madonna. A lens of debris inside the cross-stratified set (basal portion of B; see Fig. 2c) is recognizable; b) Same outcrop as a). Stratified slope-waste deposits, 10-12° dipping seaward, lying unconformably on the cross-stratified set (upper portion of B) by the erosion surface S_2 .

alcuni metri. L'intersezione di queste due famiglie di fratture con le superfici di discontinuità sub-orizzontali legate alla stratificazione o alla presenza delle superfici di erosione, porta all'isolamento di prismi di una decina di m³ di volume, che a causa dell'erosione marina possono trovarsi, in prossimità della costa, in condizioni d'instabilità o addirittura essere coinvolti in crolli o ribaltamenti (Fig. 8).



Fig. 7 – Marmitte d'abrasione marina modellate nelle eolianiti, affioranti nella zona intertidale superiore della Spiaggia di Stecchi.

Marine rock pools modeled into the aeolianites of the upper intertidal zone of the Spiaggia di Stecchi.



Fig. 8 - Fenomeni di crollo e ribaltamento nei depositi eolici tra Punta di Barabarca e Stecchi, innescati dall'intensa azione erosiva da parte del mare. Sono visibili i detriti di versante (d) tra substrato quarzatico ed eolianiti.

Rockfall and topple phenomena are triggered by the intense erosive marine dynamics in the aeolianite deposits outcropping between the Punta di Barabarca and Stecchi. Slope debris (d) between the quartzitic substrate and the aeolianites are also recognizable.

5. MINERALOGIA E PETROGRAFIA DELLE EOLIANITI

5.1. Caratteri microscopici delle eolianiti

I granuli che costituiscono i depositi eolici del presente studio possiedono una certa variabilità di dimensioni e forme, sia da un affioramento all'altro sia all'interno di uno stesso affioramento. Ciò rende difficoltoso il confronto tra i diversi depositi, eseguito sulla base dei soli caratteri morfometrici dei granuli. Tuttavia, nel presente lavoro è stata svolta un'indagine a scala microscopica finalizzata non solo ad identificare le specie mineralogiche e gli inclusi litici presenti in questi depositi, ma anche a verificare la possibilità di ottenere trend significativi a partire dalle misure morfometriche dei granuli, dalle quali possono scaturire delle informazioni utili alla correlazione tra i diversi affioramenti. A questo scopo, è stato eseguito un campionamento mirato sulla porzione granulometricamente più fine delle rocce in affioramento, in quanto:

- i) la frazione più fine è volumetricamente sempre predominante, anche nel caso di rocce costituite da alternanze con livelli a granulometria sabbioso-ghiaiosa;
- ii) solo il confronto tra campioni aventi granulometrie analoghe può fornire dati direttamente correlabili.

La caratterizzazione mineralogico-petrografica delle eolianiti è stata eseguita su sezioni sottili di campioni prelevati negli affioramenti di Barabarca, Stecchi, Mad.^{na} delle Grazie e Viticcio. Per ogni campione, sono state effettuate diverse sezioni sottili orientate parallelamente e perpendicolarmente rispetto alla stratificazione.

In generale, i campioni analizzati presentano una composizione mineralogica abbastanza uniforme. Essi sono formati da granuli di natura poligenica e presentano, tra i costituenti principali, bioclasti carbonatici, clasti prevalentemente silicatici e inclusi litici.

Anche alla scala microscopica, non è evidente alcuna gradazione degli elementi costitutivi della roccia, i quali hanno distribuzione spaziale non organizzata. Il grado di selezione (*sorting*) risulta generalmente piuttosto variabile anche in campioni appartenenti allo

Tab. 2 - Classificazione e distribuzione della frazione organica nelle eolianiti del presente lavoro.
Classification and distribution of the organic fraction in the aeolianites of this work.

| FRAZIONE ORGANICA | | CAMPIONI | | | |
|--|-----------------|--|---|--|--|
| | | Barabarca | Stecchi | M. ^{na} delle Grazie | Viticcio |
| Echinidi (frammenti) | | x | x | x | |
| Molluschi (frammenti) | | | | x | |
| Briozoi (frammenti) | | | | x | x |
| Crostei (frammenti) | | x | | | |
| Alghie corallinacee (frammenti) | | x | x | x | x |
| F o r a m i n i f e r i | Cibicididae | <i>Lobatula lobatula</i> (WALKER & JACOB) | Lobatula | | Lobatula |
| | Discorbidae | | <i>Discorbis globularis</i> (D'ORBIGNY); <i>Rosalina bradyi</i> (CUSHMANN) | | |
| | Elphididae | Elphidium | Elphidium | <i>Elphidium advenum</i> (CUSHMANN) | <i>Elphidium advenum</i> (CUSHMANN) |
| | Miliolidae | Adelosina Triloculina Cicloforina | Quinqueloculina Triloculina Massilina Cicloforina | <i>Quinqueloculina seminulum</i> (LINNAEUS); Adelosina Triloculina Cicloforina | Quinqueloculina |
| | Planorbulinidae | | | <i>Planorbulina mediterraneensis</i> (CUSHMANN) | |
| | Rotalidae | x | | x | |
| | Textularidae | | Textularia | x | |
| | Orbulinidae | Orbulina | | | |

stesso affioramento: ad esempio, a M.^{na} delle Grazie i valori determinati per confronto con le carte di comparazione visiva variano tra 0,60 ϕ ("moderatamente ben selezionato") e 1,50 ϕ ("poco selezionato").

La tessitura è generalmente *open-work*. Tuttavia, la maggior parte dei vuoti intergranulari è riempita da cemento carbonatico, che in alcuni casi rende la tessitura cemento-sostenuta.

5.1.1. Bioclasti (contributo di G. Ventura)

La componente organogena (Fig. 9a-b) è costituita da frammenti di gusci di dimensioni sub-millimetriche, in genere ben arrotondati, spesso ricristallizzati, appartenenti a lamellibranchi, gasteropodi, echinodermi e briozoi, da frammenti di alghe rosse nodulari e da foraminiferi bentonici (Tab. 2). Per quanto concerne questi ultimi, sono stati riconosciuti elementi appartenenti alle famiglie Cibicididae (Barabarca, Stecchi, Viticcio), Discorbidae (Stecchi), Elphididae (Barabarca, Stecchi, Mad.^{na} delle Grazie, Viticcio), Miliolidae (Barabarca, Stecchi, Mad.^{na} delle Grazie, Viticcio), Planorbulinidae (Mad.^{na} delle Grazie), Rotalidae (Barabarca, Mad.^{na} delle Grazie) e Textularidae (Stecchi). Si segnala,

infine, la presenza di un frammento di foraminifero planctonico (*Orbulina*) in un campione di Barabarca.

La percentuale dei bioclasti è elevata, seppur variabile anche in uno stesso campione, e può raggiungere anche il 50 % del totale.

5.1.2. Clasti prevalentemente silicatici

Le paragenesi mineralogiche relative alla componente silicoclastica delle arenite esaminate sono riportate nella Tab. 3. Il dettaglio delle caratteristiche delle sin-

Tab. 3 - Sinottica delle paragenesi delle eolianiti del presente lavoro.
Parageneses of the aeolianites of this work.

| abbondanza relativa | Viticcio | Barabarca | Stecchi | M. delle Grazie |
|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| costituenti fondamentali | qtz | qtz | qtz | qtz |
| | Kf pl | | Kf | Kf |
| costituenti subordinati | mica bruna spl | Kf cpx mica bianca spl | pl cpx spl hem | cpx mica bianca spl hem |
| | | pl mica bruna hem grt | | |
| costituenti occasionali | mica bianca hem cpx am | | mica bruna mica bianca am | mica bruna pl grt ap |

gole specie mineralogiche riconosciute, invece, è illustrato nella Tab. 4.

Tra i minerali silicatici, il quarzo è la specie mineralogica preponderante; la seconda specie mineralogica per abbondanza è il feldspato potassico; il plagioclasio è molto comune a Viticcio e Stecchi, risulta meno abbondante a Barabarca ed è raro a Mad.^{na} delle Grazie. L'abbondanza della mica bruna diminuisce da Viticcio a Barabarca fino a Mad.^{na} delle Grazie e Stecchi; invece, quella della mica bianca varia da apprezzabile (Barabarca, Mad.^{na} delle Grazie) a modesta (Stecchi, Viticcio). Il clinopirosseno è un costituente occasionale a Viticcio e subordinato negli altri affioramenti. Lo spinello nero è generalmente un costituente subordinato.

In tutti i campioni esaminati sono stati rinvenuti rari clasti micritici di natura carbonatica, bene arrotondati, dei quali non è possibile stabilire in modo univoco l'origine extra- o intrabacinale.

5.1.3. Inclusi litici: descrizione e classificazione

Nei campioni di areniti esaminati, sono presenti numerose e varie tipologie di inclusi. Le loro caratteristiche principali sono illustrate nelle Fig. 9b-e e riassunte nella Tab. 5:

- quarzo policristallino, con tessitura isotropa, la cui origine è riconducibile a quarziti;
- quarzo e subordinate miche, con tessitura scistosa: si tratta di frammenti di quarzoscisti;
- aggregati costituiti da soli fillosilicati, a grana fine, e aggregati costituiti da fillosilicati, quarzo, plagioclasio e feldspato potassico, a grana media, con evidente tessitura scistosa: i loro protoliti sono micascisti;
- quarzo e subordinate miche, con tessitura isotropa e grana variabile da grossa a fine: sono frammenti di quarzo-areniti provenienti dal substrato flyschoides;
- aggregati di feldspato potassico, plagioclasio e clinopirosseno, con tessitura isotropa: si tratta di frammenti di rocce

Tab. 4 - Dettaglio delle caratteristiche mineralogiche e petrografiche della componente silicoclastica delle eolianiti del presente lavoro.

Detail of mineralogical and petrographical features of the siliciclastic component of the aeolianites of this work.

| specie mineralogica | caratteristiche ottiche |
|----------------------------|---|
| quarzo | Subedrale, talora forma geminati semplici, talora ha estinzione ondulata e bordi in dissoluzione. Include apatite, spinello nero, mica bruna e clinopirosseno (Barabarca), plagioclasio (Stecchi), clinopirosseno (Viticcio). |
| feldspato potassico | Subedrale, pertitico, spesso forma geminati semplici, talora ha patchy-zoning, talora è cribroso ed ha bordi in dissoluzione. Possiede i caratteri ottici del sanidino (pseudouniassico negativo). Mostra alterazione micaceo-argillosa, in alcuni casi cloritizzazione (Barabarca), talora parziale sostituzione da parte di carbonato (Viticcio). Include quarzo, mica bruna e clinopirosseno (Viticcio). |
| plagioclasio | Da anedrale (Viticcio) a subedrale, forma geminati polisintetici, ed è generalmente cribroso. Ha alterazione micaceo-argillosa. Include quarzo e mica bruna (Viticcio). |
| mica bruna | Pleocroica dal giallo bruno al bruno scuro, talora scheletriforme (Barabarca, Viticcio), talora ossidata, possiede uno zoning ottico compatibile con un aumento dal rapporto Mg/Fe verso il bordo dei cristalli. |
| mica bianca | Debolmente pleocroica da incolore a giallo chiaro, spesso forma glomeruli (Barabarca). Talora è ossidata e in alcuni casi cloritizzata (Mad.na delle Grazie). |
| clinopirosseno | Da anedrale a subedrale (Stecchi), ha pleocroismo da incolore a giallo a verde corrispondente a termini diopsidico-agitici. Talora forma geminati semplici, possiede uno zoning ottico compatibile con aumento dal rapporto Fe/Mg verso il bordo dei cristalli, talora mostra patchy-zoning, è cribroso (Barabarca), e forma glomeruli. Le alterazioni più diffuse sono la cloritizzazione, l'argillificazione e l'ossidazione. Include mica bruna (Barabarca). |
| spinello nero | Da anedrale a euedrale anche nella stessa roccia (Mad.na delle Grazie, Stecchi), talora è cribroso (Barabarca) e con anse da rifusione (Viticcio). Spesso è ossidato. |
| ematite | Da anedrale a subedrale (Stecchi), contiene essoluzioni (Viticcio). |
| granato | Anedrale, giallo bruno caratteristico di termini ricchi in ferro. |

Tab. 5 - Sinottica delle caratteristiche mineralogiche e petrografiche degli inclusi litici delle eolianiti del presente lavoro.

Mineralogical and petrographical features of the lithics included in the aeolianites of this work.

| paragenesi | tessitura | protoliti | origine | Viticcio | Barabarca | Stecchi | M. delle Grazie |
|----------------------------|---|--------------|--------------|----------|-----------|---------|-----------------|
| qtz | isotropa | quarziti | | X | X | X | X |
| qtz, miche | scistosa | quarzoscisti | metamorfica | X | X | X | |
| miche, qtz, kf, pl | scistosa | micascisti | | X | | | X |
| qtz, miche, kf(*), pl(*) | isotropa | areniti | sedimentaria | X | X | X | X |
| Kf, pl, cpx | isotropa | granodioriti | plutonica | | X | | X |
| qtz, kf, pl, cpx/miche(**) | intergranulare variolitica porfiristica | graniti l.s. | ipoabissale | X | X | X | X |

(*) specie presenti solo a Viticcio;

(**) a Viticcio è presente solo mica bruna, mentre nelle altre località è presente solo cpx.

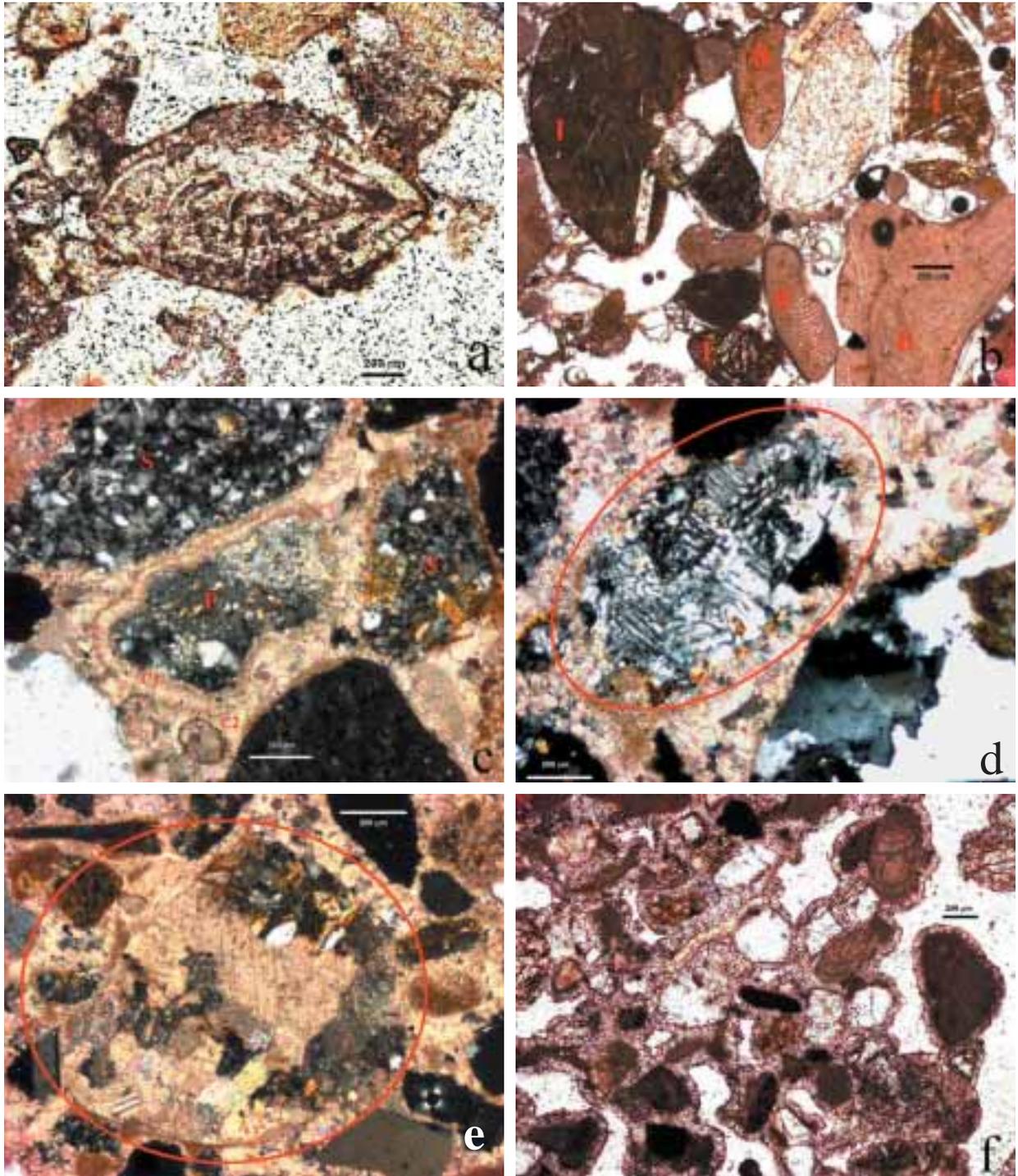


Fig. 9 - Caratteri microscopici delle eolianiti elbane. a) Sezione subassiale di *Elphidium* sp. (foraminifero bentonico) nelle areniti di Viticcio (campione VI 8). Nicol paralleli; b) Bioclasti costituiti da alghe corallinacee (B) associati a frammenti ignei a feldspati con struttura porfirica e tessitura variolitica, di origine ipoabissale (I). Si noti il basso grado di sorting della roccia. Madonna delle Grazie (campione MG 2). Nicol paralleli; c) Incluso igneo olocristallino inequigranulare (P), costituito da cristalli di quarzo e feldspati e macrocristalli di feldspati con incipiente sericitizzazione, di origine plutonica. Esso è associato ad inclusi quarzo-arenitici (S), contenenti lamelle di mica bruna, di origine sedimentaria. Si noti l'orlo di cemento isopaco, di prima generazione, che circonda il frammento igneo (C1) e il cemento a mosaico, di seconda generazione, che riempie gli spazi intergranulari (C2). Viticcio (campione VI 3) Nicol incrociati; d) Mirmechite (contornata) inclusa nelle areniti di Viticcio (campione VI 1). Nicol incrociati. Mirmechiti sono state rinvenute al Monte Capanne (soprattutto nella fascia di contatto tra il plutone granodioritico e le rocce incassanti) e a Porto Azzurro (all'interno dei filoni granodioritici) (MARINELLI, 1959); e) Pseudomorfo da parte di carbonato, spinto fino alla quasi totale ricristallizzazione con obliterazione della paragenesi originaria, in un incluso di quarzo-arenite (contornato). Viticcio (campione VI 6). Nicol incrociati; f) Cemento "a dente di cane" che contorna sia i clasti carbonatici di origine organica (frammenti di alghe corallinacee), sia quelli silicatici (granuli quarzoso-feldspatici). Madonna delle Grazie (campione MG 5). Nicol paralleli.

*Microscopic features of the aeolianites of the Elba Island. a) Sub-axial section of *Elphidium* sp. (benthonic foraminifera) in the Viticcio arenites (sample VI 8). Parallel polars; b) Bioclasts (B), built up by coralline algae, are associated to feldspar-bearing hypabissal fragments (I), having porphyritic texture and variolitic fabric. Note the low degree of sorting of the rock. Madonna delle Grazie (sample MG 2). Parallel polars; c) A holocrystalline, inequigranular plutonic enclosed (P), built up by quartz and feldspar crystals together with feldspar macro-crystals showing incipient sericitization. It is associated with quartz-arenitic sedimentary enclosed (S), which contain lamellae of brown mica. Note the rim of first-generation isopachous cement that surrounds the igneous fragment (C1) along with the second-generation "mosaic" cement that fills the intergranular pores (C2). Viticcio (sample VI 3) Crossed polars; d) A mirmechite (contoured) inside the Viticcio arenites (sample VI 1). Crossed polars. Mirmechites have been found in the Monte Capanne area (mainly at the contact between the granodioritic pluton and the country rocks) and in the Porto Azzurro area (inside the granodioritic necks) (MARINELLI, 1959); e) Carbonate pseudomorph after a quartz-arenitic enclosed (contoured). Recrystallization and consequent obliteration of the original paragenesis are almost complete. Viticcio (sample VI 6). Crossed polars; f) "Dogtooth" cement surrounding both the organogenous carbonate clasts (fragments of coralline algae) and the silicate clasts (quartz- and feldspar-bearing grains). Madonna delle Grazie (sample MG 5). Parallel polars.*

igneo plutoniche, a composizione granodioritica;
 - aggregati di quarzo, feldspato potassico, plagioclasio, clinopirosseno, con tessitura variabile da intergranulare a variolitica fino a porfirite: si tratta di frammenti di rocce ignee ipoabissali, a composizione granitica l.s.

In generale, fenomeni di alterazione (ossidazione, cloritizzazione, sericizzazione e argillificazione) a spese degli inclusi litici sono comuni in tutti gli affioramenti e riguardano soprattutto le quarzo-areniti e le ipoabissaliti.

5.1.4. Cemento

Sono presenti due generazioni di cemento. Un cemento di prima generazione, formato da carbonato di calcio isopaco, spesso pochi μm , contorna i granuli assumendo la forma di "dente di cane". Esso si osserva piuttosto raramente in alcuni campioni di Viticcio (Fig. 9c), mentre risulta più frequente in quelli di Mad.^{na} delle Grazie (Fig. 9f).

Un cemento di seconda generazione, formato da carbonato di calcio disposto a mosaico (sparite), riempie generalmente le cavità tra i granuli. Il cemento sparitico ha grana variabile da medio-grossolana (Barabarca) a medio-fine (Viticcio) a fine (Mad.^{na} delle Grazie, Stecchi).

5.2. Analisi morfometrica in sezione sottile dei granuli di quarzo

L'analisi morfometrica è stata condotta su granuli di quarzo in sezione sottile. I risultati analitici sono quindi riferiti alle due dimensioni. L'analisi è consistita nella misurazione dei diametri maggiore e minore dei granuli,

mediante i quali è stata calcolata la sfericità secondo la formula di Riley. L'arrotondamento dei granuli è stato valutato utilizzando le tavole comparative di POWERS (1953). Il quarzo è stato scelto come specie mineralogica di confronto in virtù della sua ubiquità nelle rocce in studio e della sua pressoché assoluta indipendenza dai fenomeni di alterazione post-deposizionale, i quali verosimilmente hanno avuto entità diversa in ciascuno degli affioramenti. L'analisi morfometrica è stata eseguita su cristalli di quarzo freschi e integri. Non sono stati, quindi, presi in esame cristalli mostranti geminazione, estinzione ondulata, segni di disgregazione meccanica o bordi riassorbiti. Sono stati esclusi anche i cristalli raggruppati in glomeruli o appartenenti ad inclusi litici. Per ogni campione sono stati analizzati più di cento granuli di quarzo.

5.2.1. Dimensioni

Tra tutte le località del presente studio, i campioni di Barabarca sono caratterizzati in generale dalle dimensioni minori e dalla minore dispersione dei dati ($d_{\text{max}} = 75 \div 375 \mu\text{m}$, $d_{\text{min}} = 50 \div 200 \mu\text{m}$). Per contro, i campioni di Viticcio hanno le dimensioni maggiori e la maggiore dispersione dei dati ($d_{\text{max}} = 150 \div 1050 \mu\text{m}$, $d_{\text{min}} = 100 \div 525 \mu\text{m}$). I parametri dimensionali dei campioni di Stecchi ($d_{\text{max}} = 50 \div 500 \mu\text{m}$, $d_{\text{min}} = 50 \div 400 \mu\text{m}$) e Mad.^{na} delle Grazie ($d_{\text{max}} = 75 \div 600 \mu\text{m}$, $d_{\text{min}} = 50 \div 350 \mu\text{m}$) risultano simili tra loro e intermedi rispetto a quelli delle località precedenti (Fig. 10).

E' stata anche determinata la frequenza delle dimensioni dei granuli di quarzo in ciascun affioramento (Fig. 11). A Barabarca, la maggiore frequenza corrisponde a dimensioni piuttosto piccole [9 granuli aventi

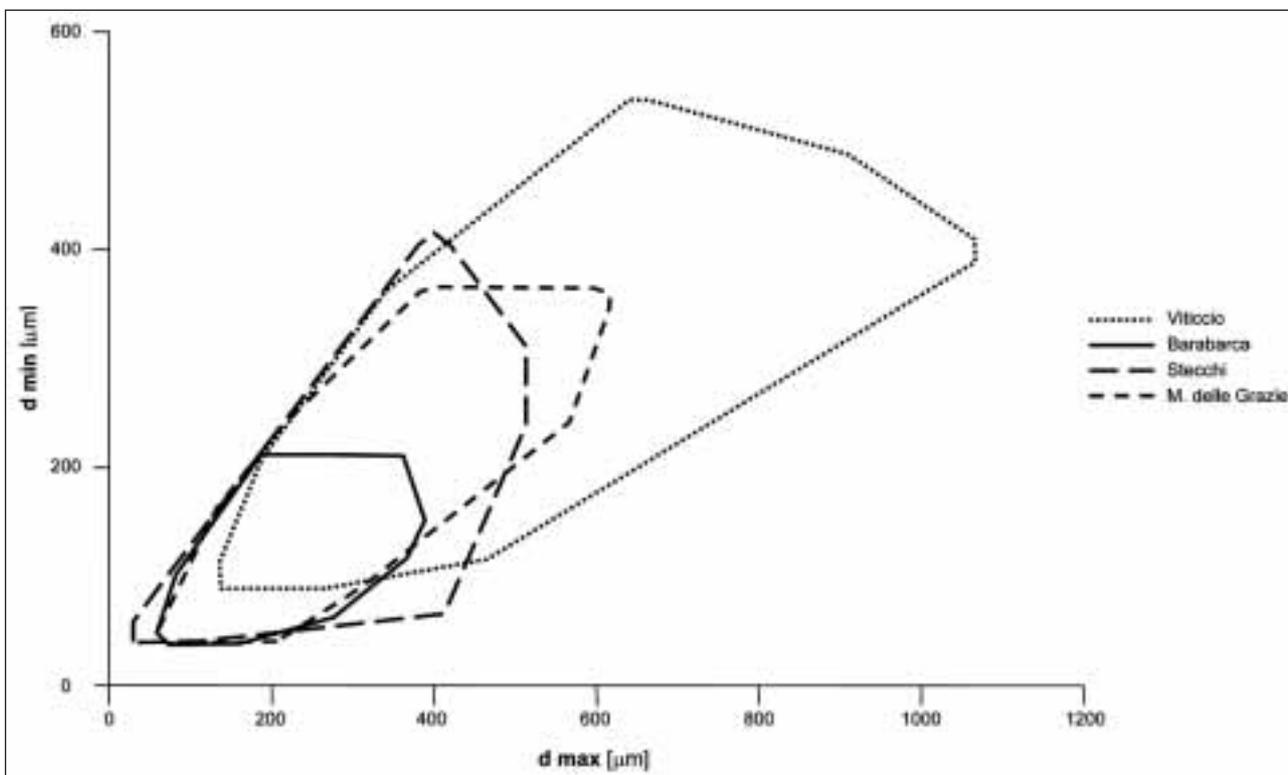


Fig. 10 – Analisi morfometrica dei granuli di quarzo delle eolianiti: diametri massimo e minimo dei granuli, misurati in sezione sottile. Morphometric analysis on the quartz grains of the aeolianites: maximum vs minimum diameters of the grains, as measured on rock slides.

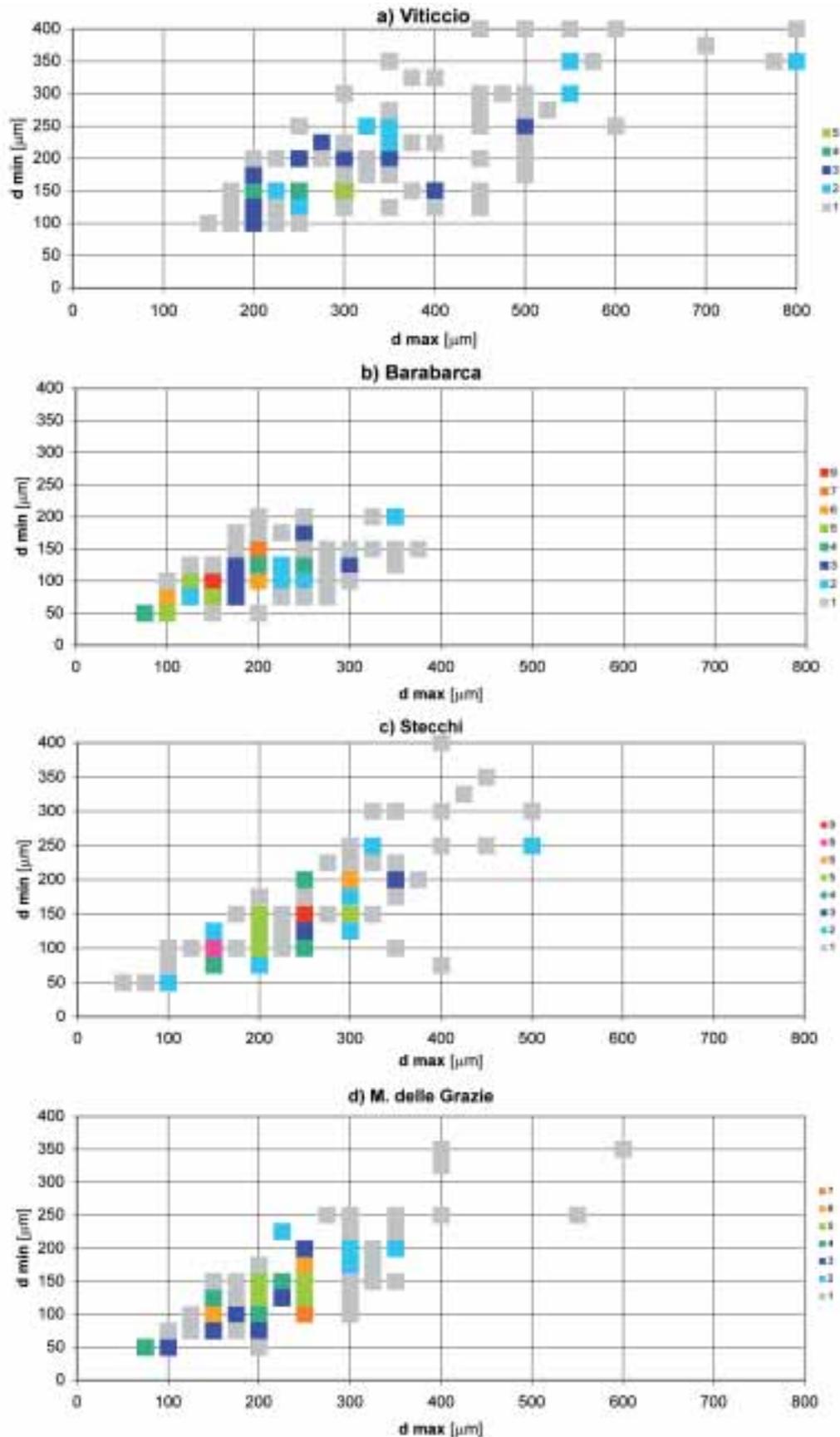


Fig. 11 - Analisi morfometrica dei granuli di quarzo delle eolianiti: frequenza delle dimensioni dei granuli, misurate in sezione sottile, in ciascun affioramento. Nella legenda, con lo stesso colore sono indicati i granuli aventi stesse dimensioni. In totale, sono stati analizzati 109 granuli a Viticcio, 105 a Barabarca, 107 a Stecchi e 107 a Madonna delle Grazie.

Morphometric analysis on the quartz grains of the aeolianites: frequency of dimensions of the grains in each outcrop, as measured on rock slides. In the caption, each color indicates grains having the same dimensions. In total, 109 grains of Viticcio, 105 of Barabarca, 107 of Stecchi, and 107 of Madonna delle Grazie have been analyzed.

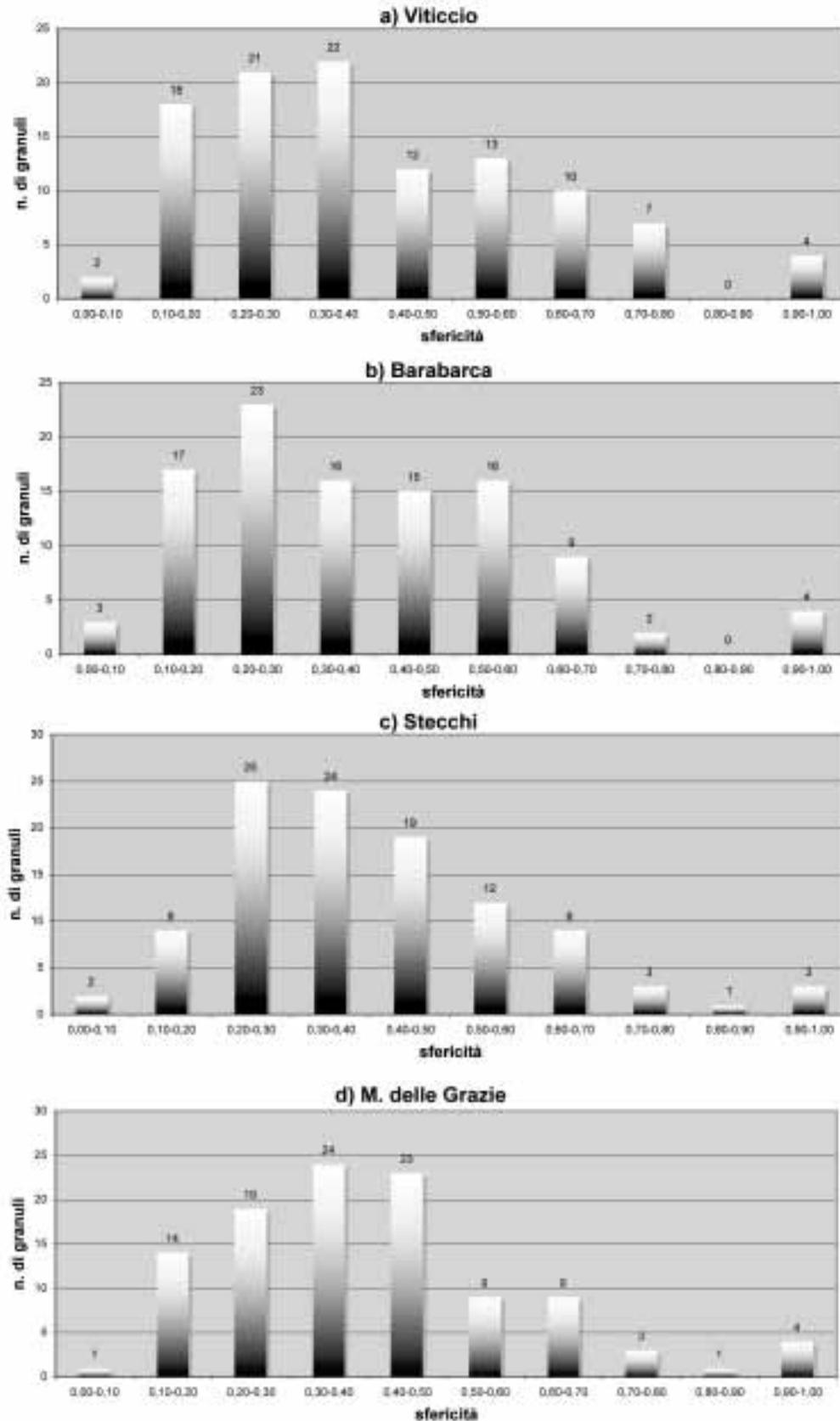


Fig. 12 - Analisi morfometrica dei granuli di quarzo delle eolianiti: frequenza delle classi di sfericità dei granuli in ciascun affioramento. E' riportato il numero di granuli per ciascuna classe. In totale, sono stati analizzati 109 granuli a Viticcio, 105 a Barabarca, 107 a Stecchi e 107 a Madonna delle Grazie.

Morphometric analysis on the quartz grains of the aeolianites: frequency of classes of sphericity of the grains in each outcrop. The number of grains is reported for each class. In total, 109 grains of Viticcio, 105 of Barabarca, 107 of Stecchi, and 107 of Madonna delle Grazie have been analyzed.

dimensioni (150 x 100 µm), pari all'8,6 % del totale]. A Mad.^{na} delle Grazie, la maggiore frequenza risulta spostata verso dimensioni intermedie [7 granuli aventi dimensioni (250 x 100 µm), pari al 6,5 % del totale]. A Stecchi, la distribuzione delle frequenze delle misure mostra due massimi [7 granuli aventi dimensioni (150 x 100 µm) e 9 granuli aventi dimensioni (250 x 150 µm), pari rispettivamente al 7,5 % e all'8,4 % del totale]. Per contro, i campioni di Viticcio presentano un'ampia omogeneità dei dati senza massimi significativi nella distribuzione della frequenza delle misure.

In generale, si evince una marcata differenza nelle dimensioni dei grani di quarzo tra gli affioramenti del promontorio del M. Calamita e quelli del Golfo di Viticcio.

5.2.2. Sfericità

In generale, i granuli di quarzo presentano un massimo di frequenza in corrispondenza dei valori di sfericità più bassi o intermedi (0,10 ÷ 0,60) (Fig. 12). Per contro, nelle classi di sfericità più alte la frequenza dei grani è nettamente minore. In particolare, per quanto concerne i valori di sfericità compresi tra 0,70 e 1,00, Viticcio possiede un numero di grani leggermente maggiore rispetto agli altri affioramenti del M. Calamita, i quali invece risultano molto simili tra loro.

In definitiva, le classi di sfericità maggiormente rappresentate sono quelle aventi valori compresi tra 0,20 e 0,40. I campioni di Mad.^{na} delle Grazie hanno una distribuzione spostata verso valori di sfericità maggiori rispetto agli altri. I campioni di Barabarca e Viticcio, invece, mostrano una dispersione dei valori relativamente più elevata.

5.2.3. Arrotondamento

Anche i valori stimati dell'arrotondamento (Fig. 13) risultano piuttosto uniformi per i vari affioramenti: infatti, si ha una netta prevalenza di granuli di quarzo con grado di arrotondamento da "subangoloso" a "subarrotondato". Nel dettaglio, a Stecchi si ha la massima percentuale relativa di granuli appartenenti alla classe "subangoloso" (53,3 %), cui corrisponde la minima percentuale di granuli della classe "subarrotondato" (29,0 %); in questo affioramento, la distribuzione delle classi risulta la più omogenea, in quanto sia la classe "arrotondato" che quella "angoloso" raggiungono valori piuttosto elevati e prossimi tra loro (9,3 % e 8,4 %, rispettivamente). A Mad.^{na} delle Grazie, si ha ancora una netta prevalenza dei granuli appartenenti alla classe "subangoloso" (52,3 %) rispetto a quelli della classe "subarrotondato" (32,7 %). A Barabarca la maggior parte dei granuli è pressoché ugualmente distribuita tra le classi "subangoloso" (44,8 %) e "subarrotondato" (43,8 %). A Viticcio, invece, i granuli appartenenti alla classe "subarrotondato" sono leggermente superiori a quelli della classe "subangoloso".

In sostanza, tra gli affioramenti del promontorio del M. Calamita e del Golfo di Viticcio si apprezza una certa differenza solo per quanto concerne i granuli della classe "arrotondato", che in quest'ultima località raggiungono la loro frequenza minima.

5.3. Inclusi litici: analisi quantitativa

L'analisi degli inclusi litici è consistita nell'identificazione delle specie mineralogiche costituenti, nella

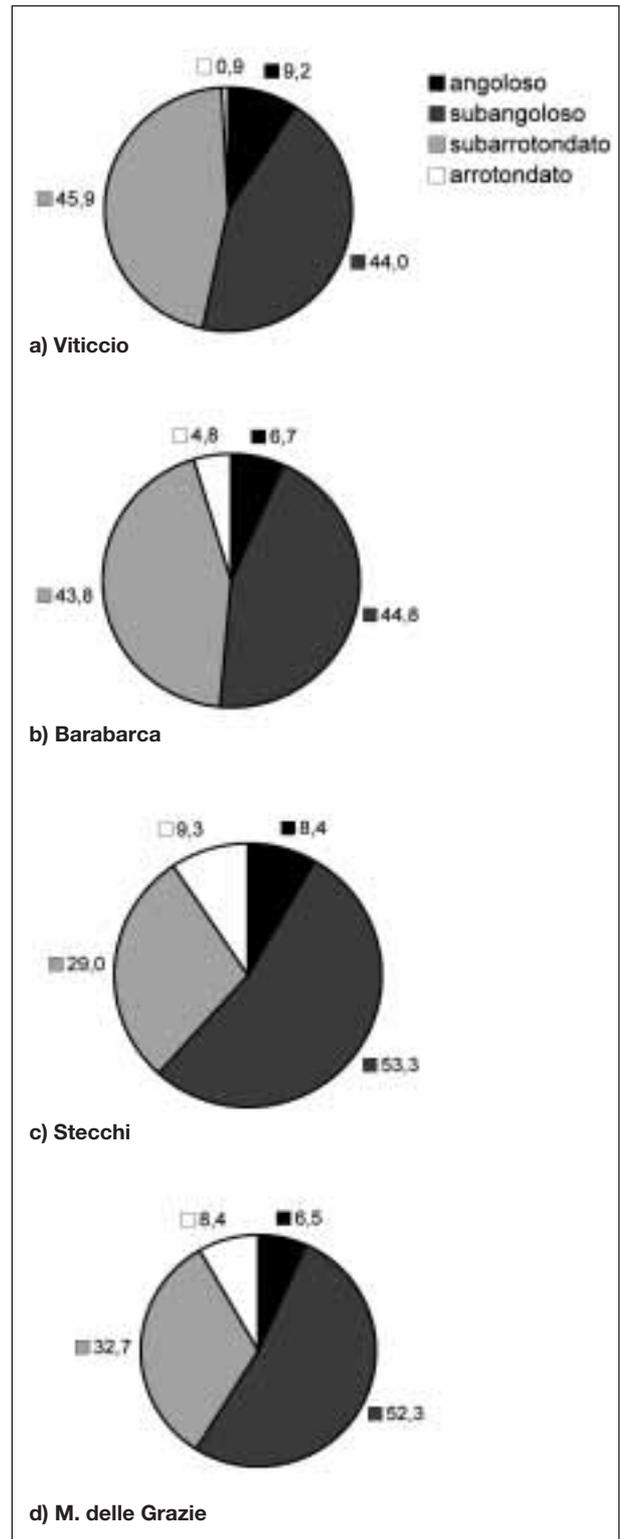


Fig. 13 - Analisi morfometrica dei granuli di quarzo delle eolianiti: percentuale delle classi di arrotondamento dei granuli per ciascun affioramento.

In totale, sono stati analizzati 109 granuli a Viticcio, 105 a Barabarca, 107 a Stecchi e 107 a Madonna delle Grazie.

Morphometric analysis on the quartz grains of the aeolianites: percentage of classes of roundness of the grains in each outcrop.

In total, 109 grains of Viticcio, 105 of Barabarca, 107 of Stecchi, and 107 of Madonna delle Grazie have been analyzed.

definizione delle tessiture e nella determinazione dei rapporti quantitativi relativi delle diverse tipologie di incluso. Sono stati selezionati inclusi freschi e integri, escludendo quelli in cui i fenomeni di alterazione e/o ricristallizzazione hanno obliterato la paragenesi originaria. Particolare attenzione è stata posta nel caso in cui diversi frammenti della stessa tipologia fossero adiacenti gli uni agli altri: verosimilmente, essi provengono da un solo incluso disgregato in più parti per azione meccanica (questo accade frequentemente a Viticcio). Per ogni affioramento sono stati analizzati più di cento inclusi.

In tutti gli affioramenti (Fig. 14), i frammenti di rocce sedimentarie (quarzo-areniti provenienti da rocce flyschoidi) sono preponderanti quantitativamente. A Stecchi, l'abbondanza delle quarzo-areniti raggiunge il valore massimo dell'83,6 %, cui corrisponde la percentuale minima di rocce ignee (3,6 %), mentre la percentuale delle rocce metamorfiche è del 12,7 %. A Mad.^{na} delle Grazie, le areniti sedimentarie (75,0 %) sono ancora prevalenti rispetto alle rocce ignee (13,4 %) e a quelle metamorfiche (11,6 %). A Barabarca, le quarzo-areniti costituiscono il 72,6 % degli inclusi, seguite dalle rocce ignee (16,2 %), mentre la percentuale di rocce metamorfiche si mantiene pressappoco costante (11,1 %, in prevalenza quarziti rispetto a quarzoscisti). A Viticcio, la distribuzione delle diverse tipologie di inclusi risulta molto simile a quella di Barabarca: la sola differenza consiste nella maggiore percentuale di scisti (quarzoscisti e micascisti) rispetto alle quarziti.

Di rilevante interesse è la quasi totale assenza di frammenti carbonatici di origine inorganica.

5.4. Litologia del substrato

Per accertare una eventuale influenza delle rocce del substrato nella composizione degli elementi granulari che costituiscono i depositi eolici, è stata definita la distribuzione dei litotipi in ciascuno degli affiora-

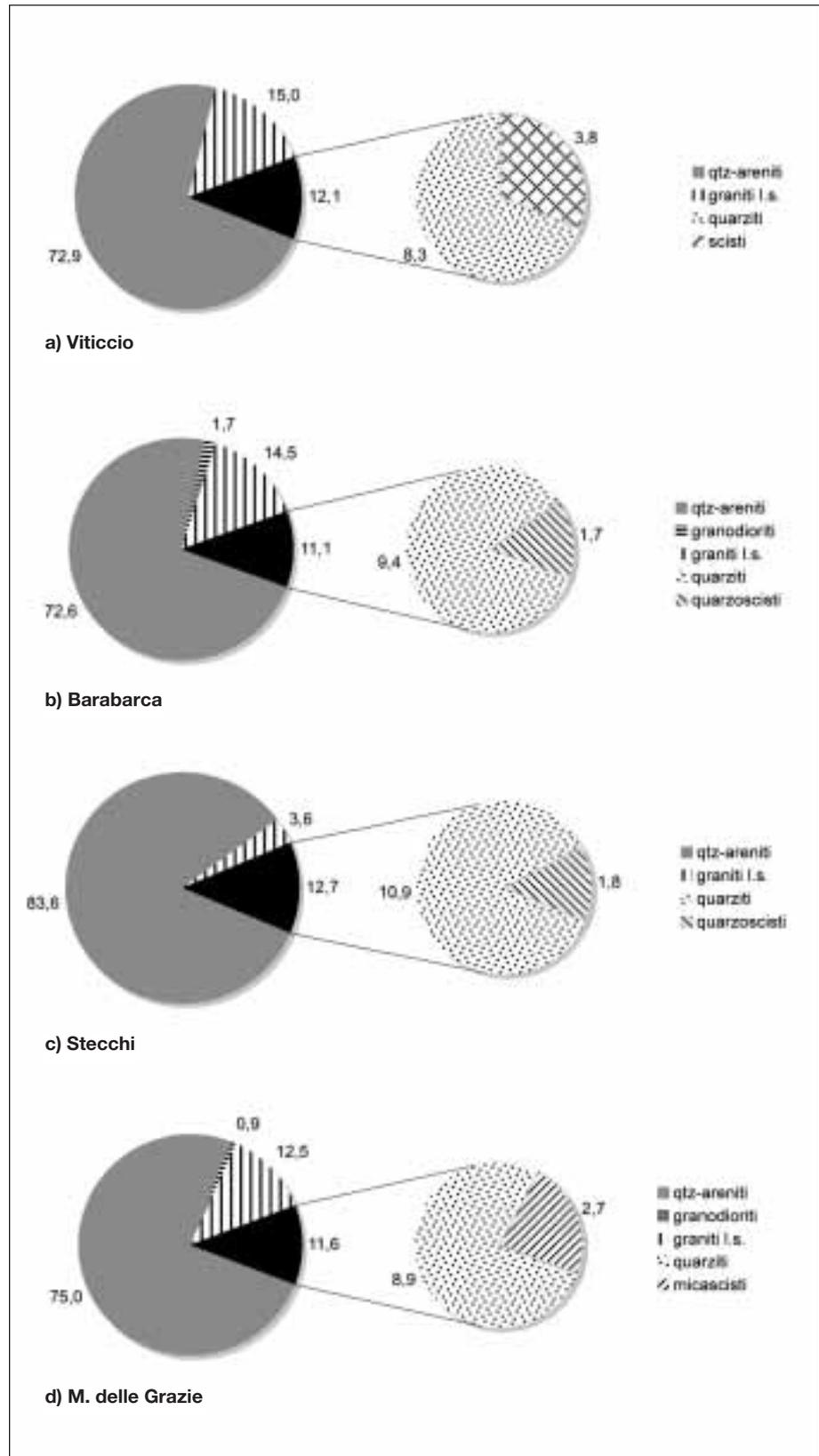


Fig. 14 - Classificazione genetica e quantità percentuali degli inclusi litici delle eolianiti. In totale, sono stati analizzati 133 inclusi a Viticcio, 117 a Barabarca, 110 a Stecchi e 112 a Madonna delle Grazie.

Genetic classification and quantitative percentages of lithics included inside the aeolianites. In total, 113 lithics of Viticcio, 117 of Barabarca, 110 of Stecchi, and 112 of Madonna delle Grazie have been analyzed.

menti del presente studio. La misura della distribuzione dei litotipi del substrato è stata condotta mediante l'utilizzo di analisi spaziali quantitative in ambiente GIS (ÅBERG *et al.*, 2007), applicate alla Carta Geologica dell'Isola d'Elba alla scala 1:25.000 (BARBERI *et al.*, 1967a). Per ogni deposito, quindi, è stato delimitato il relativo bacino idrografico, all'interno del quale è stata misurata la percentuale dei vari litotipi affioranti.

I risultati rivelano una eterogeneità litologica nei diversi bacini (Fig. 15). Infatti, a Barabarca predominano i litotipi arenacei e carbonatici che costituiscono il flysch cretatico (55,2 %) rispetto alle quarziti del Verrucano (43,3 %). A Stecchi, la situazione è leggermente diversa, con le rocce del flysch cretatico (38,8 %) subordinate alle quarziti del Verrucano (56,6 %). Per contro, a Mad.^{na} delle Grazie la litologia del substrato è più complessa rispetto ai due bacini precedenti: sono presenti prevalentemente carbonati triassici di ambiente evaporitico (45,6 %), oltre agli scisti e filladi del Calamita (22,2 %) e alle rocce del flysch cretatico (21,4 %). Il bacino Viticcio si differenzia ulteriormente dagli altri, poiché è costituito, quasi nella stessa percentuale, da litotipi appartenenti al flysch cretatico (55,0 %) e da porfidi (45,0 %).

6. DISCUSSIONE

6.1. Caratteri sedimentari

Le eolianiti sono caratterizzate da diverse strutture sedimentarie, tra le quali la più importante ai fini diagnostici è la stratificazione incrociata a grande scala. Ad essa sono associati altri aspetti sedimentari, come:

- l'elevata inclinazione dei *foreset*, in genere immergenti verso terra con pendenze fino a 35°;
- l'orientamento molto variabile dei singoli *foreset* nell'ambito di uno stesso affioramento.

Queste peculiarità, unite alla presenza di intercalazioni di depositi di versante e di paleosuoli, sono indicative di un ambiente deposizionale continentale, in gran parte dominato dai processi eolici.

Ulteriori indagini microscopiche, finalizzate a verificare la presenza nelle eolianiti di strutture a piccola scala tipiche dei depositi eolici, quali laminazioni di tipo *pinstripe* (HUNTER, 1977; 1993), non hanno dato esito positivo. L'eventuale assenza, in sezione sottile, di laminazioni di questo tipo può essere probabilmente attribuita a difficoltà nella classazione dei granuli. Infatti, la presenza di un'abbondante frazione bioclastica, eterogenea in forma, dimensioni e densità, rende problematico il *sorting* dimensionale dei granuli (KINDLER & DAVAUD, 2001; LE GUERN & DAVAUD, 2005).

Inoltre, alla scala dell'affioramento, il generalizzato stato di alterazione delle sezioni delle eolianiti esposte, ha reso difficoltosa l'osservazione di stratificazione da *grainflow* o da *grainfall*.

Per quanto concerne la disposizione dei corpi sedimentari in esame, il loro accumulo a ridosso degli acclivi versanti rocciosi della fascia costiera ed il loro protendersi nell'entroterra elbano, in alcuni casi oltre i 100 m di quota s.l.m., induce a ritenere che questi litosomi siano stati originati da *climbing dunes*.

Le superfici S₁ e S₂, osservate alla Spiaggia della Madonna (Fig. 2b-c), sono riconducibili a superfici d'erosione generate da intense dinamiche di versante, in

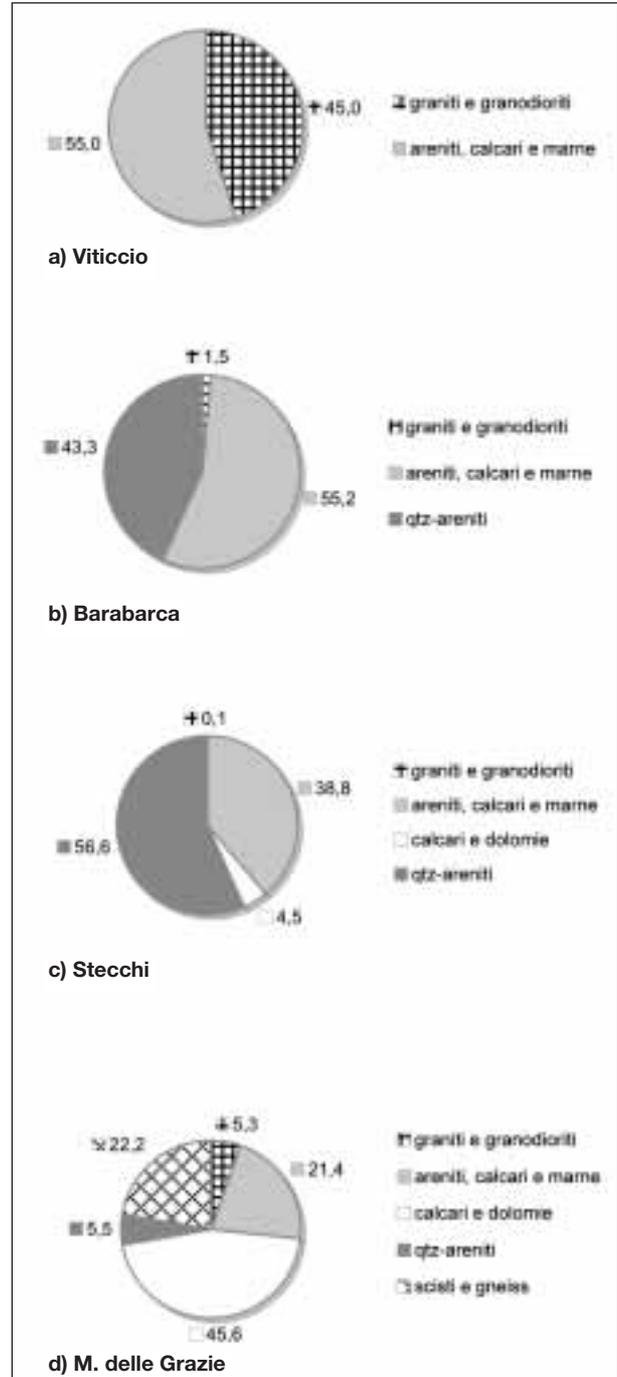


Fig. 15 - Classificazione genetica e quantità percentuali dei tipi litologici del substrato affiorante nei bacini idrografici dei depositi eolici in esame (dati desunti dalla Carta Geologica dell'Isola d'Elba 1:25.000 – BARBERI *et al.*, 1967a). La varietà del substrato è tale da comprendere rocce sedimentarie appartenenti a diverse formazioni (qtz-areniti: Verrucano, Triassico; calcari e dolomie: evaporiti, Triassico; areniti, calcari e marne: flysch, Cretacico), oltre a rocce ignee (graniti e granodioriti) e metamorfiche (scisti e gneiss del Calamita).

*Genetic classification and quantitative percentages of lithotypes of the substrate outcropping in the hydrographical basins of the aeolian deposits (data derived from the Geological Map of the Elba Island 1:25.000 – BARBERI *et al.*, 1967a). The variability of the substrate is high, as it includes sedimentary rocks belonging to several formations (qtz-arenites: Verrucano, Triassic; limestones & dolostones: evaporites, Triassic; arenites, limestones & marls: flysch, Cretaceous), together with igneous (granites & granodiorites) and metamorphic rocks (scists & gneisses of Monte Calamita).*

grado di troncatura la porzione superiore della duna accumulata contro il versante e di ridistribuire i sedimenti verso valle. Questo aspetto è ben documentato nella superficie superiore (S_2), che corrisponde al troncamento della parte superiore della duna "B", sulla quale poggiano detriti stratificati di versante.

Nel caso della Spiaggia della Madonna, l'angolo di arrampicata (*angle of climbing*) dei corpi dunari, ottenuto dal rapporto tra il tasso di migrazione sottovento della duna e il tasso di accumulo verticale (RUBIN & HUNTER, 1982), risulta pari a circa 10°. Il valore non eccessivamente elevato di quest'angolo può spiegare perché si è preservata solo la porzione inferiore del pacco di *foreset*.

Le superfici di discontinuità, di ordine minore, presenti all'interno dei set a stratificazione incrociata sono superfici di riattivazione dovute ad una interruzione periodica della migrazione della duna e all'erosione sul lato frontale (*lee face*) della stessa ad opera di venti subordinati rispetto a quelli dominanti.

Riguardo le concrezioni intrasedimentarie (Fig. 4), una possibile interpretazione genetica è che si tratti di rizoconcrezioni, cioè impronte calcificate di apparati radicali appartenenti ad un'antica vegetazione dunare. A questo proposito, occorre tener presente che le radici possono svilupparsi nel terreno non solo in direzione verticale ma anche orizzontale.

Tuttavia, una interpretazione alternativa è quella avanzata da MAZZANTI & PAREA (1977) e PAREA (1984), per cui le concrezioni sub-orizzontali sarebbero da mettere in relazione con le acque della falda freatica in lento deflusso verso le quote più basse entro la porzione basale dei sedimenti. Invece, le concrezioni verticali sarebbero da attribuire essenzialmente al percolamento delle acque meteoriche, attraverso la parte superiore degli stessi sedimenti, durante la discesa verso la falda freatica.

Infine, MC BRIDE & PAREA (2001) ammettono la possibilità che molte concrezioni verticali si siano originate da rizoconcrezioni, composte inizialmente da calcite micritica, interessate successivamente da precipitazione di calcite spatica ad opera delle acque vadose percolanti. Ciò spiegherebbe il considerevole sviluppo laterale e la coalescenza di queste strutture sedimentarie.

Per quanto concerne il paleosuolo rosso intercalato alle eolianiti affioranti tra Barabarca e Stecchi (Fig. 5a), la sua origine pedogenetica è testimoniata da un'intensa rubefazione, da una decarbonatazione molto spinta, dall'esistenza di materia organica e dall'arricchimento in argilla. Il paleosuolo, probabilmente sviluppatosi a spese dei sottostanti depositi eolici con livelli detritici intercalati, è stato classificato da CREMASCHI & TROMBINO (1998) come un "Red Mediterranean Soils - Xeralfs".

Infine, i livelli detritici associati alle eolianiti in diverse posizioni stratigrafiche (Fig. 5b, 6a-b), sono da riferire alla vicinanza di un versante in degradazione, che ha fornito il materiale detritico in condizioni climatiche verosimilmente più fredde e più aride di quelle attuali. Infatti, la formazione di questi detriti può essere favorita dalla scarsa copertura vegetale associata a processi crioclastici più o meno intensi. Questa ipotesi è confermata dalla presenza, nell'affioramento di Spiaggia della Madonna, di detriti di versante clinostra-

tificati secondo strati piano-paralleli (*éboulis ordonnés*) noti in letteratura per essersi depositi in un ambiente freddo ed arido, caratterizzato da versanti quasi del tutto denudati.

6.2. Caratteri bio-minero-petrografici

Il costituente micropaleontologico dei campioni analizzati nel presente studio (Tab. 2), mostra la prevalenza di Miliolidae accanto a forme quali *Lobatula lobatula* (WALKER & JACOB), *Elphidium advenum* (CUSHMANN), *Planorbulina mediterranea* (CUSHMANN) e *Rosalina bradyi* (CUSHMANN), tutte di acque relativamente basse e legate al popolamento vegetale, come pure di *Discorbis globularis* (D'ORBIGNY), forma sessile infralitorale (BLANCVERNET, 1969; MURRAY, 1973; VIOLANTI *et al.*, 1988). Questa associazione microfaunistica è riferibile ad un ambiente marino infralitorale temperato caldo, dove la componente vegetale di alghe e/o di posidonia è non trascurabile.

Da un punto di vista generale, la mineralogia delle eolianiti non è direttamente confrontabile con quella del substrato, affiorante nei bacini idrografici in cui sono compresi i depositi eolici. A Barabarca, e in quantità minore a Mad.^{na} delle Grazie, le eolianiti contengono granato (con caratteri ottici corrispondenti a termini ricchi in ferro: andradite-grossularia); considerando la litologia del promontorio del M. Calamita, le più probabili rocce-madri dei granati sono le cornubianiti e in subordinate gli scisti. Ancora, a Viticcio il granato non è stato rinvenuto, e risulta pure assente nelle rocce del substrato. Per quanto riguarda l'anfibolo (con i caratteri ottici dell'orneblenda l.s.), quello delle eolianiti di Stecchi può provenire dalle anfiboliti presenti nel promontorio del M. Calamita, mentre la provenienza di quello di Viticcio rimane incerta, in quanto non sono stati finora segnalati in letteratura rinvenimenti di anfibolo nel substrato del Golfo di Viticcio.

La mancanza di correlazione minero-petrografica tra le eolianiti e il substrato dei bacini idrografici in cui sono comprese, è evidente anche dall'analisi degli inclusi litici delle eolianiti. Infatti, il contenuto percentuale di inclusi sedimentari, ignei e metamorfici si mantiene pressappoco costante in tutti gli affioramenti appartenenti sia allo stesso settore (Barabarca, Stecchi, Mad.^{na} delle Grazie) sia a settori distinti (Golfo di Viticcio e promontorio del Calamita). Per contro, la litologia del substrato è estremamente variabile non solo da un'area all'altra (ad esempio, nel Golfo di Viticcio il substrato è composto per metà circa da rocce ignee, del tutto subordinate negli altri affioramenti esaminati), ma anche all'interno di una stessa area (ad esempio, a Mad.^{na} delle Grazie un quarto circa del substrato è composto da rocce metamorfiche, praticamente assenti negli altri affioramenti).

Le indagini morfometriche eseguite in sezione sottile sulla frazione fine quarzosa delle eolianiti hanno rivelato alcune tendenze. Infatti, i dati ottenuti risultano piuttosto omogenei, soprattutto per quanto riguarda la sfericità (medio-bassa) e l'arrotondamento (da "subangoloso" a "subarrotondato"). Alcune differenze si riscontrano per le dimensioni dei grani misurate al microscopio: tra le località del presente studio, Barabarca possiede la popolazione più omogenea e a dimensioni minori, mentre Viticcio possiede la popolazione più eterogenea che raggiunge le dimensioni mag-

giori.

Le analisi morfometriche suggeriscono una certa differenza tra gli affioramenti del M. Calamita e quelli di Viticcio. Infatti, i campioni prelevati nelle località di Barabarca, Stecchi e Mad.^{na} delle Grazie, presentano caratteristiche morfometriche piuttosto omogenee tra loro e lievemente differenti da quelli di Viticcio. Queste differenze morfometriche potrebbero essere imputate alla diversa collocazione geografica ed alla diversa esposizione dei due settori presi in esame (promontorio del M. Calamita e Golfo di Viticcio). In particolare, i fattori maggiormente influenti potrebbero essere stati la differente granulometria del materiale messo a disposizione dalla dinamica marina ed in misura minore da quella fluviale, oltre alla diversa capacità di trasporto e direzione dei venti dominanti.

Il cemento isopaco a "dente di cane" (Fig. 9f) è indicatore di condizioni freatiche, che possono essere considerate di tipo meteorico (ambiente continentale).

Infine, la quasi totale assenza di clasti carbonatici all'interno delle eolianiti è un elemento rilevante. Pur essendo gli extraclasti assai poco resistenti alla degradazione meccanica e chimica, è difficile ammettere una loro completa assenza. In ogni caso si sottolinea che le rocce carbonatiche, seppur ben rappresentate nel settore del M. Calamita esaminato, costituiscono una minima percentuale nell'intero contesto geologico dell'Isola d'Elba.

Di fatto, la composizione mineralogica delle eolianiti punta ad una provenienza dei sedimenti da litotipi quarzo-arenitici (flyschoidi), frammisti a materiale bioclastico originatosi in ambiente di mare poco profondo. In quest'ambiente, sotto l'influsso della dinamica marina, è avvenuta la redistribuzione dei sedimenti provenienti dall'erosione del substrato continentale elbano e la commistione con quelli di origine marina.

In definitiva, l'area sorgente degli elementi costitutivi delle eolianiti in studio, può essere individuata nei bassi fondali marini della piattaforma continentale circostante l'Isola d'Elba.

7. CONCLUSIONI

I depositi eolici affioranti nel tratto di costa occidentale del M. Calamita e nel Golfo di Viticcio dell'Isola d'Elba si sono formati in periodo di basso stazionamento marino. Infatti, la loro prosecuzione per diversi metri al di sotto dell'attuale livello del mare e la loro erosione ad opera dell'odierna dinamica marina, confermano un equilibrio di questi corpi sedimentari con una linea di costa 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 di quello odierno.

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 debbono essere dotati di una sufficiente capacità di trasporto per rimuovere le particelle di sabbia o di ghiaia minuta. Tali particelle, comunque, affinché possano essere asportate dal vento, devono essere abbastanza asciutte e 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 lentamente e progressivamente emerge dal mare un fondale sabbioso. Tale fondo, appartenente alla vasta piattaforma continentale toscana oggi sommersa, costituisce un'ideale zona d'alimentazione di questi materiali, i quali, sospinti dai venti dominanti, sono in grado di risalire i versanti e le preesistenti valli fluviali fino ad oltre 100 m sul livello del mare attuale.

La presenza delle eolianiti elbane, sia sulle coste esposte ad ovest e sia su quelle esposte ad est, induce ad ipotizzare una provenienza dei venti dominanti oltre che dai quadranti occidentali, anche da quelli orientali. Ciò è in accordo con quanto osservato da ANTONIOLI & FERRANTI (1992) nei riguardi delle eolianiti affioranti lungo il tratto meridionale del Golfo di Orosei (Sardegna orientale).

L'ipotesi che le eolianiti elbane si siano formate successivamente ad un periodo caldo è in accordo con la presenza in questi litotipi di bioclasti appartenenti ad associazioni microfaunistiche totalmente di ambiente marino litorale temperato-caldo. I sedimenti accumulati lungo la piattaforma continentale durante una fase calda interglaciale, sarebbero stati erosi dai venti dominanti nel corso della successiva fase di basso stazionamento marino e accumulati nell'entroterra, insieme ai materiali rimaneggiati dai corsi d'acqua, sotto forma di cordoni dunari.

Pertanto, in base a quanto su esposto, alle età radiometriche dei paleosuoli intercalati nelle eolianiti affioranti in località Mad.^{na} delle Grazie e Cala Cancherelli ed alla presenza di manufatti musteriani all'interno dei paleosuoli, si può ipotizzare che la messa in posto dei sedimenti del presente studio sia legata, in accordo con CREMASCHI & TROMBINO (1998), a fasi fredde ed aride registratesi nel corso degli stadi isotopici 4 e 2 dell'ultimo glaciale. L'età di formazione dei depositi in esame è quindi riferibile al Pleistocene superiore.

Il paleosuolo si è probabilmente sviluppato durante una fase interstadiale meno fredda e più umida (stadio isotopico 3), che ha favorito la crescita di una vegetazione dunare e la pedogenizzazione delle eolianiti.

La presenza, nelle aree esaminate, di depositi di versante, alternati ad eolianiti, sta ad indicare una temporanea disattivazione della sedimentazione eolica. Essa potrebbe coincidere con l'inizio di una deposizione, ad opera dei processi fluvio-denudazionali di versante, di materiali provenienti in parte dal dilavamento delle sabbie eoliche precedentemente deposte ed in parte dall'erosione dei soprastanti versanti modellati nel substrato roccioso.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia G. Ventura per le analisi micropaleontologiche, M. Cacopardo per le sezioni sottili e S. Falcetti per il disegno. Un ringraziamento particolare va a M. Coltorti per i preziosi e puntuali suggerimenti forniti, nonché a C. Carrara e F. Antonioli per la revisione critica del manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

- ÅBERG U., CIPOLLONI C., D'OREFICE M. & GRACIOTTI R. (2007) - *Parametri morfometrici come supporto all'analisi dei depositi eolici dell'isola d'Elba*. Atti Prima riunione del Gruppo di Geologia Informatica, Sezione della Società Geologica Italiana, S. Leo, 31.05.06-01.06.06. Rend. Soc. Geol. It., **4**, pp. 79-80.
- AIELLO E., BRUNI P. & SAGRI M. (1977) - *Depositi canalizzati nei flysch cretacei dell'isola d'Elba*. Boll. Soc. Geol. It., **96**, pp. 297-329.
- ANTONIOLI F. & FERRANTI L. (1992) - *Geomorfologia costiera e subacquea e considerazioni paleoclimatiche sul settore compreso tra S. Maria Navarrese e Punta Goloritzé (Golfo di Orosei, Sardegna)*. Giornale di Geologia, ser. 3^a, **54** (2), pp. 65-89.
- BARBERI F., GIGLIA G., INNOCENTI F., MARINELLI G., RAGGI G., RICCI C.A., SQUARCI P., TAFFI L. & TREVISAN L. (1967a) - *Carta geologica dell'isola d'Elba scala 1:25000*. C.N.R. Roma.
- BARBERI F., INNOCENTI F. & RICCI C.A. (1967b) - *Il complesso scistoso di Capo Calamita (Isola d'Elba)*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem. serie A, **74**, pp. 579-617.
- BARBERI F., DALLAN L., FRANZINI 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*. Min. Ind. Comm. Art. - Serv. Geol. It., 41 pp.
- BLANC-VERNET L. (1969) - *Contribution à l'étude des Foraminifères de Méditerranée*. Trav. St. Mar. Endoume, **64**, pp. 1-128.
- BONATTI S. & MARINELLI G. (1951) - *Appunti di litologia elbana*. Boll. Soc. Geol. It., **70**, pp. 473-489.
- BORTOLOTTI V., FAZZUOLI M., PANDELI E., PRINCIPI G., BABBINI A. & CORTI S. (2001) - *Geology of Central and Eastern Elba Island, Italy*. Ofioliti, **26** (2a), pp. 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**, pp. 155-160.
- CORNAMUSINI G., LAZZAROTTO A., MERLINI S. & PASCUCCI V. (2002) - *Eocene-Miocene evolution of the Corsica Basin-Tuscan Shelf area (North Tyrrhenian Sea) through CROP-Mare Deep Seismic Analysis*. Boll. Soc. Geol. It., Vol. Sp., **1**, pp. 769-787.
- CREMASCHI M. & TROMBINO L. (1998) - *Eolianites, Sea Level Changes and Paleowinds in the Elba Island (Central Italy) during Late Pleistocene*. In: BUSACCA A.J. (ed), *Dust Aerosols, Loess Soils and Global Change*. Washington State University College of Agriculture and Home Economics, Pullman, WA, pp.131-134.
- DANIEL J.M. & JOLIVET L. (1995) - *Detachment faults and pluton emplacement: Elba Island (Tyrrhenian Sea)*. Bull. Soc. Géol. France, **166**, pp. 341-354.
- DESIO A. (1922) - *Qualche osservazione morfologica sull'isola d'Elba*. L'Universo, **3** (10), pp. 671-676.
- DINI A., INNOCENTI F., ROCCHI S., TONARINI S. & WESTERMAN D.S. (2002) - *The magmatic evolution of late Miocene laccolite – pluton – dyke granitic complex of Elba Island, Italy*. Geol. Mag., **139**, pp. 257-279.
- FERRARA G. & TONARINI S. (1985) - *Radiometric geochronology in Tuscany: results and problems*. Rend. Soc. It. Mineral. Petrol., **40**, pp. 111-124.
- FERRARA G. & TONARINI S. (1993) - *L'isola d'Elba: un laboratorio di geocronologia*. Mem. Soc. Geol. It., **49**, pp. 227-232.
- 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*. Atti Convegno "Evoluzione Geologica e Geodinamica dell'Appennino". 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. Sp., **3**, pp. 119-138.
- GIOLI G. (1894) - *Il sottosuolo delle pianure di Pisa e Livorno*. Boll. Soc. Geol. It., **13**, pp. 210-233.
- GRACIOTTI R., FORESI L. & PANTALONI M. (2002-2003) - *Lineamenti geomorfologici dell'isola di Pianosa*. Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem. serie A, **108**, pp. 95-111.
- HUNTER R.E. (1977) - *Basic types of stratification in small eolian dunes*. Sedimentology, **24**, pp. 361-387.
- HUNTER R.E. (1993) - *An eolian facies in the Ste. Genevieve Limestone of Southern Indiana*. In: KEITH B.D. & ZUPPANN C. (Eds.) - *Mississippian Oolites and Modern Analogs*. Am. Assoc. Petrol. Geol. Stud. Geol., **35**, pp. 31-48.
- JATEAU M., MICHARD A., ZIMMERMANN J.L. & ALBAREDE F. (1984) - *Isotopic heterogeneities in the granitic intrusion of Monte Capanne (Elba island, Italy) and dating concepts*. J. Petrol., **25**, pp. 532-545.
- KELLER J.V.A. & PIALI G. (1990) - *Tectonics of the Island of Elba: a reappraisal*. Boll. Soc. Geol. It., **109**, pp. 413-425.
- KINDLER P. & DAVAUD E. (2001) - *Recognizing eolianites in thin section. Review and case study – the Lower Cretaceous Chambotte Formation, Salève chain, southeastern France*. In: Abegg F.E., Harris P.M., Loope D.B. (Eds.) - *Modern and Ancient Carbonate Eolianites Sedimentology: Sequence Stratigraphy, and Diagenesis*. SEPM, Spec. Publ., **71**, pp. 141-150.
- LE GUERN P. & DAVAUD E. (2005) - *Recognition of ancient carbonate wind deposits: lessons from a modern analogue, Chrissi Island, Crete*. Sedimentology, **52**, pp. 915-926.
- LOTTI B. (1910) - *Geologia della Toscana*. Mem. Descr. Carta Geol. It., **13**, 484 pp.
- MAINERI C., BENVENUTI M., COSTAGLIOLA P., DINI A., LATTANTI P., RUGGIERI G. & VILLA I. M. (2003) - *Sericitic alteration at the La Crocetta deposits (Elba Island, Italy): interplay between magmatism, tectonic and hydrothermal activity*. Mineralium Deposita, **38**, pp. 67-86.
- MARINELLI G. (1955) - *Le rocce porfiriche dell'isola d'Elba*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem. serie A, **62**, pp. 269-418.
- MARINELLI G. (1959) - *Le intrusioni terziarie dell'isola d'Elba*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem. serie A, **66**, pp. 50-253.
- MAZZANTI R. & PAREA G.C. (1977) - *Erosione della*

- "Panchina" sui litorali di Livorno e di Rosignano. Boll. Soc. Geol. It., **96**, pp. 457-489.
- MAZZANTI R. (1983) - *Il punto sul Quaternario della fascia costiera e dell'Arcipelago di Toscana*. Boll. Soc. Geol. It., **102**, pp. 419-556.
- MC BRIDE E.F. & PAREA G.C. (2001) - *Origin of highly elongate, calcite-cemented concretions in some Italian coastal beach and dune sands*. J. Sediment. Res., **71** (1), pp. 82-87.
- MERCIAI G. (1926) - *Sull'origine eolica di una parte della panchina del litorale Tosco-Laziale*. Boll. Soc. Geol. It., **45** (1), pp. 81-85.
- MURRAY J.W. (1973) - *Distribution and ecology of living benthic Foraminiferids*. Heineman Educ. Books, 274 pp.
- PANDELI E. & PUXEDDU M. (1990) - *Paleozoic age for the Tuscan upper metamorphic sequences of Elba and its implications for the geology of the Northern Apennines (Italy)*. Ecl. Geol. Helv., **83** (1), pp. 123-142.
- PAREA G.C. (1984) - *Modalités de cimentation dans quelques exemples italiens de "panchina" en Le Beach-Rock*. Travaux de la Maison de L'Orient, pp. 125-131.
- PASCUCCI V. (2002) - *Tyrrhenian Sea extension between Corsica and western Tuscany (Italy)*. Boll. Soc. Geol. It., Vol. Sp., **1**, pp. 819-828.
- 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**, pp. 297-312.
- POWERS M. C. (1953) - *A new roundness scale for sedimentary particles*. J. Sediment. Petrol., **23** (2), pp. 117-119.
- ROVERI M. & CORREGGIARI A. (2004) - *Terrazzi deposizionali sommersi nell'Arcipelago Toscano (margine orientale del Canale di Corsica)*. In: CHIOCCI F.L., D'ANGELO S., ROMAGNOLI C. (Eds.) - *Atlante dei Terrazzi Deposizionali Sommersi lungo le coste italiane*. Mem. Descr. Carta Geol. It., **58**, pp. 11-26.
- RÜHL A. (1912) - *Elba*. Sond. Zeit. Gesell. Erdkunde zu Berlin. Berlin.
- RUBIN D.M. & HUNTER R.E. (1982) - *Bedform climbing in theory and nature*. Sedimentology, **29**, pp. 121-138.
- SAUPE F., MARIGNAC C., MOINE B., SONET J. & ZIMMERMAN J. L. (1982) - *Datation par les methodes K/Ar et Rb/Sr de quelques roches de la partie orientale de l'ile d'Elbe (Province de Livourne, Italie)*. Bull. Minéral., **105**, pp. 236-245.
- STRAHLER A. N. (1957) - *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. Trans. Am. Geophys. Union, **38**, pp. 913-920.
- TREVISAN L. (1950) - *L'Elba orientale e la sua tettonica di scivolamento per gravità*. Mem. Ist. Geol. Pal. Univ. Padova, **16**, 39 pp.
- VIOLANTI D., DI GIRONIMO I. & SACCA D. (1988) - *Rapporti tra tanatocenosi e Foraminiferi e biocenosi nel Golfo di Noto (Sicilia sud-orientale)*. Atti IV Simposio Ecologia e Paleoecologia nelle Comunità bentoniche. Sorrento 1-5 novembre 1988. Museo Reg. Sci. Nat. Torino, pp. 773-799.
- WEZEL F. C. (1982) - *The Tyrrhenian Sea: a rifted kricogernic-swell basin*. Mem. Soc. Geol. It., **24**, pp. 531-568.

Ms. ricevuto il 4 gennaio 2007
 Testo definitivo ricevuto l'8 marzo 2007

Ms. received: January 4, 2007
 Final text received: March 8, 2007