

## Rilevamento geomorfologico subacqueo del settore compreso tra Capo Boi e Punta Is Cappuccinus (Sardegna sud-orientale)

### *Subaqueous geomorphological investigations from Capo Boi to Is Cappuccinus (south-eastern Sardinia)*

ORRÚ P. (\*), COCCO A. (\*), PANIZZA V. (\*\*)

**RIASSUNTO** – Le indagini interdisciplinari finalizzate alla progettazione del «Parco Marino di Capo Carbonara» hanno preso l'avvio dall'analisi geomorfologica dei fondi marini per la costruzione di una base conoscitiva sulla quale sviluppare i diversi temi di interesse.

La mappatura delle forme e delle biocenosi è stata realizzata attraverso la sovrapposizione integrata di differenti metodiche: telerilevamento satellitare ed aereo, ecografie batimetriche di dettaglio e rilievi Side Scan Sonar.

La validazione dell'interpretazione geofisica e la taratura del rilevamento sono stati affidati all'indagine diretta attraverso rilevamenti geomorfologici e campionamenti in immersione fino alla profondità di –50 metri, oltre tale limite è stato utilizzato un veicolo filoguidato.

Sono state evidenziate in particolare:

- le morfologie sommerse derivanti dai graniti: superfici di faglia, filoni, inselberg, tafoni ed accumuli di blocchi;
- le evidenze di linee di riva sommerse: piattaforme d'abrasione a –5, –15 e –25 metri e sepolte a –60–70 metri, *beach rocks* arenaceo-conglomeratiche a –4, –29, –35 e –45 metri;

L'indagine geomorfologica è stata estesa alla fascia costiera ove sono presenti *rasas* pleistoceniche e depositi litorali fossiferi tirreniani a +5 metri.

Il quadro complessivo della «Risorsa Geomorfologica», nella prospettiva della realizzazione del parco marino, identifica ambiti di notevole valenza; l'articolazione del paesaggio granitico sommerso, dei diversi ambienti sedimentari e delle praterie a fanerogame assicura, inoltre, elevati valori di biodiversità nelle biocenosi di fondo. Elementi di particolare interesse scientifico sono rappresentati dalle testimonianze delle variazioni del livello marino.

**PAROLE CHIAVE:** rilevamento geomorfologico, piattaforma continentale, linee di riva, Sardegna sud-orientale.

**ABSTRACT** – In the sphere of the interdisciplinar investigations oriented to plan the “Cape Carbonara Marine Reserve”, a fundamental role has been committed to the geomorphological analysis.

The morphological and benthic communities map have been realized by the integrated superimposition of different methods: aerial and satellite telesurvey, detailed bathymetric echo surveys; Side Scan Sonar.

The identification of the keys for the geophysical interpretation and the control of the telesurvey have been assigned to the direct inquiry by R.O.V. for the bathymetric bands under 50 m, while in internal shelf have been effected geomorphological surveys by immersion. The surveys as a whole have made use of a radioposition basis GPS completed with RADAR by obtaining the development of a well detailed cartography, scale 1:10.000.

The geomorphological analysis has shown a system of inherited morphologies on which the erosive forms of the granites are prevailing: continental levelling surface pediment, inselberg and tor between 40 and 50 m; wave-cut platform at –25 m and –60–70 m meaning submerged shoreline.

Shoreline in deposition facies remained in different conditions: coastal beach-rock (–3, –5m) in large outcrops or in plates, on a granitic substratum, closing some bays particularly sheltered (Cala Caterina, Cala di Ponente in Cavoli Island); platform beach-rock, settled in several kilometers of cordons and placed at north of Serpentara Island in the border of the involved area, –29, –35 e –45m.

In order to reconstruct the evolution of the shelf geomorphological surveys have been necessary along the coast line, where Tyrrhenian and pre-Tyrrhenian *rasas* (+10m), Tyrrhenian littoral sediments with fossil remains (+5 m) and different orders of glacial and alluvial steps.

The global pictures of the “Geomorphological Resource” shows placed of a considerable scientific and environmental value; the variety of the submerged granitic places, several sedimentary environments and seagrasses gives remarkable values of different benthic communities.

**KEY WORDS:** geomorphological surveys, continental shelf, shorelines, south-eastern Sardinia.

(\*) Dipartimento Scienze della Terra - Università di Cagliari.

(\*\*) Istituto di Geografia - Università di Sassari.



## 1. – INTRODUZIONE E METODOLOGIA

Tra le nuove aree proposte per la istituzione di una Riserva Marina vengono indicati i fondi marini compresi tra Capo Boi e Punta Is Cappuccinus, nella Sardegna Sud-Orientale. Il presente lavoro si inquadra nell'ambito delle indagini interdisciplinari finalizzate alla progettazione del Parco Geo-marino di Capo Carbonara commissionate dalla XXIV Comunità Montana «Serpeddi», ed è stato impostato secondo procedure di approccio già applicate in altre aree marine protette della Sardegna come il Golfo di Orosei (ORRÙ & ULZEGA, 1987), la Penisola del Sinis, l'Isola di Tavolara e della Liguria, il Golfo delle Cinque Terre (ZATTERA *et alii*, 1986).

L'indagine sull'ambiente marino ha preso avvio dall'analisi geomorfologica per la costruzione di un supporto conoscitivo sul quale sviluppare gli altri temi disciplinari, sia biocenotici che vegetazionali (ORRÙ & PASQUINI, 1991). La mappatura delle forme e delle biocenosi (PERES & PICARD, 1964; MEINERZ *et alii*, 1983) è stata realizzata attraverso la sovrapposizione integrata di dati acquisiti con differenti metodiche: per i fondali poco profondi, i dati da telerilevamento hanno svolto un ruolo dominante; in particolare sono stati interpretati i fotogrammi a colori relativi a riprese aeree, volo R.A.S. (1979) – Compagnia Riprese Aeree di Parma, con una capacità di risoluzione fino alla profondità di – 10 metri che ha consentito la distinzione dei limiti delle spiagge sommerse e delle piattaforme di abrasione in roccia pericostiere; l'analisi di immagini satellitari, sensore SPOT-HRV (multispettrale), utilizzando le bande 1, 2 e 3, ha consentito di discriminare le aree colonizzate dalla *Posidonia oceanica* fino alla profondità massima di – 20 metri.

L'indagine geofisica, che ha interessato la fascia batimetrica compresa tra – 10 e – 70 metri, è rappresentata da rilevamenti sonar a scansione laterale (BELDERSON *et alii*, 1972) a doppia frequenza di emissione 100 e 500 khz e correzione di immagine computerizzata (E.G.&G. 260), secondo bande esplorate di 200 metri con copertura totale dell'area di indagine (STEFANON, 1985; NEWTON, 1987).

La taratura dei dati geofisici e del telerilevamento sono stati affidati all'indagine diretta; per i fondali fino a – 50 metri sono state realizzate 25 stazioni di rilevamento geomorfologico e campionamento di roccia e sedimenti in immersione che hanno consentito di analizzare in dettaglio le forme e le biocenosi di fondo; la fascia batimetrica fino a – 70 metri è stata esplorata tramite telecamera filoguidata (ROV -Comex Achille) secondo 30 profili.

I dati acquisiti hanno consentito l'elaborazione di una cartografia geomorfologica di gran dettaglio, alla scala 1:10.000, sintetizzata in figura 1.

## 2. – INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le litologie affioranti nel territorio di Villasius appartengono al batolite ercinico del Sarrabus; prevalenti sono le granodioriti di Capo Carbonara (NICOLETTI *et alii*, 1983), subordinati i leucograniti, spesso in facies pegmatoide, di Punta Molentis; sono inoltre presenti differenziati basici in ammassi gabbro-sienitici a Bruncu Campulongu. Estremamente sviluppato il corteo filoniano dominato da litotipi spessartitici (BROTZU & MORBIDELLI, 1974).

I più antichi depositi conservatisi nell'area sono rappresentati da conglomerati di spiaggia fossiliferi (*Arca noae*, *Glycimeris sp.*, *Patella ferruginea*, *Purpura Haemastoma*) poggiati su una piattaforma di abrasione irregolare incisa sul granito fino alla quota di +5 metri, attribuiti nella Sardegna meridionale alla trasgressione tirreniana (PALMERINI, 1967; ULZEGA & HEARTY, 1986). La successione passa superiormente ad arenarie di spiaggia talvolta microconglomeratiche a laminazione sigmoidale e parallela ed è chiusa da eolianiti di regressione, costituite da arenarie arcosiche a laminazione incrociata, sormontate da paleosuoli e colluvi eolizzati di clima freddo-arido (ULZEGA & OZER, 1980). Vengono illustrate in figura 2 alcune nuove sezioni.

La piattaforma continentale comprende un settore orientale controllato da motivi tettonici N-S (CARTA *et alii*, 1986) e un settore occidentale guidato da lineazioni NO-SE, separati dal promontorio di Capo Carbonara. I primi studi sulla piattaforma sud-orientale inquadrono le tipologie dei margini e le caratteristiche dei corpi sedimentari (LECCA *et alii*, 1979; ULZEGA, 1981). Sul bordo della piattaforma, a SE dell'Isola dei Cavoli, lungo una linea NO-SE, risale la testata del canyon di Simius. Linee di riva sommerse, in facies di beach-rock sono state riconosciute alla quota di – 45 metri (ULZEGA *et alii*, 1984).

## 3. – ASSETTO MORFOSTRUTTURALE

Il basamento cristallino della Sardegna sud-orientale si presenta fortemente tettonizzato secondo lineazioni ad andamento prevalente NW-SE, di età alpina (BROTZU & MORBIDELLI, 1974). Il corteo filoniano riprende le medesime linee ed assume par



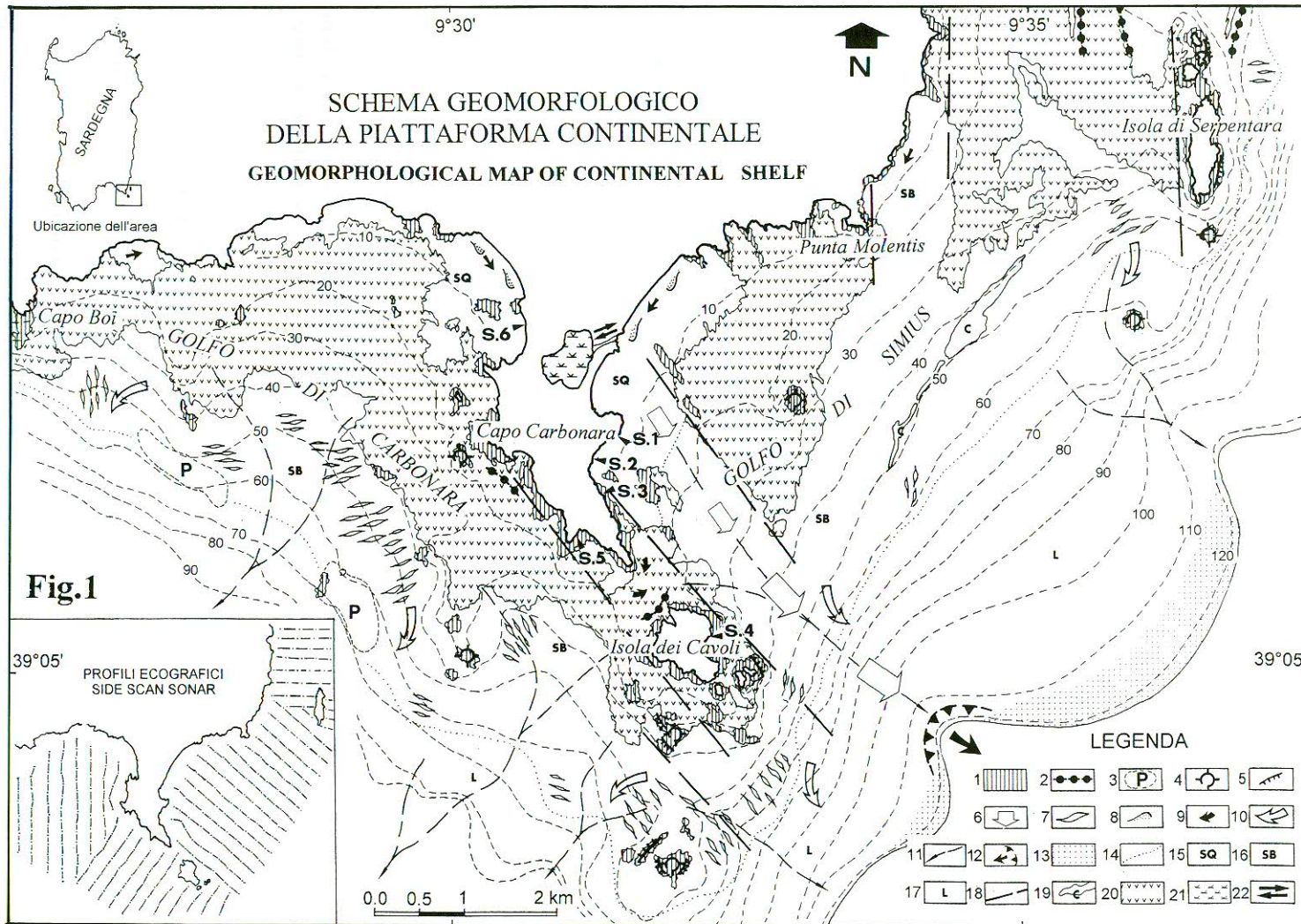


Fig. 1 - Schema geomorfologico della piattaforma continentale

Legenda : 1) piattaforme di abrasione in granito; 2) beach-rock; 3) piattaforma di abrasione sepolta; 4) inselberg; 5) parete in roccia; 6) paleo- alveo; 7) sand-waves; 8) barra litorale; 9) deriva litorale; 10) correnti trattive di fondo; 11) drenaggio del fondo; 12) testata di canyon; 13) bordo in progradazione; 14) limite sedimentario; 15) sabbie litorali, quarzoso-feldspatiche; 16) sabbie e ghiaie organogene , "maërl"; 17) limi-sabbiosi; 18) faglie coperte; 19) cordone coralligeno di piattaforma; 20) prateria a *Posidonia oceanica*; 21) laguna; 22) bocca di laguna; S.) ubicazione delle sezioni stratigrafiche.

*Geomorphological sketch of continental shelf*

*Legend: 1) granitic wave cut platform; 2) beach-rock; 3) buried erosional surface; 4) inselberg; 5) vertical edges; 6) buried talweg; 7) sand-waves; 8) litoral bars; 9) litoral drift; 10) bottom currents; 11) bottom drainage line; 12) canyon top; 13) shelf break progradation; 14) sedimentary boundary; 15) litoral lithoclastic sands; 16) calcareous biogenic sands and pebbles, "maërl"; 17) sandy-loams; 18) buried faults; 19) coralligenous; 20) Posidonia oceanica prairie; 21) lagoon; 22) lagoon's mouth; S.) stratigraphic profiles location.*



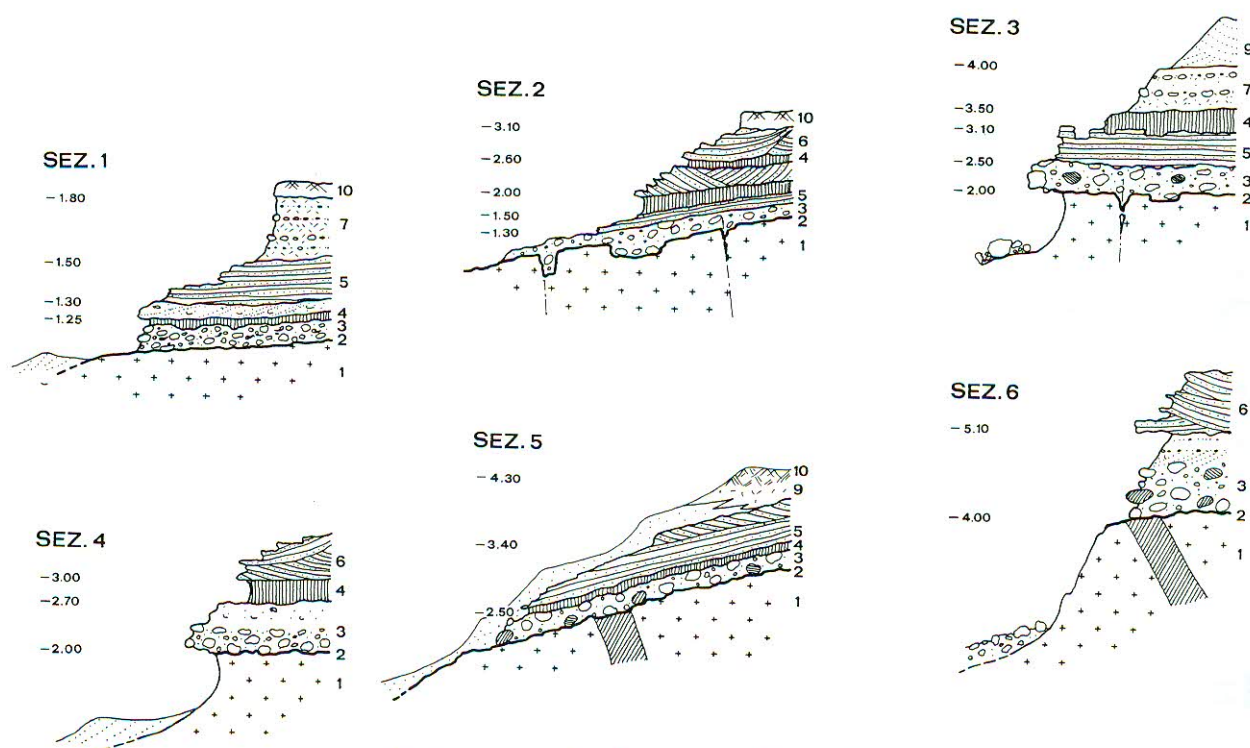


Fig. 2 - Sezioni stratigrafiche della serie Pleistocenica

Legenda: Sez. 1 «Cave Usai Est»; Sez. 2 «Cave Usai»; Sez. 3 «Cave Usai Ovest»; Sez. 4 «Isola dei Cavoli»; Sez. 5 «Spiaggia del Riso»; Sez. 6 «Capo Carbonara».

- 1) substrato cristallino, graniti granodioriti e differenziati filoniani (B); 2) superficie di abrasione marina irregolare, quota max +4m;
- 3) conglomerato eterometrico passante verso l'alto a conglomerati in matrice arenacea e microconglomerati fossiliferi - depositi litorali della trasgressione tirreniana; 4) paleosuolo argilloso fortemente arrossato - stasi caldo-umida tirreniana;
- 5) arenarie e sabbie addensate di spiaggia - alta spiaggia tirreniana; 6) arenarie a stratificazione incrociata - dune fossili di clima freddo (Würm);
- 7) colluvi eolizzati e sabbioni arcocici - depositi eolici e di versante olocenici; 8) sabbie quarzose e monogranulari (sabbie del «riso»), riesumazione della spiaggia tirreniana - trasgressione versiliana; 9) sabbie dunari attuali; 10) suoli attuali;
- 11) sabbie fini quarzoso-feldspatiche delle spiagge attuali.

*Stratigraphic profiles of Pleistocene succession*

- Legend: 1) granitic substratum and quartz dikes (B); 2) irregular erosional surface, height max +4m.;*  
*3) polygenic and poorly sorted conglomeratic, arenaceous conglomeratic and microconglomeratic with fossil remains - litoral deposit of Tyrrhenian transgression; 4) reddish clayey paleo-soil Tyrrhenian warm-humid stasis;*  
*5) beach sandstones - Tyrrhenian high beach; 6) sandstones with crossed stratification - fossil dune of cold climate (Würm);*  
*7) Holocene slope and aeolian deposit; 8) quartz-felspar sand - versilian transgression; 9) aeolian present sand;*  
*10) present soil; 11) quartz-felspar of present beach.*

icolare rilievo nel controllo morfologico del paesaggio sia costiero che sottomarino. A terra manifestazioni filoniane poste in evidenza dall'erosione differenziale controllano il rilievo dando luogo a linee di cresta con orientamento prevalente N 130°. L'andamento della linea di costa è articolato in promontori isorientati, dominati dal Capo di Carbonara, sempre in corrispondenza dei filoni principali; i promontori del settore orientale comprendono un sistema di piccole spiagge di fondo baia (*pocket beach*). Le stesse lineazioni sono riconoscibili sui fondi marini nell'isorientamento delle secche dei Golfi di Carbonara e di Simius, di quelle di Santa Caterina ed a sud ovest dell'Isola dei Cavoli. Al ringiovanimento di linee paleozoiche ad andamento N-S sono dovute le pareti di faglia che

limitano il profilo esterno dell'Isola di Serpentara, che è possibile seguire sotto la superficie del mare fino a -45 metri.

#### 4. - IL SISTEMA DELLE SUPERFICI

Una paleo-superficie di spianamento continentale, irregolare e debolmente inclinata verso il largo, è riconoscibile a profondità comprese tra -40 e -60 metri, caratterizzata da forme residuali a *tor* e *inselberg* della Secca dei Berni, Secca di Libeccio e del rilievo isolato a sud dell'Isola di Serpentara; tali forme non sono esattamente collocabili cronologicamente, tuttavia il loro stato evolutivo fa supporre tempi di modellamento molto lunghi (KESEL, 1975),



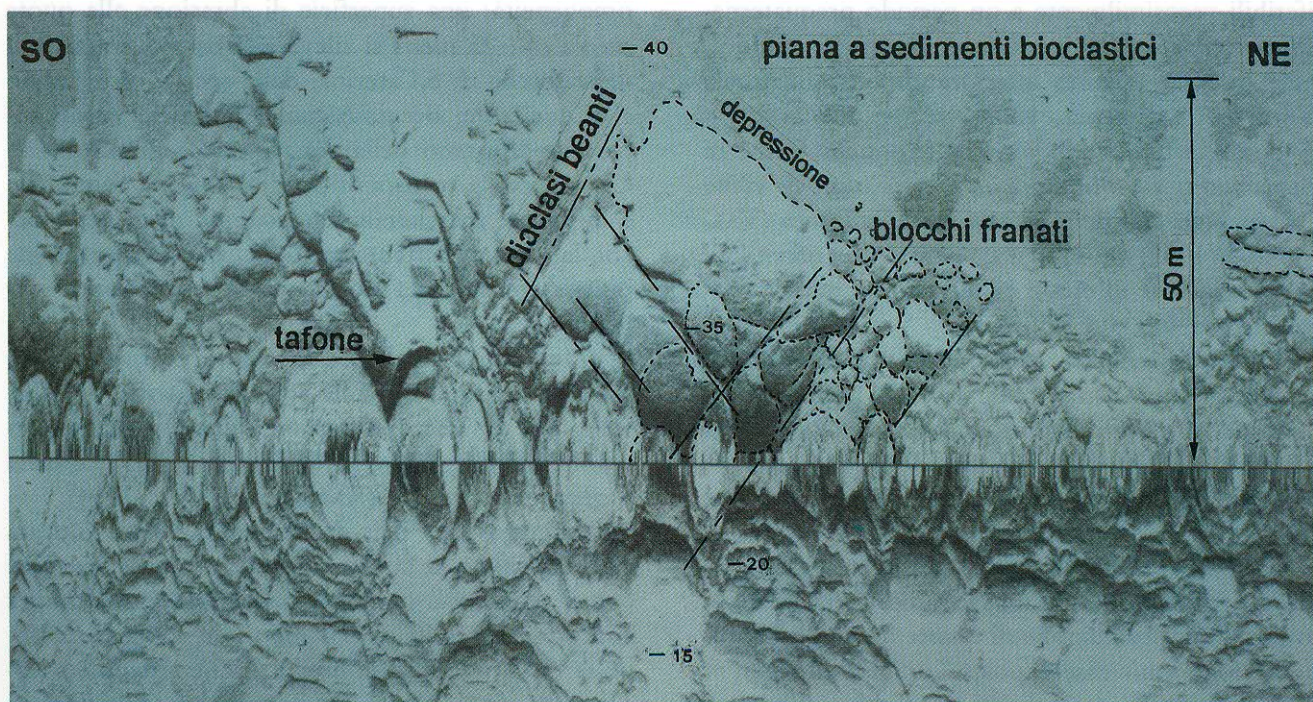


Fig. 3 - Isola dei Cavoli, I Varigioni. Registrazione Side Scan Sonar 100 Khz. Parete sub-verticale a grossi blocchi granitici isolati da un fitto reticolo di fratturazione.

*Cavoli Island, I Varigioni. Record Side Scan Sonar 100 Khz. Sub-vertical edge with granitic isolated blocks.*



Fig. 4-a - Isola dei Cavoli, Est. Foto del fondo a -20m. Filone acido, aplitico, messo in rilievo dall'erosione subaerea. *Cavoli Island, East. Bottom photo at -20m. Quartz dike exposed by subaerial erosion.*

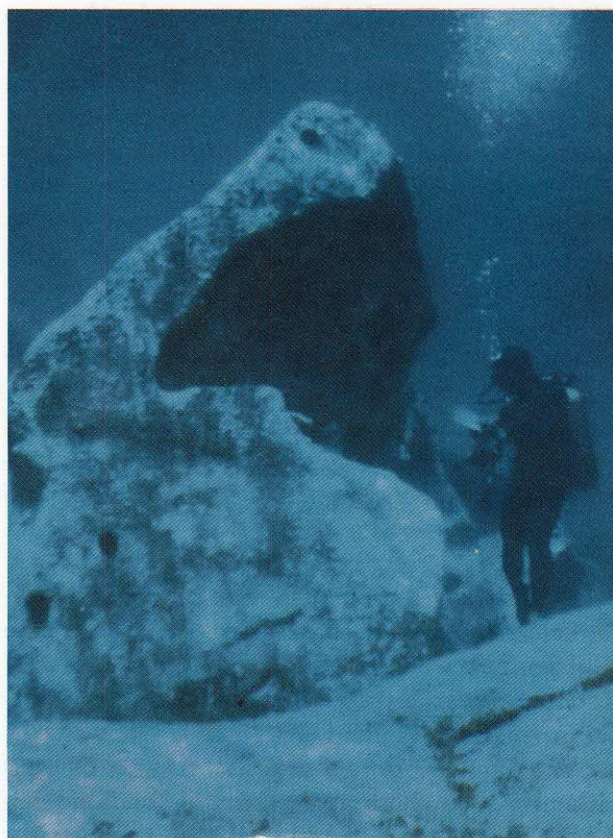


Fig. 4-b - Isola dei Cavoli, Sud. Foto del fondo a -15m. Tafone sommerso, morfologia residuale di alterazione differenziata in ambiente subaereo. *Cavoli Island, South. Bottom photo at -15m. Submerged tafone, residual landform.*



riferibili verosimilmente a un periodo prequaternario caratterizzato da condizioni climatiche caldo-umide e livello marino inferiore rispetto all'attuale (VAIL & HARDEMBOL, 1977).

Anche a terra sono conservate antiche forme di spianamento ad *inselberg* e *tor*; la più antica viene attribuita alla fase continentale permo-triassica (VARDABASSO, 1951; PELLETTIER, 1960) ed è riferita ad una successione di creste ed altopiani a quote comprese tra +400 e +500 metri.

Forme di ambiente subaereo a più rapida evoluzione, attualmente sommerse, sono rappresentate da tafoni di grandi dimensioni, con camere a volta sub-sferica; tali morfotipi si rilevano frequentemente in tutta l'area a quote comprese tra -15 e -30 metri (fig. 3, 4).

L'elevato grado di attività dei processi di alterazione fisico-chimica dei graniti costieri, che hanno portato all'evoluzione di queste forme di grandi dimensioni, può essere posto in relazione con il brusco mutamento climatico, in senso caldo, precedente la trasgressione olocenica; tali mutamenti climatici sono maggiormente documentati in ambienti carsici sommersi studiati, a quote correlabili, nelle fasce costiere del Tirreno centrale (ALESSIO *et alii* 1992).

Viene inoltre segnalata, nella baia meridionale dell'Isola dei Cavoli, stessa zona dei tafoni sommersi, alla quota di -15 metri, una superficie di erosione irregolare fossilizzata da arenarie eoliche a laminazione incrociata, aventi caratteri sedimentologici simili alle eolianiti presenti nella fascia costiera (ULZEGA & OZER, 1980).

Una incisione probabilmente fluviale è rappresentata dal «Canale di Simius», colmato da sabbie litoclastiche, i cui bordi sono posti in evidenza da cornici nette incise nel substrato cristallino, con significato di terrazzi orografici; la paleo-valle mostra evidente il controllo tettonico confluenso verso sud-ovest nella testata del Canyon di Carbonara a -110 metri.

La Sardegna sud-orientale mostra caratteri geomorfici estremamente conservativi tipici delle aree neotettonicamente stabili (CHERCHI *et alii*, 1978), condizione confermata dalla quota dei depositi trasgressivi tirreniani a +5 metri (PALMERINI, 1967; BARTOLINI *et alii*, 1983); lungo la fascia costiera di capo Carbonara sono conservati terrazzi di abrasione marina alla quota di +10 metri; l'assenza di depositi correlativi non consente una datazione precisa.

Sui fondali marini, in alcuni precisi intervalli batimetrici, si registra una concentrazione di lembi di superfici suborizzontali con caratteristiche di

omogeneità; una superficie di abrasione alla quota media di -25 metri si rileva alla base di Capo Boi, delle secche di S.Caterina, delle secche di Libeccio e di quella dei Berni. Alcuni lembi della stessa superficie affiorano nella zona centrale del Golfo di Carbonara; la rottura di pendio concava sommitale è in genere mascherata da accumuli di grossi blocchi, la zona di battente relativa a queste morfologie può essere ricercata a quote di poco inferiori a -20 metri.

Morfologie analoghe, a quote corrispondenti, sono state segnalate sulle sponde opposte del Tirreno, nei terrazzi di abrasione della Campania centro-meridionale (CINQUE & ROMANO, 1991) e della Sicilia settentrionale (ANTONIOLI *et alii*, 1994).

Al largo della Baia di Carbonara è stata rilevata una superficie di abrasione estremamente regolare che si segue con notevole continuità a profondità comprese tra -60 e -70 metri, in gran parte sepolta da sabbie limose biodetritiche a debole spessore; su alcuni lembi emergenti dal sedimento si sono sviluppate biocenosi precoralligene ad alghe rosse che formano rilievi tabulari, poco elevati dal fondo (fig. 5).

Superfici di abrasione marina attive, a quote comprese tra -1 a -3 metri, bordano tutti i principali promontori dell'area di indagine; dalla superficie si elevano i filoni a composizione acida, messi in rilievo da processi di erosione differenziale. A causa dell'estrema lentezza dei processi di abrasione marina del substrato granitico, si riconoscono sulle superfici alcune tracce di recenti processi subaerei, si tratta di microforme di alterazione tipica dei litotipi cristallini quali alveoli e microtafonature sui quali si impostano marmitte di erosione (fig. 6).

## 5. - LE "BEACH ROCKS"

*Beach-rocks* arenaceo-conglomeratiche si sono conservate nel settore marino in esame in due facies differenti: 1) *beach-rocks* costiere, in affioramenti estesi o in placche, poggiano sul substrato granitico alle quote -3, -5 metri, a chiusura di alcune baie particolarmente riparate, Cala Caterina, Cala di Ponente dell'Isola dei Cavoli e Cala Is Trainas; 2) *beach-rocks* di piattaforma, si sviluppano in cordoni estesi diversi chilometri; gli affioramenti di questo tipo sono presenti nel settore nord-orientale dell'area in studio, organizzati in diversi ordini, a -29, -35 e -45 metri.

La serie stratigrafica che caratterizza questi depositi è normalmente rappresentata da:



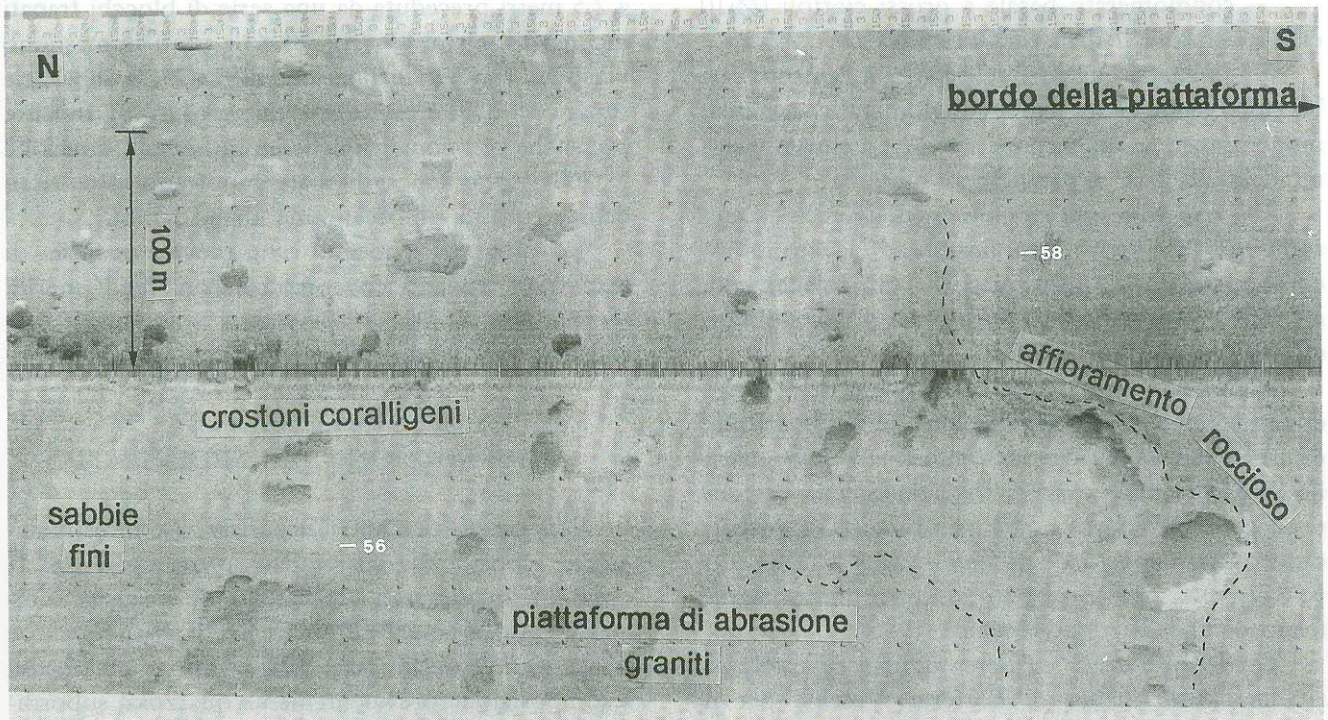


Fig. 5 - Golfo di Carbonara. Registrazione Side Scan Sonar 100 Khz, profilo 10 (Fix 690-710).  
Piattaforma di abrasione sepolta, incisa sul basamento cristallino, a quote comprese tra -70 e -55m.

*Gulf of Carbonara. Record Side Scan Sonar 100 Khz, profile 10 (Fix 690-710).*

*Buried erosional surface on granitic basement, at depth between -70 and -55m.*



Fig. 6 - Capo Carbonara. Foto del fondo a -5m. Piattaforma di abrasione attiva, incisa nel substrato granitico, si notano marmitte di erosione.  
*Carbonara Cape. Bottom photo at -5m. Granitic wave-cut platform with active erosional pot hole.*



- conglomerato basale a grossi ciottoli ( $\varnothing$ 10 cm) subsferoidali di natura granitica;

- arenaria quarzoso feldspatica a cemento carbonatico, contenente livelli conglomeratici quarzosi monometrici, la laminazione varia da inclinata e sigmoidale alla base a parallela in sommità;

- conglomerato sommitale, poligenico ed eterometrico ( $\varnothing$ 10 cm), con ciottoli ad elevato indice di appiattimento; nella matrice, grossolanamente arenacea, sono contenuti frammenti di lamellibranchi, gasteropodi ed echinidi.

L'analisi al microscopio elettronico delle facies di cementazione mostra l'evoluzione dell'ambiente di precipitazione da freatico-vadoso a freatico-marino (Fig. 7); queste osservazioni, unitamente al contesto geomorfologico e sedimentologico, indentificano questi depositi quali *beach-rocks* s.s. (DAVAUD & STRASSER, 1984), cui può essere conferito significato di linea di riva (HOPLEY, 1986).

Tra le *beach-rocks* costiere particolare interesse riveste l'affioramento di Fortezza Vecchia per il grado di conservazione quasi integrale della serie esposta in cornici alte fino 2 metri; è inoltre possibile seguire la superficie di trasgressione incisa nel substrato granitico per diverse decine di metri.

Nel settore orientale, Canale di Serpentara, è stata rilevata una *beach-rock* a -29 metri; gli affioramenti sono stati quasi completamente colonizzati dalla prateria a *Posidonia oceanica* e le testate degli strati sommitali emergono dalle *mattes* per tratti limitati ad alcune decine di metri. Una *beach-rock* alla stessa quota, rilevata nella Sardegna settentrionale, è stata datata con metodi radiometrici ed attribuita ad una età compresa tra 9.000 e 10.000 anni B.P. (BRAMBATI & DE MURO, 1992).

Poco più al largo, a -35 metri, un banco conglomeratico, nella stessa facies, sottolinea per diverse migliaia di metri il limite inferiore della prateria a *Posidonia*; qui il seppellimento, ad opera di sabbie grossolane bioclastiche, porta raramente le bancate ad emergere per più di qualche decimetro dal fondo.

Nella medesima zona, a nord dell'Isola di Serpentara si estende la *beach-rock* più profonda, a -45 metri (ULZEGA *et alii*, 1984); questa linea di riva riveste particolare importanza in quanto si sviluppa lungo gran parte della piattaforma orientale e meridionale della Sardegna (ULZEGA, 1981). Le bancate sono limitate verso terra da una estesa depressione colmata da sedimenti fini inconsolidati, impostata sulla stessa linea tettonica che controlla il versante occidentale dell'Isola di Serpentara. L'affioramento si eleva dal fondo con una cornice netta alta fino

a 2,5 metri preceduta da una serie di blocchi franati inclinati di circa 30° (fig. 8). Gli strati immergono verso est con una inclinazione pari a 2°; la superficie superiore è interessata da due ordini di fratture pressoché ortogonali: quelle longitudinali (direzione N 200°) sono più sviluppate e portano al collasso della struttura, sbloccandone alcuni lembi.

Le quote delle linee di riva, rilevate in facies di *beach-rock*, trovano concordanza con livelli marini in facies erosionale e speleotemi sommersi datati sull'altra sponda del Tirreno (ALESSIO *et alii*, 1992).

## 6. – DISTRIBUZIONE DEI SEDIMENTI

Il paraggio di Capo Carbonara risulta estremamente esposto alle mareggiate provenienti dal II e dal IV quadrante; i sedimenti di spiaggia sommersa sottolineano i differenti livelli di energia che si scaricano sui litorali. Sabbie fini e medio-fini a composizione prevalentemente quarzosa, subordinatamente feldspatica, caratterizzano il versante orientale del Golfo di Carbonara fino alla profondità di -7 metri; sabbia molto grossolana e ghiaietta a composizione quarzoso-feldspatica e spessartitica si rilevano a Capo Boi fino a -6 metri; sabbie sottili monogranulari caratterizzano il più riparato Golfo di Simius.

I sedimenti della prateria a *Posidonia oceanica* colmano modeste piane e canali intra-matte e sono rappresentati da sabbie medie a quasi esclusivo contenuto bioclastico, tra cui dominano briozoi, lamellibranchi e radioli di echinidi; in prossimità del limite inferiore aumenta la frazione limosa con rari noduli ad alghe calcaree. La piana esterna, tra -35 e -60 metri, è caratterizzata da ghiaie biogeniche a corallinacee libere (*Lithothamnion coralloides*) in facies di «maërl» (fig. 9) con matrice sabbioso-limosa; i sedimenti sono spesso organizzati in dune di selezione granulometrica (fig. 10). In piattaforma esterna, fino a profondità medie di -110 metri, ove dominano le facies limo-sabbiose e le peliti a foraminiferi, sono distinguibili due tipologie morfo-sedimentarie differenti: la zona sud-occidentale, al largo del Golfo di Carbonara, presenta un modestissimo spessore dei sedimenti, con affioramento del substrato granitico, mentre il settore sud-orientale, al largo del Golfo di Simius, ed il versante orientale (piattaforma del Sarrabus), sono caratterizzati da uno spessore di sedimenti inconsolidati molto più importante, in corrispondenza delle depressioni strutturali ad andamento N-S (LECCA *et alii*, 1979).



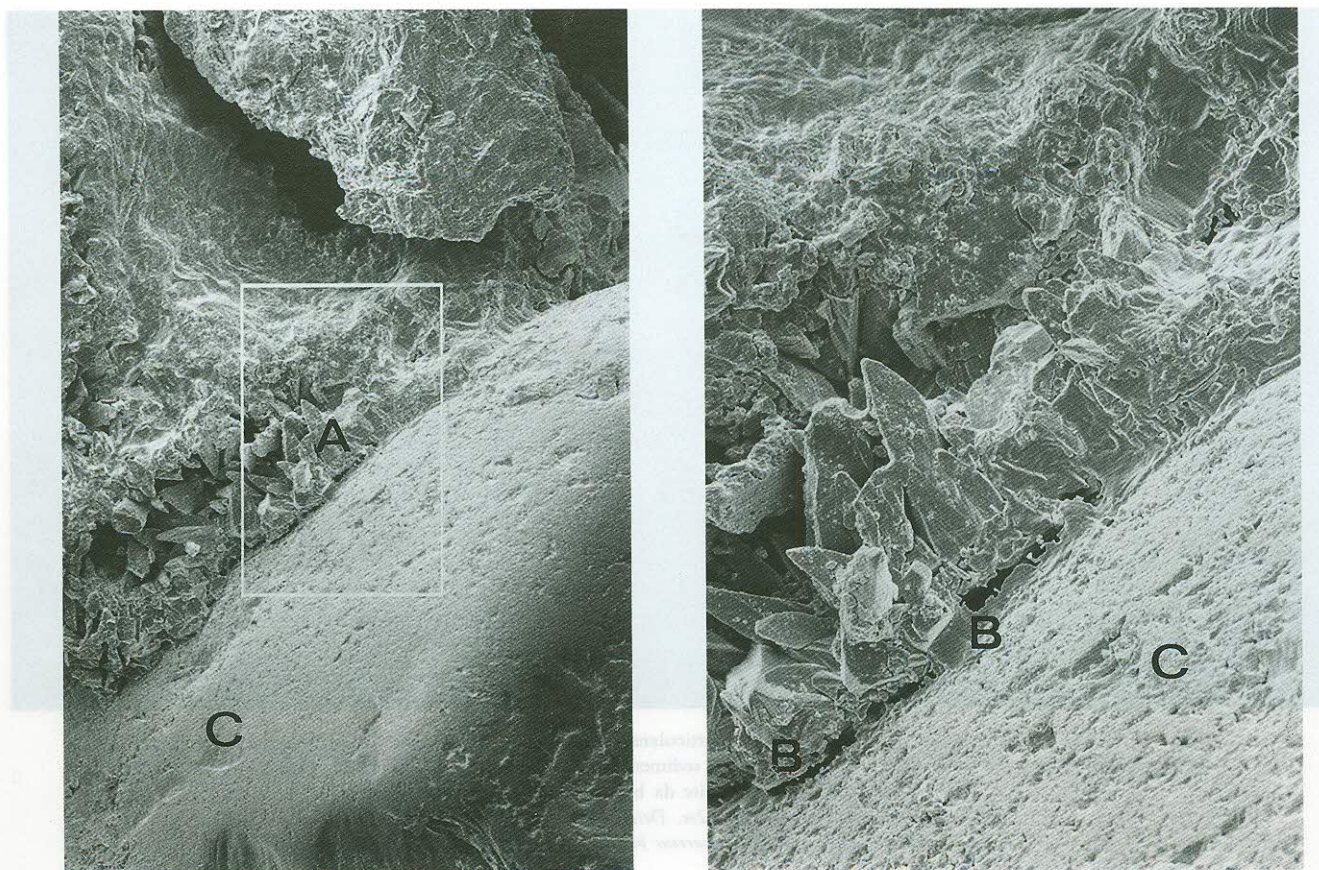


Fig. 7 - Foto al microscopio elettronico, zona di cementazione del livello arenaceo intermedio (beach-rock a -45 m). A - cristalli calcitici (ambiente freatico-vadoso); B - zona di dissoluzione; C - granulo di quarzo, superficie lucida con urti da saltazione.  
*Electron microscope photograph, cementation zone of arenaceous level (beach-rock at -45). A - calcite cristal (freatic-vadoso); B - dissolution zone; C - quartz granule*



Fig. 8 - Canale di Serpentara. Foto del fondo a -45 m. Limite interno dell'affioramento arenaceo-conglomeratico della beach-rock di Serpentara. Si notano le bancate sbloccate per ribaltamento, a seguito di processi erosivi alla base.  
*Serpentara Chanel. Bottom photo at -45m. Inside limit of arenaceous-conglomeratic beach-rock of Serpentara. Photo showing fallen blocks, on account of erosional processes at the base.*



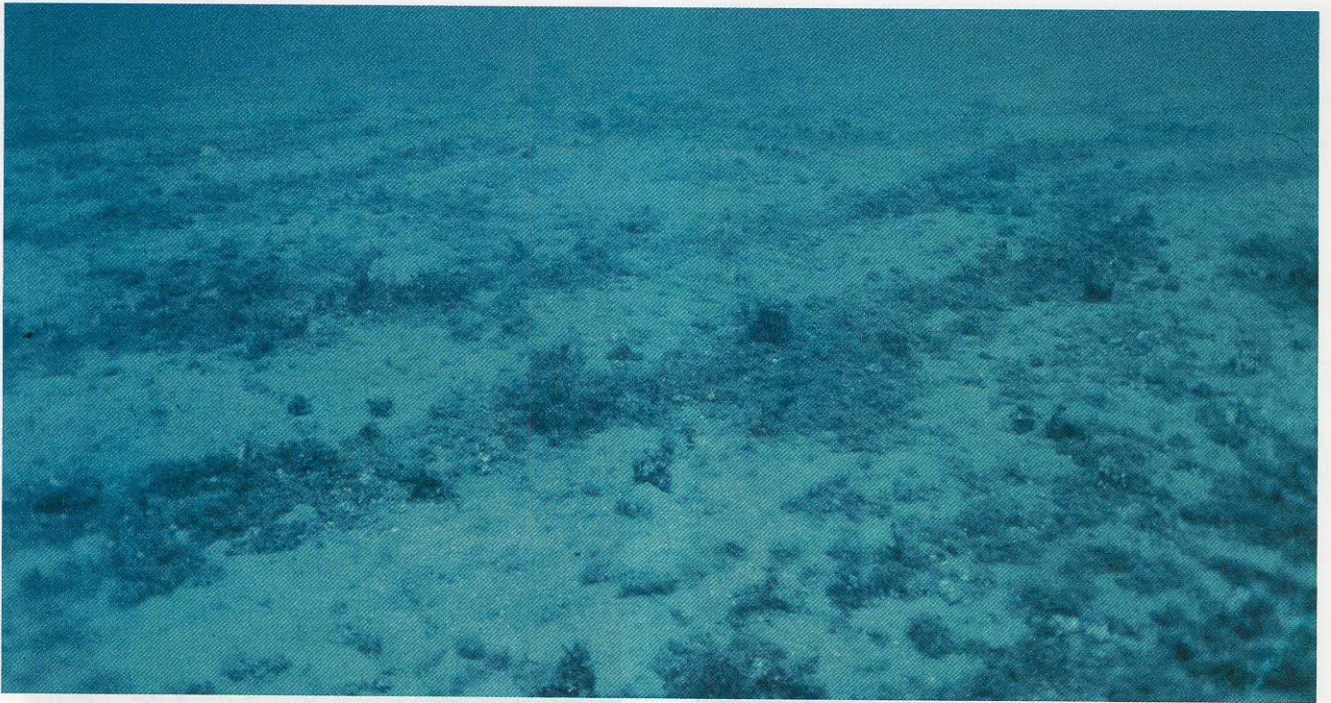


Fig. 9 – Golfo di Simius. Foto del fondo a -52 m. Particolare delle strutture di selezione granulometrica secondarie, che si sovrappongono sui finali delle principali dune. Il sedimento fine è rappresentato da sabbie limose a foraminiferi, le bande grossolane sono costituite da briozoi ed alghe calcaree (maërl).  
*Gulf of Simius. Bottom photo at -52m. Detail of secondary grain size structures.*  
*Sediments are represented by calcareous biogenic sands and pebbles (maërl).*

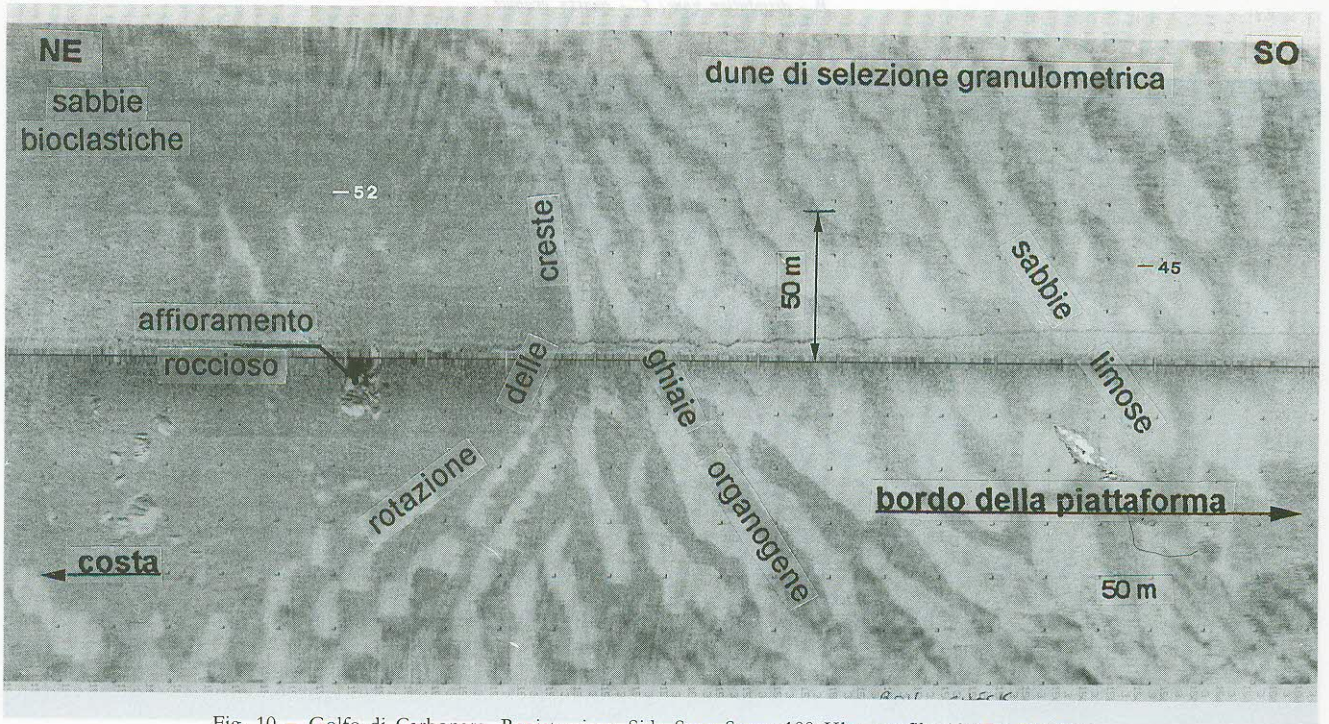


Fig. 10 – Golfo di Carbonara. Registrazione Side Scan Sonar 100 KHz, profilo 10 (Fix 730-750).

Piana sedimentaria della piattaforma continentale esterna. Intorno agli affioramenti rocciosi principali si rileva la rotazione per rifrazione delle creste delle dune di selezione granulometrica. I parametri morfometrici delle dune sono  $h+2m$ ,  $l+30m$ .  
*Gulf of Carbonara. Record Side Scan Sonar 100 KHz, profile 10 (Fix 730-750). Sedimentary plain of outside shelfbreak.*  
*Around to principal rockies outcrops rotational sand-waves.*





Fig. 11-a – Golfo di Simius. *Posidonia oceanica* impiantata sul substrato granitico.  
Gulf of Simius. *Posidonia oceanica* on granitic substratum.



Fig. 11-b – Golfo di Carbonara. Foto del fondo a -12m. Limite superiore in arretramento, *mattes* della prateria esposte per circa 2,5m.  
Gulf of Carbonara. Bottom photo at -12m. *Posidonia* matte edge (h. 2,5m.)

## 7.- BIOCENOSI

La prateria a *Posidonia oceanica* colonizza gran parte della piattaforma continentale superiore di Carbonara, per uno sviluppo totale di circa 40 kmq; la continuità della prateria è interrotta da due canali colmati da sedimenti incoerenti, il «Canale di Simius», al largo di Porto Giunco, ed il «Canale di Molentis», a sud-ovest dello Stretto di Serpentara. Il limite superiore si presenta in genere netto (COLANTONI *et alii*, 1982) e spesso impostato su cornici in roccia che chiudono le spiagge sommerse (Fig. 11a); evidenze di arretramento della prateria, con cornici nelle *mattes* alte fino a 2,5 metri, sono state rilevate nella zona peri-portuale della baia di Carbonara; tali forme di degrado sono imputabili ai frequenti ancoraggi. La fascia esterna delle spiagge sommerse, ed in particolare la fascia basale del limite superiore della *Posidonia*, è spesso colonizzata dalla *Cymodocea nodosa*, a profondità comprese tra -7 e -15 metri. Fasce colonizzate dalla *Cymodocea* sono rilevabili anche lungo il bordo orientale del «Canale di Simius», nel Golfo di Simius, ed in corrispondenza del «Canale di Molentis». Il limite inferiore della *Posidonia* si sviluppa ad una profondità media di 36 metri, con prevalente tipologia «progressiva»; indicatore di stress idrodinamico

è invece il limite inferiore «erosivo» che, con aree a *mattes* morte, si rileva nella zona assiale dei Canali di Serpentara e dei Cavoli.

Evidenze di degrado da pesca a strascico (ORRÙ, 1990) sono presenti nel settore orientale delle praterie, Canale di Serpentara, mentre solchi da ancoraggio di navi in rada sono stati rilevati nel Golfo di Carbonara.

Formazioni biogeniche più profonde sono rappresentate da costruzioni carbonatiche di natura algale, a *Pseudolithophyllum expansum*, che formano un esteso cordone al largo del Golfo di Simius; tale formazione si eleva per circa 1,5 metri dal fondo a profondità comprese tra -40 e -50 metri. La corrispondenza di quota con le linee di riva fa ipotizzare che il nucleo di tale biocostruzione sia rappresentato da una *beach-rock*. L'unica biocostruzione animale è rappresentata da un «marciapiede» litorale a *Vermetus* presente nella zona settentrionale dell'Isola dei Cavoli; a questa formazione a gasteropodi viene data particolare importanza quale indicatore delle più recenti variazioni del livello marino (LABOREL, 1979). Lungo le coste italiane non risultano documentate costruzioni litorali a vermetidi più settentrionali di queste; formazioni simili sono invece ben sviluppate sulla costa settentrionale della Sicilia (RIGGIO *et alii*, 1985).



## 8. - CONCLUSIONI

Le indagini effettuate nel comparto marino di Capo Carbonara hanno permesso di identificare i caratteri geomorfologici e la distribuzione delle facies sedimentarie nella piattaforma continentale; particolare risalto è stato dato alla ricostruzione di paleo-ambienti sommersi sulla base dei quali viene proposta la seguente sintesi evolutiva:

- spianamento di superfici (quote attuali comprese tra -40 e -60 metri) a *inselberg* e *tor* in ambiente subaereo e condizioni climatiche marcatamente caldo-umide (fase regressiva prequaternaria);

- incisione di piattaforme di abrasione marina intorno alla quota +5 metri e deposizione di sedimenti fossiliferi di spiaggia (fase trasgressiva, Pleistocene sup);

- sovraescavazione di una valle fluviale per risalita della testata del Canyon di Simius, impostazione di estesi campi dunari, deposizione di sabbie e colluvi (fase regressiva pleni-würmiana);

- netto innalzamento delle temperature cui consegue la trasgressione versiliana, con accelerazione dei processi di alterazione chimico fisica nei graniti, evoluzione di tafoni e nicchie alle quote attuali di -15, -30 metri;

- risalita del livello marino con incisione di piattaforme di abrasione -60 e -20 metri attuali, sedimentazione e cementazione di *beach-rocks* -3, -29, -35 e -45 metri attuali (fase trasgressiva olocenica).

Le indagini sottomarine hanno inoltre posto in rilievo le strette interrelazioni esistenti tra caratteri geomorfologici, distribuzione delle unità morfo-sedimentarie e principali biocenosi bentoniche; in particolare non è stato evidenziato un ecotipo più diffuso e/o di valenza dominante, ma l'habitat marino investigato risulta composto da un mosaico estremamente articolato, quasi completo, delle biocenosi bentoniche mediterranee; il valore ambientale dell'area è di conseguenza legato ad un elevato indice di bio-diversità.

## BIBLIOGRAFIA

- ALESSIO L., ALLEGRI M., ANTONIOLI F., BELLUOMINI G., FERRANTI L., IMPROTA S., MANFRA L. & PROPOSITO A. (1992) - *Risultati preliminari relativi alla datazione di speleotemi sommersi nelle fasce costiere del Tirreno centrale*. Giorn. di Geol., ser. 3, **54** (2): 165-193.
- ANTONIOLI F., BELLUOMINI G., FERRANTI L., IMPROTA S. & REITANO G. (1994) - *Il sito preistorico dell'arco naturale di Capo Zafferano (Sicilia) aspetti geomorfologici e relazione con le variazioni del livello marino olocenico*. Il Quaternario, **7** (1), 109-118.
- BARTOLINI C., BONFIGLIO L., BRANCACCIO L., DAI PRA G., DI GERONIMO I. & ULZEGA A. (1983) - *Present altitudes of euryrhenian shorelines*. Neotectonic map of Italy, Sheet 6, C.N.R.
- BELDERSON R.H., KENYON N.H., STRIDE A.H. & STUBBS A.R. (1972) - *Sonographs of the sea floor, a picture atlas*. Elsevier, Amsterdam.
- BRAMBATI A. & DE MURO S. (1992) - *Notes on the geomorphological map of the area between Capo Testa and Punta Li Francesi (Northern Sardinia, Italy)*. Boll. Oceanol. Teor. Appl., **10**, (2): 133-148.
- BROTZU P. & MORBIDELLI L. (1974) - *Lineamenti petrografici e geostutturali di un settore del Sarrabus meridionale*. Atti Acc. Naz. Lincei, ser. 8, **12**, 1-78.
- CARTA M., DEL FÀ C., ULZEGA A. & URAS I. (1986) - *La piattaforma continentale della Sardegna*. Volume «P.F. Oceanografia e Fondi Marini. Sottoprogetto Risorse Minerarie», Rapporto tecnico finale.
- CERCHI A., MARINI A., MURRU M. & ULZEGA A. (1978) - *Movimenti neotettonici nella Sardegna meridionale*. Atti 69 Congr. Soc. Geol. It., Perugia.
- CINQUE A. & ROMANO P. (1991) - *Segnalazione di nuove evidenze di linee di antiche linee di riva in Penisola Sorrentina (Campania)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., **13**, (1): 32-36.
- COLANTONI P., GALLIGNANI P., FRESI E. & CINELLI F. (1982) - *Patterns of Posidonia oceanica (L.) Delile. Beds around the Island of Ischia (Gulf of Naples) and adjacent waters*. P.S.Z.N.I., Marine Ecology, **3**, (1): 53-74.
- DAVAUD E. & STRASSER A. (1984) - *Cementation et structures sédimentaires des beach-rocks : genèrese et critères d'identification*. Le beach-rock, Actes du colloque de Lyon: 41-50.
- HOPLEY D. (1986) - *Beach-rock as a sea level indicator*. «Sea level research: a manual for collection and evaluation of data», ed. Van de Plassche O.: 157-173.
- LABOREL J. (1979) - *Le gasteropodes Vermetidés: leur utilisation comme marqueurs biologiques de rivages fossiles*. Oceanis, **5**, 97-110.
- LECCA L., LENAZ R., LEONE F., ROSSI S. & ULZEGA A. (1979) - *La piattaforma continentale della Sardegna sud-orientale: indicazioni metodologiche e primi risultati*. Atti Conv. P.F. Oceanografia C.N.R.
- KESSEL R.H. (1975) - *Inselberg landforms elements: definition and synthesis*. Revue de Géom. Dyn., **22**: 97-108.
- MEINESZ A., BOUDOURESQUE C.F., FALCONETTI C., ASTIER J.M., BAY D., BLANC J.J., BOURCIER M., CINELLI F., CIRIK S., CRISTIANI G., DI GERONIMO I., GIACCONE G., HARMELIN J. G., LAUBIER L., LOVRIC A.Z., MOLINIER R., SOYER J. & VAMVAKAS C. (1983) - *Normalisation des symboles pour la représentation et la cartographie des biocenoses benthiques littorales de Méditerranée*. Ann. Inst. Oceanogr., **59** (2): 155-172, Paris.
- NEWTON F.J. (1989) - *The consummate search/survey system - New developments in sonar image processing*. Triton Technology, inc., Watsonville, CA.
- NICOLETTI M., ARDANESE R. & COLASANTI S. (1983) - *Le granodioriti di Capo Carbonara. Età K-Ar di fasi minerali in paragenesi*. Rend. Soc. It. Min. e Petr., **38**, (2): 765-769.
- ORRÙ P. (1990) - *Evidenze di degrado da pesca a strascico sulla piattaforma continentale del Golfo di Orosei (Sardegna orientale)*. Atti del Convegno Internazionale sui Parchi e le Riserve Marine del Mediterraneo, S. Teodoro, 28/30 aprile 1989.



- ORRÙ P. & PASQUINI C. (1991) - *Rilevamento geomorfologico sottomarino della Riserva Marina di Tavolara - Capo Coda Cavallo*. Conv. Naz. sulla Geologia Subacquea e Sottomarina, Gior.di Geol., **54** (2): 49-63.
- ORRÙ P. & ULZEGA A. (1987) - *Rilevamento geomorfologico costiero e sottomarino applicato alla definizione delle risorse ambientali (Golfo di Orosi, Sardegna orientale)*. Mem. Soc. Geol. It., **37**: 471-479.
- PALMERINI V. (1967) - *Nuovi lembi tirreniani lungo la costa di Capo Carbonara*. Rend. Sem. Fac. Sc. Univ., **37**, (4): 1-16.
- PELLETTIER J. (1960) - *Le relief de la Sardaigne*. Mem. et Doc. Ist. etu. rhod., **13**, Lione.
- PERES J.M. & PICARD J. (1964) - *Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Mediterranee*. Rec. Trav. Stat. Mar. Endoume, **47**, (31): 1-137.
- RIGGIO S., BADALAMENTI F., CHEMELI R., CORRIERO G., GRISTINA M., PIRAINO S., RESTUCCIA V. & SPARLA M.P. (1985) - *La Riserva Naturale dello Zingaro (Sicilia nord-occidentale): dati faunistici preliminari sull'ambiente costiero*. Nova Thalassia, **7** suppl.: 379-384.
- STEFANON A. (1985) - *Marine sedimentology through modern acoustical methods: 1. Side Scan Sonar*. Boll. Ocean.Teor. e Appl. **3**, (1):3 - 38.
- ULZEGA A. (1981) - *Carta geomorfologica della Sardegna marina e continentale. Scala 1: 500.000*. C.N.R., Ist. Geogr. De Agostini, Novara.
- ULZEGA A. & HEARTY P.J. (1986) - *Geomorphology, stratigraphy and geochronology of late quaternary deposits marine in Sardinia*. Z. Geom. N.F., 119-129.
- ULZEGA A., LEONE F. & ORRÙ P. (1984) - *Late quaternary sea-level evidence in Sardinia the submerged beach-rock of Serpentara*. Inter. Sympos. on late quaternary sea-level changes and coastal evolution, Mar de Plata, Argentina.
- ULZEGA A. & OZER A. (1980) - *Comptes-rendus excursion table ronde tyrrhenien de Sardaigne*, I.N.Q.U.A., 110 pp.
- VAIL P.R. & HANDBOL J. (1977) - *Sea-level changes during Tertiary*, Oceanus, **22**: 71-80.
- VARDABASSO S. (1951) - *La peneplain hercynienne de la Sardaigne du centre-est, Essai paleogeographique*, Revue geogr. Lyon, **26**: 131-139.
- ZATTERA A., ZURLINI G. & POLITANO E. (1986) - *Metodologie di approccio all'istituzione delle aree marine protette*, Acqua-Aria, **6**: 557-563.

## NOTE

Lavoro eseguito nell'ambito del Progetto 60% MURST «Geomorfologia delle coste e della piattaforma continentale della Sardegna» Resp. A.Ulzegea.