

Caratteristiche geoambientali delle dune costiere della Baia di Porto Pino (Sardegna SW)⁽¹⁾

Geoenvironmental characteristics of coastal dunes of the Porto Pino bay (SW Sardinia)

CANNILLO C. (*), DI GREGORIO F. (*), FERRARA C. (*), IBBA A. (*)

RIASSUNTO – Le dune studiate sono localizzate sulla costa sud-occidentale sarda, nella baia di Porto Pino. Le caratteristiche geoambientali e la loro dinamica sono state analizzate attraverso un rilevamento geomorfologico di dettaglio, l'analisi di foto aeree riprese in tempi diversi e lo studio sedimentologico di campionature effettuate lungo profili ortogonali alla spiaggia emersa e sommersa. Ne è risultato che i corpi sabbiosi sono disposti all'interno di un'ampia spiaggia falcata di forma complessiva asimmetrica in lingue grossolanamente paraboliche, coalescenti, più sviluppate sul lato orientale. Al loro interno presentano frequenti cumuli di sabbia da ostacolo, aree di deflazione, campi di ripples e caratteristici pavimenti detritici; laddove le superfici di deflazione arrivano a lambire la falda freatica sono presenti aree depresse col fondo sabbioso debolmente cementato. Le caratteristiche granulometriche e composizionali evidenziano l'unimodalità dei sedimenti, la selezione di una popolazione modale sempre più fine e la prevalenza del quarzo sulle altre componenti dalla spiaggia sommersa verso l'entroterra. Le analisi morfoscopiche al microscopio ottico ed al SEM denotano un aumento progressivo delle forme spigolose dei clasti di quarzo lungo le medesime direzioni e da NW verso SE.

Dalla ricerca è emerso che le dune studiate, per l'insieme delle forme presenti e l'elevato grado di naturalità che conservano, costituiscono un sistema di rilevante interesse naturalistico e scientifico. L'apertura di solchi e conche di deflazione causate dall'intensa frequentazione turistica, nel settore occidentale, e le piste aperte durante le esercitazioni militari, nel settore orientale, causano rilevanti danni alla copertura vegetale, degrado progressivo e migrazione dell'ecosistema che richiedono urgenti misure di controllo.

PAROLE CHIAVE: dune, caratteristiche geoambientali, sedimentologia, Sardegna.

ABSTRACT - The dunes studied are located on the south-western coast, in the Porto Pino bay. Geoenvironmental characteristics and dynamic of these sandy bodies were examined through a detailed geomorphological survey, the analysis of aerial views of different times and sedimentological studies of sandy samples taken along profiles orthogonal to the beach from foreshore to dunes. Researches pointed out that sandy bodies occur, as parabolic coalescing tongues more developed on east side, in a broad asymmetrical beach. Their most characteristic features are various types of bedforms, frequent accumulation of sands around obstacles, deflation surfaces and pebbly pavements with rock surfaces; whereas deflation surfaces lick up groundwaters flat depression areas with weakly cohesive sandy bottom are observed. The granulometric and compositional characteristics highlighted the unimodality of all sediments, the prevalence of a finer modal population and of quartz clasts over the other components from the foreshore to dunes. From a morphoscopic point of view it is shown that angular quartz increases progressively on the same direction and from NW to SE. SEM observations reveal that quartz clast surfaces present features attributable either to marine or aeolian activity on shore line, while on clast surfaces of backshore and dunes it is possible to observe the progressive subduing of marine characteristics and the prevalence of aeolian ones. The research highlighted that these environments, for their geomorphological features and natural state, make up a whole of relevant naturalistic and scientific interest. The opening in the western sector, of furrows and depressions of deflation, owing to the increase in the number of tourists, and the tracks opened during military field practices in the eastern sector, cause heavy damage to plant cover, progressive degradation and migration of the ecosystem which need severe measures of control.

KEY WORDS: dunes, geoenvironmental characteristics, sedimentology, Sardinia.

(1) Lavoro realizzato nell'ambito del Progetto Nazionale di ricerca «Dinamica e caratteri geoambientali degli spazi costieri». Coord. dell'Unità operativa Prof. Felice Di Gregorio.

(*) Dipartimento Scienze della Terra - Università di Cagliari, Via Trentino 51, 09127 Cagliari.

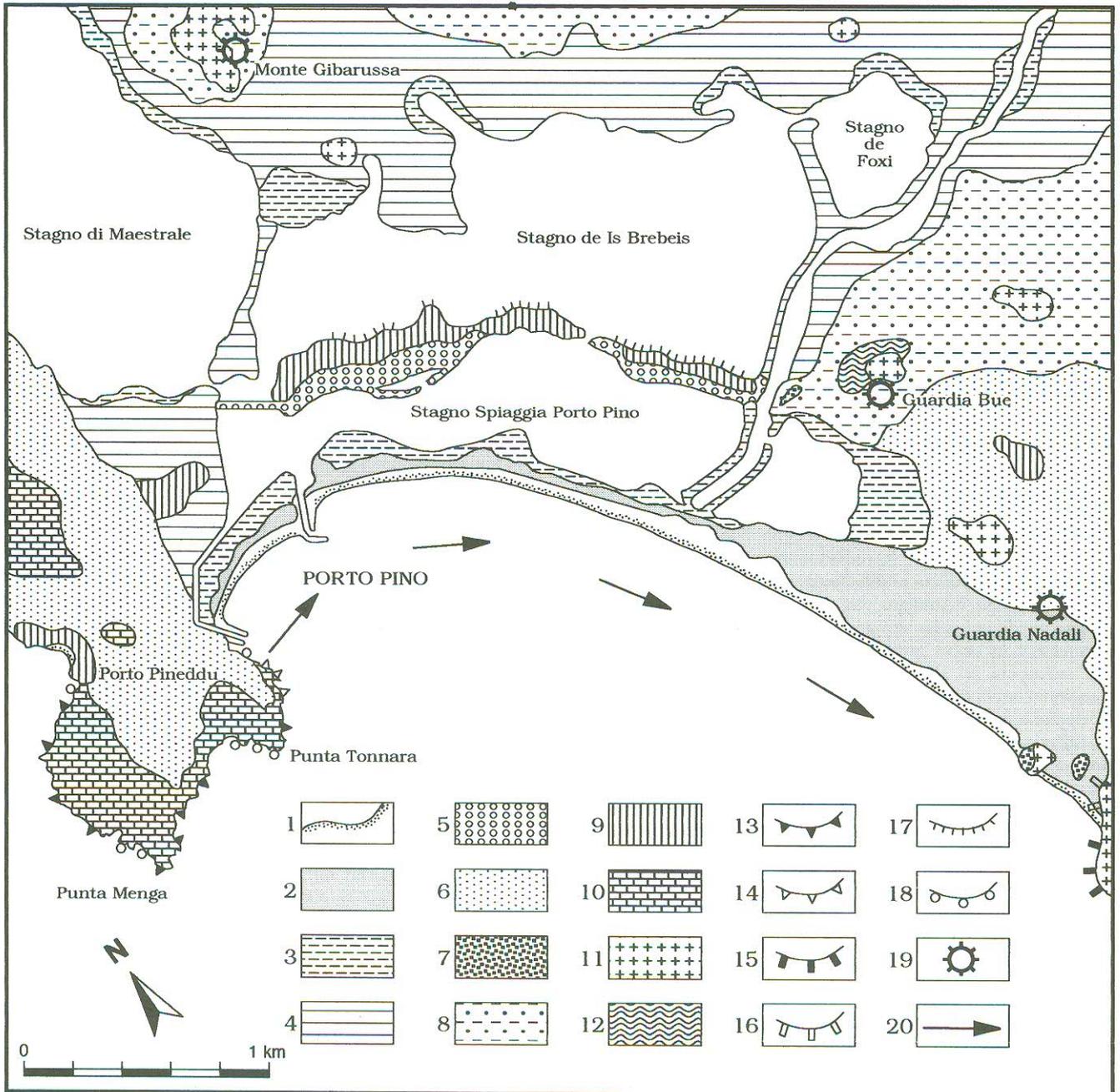


Fig. 1 – Carta di inquadramento geomorfologico della baia di Porto Pino. - 1. Spiagge attuali; 2. Dune recenti ed attuali;

3. Depositi palustri e stagnali; 4. Alluvioni recenti ed attuali; 5. Paleo-spiagge ciottolose;

6. Sabbie eoliche wurmiane prevalentemente sciolte e rimaneggiate con locali intercalazioni detritiche;

7. Arenarie eoliche wurmiane con blocchi e detriti sparsi di riolite; 8. Alluvioni ciottolose terrazzate e sabbie stratificate ed arrossate;

9. Panchina tirreniana; 10. Calcarei a Crinoidi del Giurassico; 11. Rioliti permo-carbonifere; 12. Scisti cambriani;

13. Falesie in roccia calcarea, attive; 14. Falesie in roccia calcarea, inattive; 15. Ripe di erosione in roccia, attive;

16. Ripe di erosione in roccia, inattive; 17. Ripe di erosione in materiale detritico, inattive; 18. Carsismo costiero;

19. Rilievi isolati; 20. Direzione prevalente del trasporto litoraneo.

Geomorphological map of Porto Pino bay. Lithology and morphology of coastal sector of Porto Pino. 1. Modern beaches; 2. Recent and modern dunes;

3. Swamp and pond deposits; 4. Recent and modern alluvial deposits; 5. Gravelly paleo-beaches;

6. Wurmian aeolian sands prevalently loose and reworked with local debris intercalations; 7. Wurmian aeolian sandstones with blocks and debris of rhyolites;

8. Pebbly terraced alluvial deposits and reddish stratified sands; 9. Tyrrhenian "panchina"; 10. Jurassic limestones with crinoids;

11. Permian-Carboniferous rhyolites; 12. Cambrian schists; 13. Active calcareous cliffs; 14. Inactive calcareous cliffs; 15. Active edges in rock;

16. Inactive edges in rock; 17. Inactive edges in debris deposits; 18. Coastal karst; 19. Isolated relief; 20. Prevailing drift of littoral transport.

1. – INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Le dune di Porto Pino sono ubicate nella Sardegna sud-occidentale tra il promontorio calcareo-dolomitico mesozoico di Punta Menga-Punta Tonnara e la Punta Canne, costituita da vulcaniti calcaline del Carbonifero superiore (?)-Permiano, alla radice occidentale della penisola di Capo Teulada.

La località, che prende nome dalla presenza di una estesa formazione boschiva a *Pinus Halepensis*, è raggiungibile mediante una strada che si dirama dalla statale sud-occidentale sarda in corrispondenza dell'abitato di S. Anna Arresi. Per la sua posizione, riparata dal vento dominante di maestrale, ha avuto una utilizzazione portuale sin dal periodo della dominazione romana, quando, per rendere più sicuro e protetto l'approdo delle imbarcazioni, venne intagliato, a ridosso della costa rocciosa ad W di punta Tonnara, un profondo canale, che tuttora viene utilizzato dai pescatori ed assicura il ricambio dell'acqua tra il sistema degli stagni di Corvo, Maestrale, Brebeis e Foxi e il mare. La località, abbandonata poi nel tardo medioevo, ha riconquistato interesse tra il '600 e il '700 con l'uso degli stagni come peschiera. A partire dal dopoguerra, poi, la sua importanza è andata crescendo grazie alla frequentazione turistica.

L'area dunare costituisce una fascia di poco più di 4,5 Km di lunghezza, che si estende nell'entroterra sino ad un massimo di circa 500 m dalla spiaggia. Le sabbie eoliche costituiscono la prosecuzione di un ampio lido sabbioso che dal villaggio di Porto Pino si allunga verso SE interrompendosi ai piedi del piccolo rilievo collinare di Guardia s'Arena, separando così dal mare l'articolato sistema di stagni costieri.

La presenza del villaggio turistico di Porto Pino e di un campeggio, sito proprio sulla parte NW delle dune di retrospiaggia, ha alterato sinora solo in minima parte il sistema cordone litoraneo-stagni-dune. Più evidenti le modificazioni prodotte dal canale artificiale aperto negli anni '50 e già insabbiato pochi anni dopo, nonostante le scogliere a difesa della bocca a mare, che hanno modificato non poco l'equilibrio morfodinamico locale. Ad essi è da ricondurre la persistente presenza di alghe morte nel settore NW, in corrispondenza della spiaggia più frequentata.

L'esistenza di una vasta zona gravata da servitù militari ha contribuito invece a conservare il sito al di fuori delle spinte insediative turistico-residenziali, anche se sulla compagine dunare sono evidenti dei segni di degrado prodotto dal transito sregolato di automezzi in esercitazione.

2. – CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

La baia di Porto Pino, dal punto di vista geomorfologico, è caratterizzata dalla presenza di un sistema di zone umide stagnali e palustri racchiuse all'interno di una interessante doppia falcatura di sedimenti quaternari (fig. 1). Quella più interna racchiude gli stagni di Maestrale, Brebeis e Foxi. La falcatura sabbiosa esterna, invece, di genesi più recente, delimita lo Stagno Spiaggia di Porto Pino o del Corvo. Tutto l'ecosistema spiaggia-dune-stagni è impostato su un'area originariamente ribassata per faglie, delle quali è ben evidente quella occidentale, con direzione all'incirca N-S, che segue il bordo orientale del rilievo carbonatico di Monte Sarri (PECORINI, 1983). All'interno della zolla ribassata penetrò il mare durante l'ultimo interglaciale, come denotano i resti dei caratteristici sedimenti arenaceo-conglomeratici fossiliferi («panchina», fig. 2), situati a circa 2 m sul livello marino attuale nei pressi della peschiera a sud di Case Marceddu, nel cordone tra Isola Corrumanciu e Guardia Bue, e a Cala Passo a mare. Si tratta di depositi di ambiente litorale, con livelli prevalentemente sabbiosi a laminazioni parallele e incrociate, e conglomerati a ciottoli poligenetici ben elaborati con intercalazioni di crostoni di ambiente lagunare a *Cardium*, del tutto analoghi per caratteristiche litologiche, sedimentologiche e paleontologiche a quelli a *Glycymeris*, *Strombus bubonius*, *Conus testudinarius*, *Patella ferruginea*, *Arca noae* e *Clodacora coespitosa* descritti da ULZEGA & OZER (1980) e da ULZEGA & HEARTY (1986) lungo le coste sarde e riferiti all'Eutirreniano.

Durante l'ultima fase glaciale l'area venne incisa dai corsi d'acqua e sepolta da depositi eolici, i cui resti, arrossati e debolmente cementati, si rinvennero in corrispondenza della falcatura interna, nei pressi dello Stagno di Foxi, ricoperti da alluvioni antiche terrazzate, e nell'estremo settore sud-orientale delle dune, in località Cala Passo a Mare. È stata poi, in parte, nuovamente sommersa per effetto della trasgressione versiliana. Ed è all'optimum climatico di quest'ultima che può ricondursi la spiaggia ciottolosa (fig. 3) che forma la riva esterna del cordone tra Isola Corrumanciu e Guardia Bue, similmente a quanto riscontrato in altri settori delle coste della Sardegna (CARBONI *et alii*, 1987) oggi isolata dal mare dalla falcatura sabbiosa generatasi dall'accrescimento recente di scanni o barre sommerse.

Le dune recenti (fig. 4), che si distendono dapprima con un cordone allungato e arcuato (fig. 5)



Fig.2 – Panchina tirreniana a *Cardium* sul lato interno del cordone tra lo Stagno di Porto Pino e quello di Is Brebeis.
Thyrrhenian "Panchina" with Cardium in the inner side of the ribbon between Porto Pino Pond and Is Brebeis one.

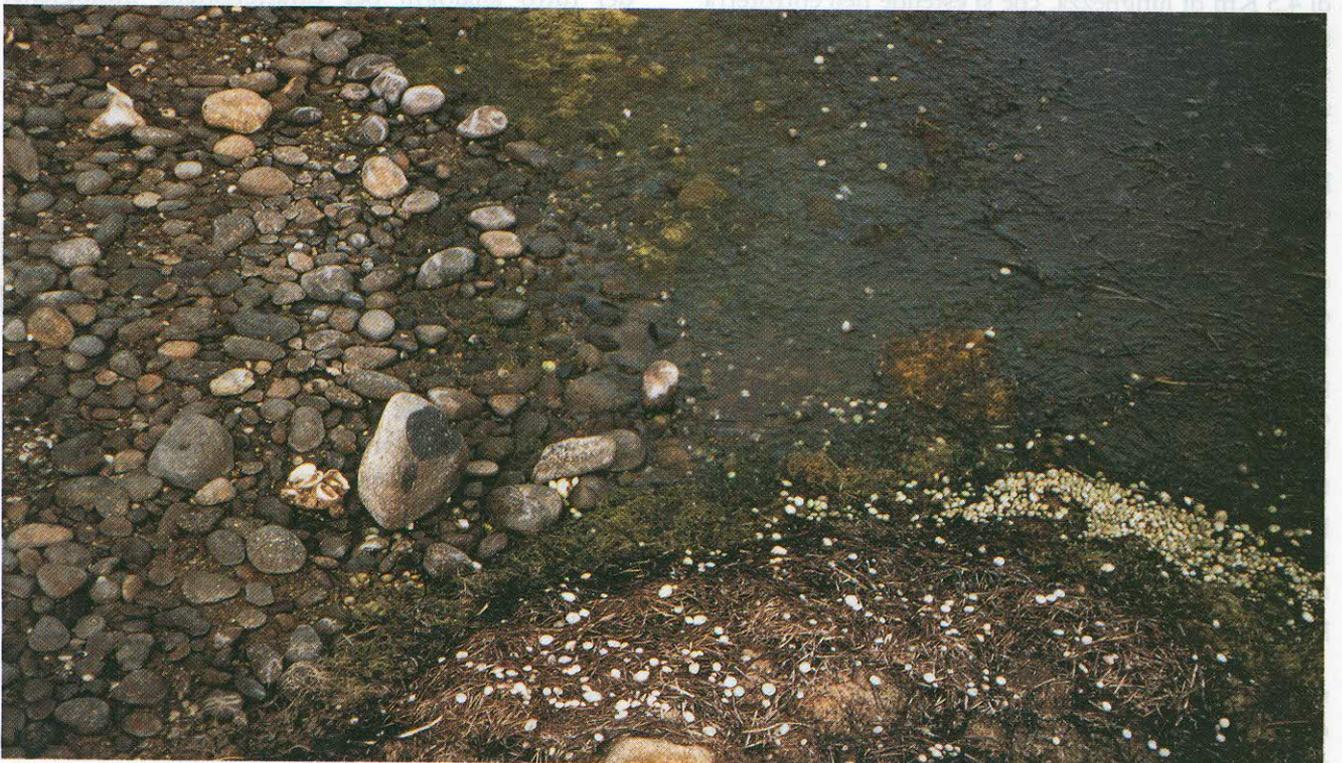


Fig.3 – Spiaggia ciottolosa versiliana sul lato esterno del medesimo cordone della foto precedente.
Versilian gravelly beach in the external side of the same ribbon of figure 1.

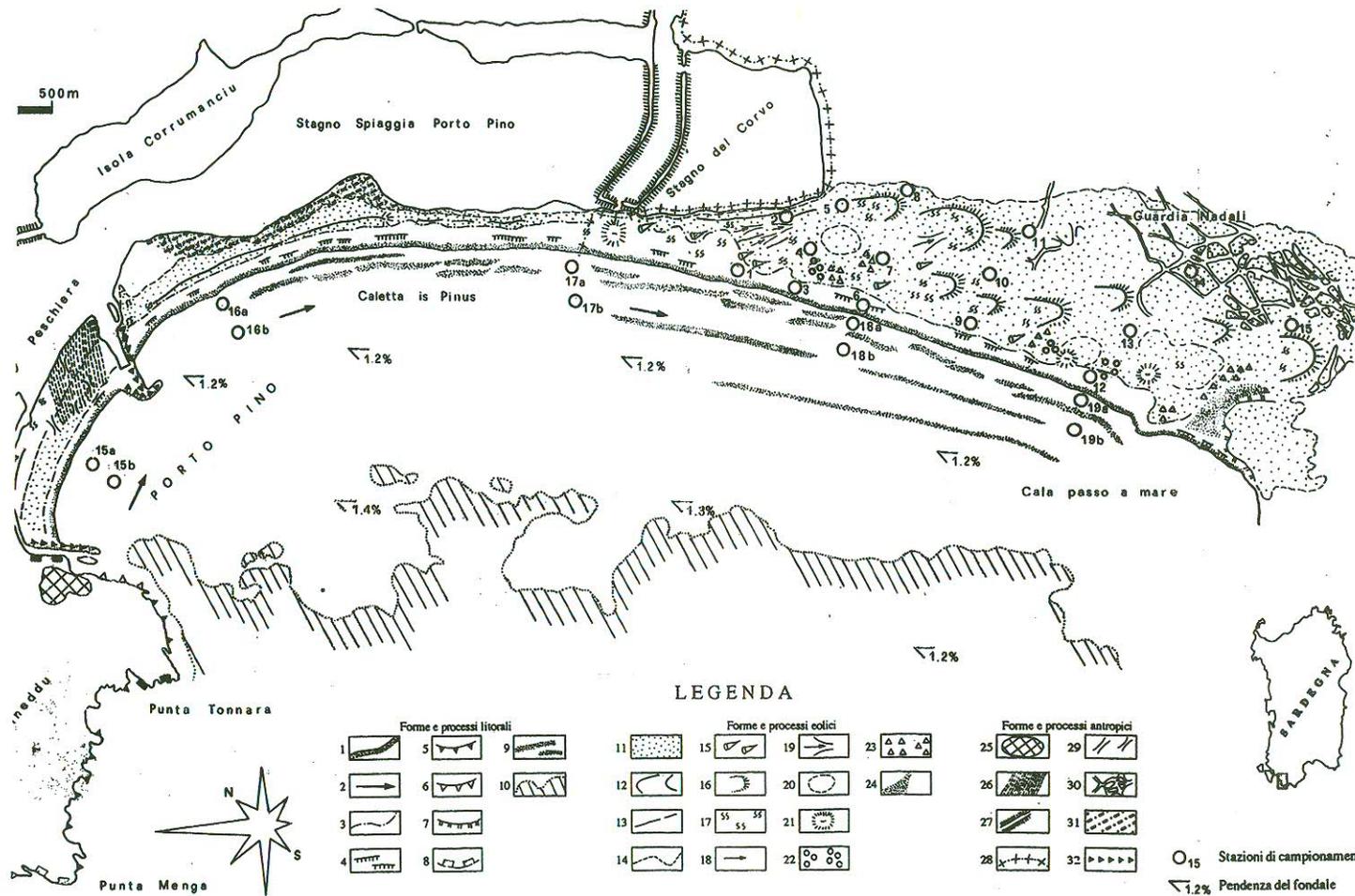


Fig. 4 - Caratteristiche morfologiche e geoambientali della baia di Porto Pino. Forme e processi litorali: 1. Spiaggia; 2. Deriva litorale; 3. Limite interno della spiaggia; 4. Berma ordinaria e berma di tempesta; 5. Ripe in roccia calcarea, attive; 6. Ripe in roccia calcarea, inattive; 7. Ripe in roccia, inattive; 8. Carsismo costiero; 9. Scanni o barre; 10. Limite interno della prateria di *Posidonia oceanica*.

Forme e processi eolici: 11. Dune; 12. Cresta delle dune a forma parabolica; 13. Cordoni allungati; 14. Limite interno delle dune; 15. Accumuli da ostacolo; 16. Zona di ricaduta di sabbie sottovento; 17. Ripples eolici; 18. Zona di intensa deflazione; 19. Solchi di deflazione; 20. Conche di deflazione; 21. Depressioni interdunali; 22. Pavimenti ad elementi ciottolosi eolizzati; 23. Pavimenti ad elementi a spigoli vivi eolizzati; 24. Zona a sabbie eoliche fluitate durante la stagione piovosa.

Forme e processi antropici: 25. Insediamenti turistico-residenziali; 26. Campeggio; 27. Argini; 28. Limite della zona militare; 29. Solchi di sentieramento; 30. Piste di attraversamento di automezzi; 31. Riporti di materiale di scavo; 32. Opere di difesa litoranea (scogliere); ○ 15 Stazioni di campionamento; < 12% Pendenza del fondale.

Morphologic and geoenvironmental features of Porto Pino bay. - Littoral geomorphology and processes: 1. Beach; 2. Littoral drift; 3. Inner boundary of beach; 4. Berm and storm berm; 5. Edges in an active calcareous cliff; 6. Edges in an inactive calcareous cliff; 7. Edges in an active cliff; 8. Coastal karst; 9. Bars; 10. Inner Boundary of *Posidonia oceanica*
Aeolian bedforms and processes: 11. Dunes; 12. Crest of parabolic shaped dunes; 13. Elongated ridges; 14. Inner boundary of dunes; 15. Sand drifts; 16. Lee side grainfall area; 17. Ripples; 18. Area of strong deflation; 19. Deflation furrows; 20. Deflation depressions; 21. Interdune depressions; 22. Eolized pebbly pavements; 23. Eolized angular pavements; 24. Area of rain laid aeolian sands;
Human geomorphology and processes: 25. Tourist resorts; 26. Camping site; 27. Embankments; 28. Military zone boundaries; 29. Ruts caused by passing vehicles; 30. Tracks left by heavy vehicles;



Fig. 5 – Visione d'insieme delle dune embrionali.
General look of immature dunes



Fig.6 – Pavimenti detritici con elementi spigolosi di rioliti a «vernice nerastra»
Pavements with angular debris of rhyolites with "desert vernish"

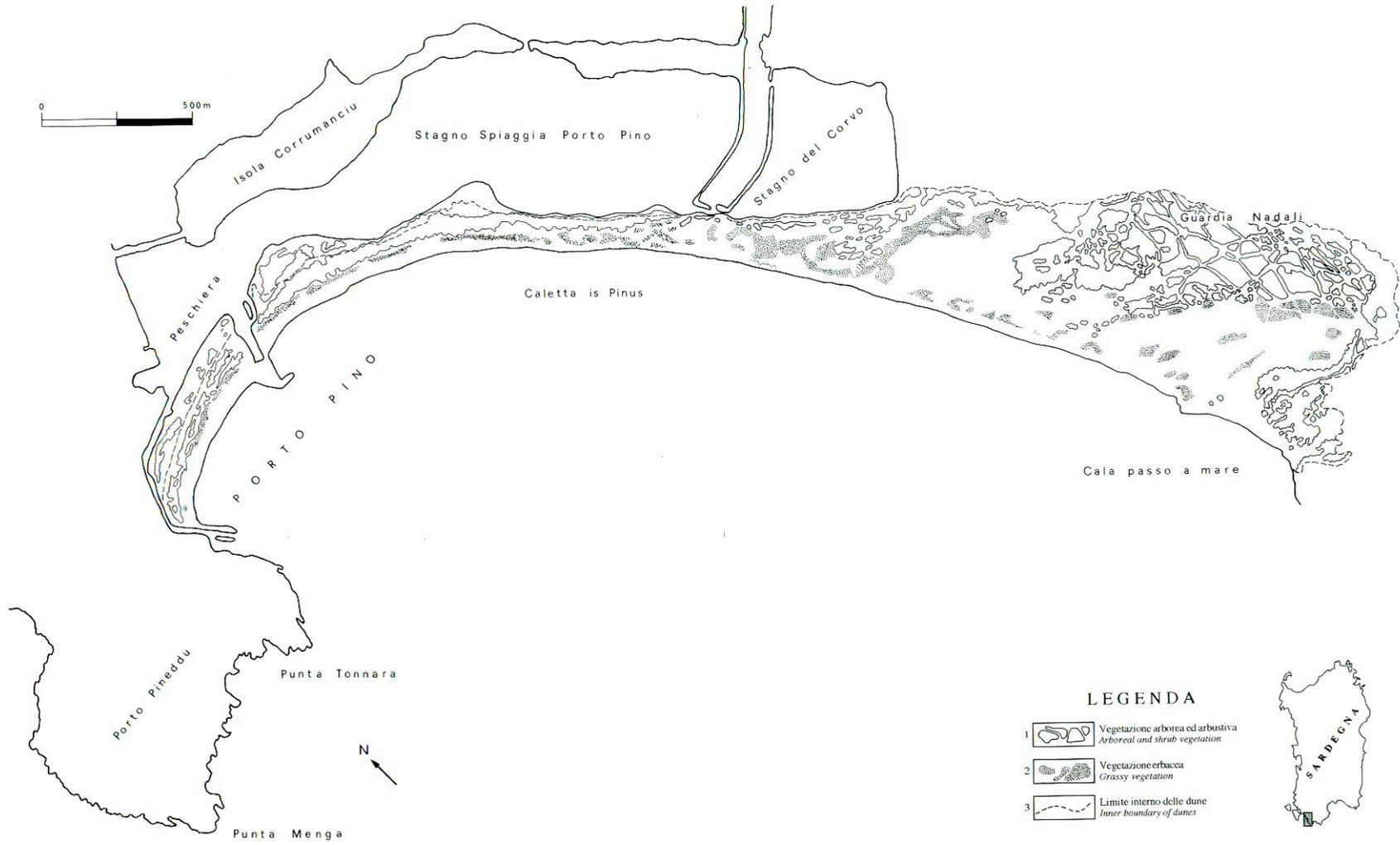


Fig. 7 – Carta dello stato di conservazione della copertura vegetale delle dune.
Map of state of plant cover of dunes.

e poi in lingue paraboliche a formare l'orlatura esterna della spiaggia falcata, coprono localmente, a occidente, i calcari dolomitici mesozoici, la panchina tirreniana, le colianiti wurmiane, i depositi palustri e stagnali, le alluvioni recenti e un piccolo lembo di siltiti e argilliti grigio-verdastre del Cambriano nei pressi di Guardia Bue; sul lato orientale, invece, ricoprono dei litotipi effusivi di natura riolitica e riocacitica grigio-nerastri (porfiriti) del Carbonifero superiore(?) - Permiano (CARMIGNANI *et alii*, 1987; VARDABASSO, 1953; VARDABASSO BONICELLI, 1971).

Al loro interno, le dune, che si elevano sino ad un massimo di 29 m, presentano una serie di corpi allungati in direzione NW-SE, con un'altezza di circa 30 m s.l.m., cumuli di sabbia da ostacolo, canali e solchi, conche ed aree di deflazione, campi di ripples e caratteristici pavimenti ciottolosi o detritici (fig. 6); quest'ultimi ad una certa quota, dove, evidentemente, la copertura sabbiosa sul basamento porfirítico è di debole spessore (fig. 4). Laddove le superfici di deflazione arrivano a lambire la falda freatica, come nei pressi di Foxi, in prossimità dello scavo di un antico canale sepolto dalle sabbie, il fondo sabbioso appare debolmente cementato ed ospita consorzi pionieri di giunchi. Altrove la vegetazione (fig. 7) è costituita dapprima dalla fascia ad *Eryngium maritimum*, *Pancrazium maritimum*, e *Agropyrum junceum* (fig. 8) e poi da un interessante consorzio a *Pinus Halepensis*, *Juniperus macrocarpa*, *Phyllirea angustifolia* e *Pistacia Lentiscus*. Questa parte di duna colonizzata dalla vegetazione mostra più evidenti i segni dell'impatto antropico, ad occidente in prossimità del villaggio turistico e del campeggio con canali e solchi dovuti al transito e allo scavalco del cordone da parte dei frequentatori della spiaggia, e ad oriente (Guardia Nadali) con fenomeni di avanzamento del fronte (fig. 9) e con una serie di piste prodotte dai mezzi motorizzati durante le esercitazioni militari, che periodicamente si svolgono nel Poligono di Capo Teulada, le quali minacciano l'integrità della compagine vegetale e quindi il fragile equilibrio della duna (fig. 7).

L'idrografia che drena verso l'insenatura di Porto Pino è caratterizzata da piccoli corsi d'acqua temporanei i quali confluiscono all'interno degli stagni, ad eccezione del Rio di Cala Passo a mare.

3. - DINAMICA COSTIERA

Per lo studio della dinamica costiera si è fatto riferimento alla seguente documentazione cartografica o aerofotografica:

- Levate topografiche dello Stato Maggiore Sardo-Piemontese del 1840-1859
- Carte topografiche I.G.M. del 1897 con levata topografica;
- Carte topografiche I.G.M., edizione 1966, con restituzione aerofotogrammetrica, su coperture aeree del 1963;
- Mappa batimetrica «Golfo di Palmas» del Defence Mapping Agency Hydrographic Center di Washington.
- Aerofoto a colori dell'Aprile-Maggio 1977 alla scala approssimativa 1:10.000;
- Aerofoto in bianco e nero del 1987 alla scala approssimativa 1:33.000.

L'esame della documentazione storica disponibile, riferita alla cartografia redatta con levate topografiche, pur con l'approssimazione legata ai sistemi di rilevamento d'allora, non denota sensibili mutamenti della linea di riva durante la seconda metà del secolo scorso, così come rilevato anche da SPANO & PINNA (1956). Successivamente, dal confronto cartografico delle linee di riva per sovrapposizione (fig. 10), previa restituzione in scala dei dati aerofotografici, si è potuto osservare un netto e generale avanzamento della linea di riva della spiaggia di Porto Pino nel periodo tra il 1897 e il 1977. L'accrescimento risulta più sensibile in prossimità delle scogliere a difesa della bocca a mare dello Stagno-spiaggia di Porto Pino, realizzate intorno agli anni '50. L'apertura risulta completamente insabbiata nelle foto aeree del 1977. La stessa sorte avevano subito anche i due canali protetti da pennelli in scogliera aperti tra il 1936 e il 1938, distanti 500 metri l'uno dall'altro. Le tracce di quello più orientale, di fronte al rilievo di Guardia Bue, sono testimoniate da una depressione sul cordone sabbioso situata sulla continuazione della arginatura tra lo Stagno del Corvo e quello della Spiaggia di Porto Pino e da resti di scogliera sulla spiaggia prospiciente. Nelle stesse foto aeree del 1977 è ben evidente l'effetto trappola della stessa scogliera sulla *Posidonia* spiaggiata, che ancora oggi, con i venti dei quadranti meridionali, incide negativamente sulla balneabilità del tratto di spiaggia più prossimo all'area turistica, che poi è quello che risulta più avanzato.

Nel periodo '77-'87 si verifica una inversione di tendenza, e tutta la falcatura sabbiosa risulta in erosione, molto accentuata nel settore nord-occidentale. Tale inversione è da imputare probabilmente a forti mareggiate di libeccio, verificatosi nel periodo, che hanno portato al trasferimento di parte dei sedimenti dell'arenile nella spiaggia sommersa. Questa



Fig. 8 – Forme da ostacolo impostatesi sulle dune embrionali parzialmente fissate dalla vegetazione (*Agropyrum junceum*)
Sand drifts originated on immature dunes partially fixed by vegetation (Agropyrum junceum)



Fig. 9 – Alte dune di retrospiaggia con fenomeni di sommersione (seppellimento e disseccamento della vegetazione a *Juniperus macrocarpa*), erosione (disseppellimento dei fusti) e successivo fronte di accumulo in avanzamento.
Backshore high dune with submersion (burial and drying of Juniperus macrocarpa vegetation), erosion (unearthing of trunks) evidences and next advancing sand accumulations

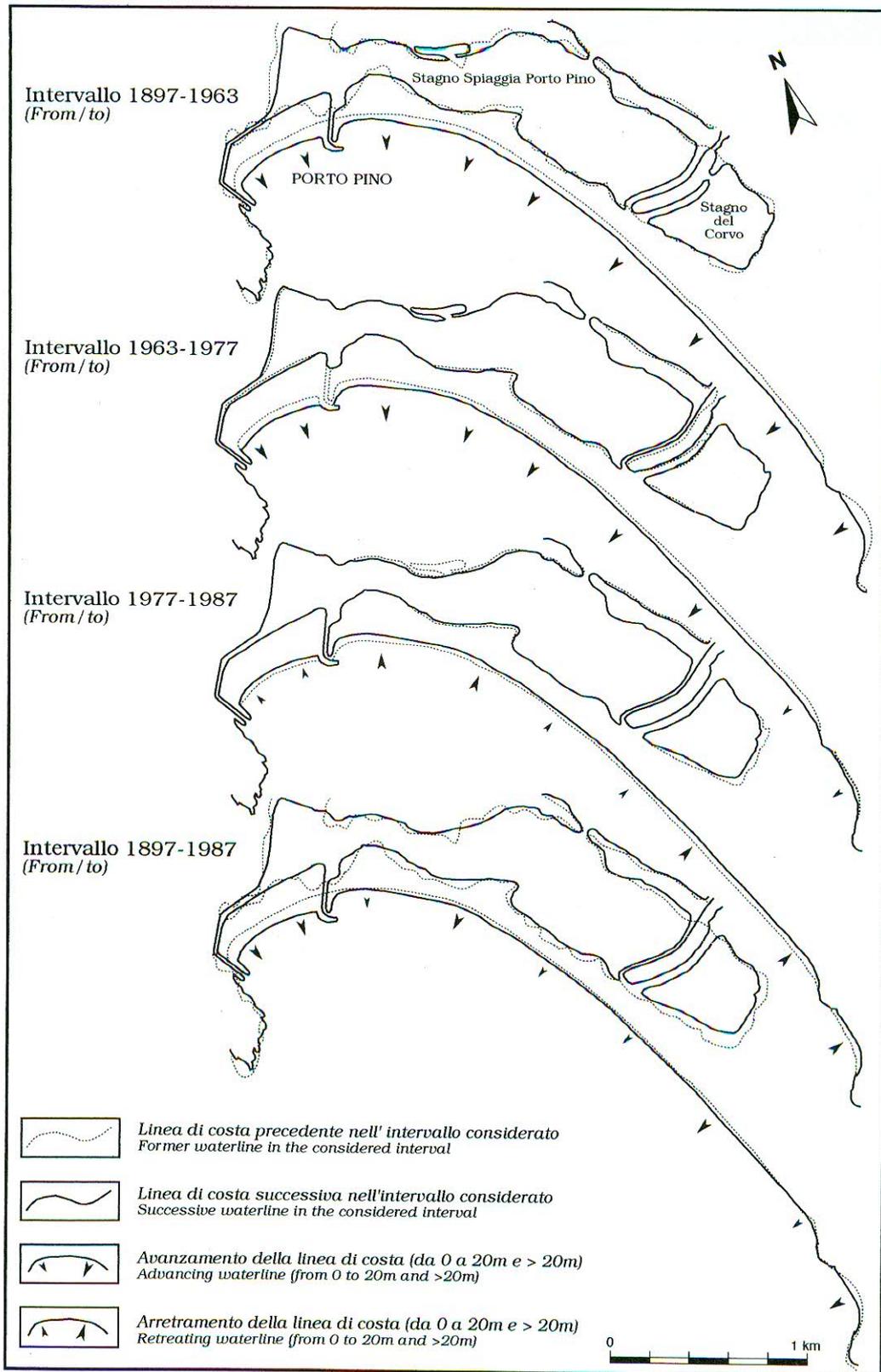


Fig.10 – Variazione della linea di costa tra il 1897 ed il 1987 sulla base delle carte topografiche dell'Istituto Geografico Militare e dei risultati di fotorestituzione di riprese aeree recenti.

Coastline variation in the period from 1897 to 1987 based on of topographic maps of IGM and recent aerial views.

è caratterizzata da notevole uniformità, con isobate parallele tra loro e alla linea di riva, da una pendenza molto bassa (1,2-1,4 %), dalla presenza di una estesa e ben conservata prateria di *Posidonia oceanica* e di scanni o barre (fig. 4) che frenano in parte l'impeto delle mareggiate di SW, le uniche alle quali l'insenatura risulta esposta. Ad esse è associata una consistente energia capace di modificare l'assetto del litorale, in quanto le onde di mare aperto provenienti da questo settore, secondo le tavole grafiche proposte da BERRIOLO & SIRITO (1972), possono raggiungere i 5 m di altezza, con una lunghezza d'onda di 216 m ed un periodo di 11,8 sec.

È probabile, tuttavia, che una parte delle sabbie della spiaggia emersa sia andata ad accrescere la duna più interna (i rilevamenti altimetrici di dettaglio sono in corso) anche per l'impatto prodotto dall'accresciuta frequentazione turistica sulle specie pioniere (cakileto e ammofileto) che fissano la sabbia della spiaggia alta e il piede della duna.

Complessivamente, comunque, nel lungo periodo, il confronto delle linee di riva, pur con delle oscillazioni periodiche che inducono localmente fenomeni di avanzamento o erosione, dimostra una generale stabilità, con variazioni sensibili solo in prossimità delle scogliere artificiali. Il bilancio dei sedimenti, mancando apporti solidi dai corsi d'acqua, i quali vengono per lo più intercettati dagli stagni, è regolato dall'interscambio spiaggia-spiaggia sommersa e spiaggia-duna.

La verifica dei motivi geomorfologici e sedimentologici nonché dei limiti e dello stato di conservazione della prateria a *Posidonia*, che influenzano la dinamica costiera è stata effettuata direttamente mediante immersioni subacquee. Allo stesso modo è stata effettuata la campionatura dei sedimenti nella spiaggia sommersa.

4. - CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE E MORFOSCOPICHE

Le caratteristiche dei sedimenti sono state evidenziate tramite le analisi granulometriche e la composizione mineralogica, la maturità dei clasti è stata valutata mediante la stima del grado di arrotondamento osservato al microscopio ottico, mentre la ricostruzione del tipo di elaborazione subita in questo ambiente sedimentario è stata effettuata al microscopio elettronico a scansione (SEM).

I sedimenti analizzati provengono da profili trasversali effettuati sia sulla spiaggia sommersa (a

-1 e a -3 metri) in corrispondenza delle barre, sia sulla spiaggia emersa (da 0 metri fino alla cresta delle dune).

Le caratteristiche granulometriche (fig. 11) sono state determinate mediante setacciatura a secco effettuata con vagli intervallati di 1/4 di phi; i parametri tessiturali più significativi — diametro medio (Mz), classazione (sI), asimmetria (SKI) e Kurtosis (KG) — sono stati elaborati mediante le formule di FOLK E WARD (1957). Le caratteristiche tessiturali lungo i profili di campionatura (fig. 4) denotano la presenza di sedimenti unimodali, con mode prevalentemente nell'ambito delle sabbie fini (2 phi). I sedimenti della spiaggia emersa risultano più grossolani lungo la linea di battigia (moda compresa nell'intervallo granulometrico 1,75-2,0 phi) e diventano più fini verso l'entroterra e, contemporaneamente, lungo la costa, da NW verso SE (intervallo modale compreso tra 2-2,25 phi).

I sedimenti della spiaggia sommersa diventano invece più grossolani da NW verso SE, con i rispettivi valori modal passanti da sabbie fini e molto fini (2,75-3 phi) a sabbie medie (1,75-2 phi). In tutti i profili si osserva un aumento di granulometria verso il largo, tranne che nel profilo più orientale in cui la granulometria è omogenea in entrambi i punti di campionatura. Questa caratterizzazione tessiturale è tipica dei sistemi sedimentari a regime microtidale dominati dal moto ondoso.

I valori dei parametri tessiturali indicano che tutti i sedimenti sono molto ben classati (σ compreso fra 0,25 e 0,40) e mesocurtici (KG compreso fra 0,91 e 1,11). Soltanto la differente distribuzione del segno del parametro SKI permette, nei profili stessi, di separare depositi della spiaggia sommersa (caratterizzati prevalentemente da valori negativi del parametro, SKI da +0,05 a -0,25) da quelli della spiaggia emersa i cui sedimenti sono invece caratterizzati da valori positivi di SKI (SKI da -0,01 a +0,33).

L'analisi delle caratteristiche tessiturali, mostra dunque in questo sistema spiaggia-duna, in cui gli apporti sedimentari esterni sono minimi, una sostanziale omogeneità dei sedimenti ad indicare un continuo interscambio tra spiaggia emersa e sommersa. Ciò era stato già osservato in altri sistemi sedimentari simili presenti lungo le stesse coste occidentali (CARBONI *et alii*, 1989; CRISTINI *et alii*, in stampa).

Le correlazioni tra tutti i parametri tessiturali, riportate nella fig. 12, evidenziano che le uniche correlazioni discriminanti, e perciò significative da un punto di vista ambientale, sono quelle con l'SKI (B, D e F).

Tale parametro esprime, in questo particolare ambiente, le differenti azioni selettive esercitate da moto ondoso e vento su sedimenti prevalentemente unimodali. Sulla battigia e nella spiaggia sommersa, per effetto della turbolenza, si ha il troncamento delle code fini e, di conseguenza, lo spostamento delle mode verso i termini più grossolani con prevalenza di distribuzioni granulometriche asimmetrico-negative; nella spiaggia emersa, al contrario, l'azione di deflazione seleziona granulometrie fini caratterizzate dall'asimmetria positiva (SHEPARD & JOUNG, 1961).

La composizione mineralogica, in tutti i campioni esaminati, rispecchia quella delle rocce madri presenti nell'entroterra circostante. Prevalgono di conseguenza il Qz ed il K-feldspato sui frammenti litoidi provenienti dal basamento metamorfico; notevole è anche la quantità di carbonato bioclastico presente nel sedimento, specie nel settore NW.

All'osservazione microscopica il grado di arrotondamento dei clasti di Qz (valutato secondo la tabella di POWERS, 1953) varia da spigoloso a subarrotondato. Nel sistema spiaggia-duna, si

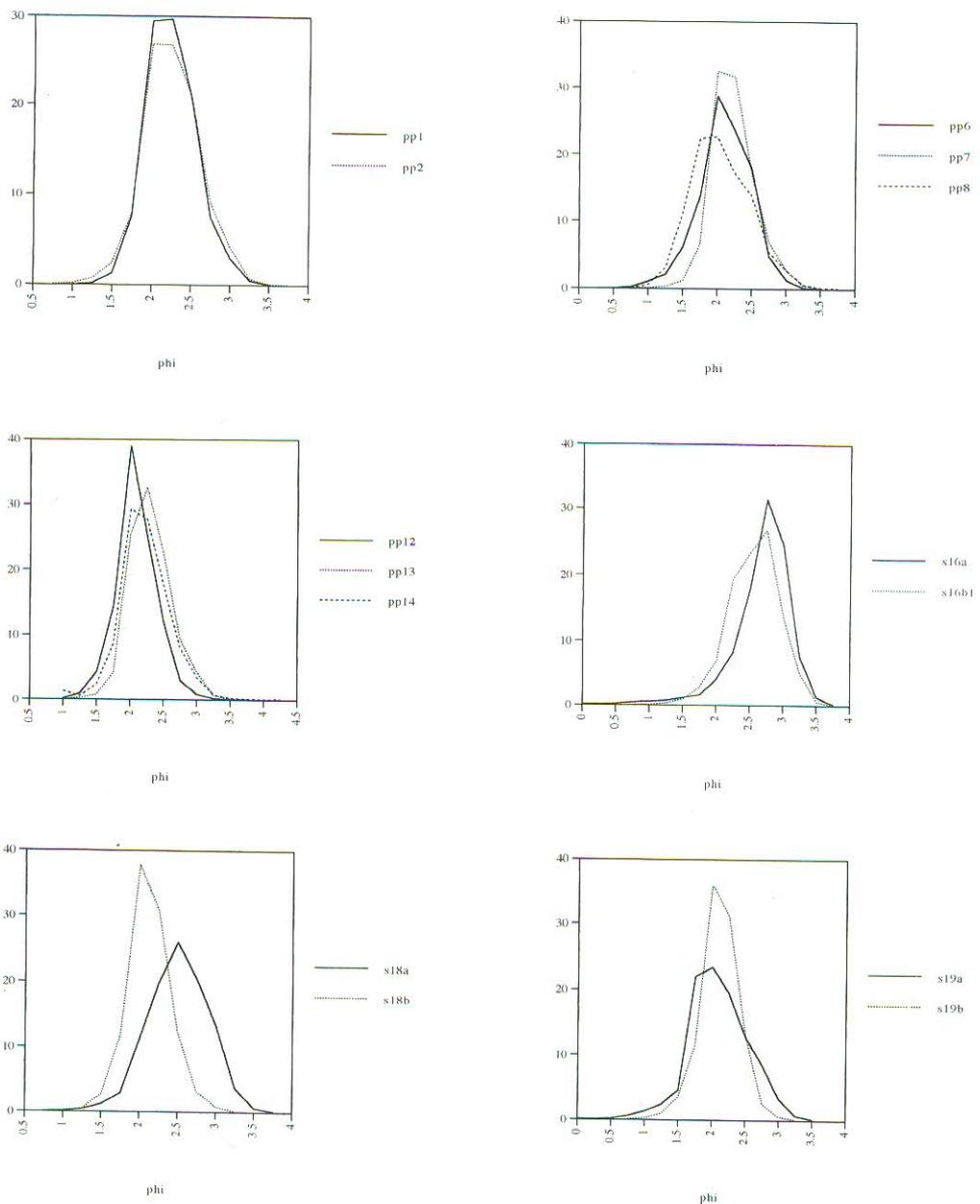


Fig.11 – Curve di distribuzione granulometriche relative ai sedimenti dei vari profili di campionatura riportati in fig. 2.

Si può osservare l'unimodalità di tutti i sedimenti.

Granulometric distribution curves relating to sediments of various sampling profiles of fig. 2. The unimodality of all samples can be observed.

osserva in particolare un incremento dei clasti spigolosi procedendo da NW verso SE e dalla battigia verso l'interno, associato alla diminuzione granulometrica.

Le osservazioni al SEM (tav. 1) hanno confermato quanto già dedotto attraverso l'analisi tessiturale.

In questo sistema ad interscambio continuo (denotato dalla sovrapposizione di caratteri marini ed eolici, soprattutto sui clasti della battigia) è stato evidenziato che procedendo dalla spiaggia sommersa verso quella emersa le caratteristiche di elaborazione francamente marina (V shaped pits) sono via via sempre più obliterate e sostituite da quelle di elaborazione in ambiente eolico (fenomeni di deposizione e dissoluzione chimica, upturned plates e superfici di frattura concoidale; KRINSLEY & DOORNKAMP, 1973).

Al SEM è stato inoltre riscontrato che la spigolosità, osservata al microscopio ottico, di numerosi clasti di Qz è dovuta alla presenza di superfici di frattura fresche, che tagliano vecchie superfici arrotondate e/o smussate con diffuse tracce di eolizza-

zione. Tale carattere, interpretabile (MARGOLIS & KRINSLEY, 1971, 1974) come conseguente alle collisioni in ambiente eolico, è causa del ringiovanimento di questi granuli ed anche della loro riduzione granulometrica, contribuendo in parte allo spostamento delle mode di questi sedimenti verso termini più fini.

5. - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il sistema spiaggia-dune di Porto Pino, con la sua doppia falcatura di cordoni litoranei che racchiude stagni e paludi, grazie anche alla sua scarsa antropizzazione, rappresenta un ambiente di transizione complesso tra i più interessanti del perimetro costiero nazionale.

La ricerca ha messo in luce le caratteristiche geomorfologiche delle dune in grande e nel dettaglio, col riconoscimento di una serie di macro e microforme eoliche che denotano una notevole diversità di segni dei processi eolici messi in luce in una Carta morfologica di dettaglio.

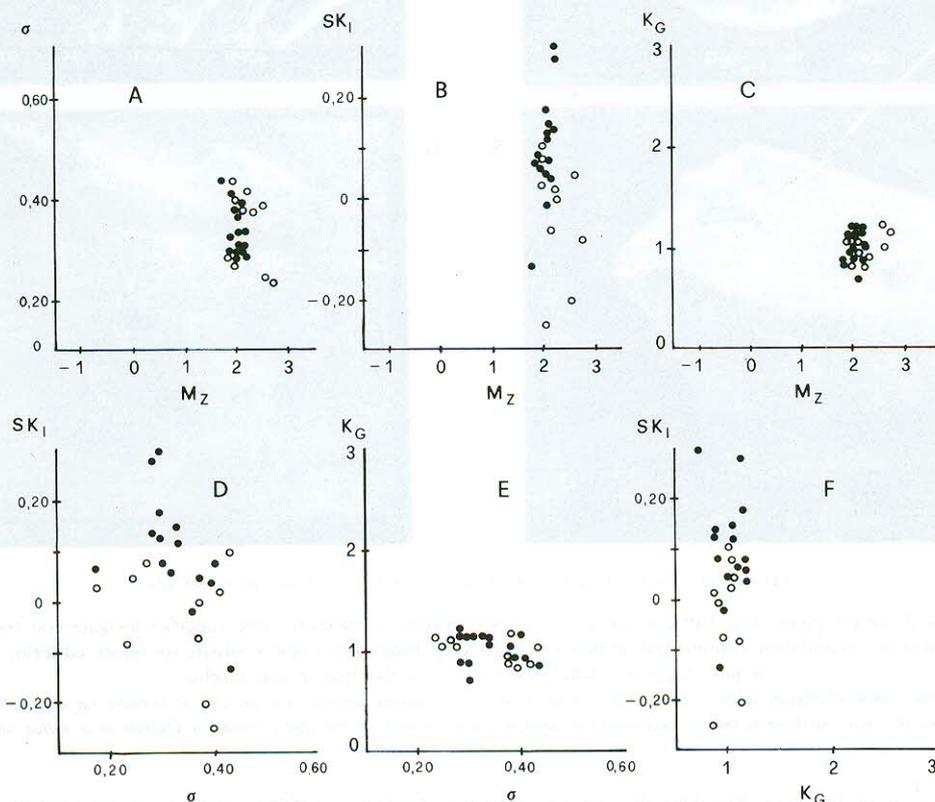
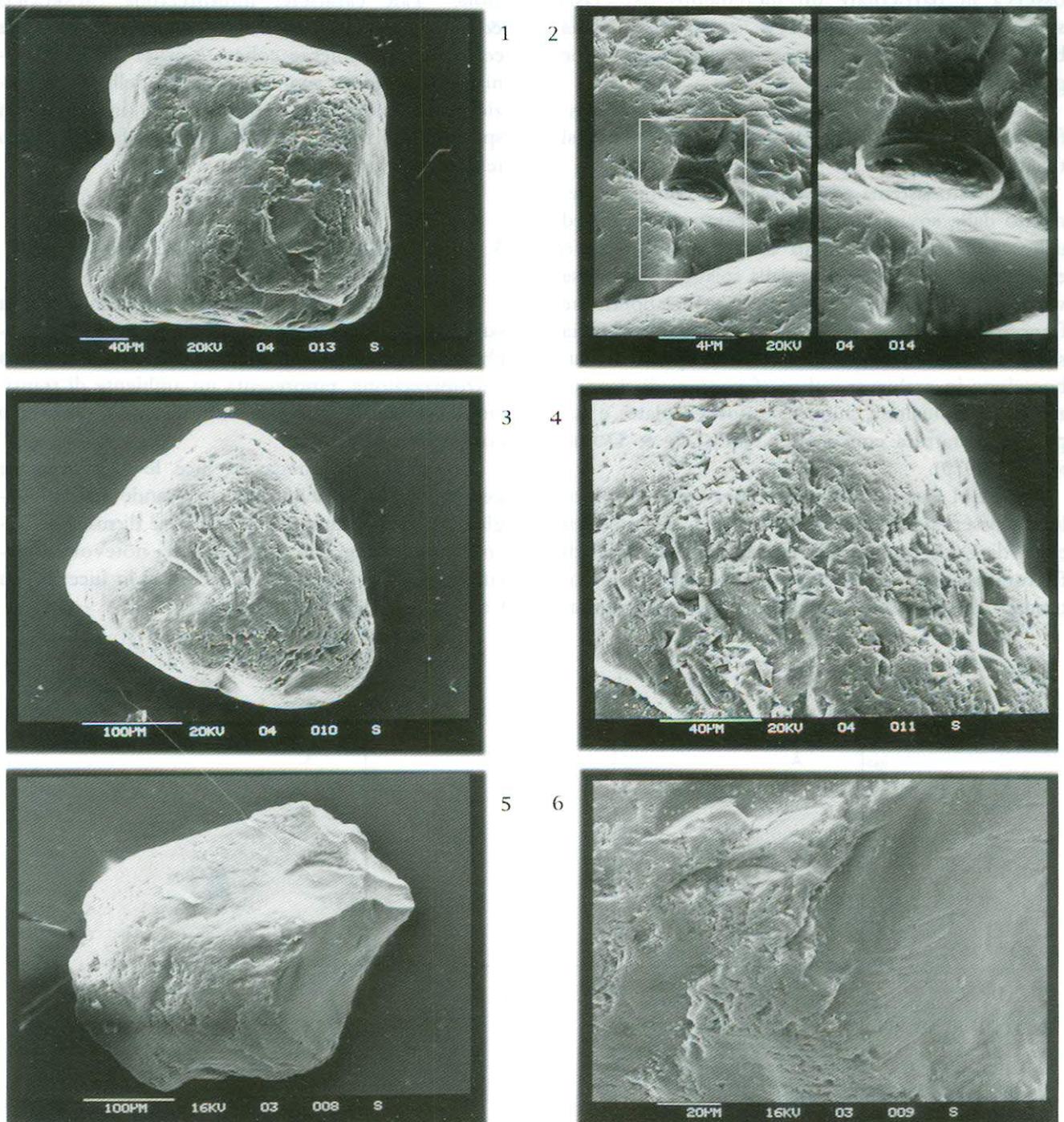


Fig.12 - Correlazione fra i vari parametri granulometrici. Si osserva la separazione fra il campo dei sedimenti di spiaggia emersa (circoletti bianchi) e quello dei campioni della spiaggia sommersa (circoletti neri) solo sulla base dei valori del parametro SKI.

Correlations between various grain size parameters. Only the parameter SKI is effective in differentiating between dune, backshore (filled circles) and foreshore (open circles) sands.



Tav. 1 – FOTOGRAFIE AL SEM DI GRANULI DI QUARZO DI VARIA PROVENIENZA

Foto n. 1,2 – Granulo di un campione della battigia; ad un primo ciclo marino evidenziato dalle superfici levigate con tracce di V-shaped pits, segue un ciclo di elaborazione in ambiente continentale, indicato da nicchie di distacco da impatto situate sui bordi, ed infine il ritorno in ambiente acquoso suggerito dalla presenza di una diatomea in una nicchia.

Quartz clast of a shore line sample displaying features attributable either to marine or aeolian activity. The presence of abraded surfaces with some V shaped pits is indicative of a previous marine cycle; mechanical impact depressions of aeolian action, evident on the edges, follow; a Diatom in a hollow shows that the subaqueous environment is the latest episode.

Foto n. 3,4,5,6 – Granuli di un campione della duna alta, sita nella parte più orientale del sistema dunare; si osserva l'esclusiva presenza di caratteri francamente eolici sulle superfici arrotondate; si noti nel primo granulo (foto 3,4) una frattura incipiente mentre, quello successivo (foto 5,6), presenta caratteri di ringiovanimento determinati da più fratture concoidali fresche

Quartz clasts of a sample of dune crest from the eastern side of aeolian complex; the rounded surfaces show only features of aeolian activity. Photos n. 3, 4 show an incipient fracture in the grain, while in photos n. 5, 6 older surfaces, broken by fresh conchoidal fracture patterns that have given rise to angular, smaller grains, can be observed.

Per completare il quadro delle caratteristiche delle dune è stata predisposta anche una Carta della copertura vegetale, che presenta anch'essa cospicui caratteri di significatività, e che ha grande importanza ai fini della stabilità, come denotano i segni di degrado e successiva mobilitazione delle sabbie dove l'impatto antropico ne ha comportato la scomparsa.

Dal confronto di carte e foto aeree rilevate o riprese in tempi diversi è stata ricostruita la dinamica della linea di riva nell'arco di circa 150 anni, che denota, nel lungo periodo, una complessiva condizione di stabilità, con sensibili variazioni solo in corrispondenza delle scogliere artificiali realizzate a protezione dei canali scavati per lo sfruttamento degli stagni come peschiere.

Questa stabilità, pur in presenza di apporti solidi pressoché irrilevanti, può essere motivata con la scarsa acclività dei fondali, la presenza di una estesa e ben conservata prateria di Posidonia, di barre sommerse e le condizioni di riparo del paraggio, aperto solo alle mareggiate di libeccio.

Le caratteristiche dei sedimenti della spiaggia emersa e sommersa, desunte attraverso indagini sedimentologiche e con l'ausilio del microscopio ottico e del SEM, hanno consentito di approfondire i caratteri specifici della tessitura e quelli morfoscopici dei sedimenti di spiaggia e di duna, e di studiare l'evoluzione dei granuli sottoposti ai processi eolici; in particolare è emersa una tendenza alla riduzione granulometrica da NW verso SE dovuta al trasporto selettivo del vento, ma in parte attribuibile alla fratturazione dei granuli, con conseguente ringiovanimento delle forme in ambiente eolico.

Dal punto di vista dell'impatto antropico, gli effetti più rilevanti sulla spiaggia sono dovuti alla scogliera della bocca a mare della peschiera, mentre sulle dune, sono da ricondurre ai sentieri di scavalamento nel settore nord-occidentale e alle piste aperte nelle formazioni vegetali naturali che fissano la duna dai mezzi militari in esercitazione nel poligono militare di Capo Teulada.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano i tecnici Giorgio Contis e Salvatore Vacca per la collaborazione prestata nell'elaborazione dei dati granulometrici.

BIBLIOGRAFIA

- BERRIOLO G. & SIRITO G. (1972) - *La difesa delle spiagge - Le spiagge artificiali. La progettazione e la gestione dei porti turistici*. pp. 428, Hoepli, Priamar Savona
- CARBONI S., DI GREGORIO F. & FERRARA C. (1987) - *Evoluzione della pianura costiera del Rio di Quirra (Sardegna sud-orientale) e dinamica della spiaggia prospiciente*. Mem. Soc. Geol. It., **37**: 391-405, Roma.
- CARBONI S., LECCA L. & FERRARA C. (1989) - *La discordanza versiliana sulla piattaforma continentale occidentale della Sardegna*. Boll. Soc. Geol. It., **108**: 503-519, Napoli.
- CARMIGNANI L., COCOZZA T., GHEZZO C., PERTUSATI P.C. & RICCI C.A. (1987) - *Structural model of the Hercynian Basement of Sardinia*. Prof. Final. Geochim. - Sottoprog. Mod. Strutt. d'It., Tip. Salomone, Roma.
- CRISTINI A., DI GREGORIO F. & FERRARA C. - *Caratteristiche geoambientali delle dune costiere del Golfo di Pistis (Sardegna SW)*. Il Quaternario, Napoli. (in stampa)
- FOLK R.L. & WARD W.C. (1957) - *Brazos river bar a study in the significance of grain size parameters*. Journ. of Sed. Petrol., **27**: 3-26, Tulsa.
- KRINSLEY D.H. & DOORNKAMP J.C. (1973) - *Atlas of quartz sand surface textures*. Cambridge University Press, pp. 91.
- MARGOLIS S.V. & KRINSLEY D.H. (1971) - *Submicroscopic frosting on eolian and subaqueous quartz sand grains*. Geol. Soc. America Bull., **82**: 3395-3406, 5 figg., Boulder.
- MARGOLIS S.V. & KRINSLEY D.H. (1974) - *Processes of formation and environmental occurrence of microfeatures on detrital quartz grains*. Am. Jour. Sci., **274**: 449-464, New Haven.
- PECORINI G. (1983) - *Ambienti contesi: le formazioni a lido e gli stagni*. In «Sardegna: l'uomo e le coste», copyright Banco di Sardegna, Sassari.
- POWERS M. C. (1953) - *A new roundness scale for sedimentary particles*. Journ. of Sed. Petrol., **23**: 117-119, Tulsa.
- SHEPARD F.P. & JOUNG R. (1961) - *Distinguishing between beach and dune sands*. Journ. of Sed. Petrol., **31**: 186-214, Tulsa.
- SPANO S. & PINNA M. (1956) - *Le spiagge della Sardegna*. C.N.R., Centro di Studi per la Geografia Fisica, Ist. di Geografia, Bologna, 1-248, Faenza.
- ULZEGA A. & HEARTY P. J. (1986) - *Geomorphology, Stratigraphy and Geochronology of late Quaternary Marine Deposits in Sardinia*. Z. Geomorph. N. F. Suppl. Bd., **62**: 119-129, Berlin.
- ULZEGA A., OZER A., LEONE F., LECCA L., PECORINI G., SPANO C. & CORDY J. M. (1980) - *Excursion - Table Ronde Tyrrhenien de Sardaigne*, Cagliari 21-28 Avril 1980.
- VARDABASSO BONICELLI S. (1971) - *Geomorfologia delle coste del Sulcis (Sardegna S.O.)*. Ed. Fossataro, 1-25, Cagliari.
- VARDABASSO S. (1953) - *Il quaternario della Sardegna*. atti IV Congr. Int. Quat., Roma-Pisa, **2**: 1955, Roma