



Università degli studi di Cagliari
Dottorato in Scienze della Terra XIX ciclo

**SEDIMENTOLOGIA E PROCESSI DEPOSIZIONALI
DELLA PIATTAFORMA CONTINENTALE DI CAGLIARI
DAL *LAST GLACIAL MAXIMUM* ALL'ATTUALE**

Tesi di: Michele Cossellu

Relatori
Prof. Luciano Lecca
Prof. Sandro De Muro

2007

INDICE DEGLI ARGOMENTI

PREMESSA	5
INTRODUZIONE	8
PARTE I ELEMENTI GEOLOGICI E AMBIENTALI, METODOLOGIE DI INDAGINE E DESCRIZIONE DEI FONDALI	
1. GEOLOGIA DELLA SARDEGNA MERIDIONALE	9
1.1 Evoluzione della Sardegna meridionale nel terziario	9
1.2 Elementi sulla stratigrafia della piattaforma di Cagliari	18
1.3 Suddivisione della piattaforma sulla base dell'assetto morfologico-strutturale	19
2. METODOLOGIE DI INDAGINE	22
2.1 Indagini ecografiche	22
2.2 Campionamenti sedimentologici	28
3. ELEMENTI SUL CLIMA ED ECOLOGIA DEL GOLFO DI CAGLIARI	31
3.1 Regime dei venti, contesto idrodinamico e climatico	31
3.2 Ecosistema della piattaforma di Cagliari	34
4. DATI ECOGRAFICI E SEDIMENTOLOGICI	42
4.1 Analisi del data-set ecografico	42
4.2 Tipologie di fondale della piattaforma	46
4.3 Ambienti deposizionali della piattaforma	56
5. ANALISI DEI SEDIMENTI	60
5.1 Metodologie analitiche	60
5.2 Principali tipologie di granuli riconosciute	68
5.3 Studio statistico e raggruppamenti di dati (<i>cluster analysis</i>)	70

PARTE II AMBIENTI DEPOSIZIONALI E LITOFACIES

1. PIATTAFORMA INTERNA DEL GOLFO DI SANTA GILLA	77
1.1 Ubicazione e processi	77
1.3 Caratteristiche morfologiche e analisi dei fondali	78
1.4 Analisi dei sedimenti	79
1.5 Analisi dei profili <i>SBP</i> e ipotesi genetiche della depressione	85
2. PIATTAFORMA INTERNA DEL GOLFO DI QUARTU	88
2.1 Caratteristiche morfologiche e analisi dei fondali	88
2.2 Analisi dei sedimenti	91
3. BANCO PRINCIPALE A POSIDONIA E PENDIO ESTERNO DELLA PIATTAFORMA INTERMEDIA	94
3.1 Caratteristiche morfologiche e analisi delle facies acustiche	94
3.2 Analisi dei sedimenti	96
3.3 Analisi delle facies sismiche e ipotesi genetiche delle paleo morfologie in piattaforma intermedia	103
4. SUPERFICI A <i>SAND WAVES</i> E FONDI PIANI DELLA PIATTAFORMA INTERMEDIA	106
4.1 Analisi dei fondali	106
4.2 Analisi dei sedimenti	112
4.3 Dinamica del moto ondoso e formazione delle <i>sand waves</i>	117
4.4 Genesi delle <i>sand waves</i>	123
5. PIATTAFORMA ESTERNA DEL GOLFO DI CAGLIARI	129
5.1 Paleo cordoni litorali e fondali esterni della piattaforma	129
5.2 Analisi dei sedimenti	129
5.3 Analisi dei profili <i>SBP</i>	132

6. PIATTAFORMA DEL SARRABUS	136
6.1 Caratteristiche morfologiche	136
6.2 Analisi dei sedimenti	136
7. PIATTAFORMA DEL SULCIS	140
7.2 Caratteristiche morfologiche e analisi dei fondali	140
7.3 Analisi dei sedimenti	141
8. FACIES DEPOSIZIONALI	144
8.1 Facies di <i>shoreface</i> terrigene e miste	144
8.2 Facies miste bioclastico-terrigena della prateria di posidonie	146
8.3 Facies fangose a lamellibranchi dello <i>shoreface</i> inferiore	147
8.4 Fanghi organici della depressione del golfo di Santa Gilla	147
8.5 Facies terrigene di paleo- <i>shoreface</i> del banco a Posidonia (Fig. 4)	148
8.6 Facies miste bioclastico terrigene del pendio esterno al banco	150
8.7 Sedimenti misti bioclastici e terrigeni relitti della fascia a <i>sand waves</i>	151
8.8 Facies litico-bioclastiche di Punta Zavorra	153
8.9 Facies calcititiche di Capo S. Elia	154
8.10 Facies ad alghe rosse e foraminiferi	155
8.11 Facies distali a lamellibranchi e foraminiferi	156

**PARTE III: SINTESI DEL MODELLO DEPOSIZIONALE,
RICOSTRUZIONE EVOLUTIVA E CONCLUSIONI**

1. MODELLO DEPOSIZIONALE DELLA PIATTAFORMA DI CAGLIARI	159
1.1 Ambienti e facies deposizionali tardo olocenico–attuali	159
1.2 Evoluzione della piattaforma dal <i>LGM</i> all’attuale	167
1.3 Evoluzione della piattaforma nel Quaternario	170
1.4 Sintesi dell’evoluzione della piattaforma	174
2. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	176
ALLEGATI	

Allegato 1: posizionamento dei campioni	179
Allegato 2: analisi granulometriche e composizionali	185
Allegato 3: archivio fotografico	188
BIBLIOGRAFIA	210

PREMESSA

Le attività attinenti questa tesi di dottorato sono state svolte presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Cagliari dove da circa tre decenni vengono condotte ricerche atte a descrivere le caratteristiche geologiche della piattaforma continentale e i margini della Sardegna. Gli scopi di tali ricerche sono sia quelli di acquisire le conoscenze di base per la comprensione dei processi evolutivi neogenico-quadernari, che descrittivi dei sedimenti e degli ambienti attuali, che possano essere utili anche per studi con finalità applicative.

L'interesse scientifico per le tematiche geologico-marine è stato di recente rinnovato da eventi anche drammatici quali lo *tsunami* del 2004. Questa catastrofe, che ha causato lo sconvolgimento di territori e di ecosistemi costieri, ha messo in evidenza l'importanza dello studio dell'ambiente marino prossimale al fine della sua salvaguardia sia dal punto di vista di processi fisici come l'erosione delle coste, sia per quanto riguarda l'equilibrio biologico, necessario per il generale mantenimento dell'ambiente. D'altra parte, l'innalzamento del livello del mare, sia per fattori antropici che planetari naturali, ha ormai raggiunto la sensibilità globale e pretende una migliore comprensione di questo ambiente. Una tale consapevolezza mette in luce un significato e un valore di queste ricerche che in tempi meno recenti non si percepiva. Fino a non molti anni fa infatti, l'interesse per i settori sommersi della piattaforma era limitato alle potenzialità economiche (pesca, petrolio, sabbie, *placers* ecc.), mentre oggi si presentano nuovi interessi ambientalistici, con tutte le possibili implicazioni per lo sviluppo sostenibile del territorio, sia a livello locale che globale.

Dal punto di vista storico-culturale inoltre lo studio del territorio è utile per tentare di risolvere problematiche archeologiche inerenti la transizione preistorico-storica, sgombrando il campo da ricostruzioni pseudoscientifiche di eventi spesso fornite dai media.

Con il presente lavoro, che prosegue il progetto già avviato durante il corso di laurea, si intende dare un ulteriore contributo allo studio delle caratteristiche geologiche e sedimentologiche della piattaforma continentale del Golfo di Cagliari, le cui peculiari caratteristiche sono ampiamente suscettibili di interesse scientifico e di un ulteriore

sviluppo delle ricerche. Inoltre tale piattaforma ben si presta per la formazione scientifica sui problemi geologici-ambientali sottomarini per la sua accessibilità rispetto la sede universitaria e per l'importanza della sua posizione, situata davanti alla città più importante della Sardegna, e una delle più importanti del Mediterraneo.

Rispetto ad una piattaforma come quella del Golfo di Cagliari, i principali compiti, che diventano i principali obiettivi di questa tesi, sono quelli di una dettagliata descrizione dei processi attivi, della realizzazione della cartografia geologica marina e di una sintesi evolutiva che consenta la comprensione dell'attuale assetto morfologico e sedimentario.

PARTE I

ELEMENTI GEOLOGICI E AMBIENTALI, METODOLOGIE DI INDAGINE E DESCRIZIONE DEI FONDALI

INTRODUZIONE

Le prime descrizioni di questa piattaforma risalgono a Segre (1968), che al di sotto dei sedimenti attuali riconobbe elementi morfologici riconducibili a cicli marini del Pleistocene superiore-Olocene, e alle indagini eseguite mediante la nave oceanografica Bannock (C.N.R.) dall'Università di Genova, che consentirono le prime descrizioni sedimentologiche (PICCAZZO *et al.*, 1981). Sulla base di nuovi rilievi ecografici e sismici, realizzati nell'ambito del progetto Oceanografia e Fondi Marini-CNR (CARTA *et al.*, 1986), e di successive ricerche, seguirono descrizioni di dettaglio dei paleo-depositi litorali interpretati come *beach rock* (ULZEGA *et al.* 1986; DE MURO & ORRÙ, 1998). La piattaforma continentale del Golfo di Cagliari è stata recentemente oggetto di descrizione alla scala dell'intero bacino di Cagliari (LECCA *et al.*, 1998 e 2005), di studi di dettaglio in aree campione (DE MURO & KALB, 2003) e di valutazioni geologico-applicative finalizzate al ripascimento della spiaggia del Poetto, che ha suscitato accese discussioni anche in sedi non scientifiche.

Sulla base dei lavori precedentemente effettuati, questo studio si propone di individuare e descrivere gli ambienti e i processi biologici e fisici che hanno caratterizzato l'ambiente dall'ultimo periodo glaciale (*last glacial maximum, LGM*), che portò il mare fino a livelli di -130m, fino all'attuale fase eustatico-climatica e di pervenire ad una ricostruzione del funzionamento sedimentario complessivo di questa vasta area sottomarina.

1. GEOLOGIA DELLA SARDEGNA MERIDIONALE

1.1 Evoluzione della Sardegna meridionale nel terziario

Il Rift Sardo

Il Rift Sardo, in precedenza conosciuto come Fossa Sarda (VARDABASSO S. 1963; PECORINI & POMESANO CHERCHI, 1969), si è evoluto durante la fase geodinamica di profondo mutamento orogenico e paleogeografico del Mediterraneo che si è verificata tra la fine dell'Oligocene, il Miocene e il Pliocene. I modelli geodinamici per tale mutamento sono stati diversi e sono tutt'ora in corso di discussione e di dibattito interpretativo. Come è noto le prime interpretazioni risalgono a ARGAND (1924) e sono proseguite con numerosi contributi fino agli importanti lavori di ALVAREZ et al. (1974) e di BOCCALETTI e GUAZZONE (1972 e 1974).

Con l'interpretazione rigido-plastica della litosfera e il meccanismo di espulsione laterale mista (TAPONNIER, 1977) si superano le ricostruzioni intuitive e si perviene a un modello decisamente più coerente dal punto di vista degli *stress* e della cinematica dell'Africa rispetto all'Europa.

Negli stessi anni la descrizione della Fossa Sarda viene integrata con la datazione radiometrica e la descrizione del vulcanismo oligo-miocenico della Sardegna, sempre in chiave di sistema arco-fossa e di migrazione verso Est dell'arco residuo, cioè della microplacca sardo-corsa, (COULON, 1977; BECCALUVA *et al.* 1985 e 1987).

La struttura del *rift* e i sedimenti in esso affioranti vengono descritti in relazione delle fasi del *rifting*, *pre-rift*, *sin-rift* e *post-rift*, all'interno della microplacca sardo-corsa (CHERCHI & MONTADERT, 1982), mentre la cinematica della microplacca viene suddivisa nella fase di *rifting* e di *drifting* (REHAULT *et al.*, 1984).

Una importante descrizione delle formazioni affioranti nel Rift Sardo e la loro età biostratigrafia è stata eseguita nel 1985, in occasione del 19° convegno europeo di micropaleontologia (CHERCHI *et al.*, 1985).

Tali ricostruzioni geodinamiche, vulcanologiche e geocronologiche (radiometriche e biostratigrafiche) vennero condivise e considerate soddisfacenti per circa un decennio, solo negli anni '90 vennero individuate alcune nuove interpretazioni. Due ipotesi furono proposte per il modo in cui la deformazione si fosse prodotta all'interno del *rift*. Una ipotesi proponeva una modalità transtensionale propagatasi da Nord a Sud a seguito di una indentazione con l'Orogene Maghrebide (ASSORGIA *et al.*, 1994), l'altra come risposta transtensiva lungo le faglie transpressive del Monte Albo (relazionate all'Orogene Appenninico) e di altre faglie NE parallele a questa (CARMIGNANI *et al.* 1994; OGGIANO *et al.*, 1995).

Successivi studi sul vulcanismo e sulla struttura del *rift*, individuarono una più complessa articolazione delle fasi tettoniche, vulcaniche e sedimentarie : proto-*rift* andesitico continentale 28-24 Ma; prima fase di *rifting* a sedimentazione vulcanica e marina aquitaniana 24-18 Ma; seconda fase di *rifting* e sedimentazione piroclastica finale e marina burdigaliana-langhiana 18-15 Ma (LECCA *et al.* 1997, SAU *et al.* 2005).

Da un altro punto di vista, riferendosi a discontinuità sedimentarie e a ricostruzioni ecobiostratigrafiche veniva proposta una divisione in cicli vulcanici e sedimentari (ASSORGIA *et al.* 1997, SPANO e BARCA 2002), in parte comparabile alla suddivisione di LECCA *et al.* (1997).

Un ultimo contributo alla comprensione del Mediterraneo occidentale e centrale proviene dall'interpretazione delle linee sismiche CROP (Crosta Profonda) secondo la quale in Sardegna sarebbero presenti strutture compressionali eoalpine sulle quali si sarebbero sovrapposte le fasi estensionali di apertura del *Bacino Balearico* e, nel Pliocene, dell'apertura del *Bacino Tirrenico* (FINETTI *et al.*, 2005).

Il Graben del Campidano

Dal Pliocene inferiore fino a tutto il Quaternario, una nuova struttura di fossa tettonica limitata da faglie estensionali e transtensionali si è instaurata all'interno della parte meridionale e centrale del *rift* oligo-miocenico. Tale fossa, assieme ad un ampio sistema di faglie crostali estensionali, ha variamente sbloccato con movimenti verticali sia il precedente sistema del *Rift* Sardo sia i blocchi di *horst* della Sardegna meno interessata dal *rift* oligo-miocenico. A tale fase estensionale si è associato un

vulcanismo basaltico che ha dato luogo ad apparati vulcanici come il Monte Arci e il Montiferru e a numerosi espandimenti basaltici (BECCALUVA *et al.*, 1987).

Dalle prime descrizioni del VARDABASSO (1963), che considerava la Fossa del Campidano come la prosecuzione in tempi pliocenici della Fossa sarda oligo-miocenica, le descrizioni si susseguirono sempre più precise. La prima fondamentale distinzione sui rapporti tra vulcanismo, sedimentazione e tettonica miocenica e pliocenica risale a PECORINI (1966) che distinse chiaramente la Fossa sarda dal Campidano. In seguito, la Formazione di Samassi (conglomeratica e marnosa di ambiente fluviale, a spese del Miocene oltre che di rocce più antiche, di età post-Pliocene inferiore), viene intesa come unità tettono-sedimentaria depostasi nella Fossa del Campidano e prodottasi a spese dei sedimenti della Fossa sarda (PECORINI & POMESANO CHERCHI, 1969). A questi decisivi studi seguirono numerosi altri che ne migliorarono sempre più la descrizione e la comprensione rispetto all'apertura del Bacino del Tirreno (PALA *et al.*, 1982; MARINI & MURRU, 1983; CHERCHI & MURRU, 1985; CASULA *et al.* 2001; FINETTI *et al.* 2005).

Per quanto riguarda la prosecuzione in piattaforma del Graben del Campidano, diversi studi descrivono seppur marginalmente tale aspetto. Il primo lavoro è stato quello di FANUCCI *et al.* (1976) cui seguirono altri che avevano lo scopo di descrivere la piattaforma continentale della Sardegna meridionale (TILOCCA, 1984; PISANO, 1985; LECCA *et al.*, 1986) dai quali si individua chiaramente la prosecuzione della faglia occidentale del Campidano verso il margine meridionale e una complessa prosecuzione della fossa verso il Bacino di Cagliari (LECCA *et al.*, 1998).

La parte meridionale del Rift Sardo e del Graben del Campidano come infrastruttura del Golfo di Cagliari

Il Rift Sardo è composto da diversi rami di bacini che assumono orientamenti NW e NE che proseguono nella parte superiore nei margini continentali circostanti la Sardegna, in particolare in quello meridionale, occidentale e settentrionale. Il margine orientale è invece riferibile a tempi tardo miocenici e pliocenico-quadernari.

Le singole depressioni hanno in genere struttura tettonica trasversale di *semi graben* dell'ordine di 5-10 Km che appartengono spesso a depressioni ampie dell'ordine di qualche decina di Km (ASSORGIA *et al.*, 1994; OGGIANO *et al.*, 1995; ; LECCA *et al.* 1997; FUNEDDA *et al.*, 2000; SAU *et al.*, 2005). Nella parte meridionale del Rift Sardo,

su tale struttura si sovrimpone lo stretto Graben del Campidano (LECCA *et al.*, 1997; CASULA *et al.*, 2001; FINETTI *et al.*, 2005)

La parte meridionale del Rift Sardo, con sovrimposto il Graben del Campidano, prosegue in mare all'interno del Golfo di Cagliari controllando la sedimentazione dell'intero Bacino di Cagliari sia al livello della piattaforma continentale che nella parte più profonda sbarrata distalmente dal *Seamount* Ichnusa (LECCA *et al.*, 1998).

Riprendendo i risultati di PISANO (1984-85), grazie all'interpretazione delle linee ES dell'Agip tarate col Pozzo Marcella può essere evidenziato che:

- 1) L'accrescimento sedimentario miocenico all'interno del *rift* sardo è progrado verso SudEst.
- 2) Sulle sequenze mioceniche, troncate dalla erosione messiniana, poggiano sequenze attribuibili al Pliocene inferiore e al Plio-Quaternario. La piattaforma quaternaria poggia in prevalenza su queste ultima nella parte sudoccidentale, mentre poggia sul Miocene nella parte nordorientale.
- 3) In senso NordEst – SudOvest la piattaforma è interessata da un sistema di faglie in prosecuzione del Graben del Campidano.
- 4) L'infrastruttura miocenica e la copertura Pliocenica hanno un assetto di un alto strutturale relativo allungato NO-SE, che costituisce la Soglia Pula-S. Elia, che delimita un basso relativo nella parte interna della piattaforma, (Golfo di Santa Gilla), (Figg. 1, 2, 3 e 4).

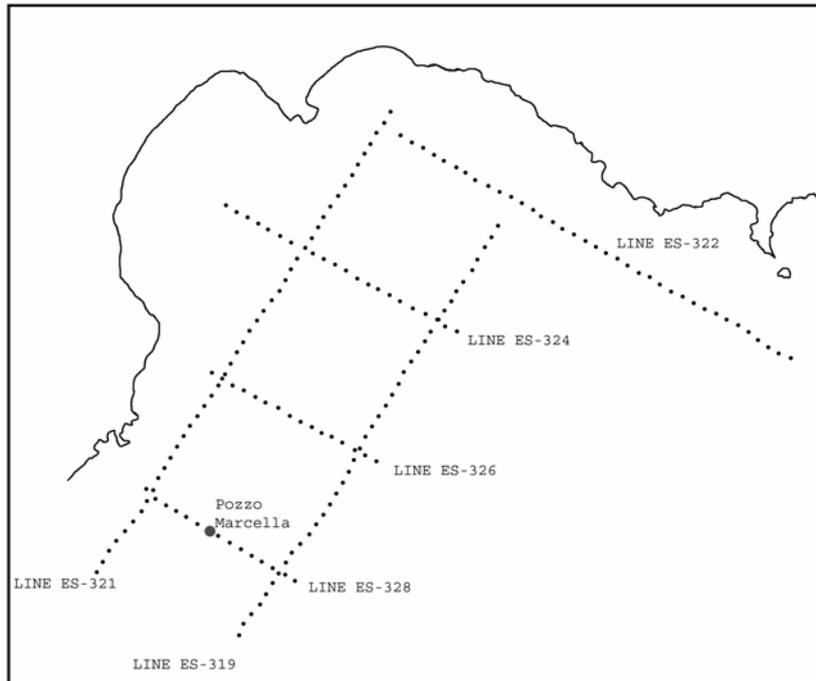


Fig. 1. Ubicazione delle linee ES e del sondaggio Agip

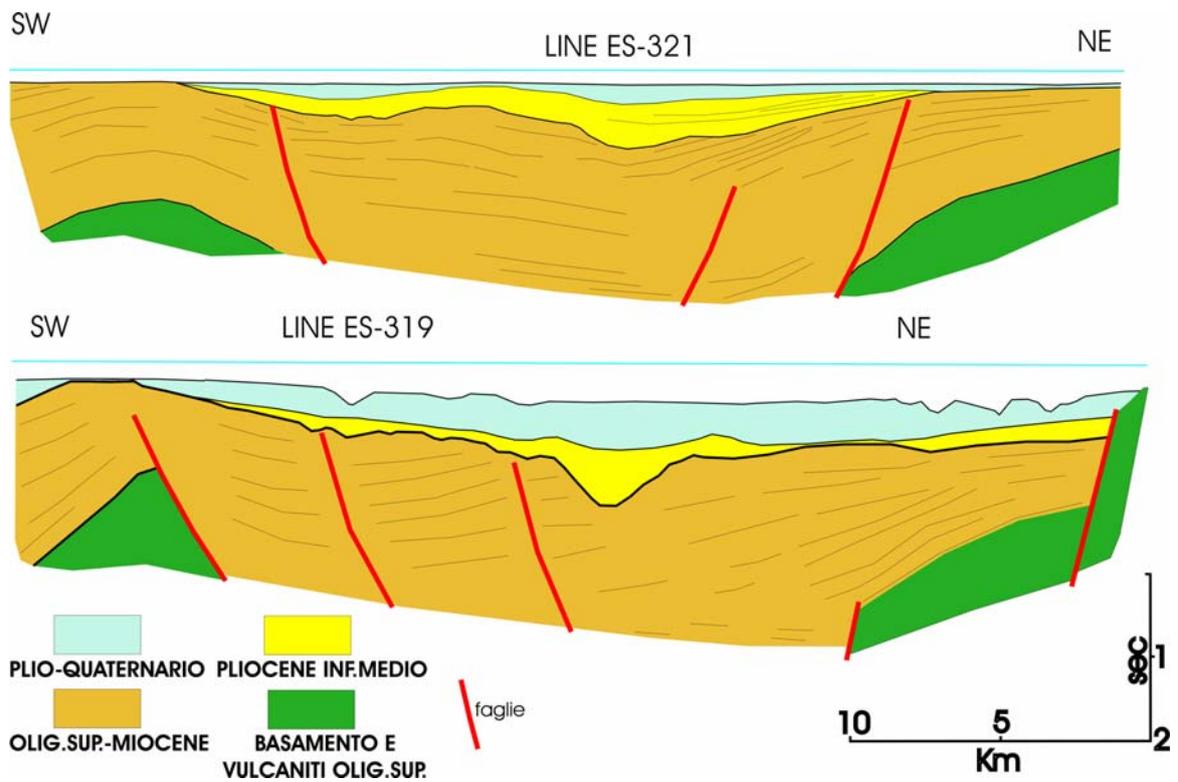


Fig 2. Linee ES trasversali alla piattaforma.

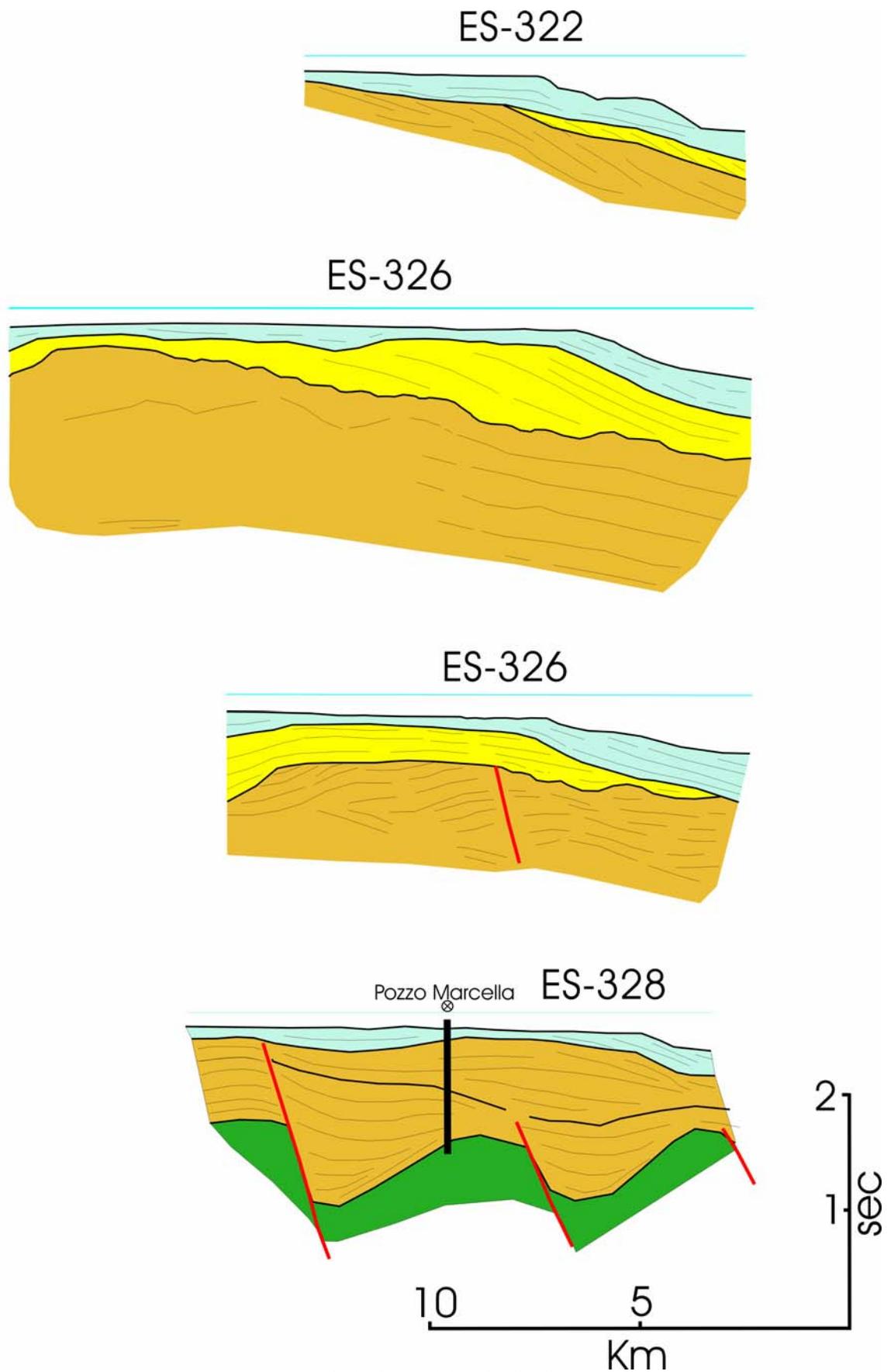


Fig 3. linee ES longitudinali.

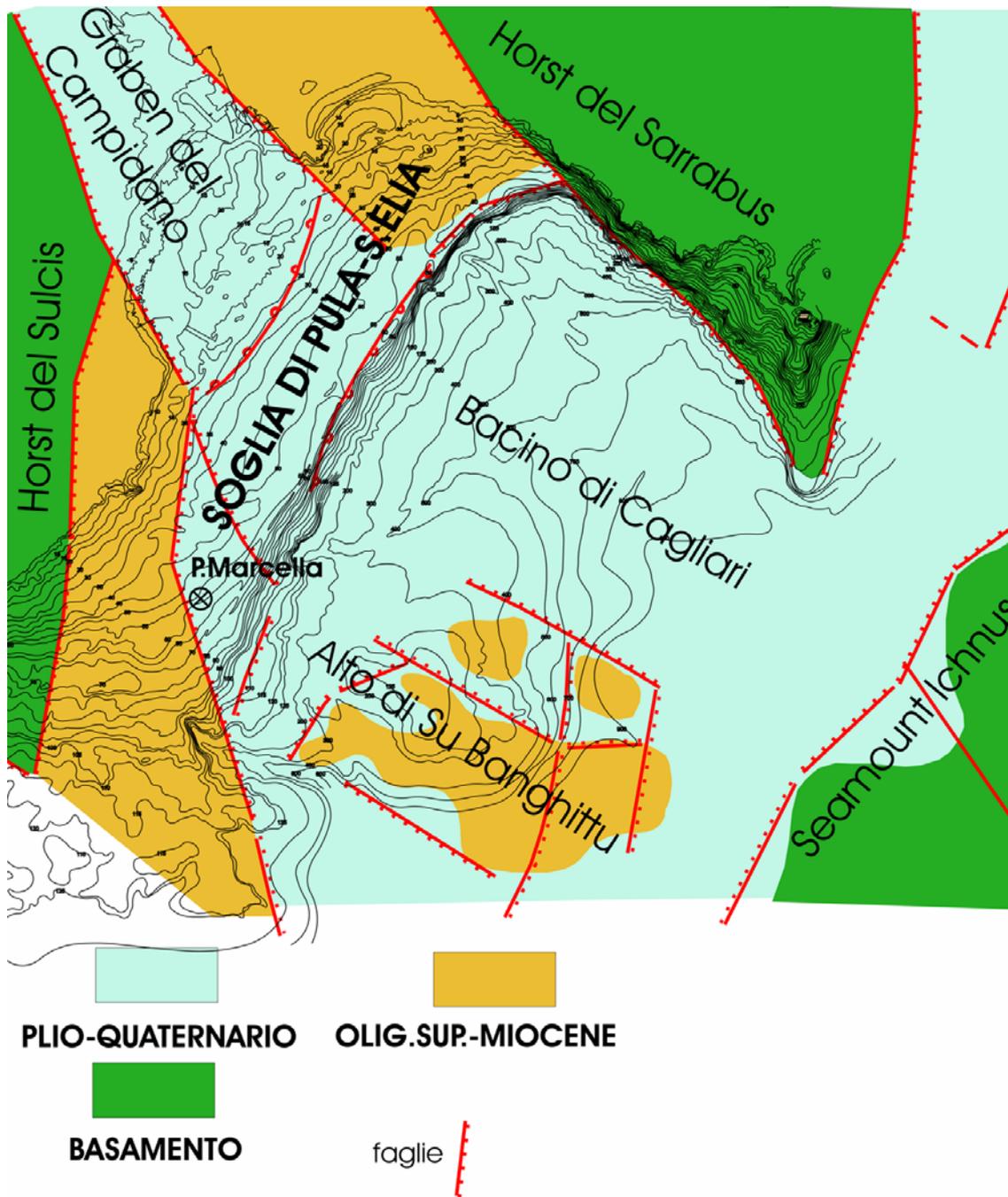


Fig 4. Schema geologico sulla base delle linee ES della Sardegna meridionale.

Relazioni tra la paleogeografia del Rift Sardo e l'attuale piattaforma continentale

Durante il Langhiano l'attività tettonica estensionale all'interno del *Rift Sardo* si riduce notevolmente in concomitanza con il trasferimento della tettonica estensionale nell'area del nascente bacino tirrenico (LECCA *et al.*, 1997). In questa fase del *rift*, il colmamento sedimentario raggiungeva la zona dei dintorni di Cagliari con facies esterne alla paleo-piattaforma continentale la quale occupava le aree di *shelf* attorno all'*horst* della Sardegna orientale e del Sulcis-Iglesiente. In condizioni ormai *post-rift*, durante il Serravalliano, una regressione eustatica globale (HAQ *et al.*, 1987: *Tejas B* 2.4-2.6) muta il panorama paleogeografico con la impostazione di una piattaforma continentale terrigena nei dintorni di Cagliari, dando luogo alla deposizione della conosciuta formazione delle Arenarie di Pirri (PECORINI & POMESANO-CERCHI, 1969). L'evoluzione di tale piattaforma prosegue con facies carbonatiche, verosimilmente associate ad una successiva fase trasgressiva tortoniana e ad una fase di *high-stand*, durante la quale viene completata la sequenza dei calcari di Cagliari fino alla culminazione con le facies rodalgali di mare temperato caldo, che precede la regressione Messiniana. Durante la regressione messiniana tale piattaforma viene erosa e lateralmente alle colline più alte vengono deposte le sequenze continentali.

La successiva risalita eustatica del Pliocene inferiore, probabilmente concomitante alla impostazione del *graben* plio-quadernario del Campidano, comporta che il livello del mare pliocenico non sommerga la precedente piattaforma messiniana ma si stabilisca più basso di un centinaio di metri circa al di sotto della cima delle attuali colline di Cagliari. La piattaforma pliocenica, impostata quindi sulla superficie di erosione subaerea messiniana comporta il riempimento delle parti più profonde delle valli messiane, come per esempio la paleo-valle messiniana che dal Campidano proseguiva verso il Bacino di Cagliari (linea ES 319), e un progressivo colmamento degli spazi disponibili da parte di sedimenti prevalentemente terrigeni in zone prossimali (Formazione di Samassi), mentre le parti distali venivano colmate da sedimenti più francamente marini, marnoso-argillosi. E' pertanto a questa fase che deve essere fatta risalire la prima impostazione dell'attuale piattaforma del Golfo di Cagliari.

In seguito, durante il pleistocene medio-superiore, tale piattaforma è stata interessata dalle oscillazioni glacio-eustatiche a controllo dei cicli inclinazione-precessione nel

Plio-quadernario e di eccentricità-precessione nel pleistocene medio e superiore (MARTINSON *et al.*, 1987). Durante le fasi di *lowstand*, tali oscillazioni eustatiche hanno prodotto il sovrapporsi di eventi progradanti, di cui attualmente si ha chiara evidenza nelle linee *sparker*, nel bordo della piattaforma continentale.

La piattaforma continentale è attualmente formata dalla congiunzione di altri due segmenti di piattaforma, a Est quella del Sarrabus e a Ovest quella del Sulcis.

Le tre regioni vengono alimentate dagli apporti terrigeni provenienti dall'entroterra delle diverse aree. Il Sarrabus è costituito in prevalenza da metamorfiti erciniche di basso grado, da plutoniti tardo erciniche e, nella regione costiera, da sequenze clastiche continentali e marine mioceniche e quadernarie. Nel Sulcis affiorano in genere rocce granitoidi del basamento ercinico, localmente coperture sedimentarie paleogeniche terrigene e, in prossimità della faglia occidentale del Graben del Campidano, importanti apparati vulcanici andesitici oligo-miocenici. Infine l'area di Cagliari presenta nella parte orientale una successione di marne e marne arenacee del Miocene inferiore e medio e arenarie e calcari di piattaforma bioclastico-algale del Miocene superiore; la parte occidentale è invece costituita dai complessi continentali e transizionali-litorali pliocenico-olocenici del Campidano meridionale (Fig.5).

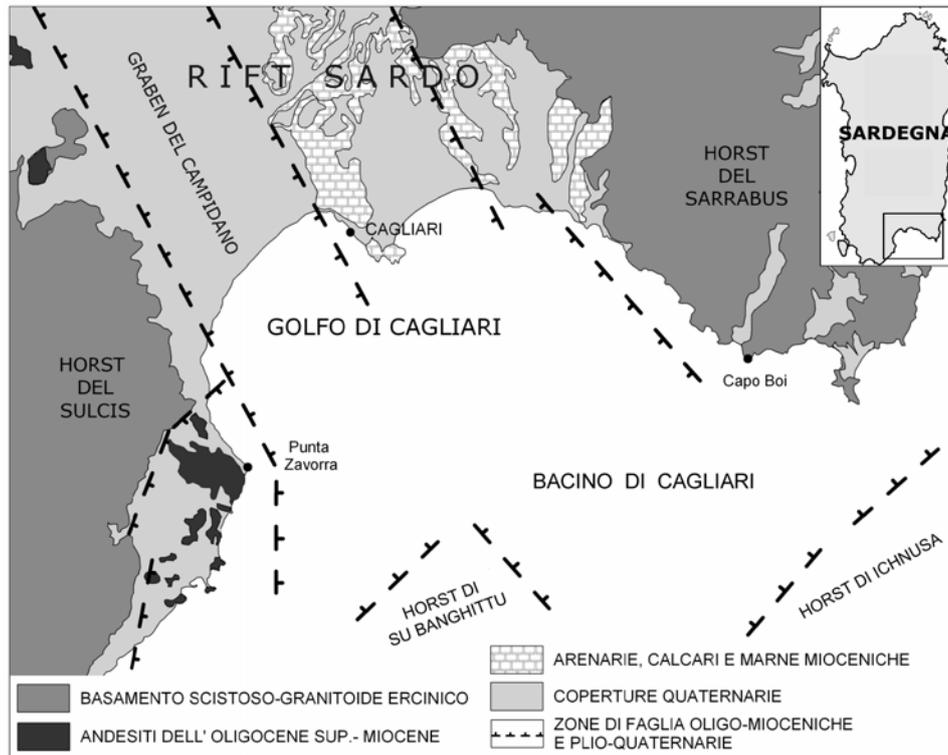


Fig. 5. Litologie della Sardegna meridionale

1.2 Elementi sulla stratigrafia della piattaforma di Cagliari

Le conoscenze della stratigrafia delle parti più profonde della piattaforma di Cagliari provengono dal Pozzo Marcella. In questo sito sono stati attraversati, dall'alto verso il basso, le seguenti unità:

- 0 – 63 m acqua;
- 63 – 138 m sedimenti non campionati;
- 138 – 229 m Sabbia quarzosa da fine a grossolana, fossilifera, talora debolmente cementata, con rari livelli di argilla più o meno siltoso-sabbiosa, tracce di glauconite e lignite (Pleistocene non definibile);
- 229 – 334 m Formazione di Samassi;
- 334 m discordanza messiniana (formazione di Samassi discordante su Miocene);
- 334 – 1769 successione miocenica, continentale alla base e marina verso l'alto;
- 1769 – 2440 complesso vulcanico andesitico calcoalcalino oligo-miocenico del distretto di Sarroch.

Assieme alla interpretazione delle linee sismiche ES, tale pozzo ha consentito di pervenire alle ricostruzioni sismo-stratigrafiche esposte in precedenza.

La parte più recente della successione sedimentaria sottostante i sedimenti olocenici può essere estrapolata, seppur con molta incertezza, da alcuni studi di sondaggi dei settori costieri (PECORINI & POMESANO CHERCHI, 1969; MARINI, 1976; SERRA, 1983; IBBA, 1994; GANDIN, 1970, 1979; PITTAU DEMELIA & LOI, 1981, ORRÙ *et al.* 2005).

I dati più oggettivi che emergono da tali studi sono:

1) Golfo di S.Gilla – La presenza di due unità interglaciali riferite al Tirreniano I e Tirreniano II (Mindel-Riss e Riss Würm sensu MAXIA & PECORINI, 1968, cioè MIS 7 e MIS 5) separati da argille continentali intensamente arrossate. Al di sotto il Tirreniano I (compreso tra 50÷80m) si rinvencono sempre sedimenti alluvionali argilloso-sabbioso-ghiaiosi ferrettizzati che provengono dalla base di rilievi paleozoici e paleogenici di Capoterra e che proseguono fin sotto il livello del mare (IBBA, 1994) nel Golfo di S.Gilla (PECORINI & POMESANO CHERCHI, 1969).

2) Golfo di Quartu e colline di Cagliari – Anche in questo areale i sondaggi attraversano due tirreniani (I e II) ma sono separati o da sedimenti salmastri o da crostoni carbonatici continentali, ma al di sotto del Tirreniano I, invece che le alluvioni continentali, sono presenti sedimenti miocenici (MARINI, 76).

I sondaggi del molo foraneo di levante del porto di Cagliari (GANDIN, 1970, 1979; PITTAU DEMELIA & LOI., 1981) hanno attraversato i sedimenti olocenici fino a circa 40 metri, tra -40 e circa -50 sedimenti ghiaiosi forse “tardo würmiani” e/o tirreniani, e più in basso fino a circa 60 metri sedimenti attribuibili alla Formazione di Sammassi (Pliocene medio-superiore).

1.3 Suddivisione della piattaforma sulla base dell’assetto morfologico-strutturale

L’evoluzione tettonica dell’area porta a una configurazione attuale con lineamenti infrastrutturali caratterizzati da elementi trasversali e paralleli alla progradazione verso largo della piattaforma.

La direttiva N-NO, allineata con il promontorio di Capo S. Elia, e relativa alla dinamica estensionale plio-pleistocenica permette di individuare due settori distinti.

La parte orientale, che comprende i promontori calcarei di Cagliari e funge da *horst* orientale del *graben* del Campidano, a Est del quale si erge il più antico *horst* del Rift Sardo (*horst* del Sarrabus).

La parte occidentale è costituita invece dalla prosecuzione del Graben del Campidano, limitato a Ovest dall' *horst* del Sulcis e colmato da diverse centinaia di metri di sedimenti clastici fluviali e marino-transizionali-litorali plio-quadernari, derivati dalla erosione delle sequenze mioceniche del rift e delle formazioni paleozoiche.

Questo assetto esercita un controllo sulla sedimentazione attuale delle due aree: quella a NordEst, che sarà d'ora innanzi denominata piattaforma del **Golfo di Quartu**, è caratterizzata da materiali maggiormente selezionati e maggiore energia dovuta alla sua condizione strutturalmente alta; quella a SudOvest, denominata **Golfo di Santa Gilla**, richiama maggiori apporti terrigeni fini per l'ubicazione in coincidenza della depressione tettonica.

Una seconda diversificazione di carattere infrastrutturale, questa volta longitudinale rispetto all'allungamento della piattaforma è costituita dall'alto tettonico della soglia di S. Elia – Pula, allungato NE-SO e ubicato nella parte centrale della piattaforma attuale. Questo lineamento strutturale determina, all'interno, del Golfo di S. Gilla, un assetto depresso, a cui fa seguito una fascia in rilievo in piattaforma intermedia (Fig. 5).

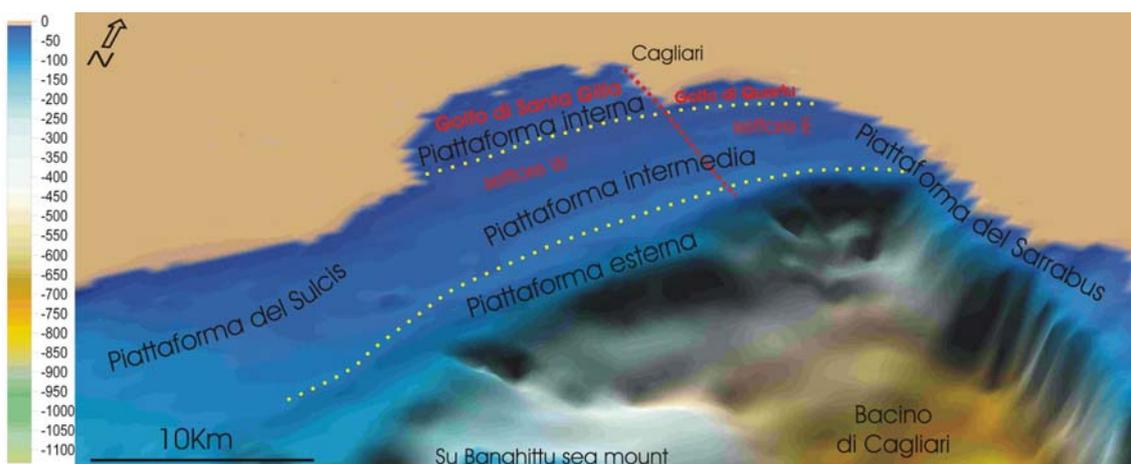


Fig. 5. Modello 3D della piattaforma della Sardegna meridionale e schematizzazione delle principali unità fisiografiche presenti. La scala verticale è esagerata 10 volte.

Sulla base di questa caratteristica la piattaforma viene divisa in tre settori.

1) Un settore interno, che comprende le aree del Golfo di Quartu e del golfo di S.Gilla, caratterizzato inoltre dalla presenza di due incisioni (a Est e a Ovest di Capo S. Elia) riconducibili a valli fluviali probabilmente scavate durante più cicli regressivi, e riattivate durante le fasi di *falling* e *low stand* pleistoceniche.

2) La piattaforma intermedia, sede di paleo depositi sommersi che si appoggiano sull'infrastruttura alta che per stazionamenti marini a -15÷20 m davano luogo a linee di riva che congiungevano il promontorio di capo S. Elia con quello di Punta Zavorra e la costa del Sarrabus. Attualmente tale fascia in rilievo è sede del banco principale a Posidonia.

3) La piattaforma esterna, separata dal punto di vista deposizionale da un secondo allineamento di paleorilievi allungati in direzione NordOvest che culmina ad una profondità di 55m circa, riconosciuto in varie piattaforme mediterranee e extramediterranee (cfr. DUNCAN *et al.*, 2000) e attribuibile a eventi eustatici di carattere globale.

La piattaforma esterna si estende fino alla rottura di pendio con un'architettura deposizionale caratterizzata da sequenze progradanti terrigene di bordo di piattaforma, mentre la superficie deposizionale attuale presenta una sedimentazione ridotta di *trasgressive-high stand*.

La piattaforma esterna è ampia nel settore occidentale (settore del Golfo di S.Gilla) e stretta in quello nordorientale per minori apporti terrigeni legati al contesto strutturale dell'area.

2. METODOLOGIE DI INDAGINE

Le indagini si sono basate sull'esecuzione di nuovi profili e campionature e sull'analisi di dati precedentemente acquisiti sia nell'ambito delle attività di ricerca del Dipartimento di Scienze della Terra di Cagliari, che di altri enti:

- 1) profili ecografici e sismici delle campagne oceanografiche *Placers 80/1* (profili 9 e 11) e *Placers 78/1* (profilo 11) acquisiti dalla U.O. di Cagliari (Progetto Finalizzato Oceanografia e fondali marini), per un totale di circa 670 Km di rotte esaminate;
- 2) dati del progetto *Mappatura delle praterie di Posidonia oceanica lungo le coste della Sardegna e delle piccole isole circostanti* (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio – Servizio difesa del mare, 2000), consistenti di una mappatura *side-scan sonar* del fondale compreso tra -10 e -5° m di profondità, e di foto aeree della fascia costiera.

Le procedure per una nuova acquisizione di dati batimetrico-morfologici hanno previsto in una prima fase l'esecuzione di una copertura preliminare di profili, e successivamente il prelievo delle campionature sedimentologiche con benna, che hanno permesso di confrontare il dato ecografico con quello sedimentologico, sulla base dei risultati delle analisi eseguite sui campioni.

A seguito di questa prima fase si è proceduto all'ubicazione di ulteriori campionature e linee ecografiche in aree di particolare interesse o dove necessitava un maggiore dettaglio. L'integrazione con gli altri dati disponibili ha permesso l'estensione dell'areale studiato e una migliore caratterizzazione dell'ambiente deposizionale. Lo studio del fondale marino è stato infine arricchito dall'osservazione diretta in immersione con autorespiratore.

2.1 Indagini ecografiche

Per l'acquisizione dei dati batimetrici e morfologici è stata utilizzata la seguente strumentazione:

- ecografi *single-beam* di tipo *Royal RF-350A* e *RESON Navisound 215*;
- ecografo integrato *side scan sonar* e *multibeam Reason Seabat 81125*; sistema di posizionamento satellitare GPS *Garmin GPSmap 60c*, utilizzato per il posizionamento dell'ecografo analogico.

Le missioni sono state effettuate su piccole imbarcazioni: gommone tipo *Zodiac*, del C.F.V.A., motovedetta del C.F.V.A., e motovedetta della Capitaneria di Porto di Cagliari (CP2100). Tutte le imbarcazioni erano corredate di GPS ed ecoscandaglio.

Le missioni sono state svolte in diverse campagne; la prima dal 12/2002 al 9/2003 ha comportato 22 uscite giornaliere, 15 missioni giornaliere sono state effettuate dal 5/2004 al 9/2005 per rilievi di dettaglio in aree designate e 12 missioni giornaliere da gennaio a luglio 2006 in collaborazione con un laureando in Scienze Geologiche per una tesi riguardante la sedimentologia dell'area marina circostante il promontorio di Capo Sant'Elia (PUDDU, 2006).

Posizionamento dati mare

La determinazione della posizione delle imbarcazioni è stata effettuata con l'ausilio di un sistema di posizionamento satellitare GPS. I dati di posizione sono stati acquisiti nel sistema di riferimento UTM fuso 32. I parametri geodetici sono stati uniformati in fase di digitalizzazione del dato nel sistema con ellissoide internazionale UTM, Datum ED1950.

Esecuzione dei transetti ecografici single-beam

Il sonar opera a 200 kHz permettendo qualche possibilità di penetrazione del sottofondo marino, soprattutto in presenza di sedimenti fini. Il trasduttore dell'ecografo è stato ancorato nelle diverse imbarcazioni adoperate tramite supporto metallico, costituito da un braccio e un morsetto, in modo che funzionasse stando sempre immerso in posizione verticale, sufficientemente lontano dall'elica del motore e a una profondità costante.

La calibrazione dell'ecoscandaglio è stata eseguita tramite misurazione diretta del fondale con rotella metrica fino ad una profondità di 10m, e ha dimostrato l'affidabilità del dato batimetrico. La velocità di propagazione del suono è stata considerata costante, indipendentemente da variazioni di temperatura dell'acqua.

Durante la navigazione, ogni 5 minuti, sono stati annotati i *fix* con posizione GPS, profondità e eventuali note. Ogni *fix* è stato indicato precisando il transetto a cui appartiene. I *fix* registrati sono stati usati per tracciare i profili in carta e in seguito per la stesura della carta batimetrica.

Esecuzione dei profili multibeam / side scan sonar

I transetti sono stati eseguiti in aree campione e utilizzati a comparazione e integrazione dei dati provenienti dai profili con ecografo analogico *single beam*. Per l'esecuzione dei rilievi si è utilizzata un'ampiezza del fascio registrazione del sistema di 200m. La registrazione è stata in seguito elaborata tramite *softwares* specifici (fase di mosaicatura dall'immagine) in modo da ottenere un'immagine georeferenziata nei più comuni formati grafici (TIF, JPEG, ecc.). La registrazione in questa fase è stata modificata con l'amplificazione del segnale utile e l'eliminazione di eventuali disturbi acustici. Le immagini così ricostruite hanno una risoluzione grafica di *1pixel/m* in modo da limitare le dimensioni dei *file* ed evitare nel contempo perdite di definizione. Le immagini ottenute sono state inserite nel programma GIS Didger 3, della Golden Softwares, sotto forma di immagini *raster* e utilizzate insieme agli altri dati ecografici in fase di interpretazione.

Posizionamento dei profili

La campagna di rilievi è stata eseguita in modo da permettere la ricostruzione della batimetria, con l'integrazione di dati preesistenti, l'identificazione dei maggiori elementi morfo-strutturali e l'ubicazione delle nuove campionature dei sedimenti.

Il *data-set* acquisito è costituito da 18 profili *narrow-beam* (200 kHz). Nove profili sono stati eseguiti perpendicolarmente alla linea di costa fino alla profondità di circa 125 metri e spazati da 2 a 4 Km, sei profili interessano la parte centrale della piattaforma da riva alla profondità di 35m, ugualmente ortogonali alla costa, mentre altri 3 attraversano obliquamente il banco a Posidonia nella stessa area. Inoltre due profili *multibeam - side scan sonar* sono stati eseguiti in corrispondenza di C.S.Elia e della spiaggia della Maddalena.

Il vantaggio di profili ortogonali alla costa è quello di permettere una buona descrizione dei limiti zonalì che avvengono in relazione all'aumento di profondità e individuare le principali morfostrutture che si sviluppano in modo generalmente parallelo all'andamento batimetrico.

Stesura della carta batimetrica, metodologie informatiche applicate

Sulla base delle registrazioni ecografiche effettuate è stata elaborata una carta batimetrica della piattaforma, e della scarpata-bacino, con intervalli di 5m nella piattaforma e di 100 m oltre la rottura di pendio (*shelfbreak*) facendo convergere in un unico file CAD georeferenziato e quotato i dati della cartografia nautica dell'I.I.M.I. su differenti scale (I.I.M.I., 1990, 1999), della cartografia I.G.M. in scala 1:25.000 e 1:50.000 (I.G.M.I., 1994) e di diversi lavori sulle aree interne del Golfo (TILOCCA 1984, LECCA *et alii* 1998, 2005, DE MURO e KALB 2003, PUDDU 2006,). La base cartografica è stata acquisita direttamente in formato digitale nella Proiezione UTM – Fuso 32, Datum European 1950. La ricostruzione delle rotte è stata realizzata tramite l'unione dei *fix* registrati in fase di navigazione. La carta batimetrica è stata realizzata riportando un punto nel *GIS* all'intercettazione di ogni batimetrica con il fondale lungo i profili ecografici. Quando questo avveniva tra due *fix* successivi il punto intermedio è stato determinato tramite metodi grafici. L'interpolazione tra i punti è stata effettuata sulla base delle conoscenze precedenti della morfologia della piattaforma, caratterizzata, come detto, dalla predominanza di lineamenti strutturali paralleli alle isobate, che hanno consentito di correlare i punti nelle zone non coperte dai profili, riconoscendo un sistema di alti strutturali e depressioni associate, presenti a vari livelli batimetrici nel Golfo (Fig. 1).

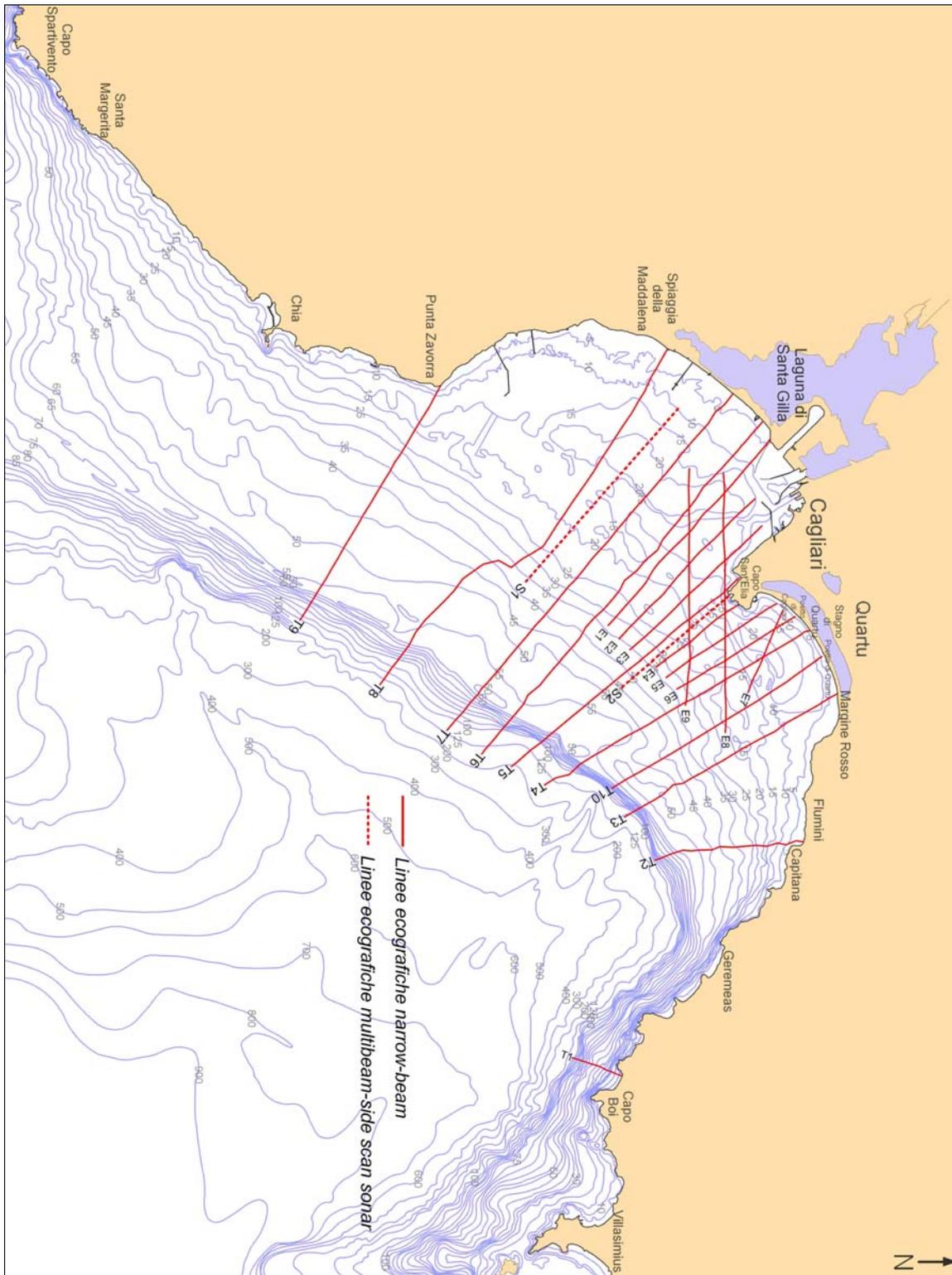


Fig. 1. Carta batimetrica del Golfo di Cagliari e ubicazione delle linee ecografiche acquisite nel presente studio.

I dati batimetrici sono stati utilizzati inoltre per la realizzazione di un modello tridimensionale della piattaforma. Ogni curva batimetrica è caratterizzata da un insieme di punti aventi la stessa quota, che vengono interpolati con la batimetrica successiva dal programma Golden Software's Surfer 8.0. L'andamento prevalentemente parallelo delle isobate consente una buona rappresentazione della morfologia anche dove non si dispone di un numero elevato di batimetrie puntuali.

Sulla cartografia così elaborata si è proceduto alla determinazione delle facies ecografiche e alla definizione degli ambienti sedimentari.

Altri dati ecografici disponibili

I dati ecografici e sedimentologici di superficie sono stati integrati con linee *Sparker* (500 J) ed ecografiche già interpretate (Lecca *et al.*, 1998), e profili acquisiti durante la campagne *Placers* consistenti di profili sismici *sub-bottom profiler* (SBP) e *side scan sonar* (SSS) analogico Teledyne su supporto cartaceo. E' stata inoltre utilizzata la copertura *side scan sonar* realizzata nel progetto "Mappatura delle praterie di Posidonia oceanica lungo le coste della Sardegna e delle piccole isole circostanti", consistente, nel Golfo di Cagliari, di due immagini *raster* georeferenziate che coprono un areale della piattaforma dalla batimetrica dei 5m fino a 50m di profondità circa.

Le carte delle rotte delle campagne *placers 80/1* e *placers 78/1* sono state scansionate dall'originale cartaceo in formato 1:50000 e georeferenziate in formato *European Datum 1950* (in modo da uniformarle alle coordinate spaziali del restante *data-set*). Le immagini *raster* così ottenute sono state inserite nel GIS, e le rotte sono state digitalizzate come polilinee e inserite in un progetto vettoriale.

Il fotomosaico SSS ha fornito la base per il lavoro interpretativo sui sedimenti superficiali in settori non investigati dai profili ecografici *single beam* e *side scan sonar*. Questi ultimi presentano una migliore definizione e sono stati utilizzati per sezioni di dettaglio oltre che per la "taratura" del fotomosaico. La metodologia interpretativa si è quindi basata sulla comparazione e integrazione dei dati forniti dai diversi strumenti con analisi sovrapposta dei dati che ha permesso di caratterizzare gli aspetti fondamentali dei vari ambienti deposizionali. Nei settori costieri l'individuazione delle zone di campionamento e la mappatura della posidonia sono state effettuate tramite

l'osservazione di ortofoto, che benché non permettano di discriminare la presenza di Posidonia tra le altre fanerogame o alghe, consentono la decisiva individuazione di zone a sedimento mobile rispetto a quelle con copertura vegetale.

I campionamenti hanno infine fornito la chiave di lettura sedimentologica, permettendo di definire le diverse tipologie di sedimento associate a ciascun ambiente individuato.

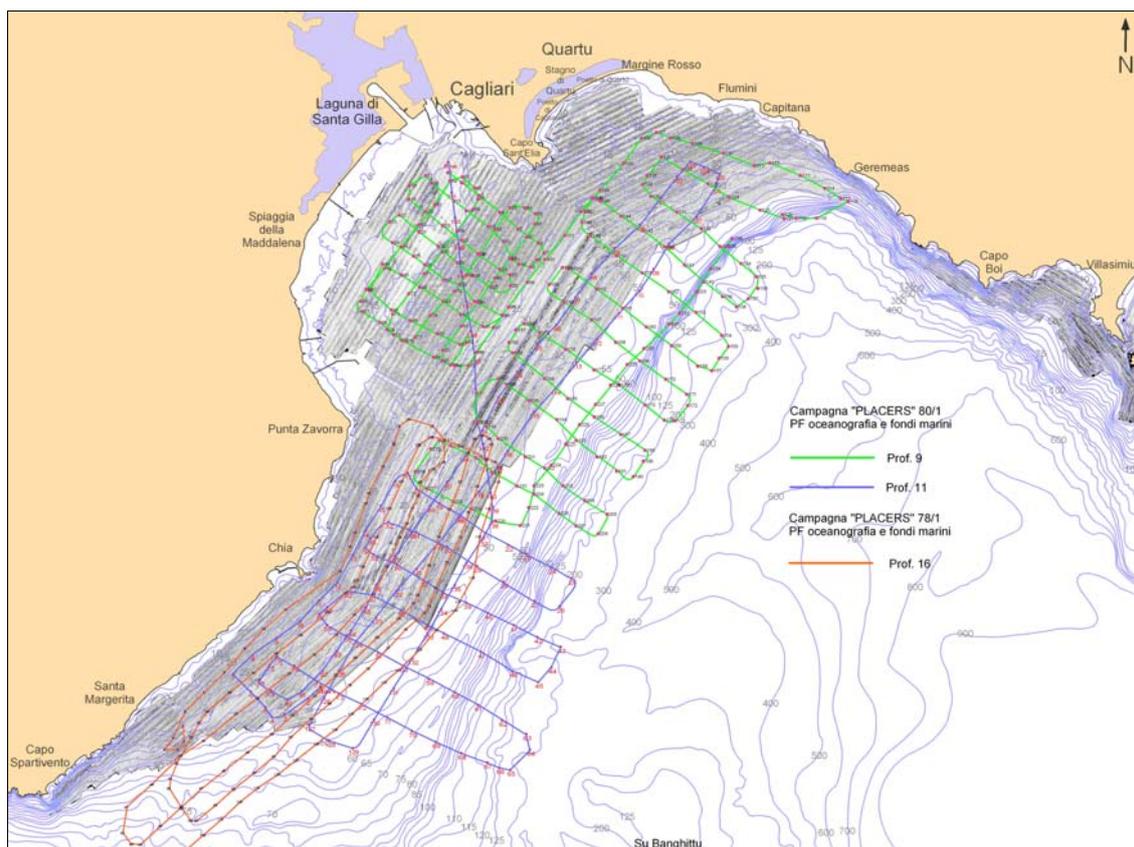


Fig. 3. Dati ecografici disponibili. Le rotte SBP e SSS delle campagne *placers* 78/1 e 80/1 sono sovrapposte al mosaico SSS del progetto “Mappatura delle praterie di Posidonia oceanica lungo le coste della Sardegna e delle piccole isole circostanti” (1999)

2.2 Campionamenti sedimentologici

Sono state eseguite 201 campionature, di cui 43 lungo la battigia e restanti 158 in piattaforma fino alla profondità di circa 100 m, mediante benna *Van Veen* del volume di 5 dm³. Le campionature sono state effettuate sia a mano, sia mediante un salpalamito ancorato all'imbarcazione e agente su una gruetta metallica con uno sbraccio di circa

1,2m. Questa ha permesso una migliore distribuzione dello sforzo è un più agevole recupero dei campioni. Le campionature sono state posizionate inizialmente lungo le linee ecografiche *single-beam* per fasce batimetriche in modo da ottenere una preliminare conoscenza dei vari ambienti sedimentari: un campione alla profondità di 5 metri, tre campioni tra la fine del primo banco a posidonie e l'inizio del banco principale (dove questa suddivisione è presente), un campione all'interno del banco principale, un campione dopo il limite inferiore della prateria a circa -35 m ed un campione attorno ai -50 m. In seguito sono stati prelevati diversi campioni nel settore intermedio-distale della piattaforma. Ulteriori campionamenti sono stati ubicati lungo le linee SBP, e sulle immagini *raster SSS* del progetto ministeriale.

La presenza di un fitto e prevalentemente continuo banco a Posidonia nella piattaforma intermedia e interna del golfo non ha permesso in queste zone il campionamento con benna, che non preleva sedimento ma si limita a richiudersi sulla Posidonia e sradicare i rizomi. In questa fascia il campionamento è stato possibile in aree selezionate, all'interno delle depressioni di *intra-mattes* (biblio). Queste costituiscono delle aree depresse, probabilmente di origine erosionale, talvolta allungate parallelamente alla batimetria, di dimensioni ridotte (da metriche a decametriche), con presenza di sedimento libero. La localizzazione delle *intra-mattes* è stata fatta sulla base del mosaico SSS, e i punti di campionamento sono stati ubicati nel GIS lungo le *intra-mattes* più grandi. L'esigua larghezza delle strutture impone un posizionamento dell'imbarcazione molto preciso, rispetto al punto GPS determinato in carta, e operazioni di campionamento rapide per evitare la deriva dell'imbarcazione su aree colonizzate dalla Posidonia. Il posizionamento delle campionature e la profondità di prelievo sono riportati nell'Allegato 1.

Osservazione e campionamenti sottomarini

Lo studio dei profili ecografici ha mostrato la presenza di corpi litificati, lineari, di lunghezza chilometrica, relativi a livelli di stazionamento marini, sui quali si è ritenuta opportuna l'ispezione visiva sottomarina, e il prelievo di campioni di sedimento.

E' stata effettuata una immersione nel Golfo di Quartu, alla profondità di 16÷20 m, che ha permesso l'osservazione della morfologia e la discriminazione del tipo di substrato.

In fase operativa, a partire dalla zona più prossima al punto di campionamento, ottenuta tramite il sistema di posizionamento satellitare, si è proceduto all'immersione con discesa libera dall'imbarcazione e al prelievo di due campioni litificati e di sedimento sciolto dal fondale circostante.

3. ELEMENTI SUL CLIMA ED ECOLOGIA DEL GOLFO DI CAGLIARI

La valutazione dei fattori climatici, oceanografici e biologici è importante ai fini della comprensione dei processi sedimentari di una piattaforma di media latitudine come quella di Cagliari.

La temperatura delle acque, la circolazione e la salinità sono i principali fattori che contribuiscono, insieme al tasso di apporti sedimentari, a determinare le associazioni biologiche presenti, le quali caratterizzano le dinamiche sedimentarie nell'attuale contesto eustatico della piattaforma. In fasi di *highstand* infatti in piattaforma prevalgono di processi di tipo biologico, mentre in regime di *lowstand* prevalgono processi terrigeni. Vengono di seguito esposti alcuni elementi sia di tipo bibliografico, sia elementi originali emersi dall'interpretazione delle facies sedimentarie ed ecografiche, riguardanti le caratteristiche e la distribuzione areale dei principali ecosistemi presenti in piattaforma.

3.1 Regime dei venti, contesto idrodinamico e climatico

La stazione ventometrica di Cagliari rileva un regime dei venti caratterizzato dalla predominanza di due direzioni di provenienza: quella di N-NO (maestrale) e quella di S-SE (scirocco), (Fig.1).

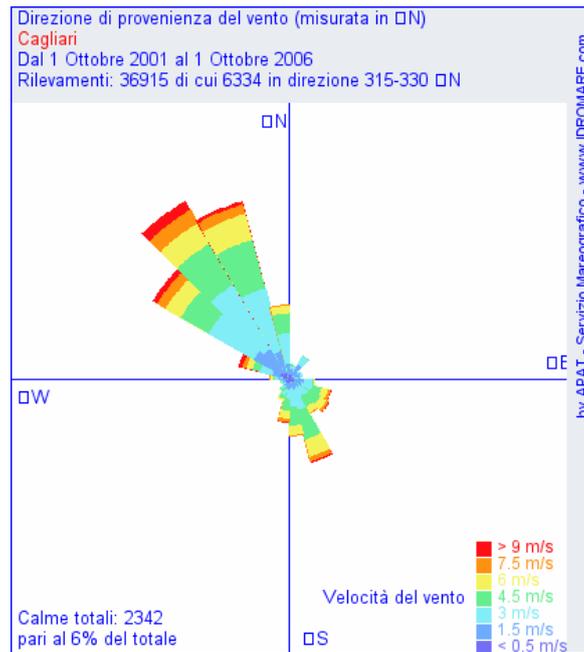


Fig. 1. Misurazione di intensità e provenienza del vento misurata nel porto di Cagliari per un periodo di osservazione di 5 anni.

Il maestrale è un vento comunemente noto nella città di Cagliari, che da NO raggiunge le coste occidentali della Sardegna, si incanala lungo la pianura del Campidano, che congiunge il golfo di Oristano con quello di Cagliari, e spira sulla città con intensità e frequenza notevoli durante tutto l'anno. Lo scirocco è il secondo vento più comune che in periodo prevalentemente estivo-autunnale produce importanti mareggiate lungo le coste meridionali della Sardegna.

Nonostante la predominanza delle burrasche di vento (forza 7-12) sia da NordOvest si ritiene che ai fini delle dinamiche sedimentarie l'importanza di questo vento nel golfo sia subordinata a quella dello scirocco poiché il ridosso della costa fa sì che solo una piccola estensione d'acqua in piattaforma sia soggetta al *fetch* (lunghezza dell'area necessaria per il raggiungimento delle massime altezze e lunghezze delle onde, per un vento di direzione costante, in un dato tempo) e che perciò sia impedita la formazione di onde di dimensioni significative per la dinamica sedimentaria. Lo scirocco al contrario dispone di superfici più ampie lungo il canale tunisino e causa la formazione di onde di dimensione maggiore con mareggiate importanti (mare 6-8) (cita lavoro posidonia) provenienti da SudEst. E' comunque verosimile che il maestrale stesso sia suscettibile di produrre un moto ondoso all'interno del golfo tramite fenomeni di rifrazione delle

onde che attorno al capo spartivento, da NO, si riorientano per incidere con una provenienza complessiva SO.

In generale il contesto mediterraneo è conosciuto per un moto ondoso di piccole dimensioni, dovuto alla scarsa estensione delle aree marine soggette all'azione dei venti. L'escursione di marea è limitata (regime microtidalico); a Cagliari si registrano valori estremi nel periodo equinoziale che portano ad una massimo di escursione stagionale di circa 0,80m, mentre l'escursione giornaliera media è inferiore 30cm (Fig. 2).

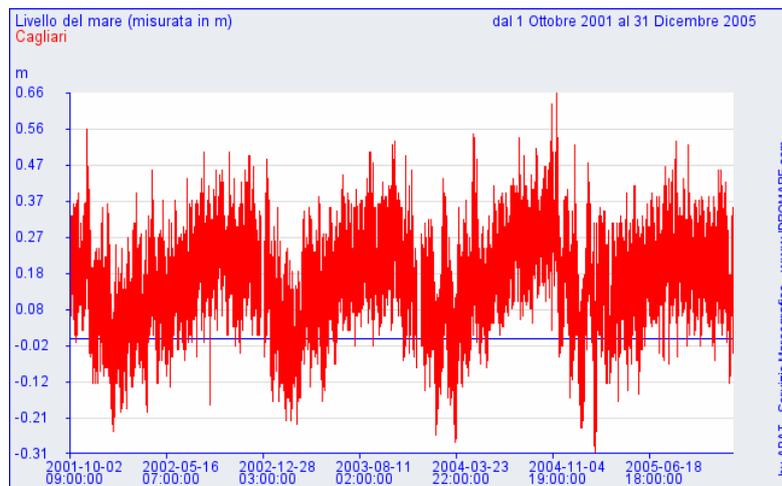


Fig. 2. Escursione di marea giornaliera nel Golfo di Cagliari misurata per un periodo di osservazione di 4 anni. Il picco di alta e bassa marea corrispondono rispettivamente all'equinozio di primavera e d'autunno.

Le temperature dell'acqua registrate spaziano da una minima invernale di 12 ad una massima estiva di 26 gradi con occasionali picchi di 30°. Il clima a cui è soggetto il Golfo di Cagliari, come noto, è mediterraneo caldo (sub-tropicale), poco piovoso (inferiore a 500 mm/a; PINNA 1971; RAIMONDI *et al*, 1995). La salinità è di circa 37÷38‰ (METALLO, 1971; MOSETTI, 1977).

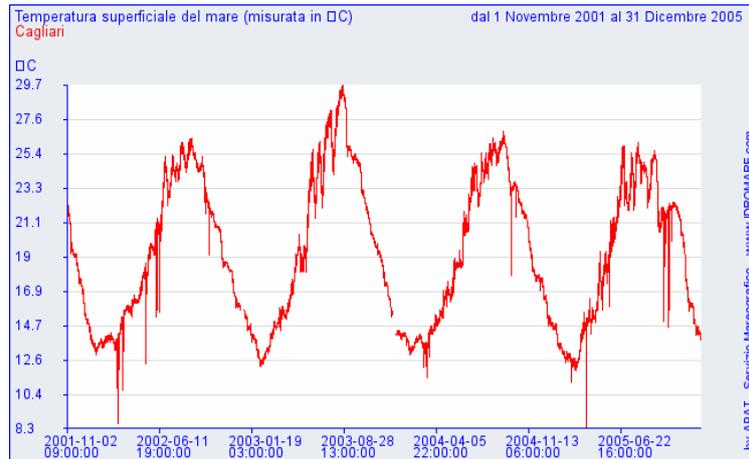


Fig. 3. Temperature medie superficiali nel Golfo di Cagliari per un periodo di osservazione di 4 anni.

Le condizioni di mare temperato, di transizione tra quelle dei mari tropicali e quelle dei mari più freddi delle alte latitudini, determinano una sedimentazione mista o localmente carbonatica, descritta come “*cold temperate-transitional*” (zona B - zona C sensu CARANNANTE *et al.*, 1988) e conosciuta sia in ambienti fossili che in altri ambienti del Mediterraneo (MATEU G., 1989; FORNOS *et al.*, 1991; DIAZ DEL RIO V. *et al.*, 1992; ACOSTA J. *et al.* 1992; CARANNANTE *et al.*, 1988) e caratterizzata dalla prevalenza di componente calcarea algale e associazioni di organismi di tipo *rhodalgae* e *molecor*.

3.2 Ecosistema della piattaforma di Cagliari

Il Golfo di Cagliari ospita diverse biocenosi legate alle caratteristiche fisico-ambientali, come profondità, tipo di sedimenti presenti nel fondale e energia dell’ambiente. Sulla base di campionature e dei rilievi acustici sono state individuate in piattaforma quattro principali associazioni ecologiche, di diversa importanza nel bilancio sedimentario complessivo. Dalla spiaggia sommersa verso largo incontriamo:

- Una associazione prossimale a lamellibranchi, in fondali sabbiosi fini e fangosi nelle acque tranquille della piattaforma interna.
- Una biocenosi legata alla presenza della prateria a Posidonia con lamellibranchi, alghe rosse, briozoi, echinidi e foraminiferi a profondità comprese tra 15 e 35m.

- Una biocenosi più profonda ad alghe rosse e foraminiferi che prospera in fondali profondi, poco luminosi e tranquilli, da -50m fino a -70 metri circa.
- Infine una associazione distale di minore importanza a piccoli bivalvi, echinidi, scafopodi e foraminiferi planctonici nella stretta piattaforma esterna, oltre gli 80 m di profondità.

Associazione a lamellibranchi della piattaforma interna

La parte più interna della piattaforma ospita su sedimenti sabbiosi fini e fangosi una biocenosi di limivori e filtratori, i cui resti scheletrici sono principalmente costituiti da numerosi bivalvi come mitili, petinidi e cardidi, gasteropodi, foraminiferi, briozoi, radioli di echinidi, rari noduli algali e localmente corallo bianco, mandibole di pesci e chele di crostacei. Da segnalare inoltre l'importanza della componente organogena costituita da *fecal pellets* e residui di foglie di posidonia morta. Le particelle fecali sono ovoidali con una superficie scabra, di dimensioni variabili tra 500÷125 μm , e formate da materia organica, una componente siltosa ed una carbonatica. Gli organismi colonizzano areali a bassa energia come il settore prossimale del golfo della Maddalena e le parti più profonde della depressione del golfo di Quartu, vivendo parzialmente infossati nel sedimento. La componente bioclastica attribuibile ai molluschi riveste una notevole importanza data la sua distribuzione in tutta la piattaforma. I fondali si situano nello *shoreface inferiore* (definito come l'ambiente al di sotto del limite d'azione dell'onda di bel tempo), e sono colonizzati in maniera discontinua da alghe (Caulerpacee) basse fanerogame (Cymodoceae) e Posidonia con ampie praterie algali e zone sprovviste di vegetazione.

Il basso idrodinamismo favorisce la presenza degli organismi limitando l'eccessiva risospensione dei materiali fini presenti in queste aree. Queste zone interne del golfo sono infatti soggette all'accumulo delle code più fini degli apporti alluvionali che con mare calmo hanno la possibilità di decantare. Alcune comunità vivono su un substrato fangoso con una alta componente organica talvolta superiore al 50% in volume dei materiali. I gusci si presentano anneriti a causa del seppellimento nel fango per il persistere di condizioni riducenti al di sotto dell'interfaccia acqua-sedimento. Le analisi calcimetriche e diffrattometriche effettuate sui sedimenti campionati in quest'area mostrano un tenore in carbonato di circa il 20% e un rapporto Aragonite/Calcite

variabile dal 20 al 40%, documentando una importante presenza di questa fase cristallina nella depressione fangosa della piattaforma interna del golfo di Cagliari.

Prateria di Posidonia oceanica

La Posidonia - *Posidonia oceanica*, (L.), Delile - è una fanerogama marina, una pianta superiore con caratteristiche simili alle piante terrestri, provvista di fiori, di frutti e dotata di uno sviluppato sistema vascolare, con radici, fusti e foglie. La pianta è classificata nel phylum *Spermatophyta*, subphylum *Angiosperme*, classe *Monocotyledoneae*, sottoclasse *Helobiae*, ordine *Potamogetonaceae*, famiglia *Posidoniaceae* (RIEDL R., 1991). La Posidonia è una fanerogama marina endemica del Mediterraneo, benché altre specie appartenenti al genere *Posidonia* (es. *P.australis*, *P.angustifolia*, *P.sinuosa*) siano distribuite lungo le coste meridionali dell'Australia (GOSTIN V.A. et al., 1984 a, b). La classificazione nel subphylum *Angiosperme* indica che le Posidonie sono piante a riproduzione sessuata con produzione di frutti (BIANCHI ET AL.1998), le cosiddette 'olive di mare', benchè la principale modalità di riproduzione e accrescimento sia la proliferazione vegetativa. Il fusto della Posidonia è modificato in rizoma, dal cui lato ventrale si formano le radici che, fissandosi al substrato, entrano a fare parte del sistema di ancoraggio della pianta. Nella parte superiore del rizoma è situato l'apice vegetativo da cui originano le foglie organizzate in ciuffi composti da 6-7 foglie ciascuno, con disposizione a ventaglio in cui quelle più vecchie e più lunghe sono più esterne, mentre quelle più giovani e più corte sono più interne. Le foglie sono nastriformi, con l'apice arrotondato, di colore verde intenso, larghe mediamente un centimetro e possono superare il metro di lunghezza.

Le praterie di fanerogame marine sono tra gli ecosistemi più produttivi. La produzione primaria, essendo legata alla intensità luminosa, è fortemente influenzata dalle condizioni ambientali e soprattutto dalla trasparenza dell'acqua, e decresce con la profondità delle praterie. Solo una porzione della produzione primaria della Posidonia è consumata direttamente in sito, la maggior parte viene esportata verso altri ecosistemi e riciclato attraverso la catena alimentare (macroerbivori e detritivori). In questa piattaforma, così come in tutto il Mediterraneo, gran parte della produzione di biomassa deve essere associata all'ecosistema della Posidonia che assieme a *Cymodocea nodosa* (Ucria, Ascherson), *Zostera noltii* (Hornemann) e *Zostera marina* (L.), esercita un

controllo ecologico dominante e ha importanti relazioni di *feedback* con l'intero sistema biologico e sedimentario.

Nella fascia compresa tra la superficie e i 30 metri di profondità circa, la Posidonia forma delle vaste praterie, le cui caratteristiche variano in relazione alla morfologia del fondale, alla trasparenza dell'acqua, all'età delle praterie stesse e alle eventuali modificazioni apportate dall'uomo.

Queste fanerogame possono essere considerate specie strutturanti, cioè specie che edificano ecosistemi, in quanto amplificano il substrato primario e offrono una molteplicità di *habitat* e risorse e contribuiscono ad aumentare la biodiversità. In particolare nelle praterie di Posidonia si riscontra una più alta biodiversità rispetto agli altri ecosistemi marini. Si possono trovare, oltre a numerose micro e macroalghe, specie appartenenti a quasi tutti i gruppi zoologici dagli invertebrati più semplici, Spugne e Celenterati, e alle forme più evolute come Echinodermi, Molluschi, Crostacei e Pesci. Complessivamente la biodiversità è stimata in circa 400 specie di alghe e diverse migliaia di specie di animali (GAZALE & PORCHEDDU, 1993). La biomassa animale prodotta per ettaro di prateria è stimabile in circa 15 tonnellate per anno (UNESCO, 1977).

Oltre a essere il luogo ideale per la riproduzione e per i primi stadi di vita di molte specie, anche di interesse commerciale, le praterie svolgono un'importante funzione nella protezione delle coste dall'erosione. Questa azione si esplica sia per mezzo delle foglie, che attenuano, per attrito, l'energia del moto ondoso e delle correnti, sia per la capacità di stabilizzazione e innalzamento del fondo marino.

Una delle caratteristiche peculiari del rizoma della Posidonia è la capacità di accrescersi in orizzontale (plagiotropia) e in verticale (ortotopia). Tale sviluppo avviene sia per contrastare il progressivo insabbiamento dovuto alla continua deposizione di sedimenti trasportati dalle correnti, che li depongono per caduta di energia al contatto con le strutture (PÉRÈS & PICARD, 1964), sia per sfruttare al massimo lo spazio e la luce disponibili. I due tipi di crescita permettono così alla pianta di colonizzare aree contigue, dando origine a una tipica formazione a terrazzo chiamata con il termine francese *matte*.

La *matte* è costituita da un fitto intreccio formato da più strati di rizomi e di radici di vecchie piante e da sedimento intrappolato e compattato tra queste. La sommità di

questo terrazzo è ricoperto dai fasci di foglie delle piante viventi mentre tra le *mattes* sono presenti dei canali di natura erosionale, spesso a sedimentazione bioclastica, che le separano e costituiscono una struttura fisiologica per il funzionamento delle praterie nel loro insieme.

Le *mattes* hanno un innalzamento medio di 1 metro al secolo, e formano lungo le coste delle barriere naturali che le proteggono dall'erosione. Inoltre la caduta delle foglie, in concomitanza delle prime mareggiate autunnali, determina sul litorale degli accumuli di fogliame, denominati banchetti, che smorzano l'impatto delle onde. Se l'ambiente è caratterizzato da alta energia, l'elevazione del *build-up* rizomi-sedimenti si arresta e le onde di tempesta ne abrasano le superfici formando pozzi e canali *intermattes*. I bordi vengono approfonditi e si presentano molto ripidi ed irregolari; in acque più profonde, col diminuire dell'energia, le pareti divengono invece più basse e assumono una pendenza più dolce (NEWTON R.S. & STEFANON A., 1982). In ambienti a bassa energia le *mattes* possono crescere fino alla superficie dell'acqua delimitando verso terra delle lagune protette (*récif-frangeant* o *récif-barrière*). Queste vengono eventualmente colmate dai sedimenti fini degli apporti fluviali. Il fronte interno della barriera viene allora a trovarsi in condizioni di importanti variazioni di salinità e temperatura con ristagno delle acque e degradazione della Posidonia che viene sostituita da altre popolazioni (PÉRÈS & PICARD, 1964).

Il ruolo delle praterie nell'equilibrio della fascia costiera può essere riassunto nei seguenti punti: stabilizzazione del fondo marino, attraverso lo sviluppo di un efficace apparato radicale e stolonifero; riduzione dell'intensità dei movimenti dell'acqua, con conseguente preservazione delle coste dall'erosione, grazie all'azione di smorzamento da parte delle *mattes* e dello strato fogliare; elevata produzione di ossigeno e di materia organica, attraverso il processo fotosintesi e fornitura di cibo, diretta e indiretta, per numerosi organismi; *habitat* di una complessa rete trofica con numerose specie anche di rilevanza economica come pesci, cefalopodi e crostacei.

Nel Golfo di Cagliari si osserva la presenza di una prima prateria prossimale, da pochi metri di profondità con morfologia a *mattes* basse e irregolarmente distribuite, probabilmente in relazione al tipo di substrato e alla bassa energia dell'ambiente. Nelle aree depresse della piattaforma interna le praterie si diradano (settore Est) o spariscono completamente (settore Ovest) per la profondità di questi fondali e le condizioni

ambientali non favorevoli alla vita della specie (torbidità e scarso ricambio delle acque, eccesso di sedimentazione fine, diminuzione della luce, ecc.). Oltre le depressioni, al di sopra del rilievo della piattaforma intermedia si osserva invece lo sviluppo della più importante colonizzazione a Posidonia del golfo, qui denominata “banco principale”, per la sua elevata capacità aggradante mostrata dallo sviluppo di ampie *mattes* alte 2÷3 m e di canali *intramattes* allineati spesso parallelamente alle isobate (Fig. 4).

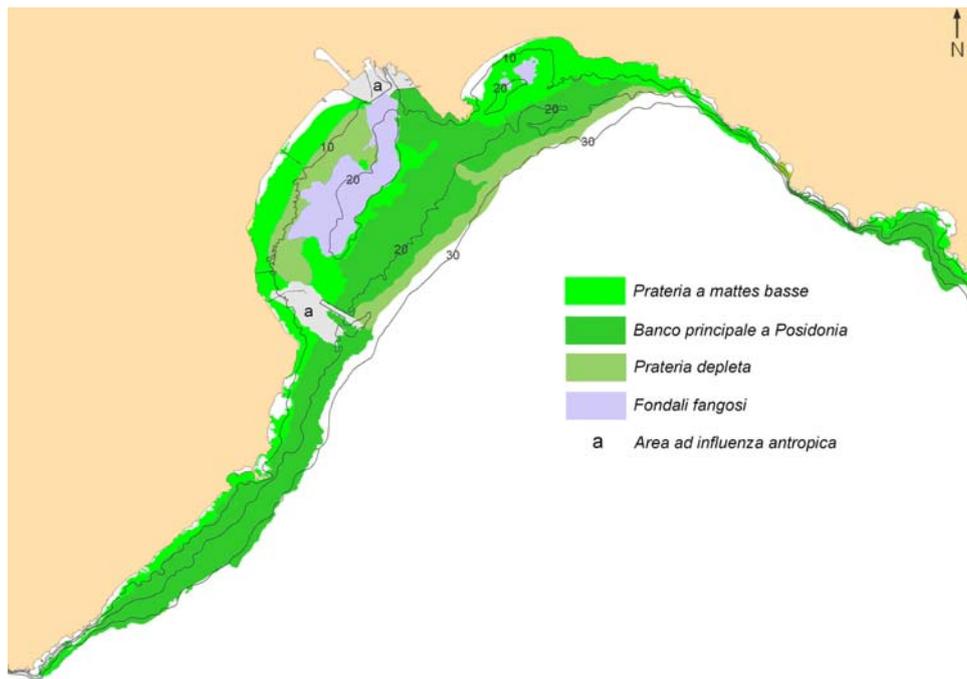


Fig. 4. Estensione della prateria a Posidonia oceanica nel golfo di Cagliari.

Nel settore occidentale del golfo il *build-up* del banco principale a Posidonia favorisce l’instaurarsi, in piattaforma interna, di una zona a scarsa circolazione delle acque caratterizzata da fondali fangosi, che costituisce una sorta di laguna di mare temperato. Quest’area, anche grazie alla sua morfologia depressa è sede d’accumulo dei materiali più fini e dei residui organici del banco, che decantano formando ingenti spessori di fanghi torbosi a posidonie e zostere.

Questi depositi, con esigue intercalazioni sabbiose e conchiglie sub-fossili sono stati segnalati da diversi Autori (GANDIN 1970 e 1979, *op.cit.*, PITTAU DEMELIA & LOI, 1981 *op. cit.*) e costituiscono buona parte del riempimento, durante la trasgressione versiliana, delle depressioni della piattaforma. Altri depositi di fanghi torbosi a residui di posidonie

vengono segnalati inoltre in altre piane costiere della Sardegna (MAXIA C. & PECORINI G., 1968).

Recenti studi di carattere ambientale condotti dal Ministero dell'Ambiente hanno accertato la presenza di condizioni di degrado della prateria, soprattutto nel settore occidentale del Golfo. Questo può essere dovuto in parte alle attuali caratteristiche ambientali dell'area citate in precedenza (e modificate nelle ultime fasi della trasgressione versiliana) e in parte per cause antropiche. Le praterie di Posidonia possono infatti essere state danneggiate da azioni meccaniche come ancoraggi incontrollati, dalla pesca a strascico, per insabbiamento o erosione dovute alle costruzioni di opere a mare che modificano l'andamento delle correnti costiere e infine per il deterioramento della qualità delle acque e/o aumento della torbidità.

Biocenosi ad alghe rosse della piattaforma intermedia e distale

A profondità maggiori di 50m circa, in condizioni oligofotiche e di bassa energia le sole specie vegetali presenti sono le alghe rosse, che ricoprono i fondali formando vasti tappeti piuttosto continui e permettono l'instaurarsi di una importante rete trofica anche a queste grandi profondità.

I fondali sono colonizzati da una biocenosi associata, secondaria per importanza solo a quella delle posidonie, costituita da molluschi, briozoi, foraminiferi (soprattutto forme bentoniche) ed echinodermi.

Nell'ambito dell'intera piattaforma la maggiore produttività bioclastica deve essere attribuita alle alghe rosse. Tra queste possono essere distinte le alghe calcificate, a scheletro calcareo, dalle specie non calcificate dove la deposizione di carbonato si verifica solo nella parte sciafila per opera di organismi epifiti. Le specie non calcificate infine, pur non costituendo una fonte di sedimento calcareo costituiscono un anello importante della rete trofica di questi fondali e contribuiscono al mantenimento di questa biocenosi (Fig.5).

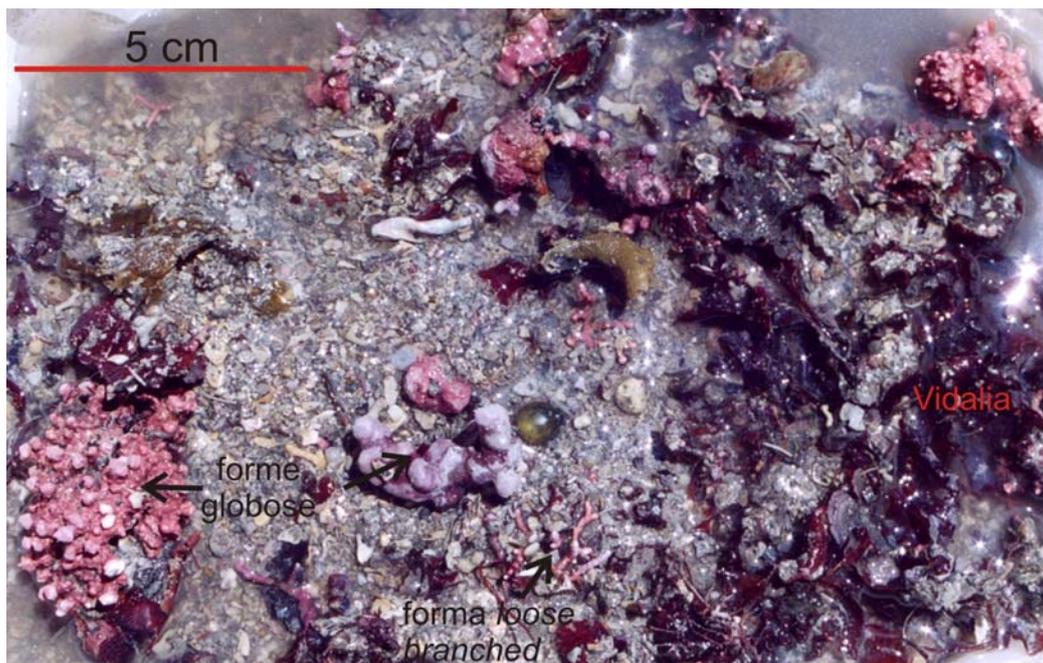


Fig. 5. Campione in *facies* ad alghe rosse con componente algale di varie specie calcificate e non.

L'associazione ad alghe rosse è presente fino a profondità di 65÷70 m oltre la quale scompare per assenza di luce.

Associazione distale a bivalvi ed echinidi

A profondità di circa 80 m è presente nel margine esterno della piattaforma, su fondali sabbiosi fini-fangosi una colonizzazione di minore importanza ai fini del bilancio complessivo della piattaforma, di piccoli bivalvi, echinidi e scafopodi. Insieme a questa associazione si rinvencono anche forme planctoniche di foraminiferi, in quantità minori rispetto alle altre componenti. Fra gli Echinodermi sono presenti i generi *Regularia* ma soprattutto *Irregularia*, come testimoniano abbondanti frammenti di gusci e radioli. L'aspetto e le dimensioni permettono di distinguere tra gli *Irregularia* l'*Echinocyamus pusillus*, lo *Schizaster canaliferus*, e lo *Spatangus purpureus* e tra i *Regularia* il *Paracentrotus lividus*. I bivalvi sono rappresentati da svariate famiglie, con forme prevalentemente a guscio sottile, tipiche degli ambienti a bassa energia.

4. DATI ECOGRAFICI E SEDIMENTOLOGICI

4.1 Analisi del data-set ecografico

Interpretazione delle linee ecografiche single-beam

In queste registrazioni sono state riconosciute la tipologia del fondo marino e alcune caratteristiche sedimentarie grazie alla struttura della riflessione e ai caratteri del segnale (Fig. 1). Le registrazioni sono costituite da rotoli cartacei di larghezza 9,8cm e lunghezza variabile, impressionati dal pennino dell'ecografo in base all'intensità della risposta ecografica, che risulta più o meno lunga a seconda che il segnale sia stato riflesso o diffratto da diversi tipi di fondale marino.

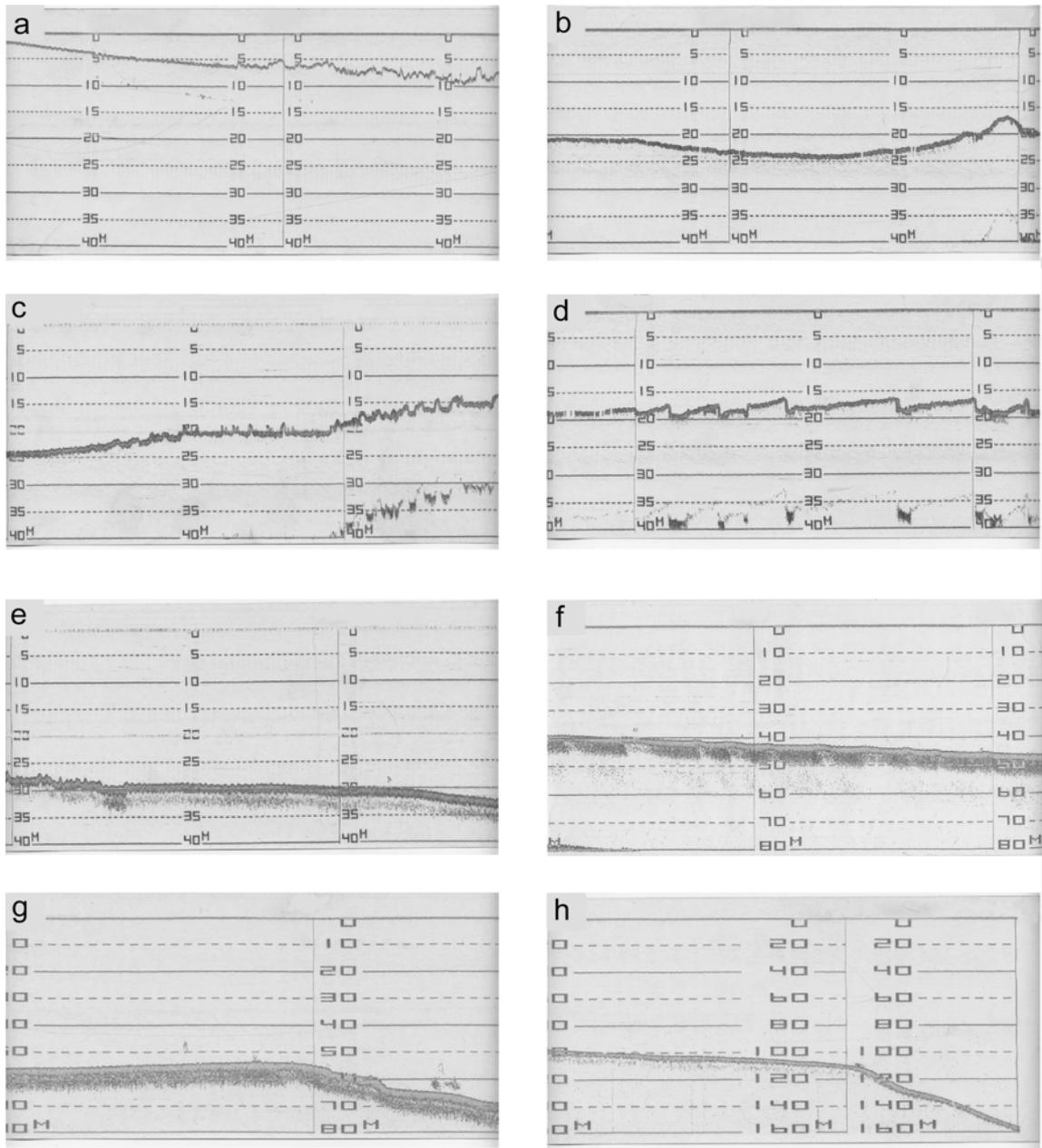


Fig. 1. Principali tipologie dei profili ecografici: a) *Shoreface* sabbioso e inizio prateria interna; b) depressione della piattaforma interna; c) transizione al banco principale a Posidonia; d) prateria a terrazzi; e) prateria diradata e transizione alla fascia a *sand waves*; f) *sand waves*; g) paleo linea di riva; h) bordo della piattaforma; i) depressione e banco principale a Posidonia in profilo *side scan sonar*.

In genere una risposta breve si associa a superfici deposizionali lateralmente continue prodotte da sedimenti sabbiosi con coda fine e regolare coefficiente di riflessione, mentre una risposta più lunga evidenzia superfici irregolari o materiali di maggior granulometria.

Le posidonie sono facilmente riconoscibili dai caratteristici gradini che evidenziano la presenza di *mattes* (*sensu* PEREZ & PICARD, 1964), e canali o depressioni chiuse di *inter* e *intra-matte*. La prateria depleta si riconosce per una morfologia ondulata non periodica e una risposta ecografica irregolare rispetto alle aree in sedimentazione sabbiosa-fangosa con fondali planari e ondulati. Un tipico *pattern* ecografico indicativo della presenza di *sand waves*, conosciuto in altre piattaforme (ALLEN, 1982; MCCAVE & LONGHORNE, 1982; FORNOS & AHR, 1997), è costituito da un'alternanza di risposta breve nella cresta e di una risposta lunga nel cavo delle ondulazioni.

Dalle linee ecografiche può inoltre essere dedotta la posizione dei livelli idrodinamici critici relativi al moto ondoso, consentendo di riferire l'inizio della prateria alla "base del moto ondoso di bel tempo" (*fair weather wave base: FWWB*) nella parte interna della piattaforma, e la transizione dalla fascia a *sand waves* ai fondali planari alla "base del moto ondoso di tempesta" (*storm wave base: SWB*) in piattaforma intermedia.

L'assenza in tutte le linee ecografiche di avvallamenti o incisioni localizzate e il prevalere di limiti zonali tendenzialmente paralleli alle isobate inducono a ritenere che l'idrodinamismo sia attribuibile in prevalenza al moto ondoso, rispetto a correnti di fondo di piattaforma.

Interpretazione dei profili side scan sonar

I sonogrammi SSS sono stati interpretati seguendo principi simili a quelli dell'ecografo, distinguendo diverse *facies* acustiche sulla base delle caratteristiche del segnale. Le ipotesi interpretative sono state messe inoltre a confronto con le conoscenze già acquisite della piattaforma. Alcune interpretazioni possono tuttavia essere considerate valide anche solo su base geofisica, nella fattispecie la distinzione tra gli elementi più facilmente identificabili come la presenza di sedimenti sciolti, affioramenti rocciosi o prateria di Posidonia nelle sue varie tipologie. Le posidonie, sia nella tipica struttura a *mattes* o su sabbia o roccia riescono ad essere ben distinguibili nelle immagini, mentre alcuni casi presentano problemi interpretativi maggiori come in presenza di *mattes* insabbiate o di bassi affioramenti di *beach-rock* (DE MURO & ORRÙ, 1998) coperti da Posidonia in maniera continua. Ma se la singola immagine può in questi casi presentare difficoltà di interpretazione, il confronto con le strutture osservate nei transetti adiacenti

e nelle altre tipologie di profili disponibili sono normalmente sufficienti ad ottenere una corretta interpretazione.

L'analisi dei sonogrammi analogici è stata effettuata tenendo conto della distorsione delle immagini nei loro rapporti dimensionali. Mentre la scala del profilo nella direzione perpendicolare alla rotta è fissa (variabile solo tramite le impostazioni strumentali) quella orizzontale varia in funzione della velocità di navigazione. Misurando la distanza media tra due *fix* successivi in carta si è risalito al rapporto tra le due dimensioni, stimando una sopravvalutazione della larghezza del profilo di 2,5 volte rispetto alla lunghezza. In fase interpretativa, alcuni tratti dei profili particolarmente interessanti sono stati scansionati e salvati su *file* e successivamente modificati fino a restituire all'immagine del fondale le proporzioni originali.

L'individuazione delle unità acustiche si basa oltre che sulla intensità della risposta anche sulla tipologia del *pattern* individuato.

I limiti delle unità presentano cambiamenti nel segnale tanto più marcato quanta più è grande la differenza di fondale presente, con transizioni che da nette e distinte possono diventare tanto graduali da dover essere attribuite più o meno arbitrariamente. Il limite *shoreface*-posidonie in piattaforma interna è ben marcato ed individuabile tramite un tipico gradino segnalato da un'ombra acustica che segna l'inizio della colonizzazione del substrato da parte delle fanerogame. Più complicata è invece l'esatta attribuzione del limite inferiore di distribuzione della stessa Posidonia, poiché il passaggio ai fondali spogli della piattaforma intermedia, ad una profondità di circa -30÷-35m avviene secondo una transizione graduale e differente a seconda dell'areale.

L'intensità del segnale presenta variazioni a seconda dell'assorbimento da parte del fondale e ciò, essendo dipendente dalla tessitura e composizione del sedimento permette una distinzione tra sedimenti prevalentemente fini o a abbondante coda fine, caratterizzati da alti tassi di assorbimento e quindi da una risposta ecografica "chiara", da sedimenti a granulometria grossa caratterizzati da riflessioni più marcate. La presenza di strutture sedimentarie come campi di *megaripples* e dune consente secondariamente di definire, noti i limiti dimensionali granulometrici di esistenza di tali strutture, di definire la granulometria prevalente nell'area esaminata, oltre che indicare le condizioni idrodinamiche prevalenti in quel periodo nel fondale (ALLEN 1997). E' nota inoltre l'influenza della natura del sedimento sull'intensità della risposta

ecografica, con sedimenti silicoclastici mediamente meno riflettenti dei bioclastico/biogenici benché questo possa dipendere in una certa misura dal *sorting* tessiturale delle diverse tipologie di sedimento, dipendendo quindi dalle modalità di deposizione e prescindendo dall'aspetto strettamente compositivo.

Gli affioramenti rocciosi o i sedimenti consolidati sono infine ben riconoscibili nei sonogrammi side scan per la loro geometria talvolta lineare (famiglie di fratture, paleo-depositi litorali) e per l'intensità della loro risposta ecografica.

4.2 Tipologie di fondale della piattaforma

Diverse *facies* acustiche (comprendenti anche sub-*facies* di più complessa interpretazione) caratterizzano gli ambienti sedimentari della piattaforma. Possono essere individuate le seguenti tipologie di fondi:

Sedimenti sabbiosi con coperture vegetali scarse o assenti

Sono riconoscibili rispetto alle aree colonizzate da fanerogame per la riflessione poco accentuata e per la presenza di strutture sedimentarie. Questa *facies* comprende diverse tipologie intermedie per diversi gradi di colonizzazione del substrato da parte di fanerogame minori e altre alghe, in associazione con la Posidonia. I colori chiari si riferiscono a sedimenti tendenzialmente fini, che possono presentare basse strutture. Estesi areali presentano una riflessione a macchie, che indica la presenza di vegetazione discontinua (Fig. 2).

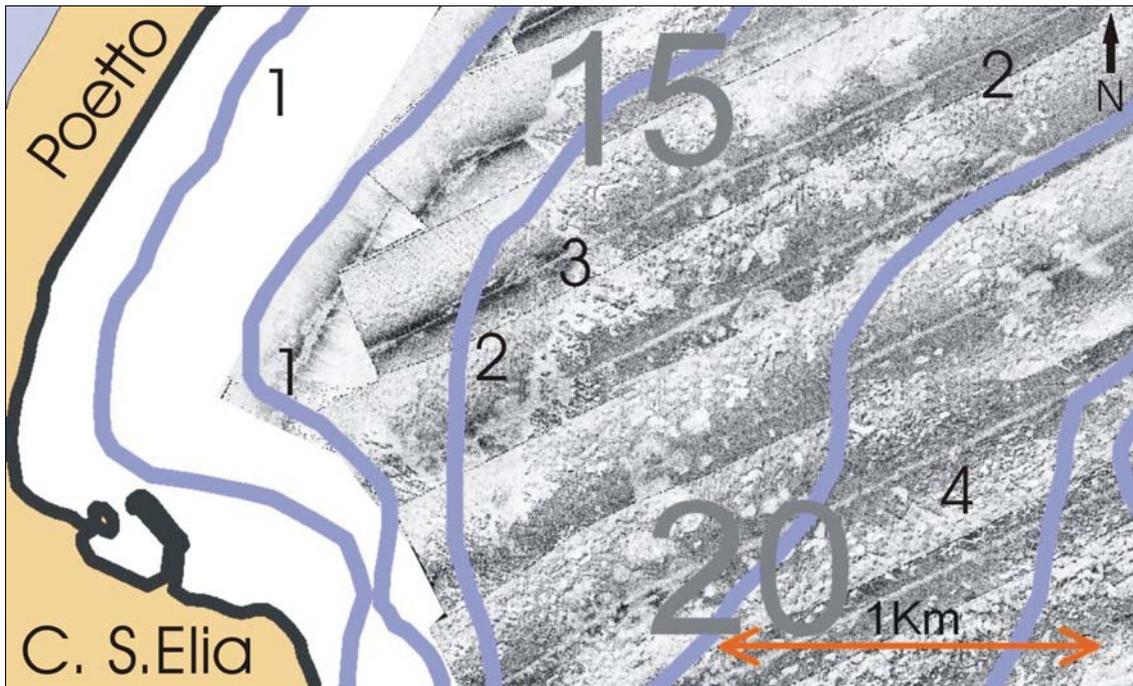


Fig. 2. Differenti tipologie di risposta acustica presenti alla transizione tra fondali sabbiosi e prateria a posidonia: 1) fondali sabbiosi dello shoreface superiore; 2) fondali a Cimodocea e basse coperture algali; 3) limite superiore della prateria di Posidonia; 4) prateria a *mattes* irregolari

Fondali fangosi

In piattaforma interna, nel Golfo di S.Gilla (*shoreface* inferiore della spiaggia della Maddalena-LaPlaya) una netta variazione batimetrica del fondale delimita un'areale a sedimentazione fangosa organica. La transizione tra riflessioni scure e chiare avviene in corrispondenza di un gradino morfologico evidenziato nei profili ecografici e sismici trasversali alla depressione ($h = 1,5\div 6$ m), situato nello *shoreface* inferiore, a profondità variabile tra circa 15 e 20 m. Questa morfologia rappresenta per la sua ampiezza e rilevanza ai fini delle dinamiche sedimentarie attuali, una delle caratterizzazioni importanti del Golfo di S.Gilla dell'intera piattaforma (Fig 3).

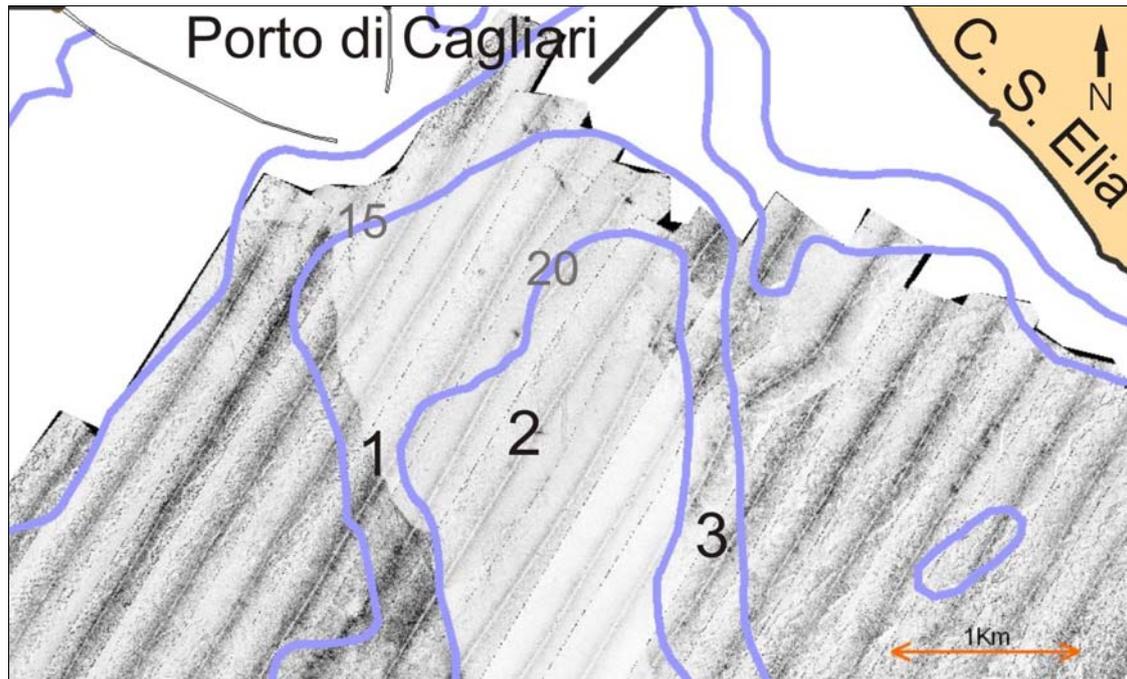


Fig. 3. Golfo di Santa Gilla. 1) gradino erosionale della depressione della piattaforma interna, 2) facies acustica chiara (sedimentazione fangosa-organica) e 3) transizione esterna e banco a Posidonia

Riflessioni irregolari, cuspidate

Sono presenti in piattaforma interna nel settore di *shoreface* inferiore antistante la spiaggia della Maddalena e sono inoltre osservate nel Golfo di Quartu in piattaforma intermedia alla transizione del banco a Posidonia con i fondi mobili. Rappresentano probabilmente una *facies* transizionale tra fondali spogli e fondali colonizzati da basse fanerogame o alghe. Questa *facies* è caratterizzata da basse riflessioni “cuspidate” riferibili alla presenza di vegetazione discontinua, tappeti algali o a piccole strutture sedimentarie (Fig. 4).

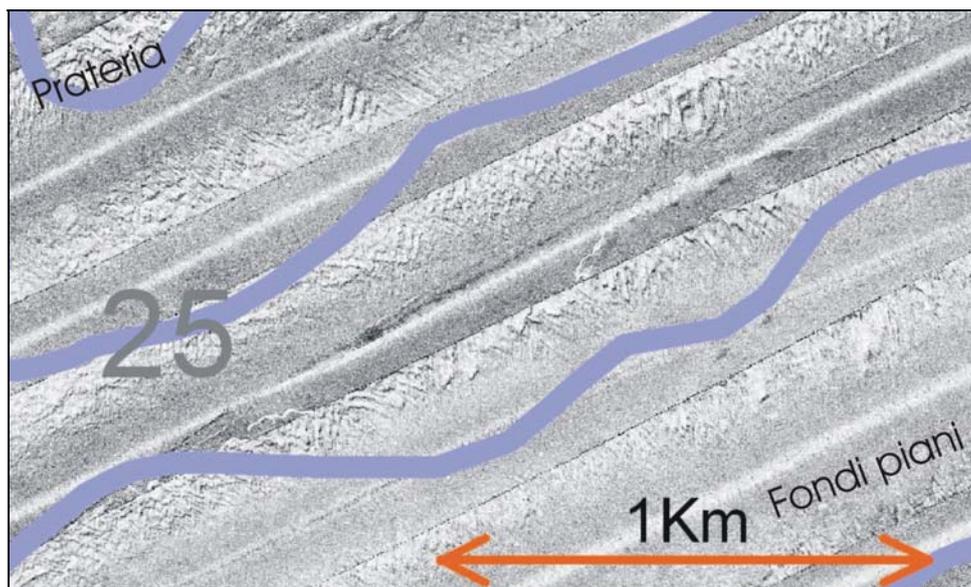


Fig. 4. *Facies* acustica cuspidata alla transizione esterna del banco a Posidonia nel settore Est (Golfo di Quartu)

Le campionature effettuate in queste aree mostrano una sedimentazione prevalentemente sabbiosa da media a molto fine con alto contenuto in materia organica, benché talvolta i sedimenti siano costituiti da sabbie grosse.

Tenendo conto della possibile presenza di artefatti questa *facies* acustica sarebbe comunque indicativa di differenze di sedimentazione infatti è presente solo alla transizione esterna al banco nel settore Est della piattaforma mentre nel settore Ovest tale transizione è caratterizzata da riflessioni interpretate come *mattes* annegate nel sedimento. Tale *facies* può essere dovuta dell'azione del moto ondoso, che incidendo da largo verso terra genera delle cuspidi che sono indicative dell'azione erosiva esercitata sul fondale.

Prateria a Mattes isolate o discontinue

E' caratterizzata da un mosaico di chiari e scuri dovuti alla riflessione delle matte (scure) contrastate da areali con coperture sedimentarie, con riflessioni di minore intensità. E' una delle *facies* più comuni in piattaforma interna e intermedia e rappresenta, in *shoreface* una competitività tra due processi: quello biologico della Posidonia e altre specie che tendono ad espandere l'areale di distribuzione e quello fisico meccanico che ne limita la propagazione al di sopra di un livello batimetrico ottimale, dipendente dall'energia del moto ondoso incidente.

Un'altra tipologia di riflessione legata ad una copertura discontinua di Posidonia è identificata in piattaforma intermedia alla transizione tra la depressione dello *shoreface* inferiore e l'unità deposizionale del banco (Golfo di S. Gilla) e rappresenta una facies transizionale tra *mattes* discontinue e la prateria a grandi *mattes*.

Prateria a Posidonia a grandi mattes

Presenta una peculiare regolarità della risposta ecografica, che appare nel *side scan sonar*, costituita da ampie zone scure interrotte da sporadiche lineazioni chiare interpretate come depressioni di *inter-matte*. Le linee ecografiche e sismiche eseguite perpendicolarmente alle strutture mostrano un tipico profilo con ampi terrazzi e gradini di altezza 2÷3m rivolti verso largo (Fig. 5).

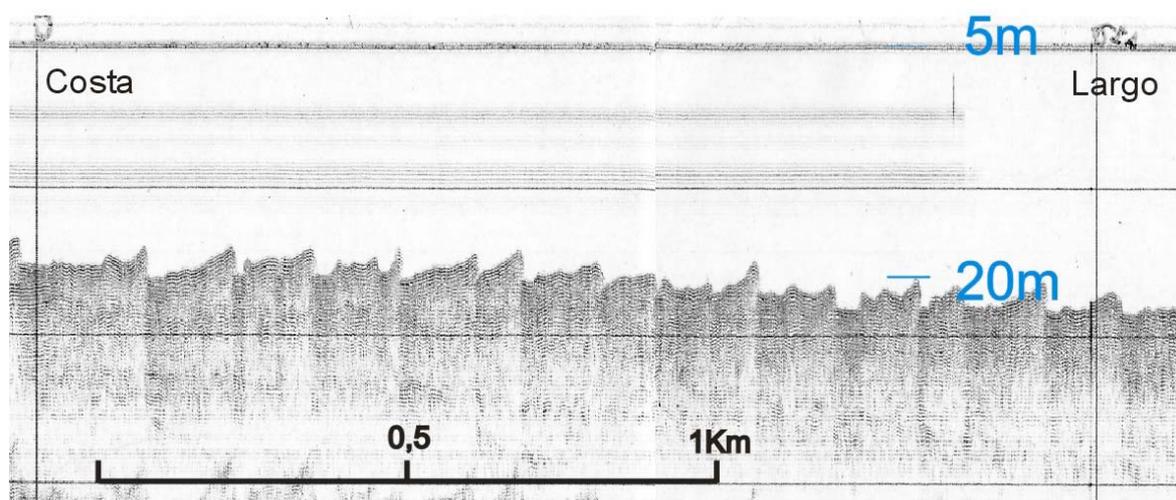


Fig. 5. Profilo *SBP* perpendicolare alla costa nel settore Ovest della piattaforma. Le *mattes* presentano gradini rivolti verso largo.

Questo induce a attribuire tale morfologia all'azione erosiva del moto ondoso incidente prevalentemente da Sud-Est.

Nel settore SudOvest della piattaforma, a profondità comprese tra -20 e -30m circa si può cogliere una periodicità nella struttura del banco con culminazioni successive disposte ad una distanza fino a 250m circa (con una pendenza dei piani dell'1-2%), lungo una direttrice orientata NordOvest (perpendicolare alle isobate (Fig. 6).

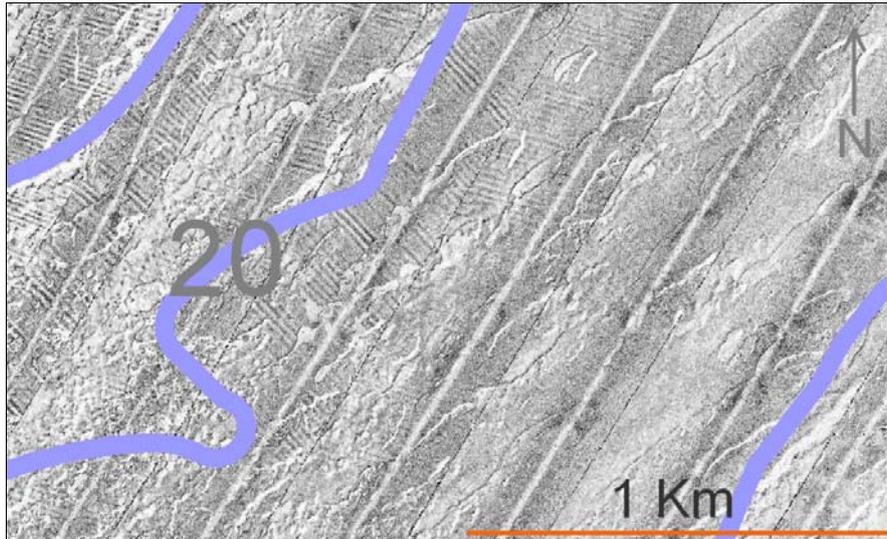


Fig. 6. Allineamento di canali *intramattes* circa paralleli alle isobate nel settore Ovest della piattaforma

Questa *facies* non è invece comune nel settore Est della piattaforma, che presenta una prateria generalmente più discontinua, non strutturata con canali paralleli alle isobate, ma più spesso con *mattes* irregolarmente distribuite e isolate.

Mattes annegate nel fango

Diversi areali del settore Ovest dello *shelf* mostrano un *pattern* ecografico tipico della struttura della Posidonia a *mattes* e canali, caratterizzato tuttavia da un minore contrasto tra aree chiare (depressioni) e le aree scure. Numerosi campionamenti effettuati nel golfo di S. Gilla hanno mostrato la presenza di sabbie fini-fangose e si interpreta questo fatto con la presenza di *mattes* non in equilibrio con la sedimentazione attuale “annegate” al di sotto di deboli spessori di fanghi (Fig. 7).

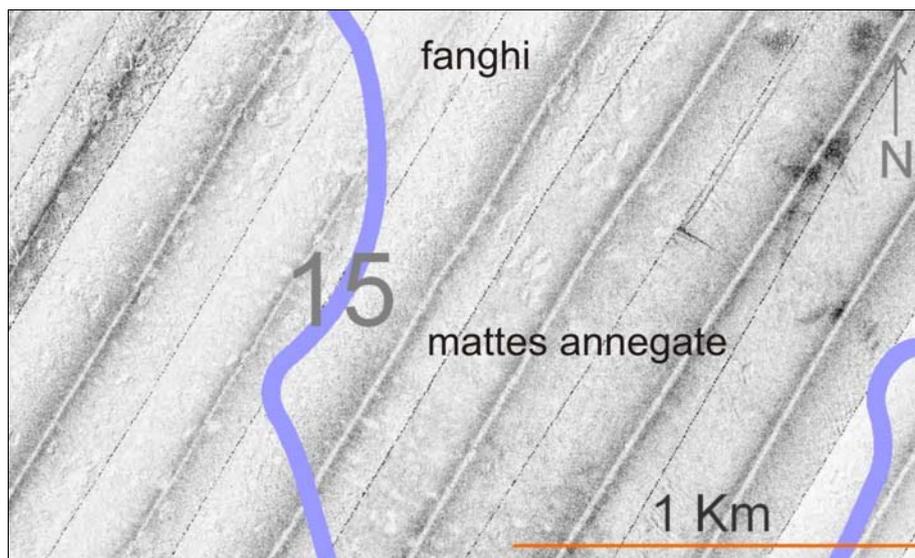


Fig. 7. *Mattes annegate* nel fango nel golfo di S. Gilla.

Praterie algali

Sono caratterizzati da riflessioni continue con un *pattern* dell'immagine acustica che si presenta scura e "granulare", interrotta solo di rado da sporadiche chiazze di colore più chiaro, irregolari, interpretabili come aree a sedimentazione bioclastica fine-fangosa.

Allineamenti rocciosi

Sono stati rilevati in piattaforma interna e intermedia a vari livelli batimetrici organizzati in strutture larghe alcune decine di metri e sviluppate in maniera più o meno continua per diversi chilometri. Queste strutture sono riferibili a paleo cordoni litorali e si rinvengono spesso colonizzati da alghe calcaree e in rilievo sul fondale di circa 1÷2m (Fig. 8).

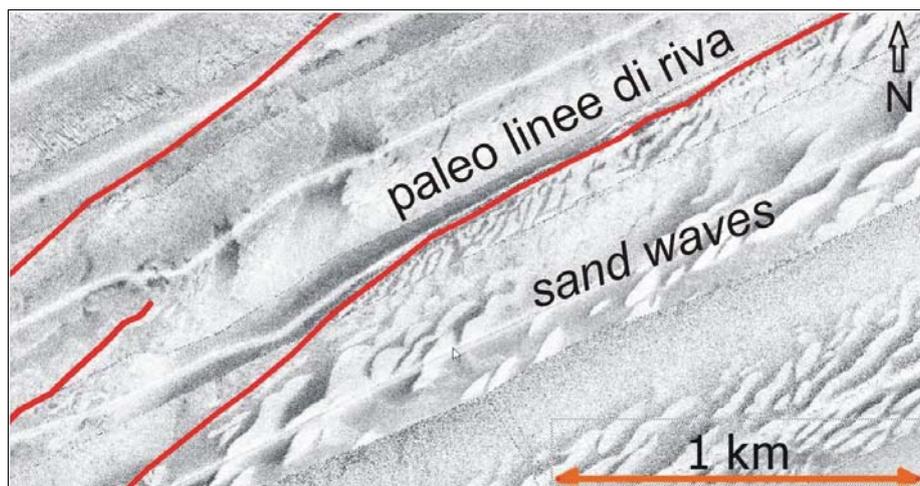


Fig. 8 Allineamenti di paleo rive nel settore Est della piattaforma e inizio della fascia delle *sand waves* (riflessioni chiare).

Campi di ripple-marks

Sono strutture a piccola scala presenti in piattaforma interna ed intermedia su sedimenti medio-fini, a vari livelli batimetrici.

Campi di megaripples

Sono costituiti da sedimenti a granulometria maggiore rispetto ai *ripple marks* con lunghezza d'onda a volte superiore a 2 metri; sono stati rilevati in corrispondenza di zone depresse sede di accumulo di sedimento e in prossimità degli allineamenti rocciosi. Interessano soprattutto i sedimenti a composizione mista bioclastico-terrigena della piattaforma intermedia, oltre il banco a Posidonia.

Sand waves

Tipiche riflessioni ondulate, pluridecametriche, costituite da una alternanza di segnali acustici chiari e scuri sono state interpretate come strutture dunari note in letteratura come *sand waves*. Le strutture interessano i sedimenti misti bioclastico-terrigeni della piattaforma intermedia per profondità comprese tra -30 e -55m. L'energia idraulica seleziona il sedimento in senso fine nelle creste e più grosso nei cavi delle strutture, conferendogli una tipica conformazione che ne determina il comportamento acustico. La variazione di intensità della riflessione indica il cambiamento tessiturale tra le creste e i cavi con riflessioni chiare in corrispondenza delle prime e scure nei secondi. Le

strutture si orientano in relazione al gradiente energetico legato alle tempeste da SudEst formando allineamenti di creste subparalleli rispetto alle isobate.

Sulla base dell'analisi dell'intera copertura ecografica disponibile è stata elaborata una carta di zonazione dei fondali nella quale vengono distinte 10 tipologie di coperture (Fig. 9).

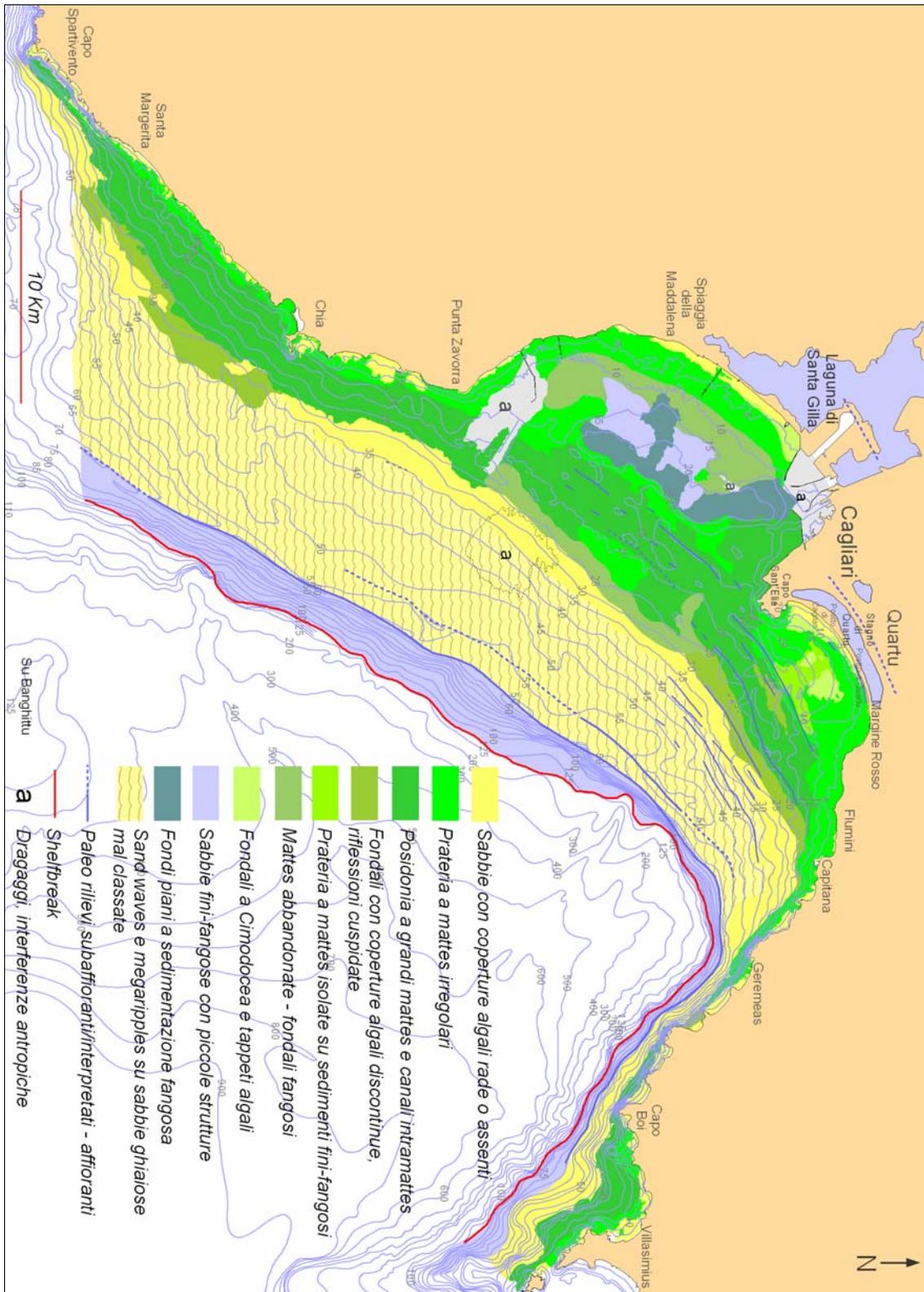


Fig. 9. Zonazione dei fondali della piattaforma sulla base dell'analisi della copertura ecografica

4.3 Ambienti deposizionali della piattaforma

Sulla base delle tipologie di fondale e dei limiti batimetrico-morfologici osservati, la piattaforma di Cagliari è stata suddivisa in diversi ambienti deposizionali, caratterizzati da distinti processi. La principale suddivisione della piattaforma in interna, intermedia ed esterna si basa sui più importanti elementi morfostrutturali osservati, quali le depressioni in piattaforma interna, i rilievi del banco a Posidonia e le paleo rive esterne, mentre le suddivisioni secondarie sono legate a processi attuali, (Fig.10).

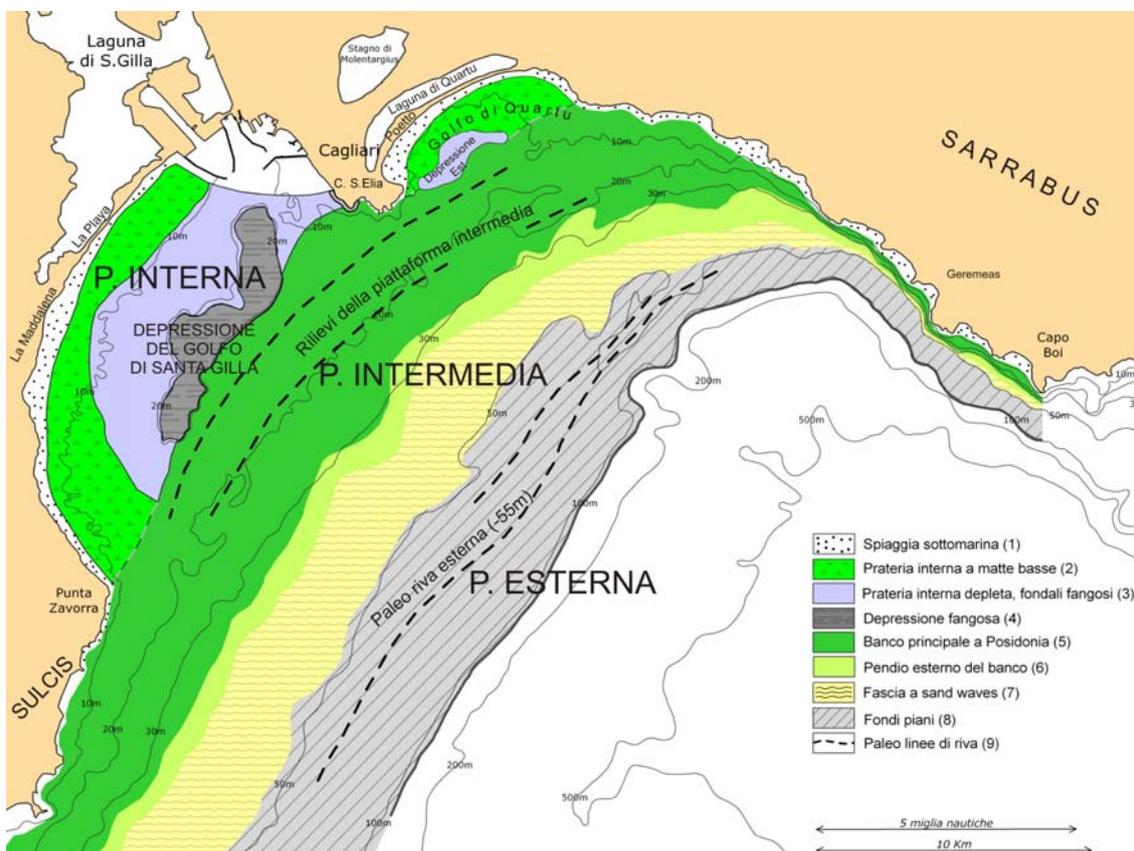


Fig. 10. Schema degli ambienti deposizionali riconosciuti in piattaforma sulla base dell'analisi dei dati ecografici.

PIATTAFORMA INTERNA

Sistema shoreface-depressioni della piattaforma interna

Questa unità deposizionale si individua nella parte più interna della piattaforma, ed è separata dalla piattaforma intermedia da una fascia in rilievo sul quale è presente il banco a Posidonia, ubicata circa a ridosso del capo S. Elia. Questa unità comprende lo

shoreface sabbioso, caratterizzato da una superficie inclinata debolmente convessa, spoglia di vegetazione sottomarina, lo *shoreface* colonizzato da una prateria a *mattes* irregolari, una zona più profonda a sedimenti fino-fangosi (*shoreface* inferiore) con rare posidonie, e infine la depressione della piattaforma interna, fangoso organica nel Golfo di Santa Gilla, meno profonda e a sedimentazione più grossa nel golfo di Quartu.

Lo *shoreface* sabbioso si estende in prosecuzione delle spiagge fino alla profondità di circa 3÷8 m. Tale unità è assente davanti alle falesie di P. Zavorra e di C. S. Elia e ai promontori della piattaforma del Sarrabus. La prateria interna a posidonie e altre fanerogame mostra una transizione con i fondali sabbiosi netta nello *shoreface* del golfo di Quartu e graduale in quello di S. Gilla. Questa fascia è caratterizzata da diverse tipologie di risposte ecografiche, a seconda della presenza di Posidonia, aree a tappeti algali o aree più fangose con rare *mattes*. Sotto costa si sviluppano inizialmente cespugli isolati di posidonie, seguiti da *mattes* generalmente basse, piccole depressioni chiuse e canali profondi 1÷2 m riempiti di sedimento. A profondità maggiori si ha una sedimentazione maggiormente fangosa, che spesso ostacola la vita della prateria. Nel Golfo di S. Gilla a profondità di circa -10 m la prateria non riesce a prevalere sulla sedimentazione fine e appare talvolta sepolta nei sedimenti. Nel Golfo di Quartu invece essa appare colonizzare il fondale anche a profondità inferiori. Il pendio dello *shoreface* è interrotto nella parte distale dalla presenza di due depressioni, disposte circa parallelamente alla linea di costa, presenti a NE e a SW del Capo S. Elia, profonde rispettivamente 22 e 27 m. Tali depressioni risultano protette dalle tempeste dei quadranti meridionali grazie alla presenza del banco a posidonie della media piattaforma. Il fondo della depressione del settore occidentale è spoglio e perfettamente planare, con una sedimentazione fangosa-organica. Nelle parti distali dello *shoreface* del Golfo di Quartu, il fondale presenta zone colonizzate in modo discontinuo con tappeti algali, senza che si osservi la presenza di superfici spoglie e fondali fangosi come nel settore Ovest. La depressione del Golfo di Quartu è paragonabile come funzione a quella del golfo di S. Gilla (Paleo alveo del sistema degli stagni-saline di Cagliari) ma presenta dimensioni più ridotte.

PIATTAFORMA INTERMEDIA

Banco a posidonie e pendio esterno

In piattaforma intermedia si osserva la presenza di paleo depositi che separano la regione interna della piattaforma da quella intermedia, la cui culminazione è sede del banco principale a posidonie, che verso il largo prosegue con un debole pendio esterno. Verso terra si osserva un netto pendio di transizione alle depressioni. All'interno del banco possono essere individuate diverse tipologie di strutture. La prateria a *mattes* alte 3÷4 m, con relativi canali e depressioni, occupa la parte alta e prossimale del banco, da circa -10÷15 m fino a circa -25 m presentando, in relazione con l'idrodinamismo presente, una tipica geometria terrazzata con ampi ripiani e gradini rivolti verso il largo e canali allineati parallelamente alla costa. Nel settore Est della piattaforma la prateria si presenta invece irregolare con *mattes* isolate e senza lunghi canali di *inter* e *intramattes*. A profondità comprese tra i -20÷25 la prateria si dirada e viene sostituita da basse coperture algali, presenti fino circa -35÷40 m, profondità che costituisce il limite inferiore di distribuzione delle specie fotosensibili (alghe verdi, ecc.). Nel settore Ovest della piattaforma, analogamente a quanto avviene in *shoreface* inferiore, la transizione esterna del banco mostra la presenza di *mattes* "relitte" spesso annegate nel sedimento, a testimonianza delle condizioni di maggiore alimentazione di quest'area rispetto a quella orientale. In quest'ultima zona la transizione esterna al banco è caratterizzata da facies acustiche cuspidate, dovute alla presenza di rade coperture algali sottoposte all'azione erosiva delle correnti di moto ondoso.

Fascia a sand waves, fondali piani e paleo rive

A profondità comprese tra i -35÷50 m il fondale presenta una morfologia ondulata interpretata come onde di sabbia. Le strutture hanno una lunghezza d'onda massima di circa 150 m e un'altezza di 1,5 m circa, e diventano più piccole e ravvicinate verso il largo. Le *sand waves* sono asimmetriche con i *stoss sides* (superfici sopracorrente) rivolti verso largo, indicando una dinamica di trasporto dovuta alle onde di tempesta provenienti da SE. Il limite inferiore si individua a una profondità di 50÷55 metri e viene messo in relazione con la profondità massima di azione delle onde di tempesta (*SWB*). Verso largo si osserva la transizione a fondali piani, senza strutture sedimentarie, che ospitano la biocenosi profonda ad alghe rosse. La piattaforma intermedia è limitata verso largo dalla presenza di due paleo-cordoni litorali, tra i -50 e i -60 m circa, posti a circa 1,5 Km di distanza. Il limite fisiografico maggiore è

rappresentato dalla struttura più esterna, che si presenta continua e in rilievo sul fondale di circa 4-5 m, in coincidenza della quale è fissato il limite della piattaforma intermedia.

PIATTAFORMA ESTERNA

All'esterno delle paleo-forme, il fondale marino mostra un ridotto versante con un accrescimento sigmoide olocenico (–60÷80 m circa), seguito da una fascia a debole pendenza che termina con un bordo a circa –125 a sedimentazione progradante inclinata. Nella parte nordorientale la rottura di pendio della stretta piattaforma esterna avviene a circa –90 m per attività erosionale retrograda del Canyon S. Elia-Foxi, mentre nella piattaforma del Sarrabus è individuabile a –70 m per controllo strutturale.

La piattaforma del Sulcis e quella del Sarrabus, presentano una minore complessità e differenziazione degli ambienti. Queste aree verranno trattate separatamente nella descrizione dei singoli ambienti deposizionali che vengono presentati nella seconda parte di questo lavoro.

5. ANALISI DEI SEDIMENTI

I materiali sedimentari sono stati studiati seguendo le consuete procedure dell'analisi sedimentologica, dal punto di vista granulometrico e compositivo; in alcuni casi, per sedimenti molto fini o in caso di presenza di importante frazione organica sono state eseguite altre analisi: calcimetria, valutazione ponderale diretta delle componenti tramite attacco acido e separazione in fluido, diffrazione di raggi X e osservazioni e analisi al microscopio elettronico.

5.1 Metodologie analitiche

Analisi granulometriche

I campioni sono stati suddivisi in 7 classi con intervalli interi di unità Φ tra 4000 e 63 μ m. Per ogni campione è stato realizzato l'istogramma di frequenza granulometrica, utilizzato nella valutazione percentuale delle varie tipologie di granuli, e la curva cumulativa. Mediante la curva cumulativa sono stati ricavati diversi parametri statistici: la mediana (valore in ϕ del 50° percentile) che separa la metà grossolana dalla metà fine della distribuzione, la media, che suddivide in due principali metà la quantità totale delle particelle di un sedimento, lo *skewness*, che misura l'asimmetria geometrica di una curva granulometrica, il coefficiente di appuntimento e il coefficiente di cernita, che esprime il grado di classazione del sedimento (INMAN, 1952).

Coefficiente di cernita $\sigma\phi$

$$\sigma\Phi = (\Phi_{84} - \Phi_{16})/2$$

Media $M\Phi$

$$M\Phi = (\Phi_{16} + \Phi_{84})/2$$

Coefficiente di asimmetria $Sk\Phi$

$$Sk\Phi = (\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}) / (2(\Phi_{84} - \Phi_{16}))$$

Coefficiente di appuntimento KG

$$Kg = (\Phi_{95} - \Phi_5) / 2,44(\Phi_{75} - \Phi_{25})$$

Analisi composizionali al microscopio ottico

Per motivi di celerità è stato adottato un metodo semi-quantitativo, eseguendo il riconoscimento delle diverse componenti al microscopio binoculare e valutando

contestualmente le percentuali areali mediante comparatori per stima visiva (Bacelle & Bosellini, 1965; Swanson, 1985). Data la varietà delle componenti e la taratura dei comparatori ogni 5÷10 %, i risultati ottenuti sono soggetti a errori dell'ordine del $\pm 10\%$ della singola componente.

Le varie famiglie di granuli sono state distinte sulla base dei caratteri morfologici, del colore e del comportamento all'attacco HCl diluito. La componente bioclastica è stata distinta in base al confronto della struttura scheletrica con la fauna descritta nel Mediterraneo e nella piattaforma sarda (D'Angelo & Gargiullo, 1978; Riedl, 1991; Boudouresque *et al.*, 1992 *cum. bibl.*).

Allo scopo di valutare l'importanza delle diverse componenti, le stime areali sono state moltiplicate per il peso di ciascuna frazione e infine normalizzati sul campione totale. Pertanto il significato del valore percentuale così ottenuto non è più strettamente ponderale, bensì ponderale-areale. Il metodo inoltre, non tenendo conto delle differenze di peso di volume, per esempio tra bioclasti e clasti terrigeni, contiene ulteriori errori nelle valutazioni ponderali-areali. Poiché i vari bioclasti hanno diverse porosità intragranulare e conseguentemente diverso peso di volume, tali errori non possono essere corretti tramite l'introduzione di un unico coefficiente. Al fine di valutare l'ordine dell'errore sono state eseguite calcimetrie di taratura che hanno evidenziato una sopravvalutazione complessiva del carbonato bioclastico e delle frazioni fangose nelle stime ponderali-areali rispetto a quelle rigorosamente ponderali, intorno al 10%÷15%. Questi errori non pregiudicano tuttavia il significato deposizionale attribuito ai sedimenti, consentendo la caratterizzazione di questi e l'attribuzione alle *facies* di appartenenza.

I dati granulometrici e composizionali delle campionature effettuate e le relative profondità di prelievo sono presentate nell'Allegato 2.

Per quanto riguarda i materiali sedimentari più fini (presenti nelle depressioni in piattaforma interna e nella piattaforma esterna), come detto, il loro studio ha previsto metodologie differenti. I sedimenti, che spesso presentano una composizione mista organica, carbonatica e silicoclastica e una "tessitura" matrice-sostenuta (in cui la materia organica e i materiali argillosi formano un *continuum* omogeneo) non sono analizzabili tramite le procedure usate per i campioni a granulometria grossa, sia a causa

della difficile separabilità dei granuli sia per la difficile determinazione al microscopio ottico della natura dei granuli.

Calcimetrie

Sono metodi di misura semiquantitativi indiretti del tenore in carbonati basati sulla misura della pressione di gas sviluppata mediante attacco acido totale. I campioni (0,82 g di materiale) sono stati posti in contenitore ermetico con 20ml di HCl 1:1. La percentuale di CaCO₃ è stata ottenuta mediante la formula:

$$C\% = (P_{gas} + 6,5) / 2$$

Le analisi hanno permesso di quantificare la componente carbonatica nei sedimenti fini della piattaforma esterna e nei fanghi organici della piattaforma interna e hanno fornito un riscontro alle analisi semiquantitative visive.

Analisi composizionali quantitative dirette

La componente carbonatica presente nei sedimenti è stata misurata per attacco acido e eliminazione del carbonato in soluzione. Il campione pesato è sottoposto ad un attacco acido con HCl diluito (5% circa), che è aggiunto fino all'esaurimento dell'effervescenza in un contenitore, avendo cura di mescolare il sedimento per favorire la reazione. Il tutto viene poi versato su carta filtro, anch'essa preventivamente pesata, e infine messo ad asciugare in stufa. La differenza ponderale rispetto alla pesata iniziale rappresenta la quantità di carbonato inizialmente presente. Sono stati usati quantitativi diversi di materiale a seconda della rappresentatività del campione rispetto alla granulometria del sedimento. Per un sedimento sabbioso fine sono state usate quantità di circa 3g di sedimento mentre per sedimenti ghiaiosi si è arrivato a 22g. Le percentuali di carbonati ottenute con questo metodo si attestano su valori simili a quelle ricavate da calcimetria e sono riportate insieme a queste ultime in Tab. 1.

T7C5*	17,25%
T8C4*	18,25%
T6C6*	22,75%
SW1	43,0%
SW24	60,4%
M10	20,7%
M28	4,3%
M6	32,6%
SUB1	12,0%
T8C6	31,1%
SW2	43,0%
S22	61,5%
S44	51,5%
S45	79,1%

Tab. 1. Valutazione ponderale diretta del tenore in carbonati in diversi sedimenti campionati. Campioni asteriscati: misure indirette tramite calcimetria.

Per l'analisi dei sedimenti con importante frazione fine, o completamente fangosi si è proceduto alla separazione in liquido delle componenti organiche e argillose dalle frazioni più grosse. Il metodo si basa sul comportamento fisico dei materiali in fluido per il fatto che i granuli siltosi precipitano per gravità dopo pochi secondi, seguendo la legge di Stokes:

$$(v = 2 (d1 - d2) g * r^2 / 9),$$

(v = velocità di caduta in cm/s, d1= densità particella, d2= densità fluido, r = raggio della particella e g = accelerazione di gravità)

mentre le argille e la materia organica rimangono in sospensione a lungo per viscosità statica del fluido.

La procedura differisce da quella precedente per il fatto che il materiale depositatosi sul fondo viene separato dalla materia in sospensione. Il carbonato in soluzione viene allontanato e il materiale trattenuto dal filtro e la frazione residua nel *baker* vengono

essiccati e pesati, e i valori relativi delle tre componenti calcolati tenendo conto della differenza rispetto al peso iniziale (che rappresenta la quantità di carbonati eliminata). Questo procedimento non tiene conto di vari fattori come densità della soluzione, flocculazione dei materiali, ecc., ed è soggetto a imprecisioni di esecuzione, ma si ritiene ugualmente valido per ottenere una stima indicativa delle quantità di materia organica e argillosa quando questa rappresenti una componente associata o addirittura prevalente nel sedimento. I valori di materia organico-argillosa quantificati con questo metodo per tre campioni fangosi in piattaforma interna si attestano su valori di circa 40%.

In alcuni casi per rendere possibile la setacciatura dei sedimenti fini più ricchi in materia organica si è deciso di eliminare la frazione di materiale a diametro inferiore ai 63 µm a causa degli effetti aggreganti sfavorevoli causati dalla presenza di questa componente. Tale frazione viene pertanto eliminata in umido (dopo preventiva pesatura del campione) il campione seccato e setacciato con i vagli tradizionali. La percentuale ponderale della frazione a diametro inferiore ai 63 µm corrisponde alla differenza di peso del campione dopo il trattamento.

Analisi mineralogiche dei fanghi mediante diffrattometria di raggi X

I campioni fangosi C10, T6C6 e T8C4 sono stati analizzati per diffrattometria di raggi X. Il metodo, che come noto si basa sulla comparazione della misura della distanza tra i piani reticolari dei cristalli con tabelle di riferimento, ha permesso di identificare le principali fasi mineralogiche del sedimento.

L'angolo di diffrazione di un fascio monocromatico di raggi x incidente, di lunghezza nota, è messo in relazione con la distanza tra piani reticolari dall'equazione di Bragg:

$$2d * \sin \theta = \lambda$$

dove λ è la lunghezza d'onda del fascio di RX, θ l'angolo di diffrazione e d la distanza tra piani reticolari (Fig.1).

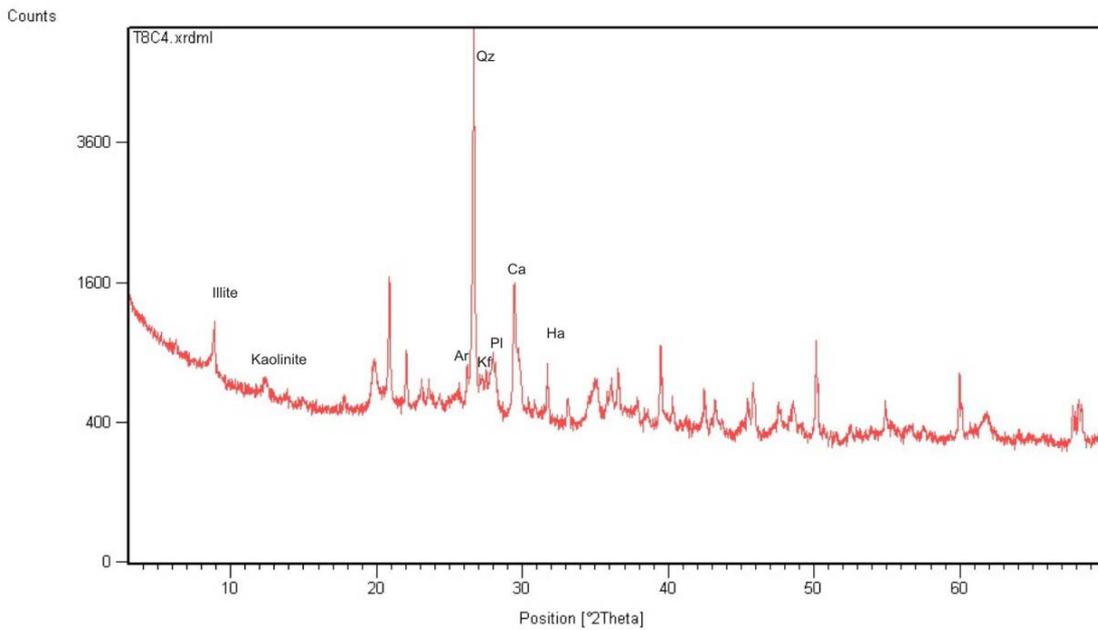


Fig. 1. Diffrattogramma interpretato del campione fangoso T8C4.

Nel diffrattogramma del campione fangoso T8C4 sono rappresentate in ordinate le intensità della diffrazione, e in ascisse l'angolo 2θ . I picchi classificati rappresentano la quasi totalità delle specie mineralogiche. Sono state individuate le seguenti componenti: argille (illite, kaolinite, e altre) feldspati sodico-calcici e potassici, quarzo, CaCO_3 , alite (cloruro di sodio). I picchi non denominati rappresentano angoli di diffrazione secondari delle fasi identificate.

La determinazione dell'abbondanza relativa dei minerali è stata calcolata tramite formule empiriche che mettono in relazione l'intensità delle riflessioni di ciascuna specie mineralogica con quella del quarzo (Laviano, 1999). Mediante l'applicazione di queste formule è stato possibile ottenere le percentuali delle fasi mineralogiche e in particolare, stimare all'interno della componente carbonatica, la percentuale tra calcite ed aragonite (Tab. 2).

T8C4	T6C6	M10
%Carbonati 20,51%	%Carbonati 27,39%	%Carbonati 10,6%
%Aragonite 40,13%	%Aragonite 34,35%	%Aragonite 19,6%
M.A. 61,24	M.A. 69,5	M.A. 59,16
F.Na 8,40	F.Na 1,73	F.Na 2,77
F. K 3,30	F.K 4,58	FK 22,72
Ca 5,02	Ca 11,23	Ca 8,02
Q 22,06	Q 12,96	Q 5,05

Tab. 2. Analisi mineralogiche di tre campioni fangosi della depressione in piattaforma interna Ovest, Golfo di S.Gilla.

Le analisi indicano una percentuale di aragonite variabile tra il 20 e 40% sul totale della frazione carbonatica, documentando una importante presenza di questa fase cristallina nella depressione fangosa della piattaforma interna del golfo di Santa Gilla (Fig. 2).



Fig. 2. Cristallo di calcite in un campione fangoso della piattaforma interna.

Poiché l'equilibrio chimico delle 2 fasi è dominato dai processi metabolici degli organismi produttori che le sintetizzano (OTTONELLO G., 1991) e considerato che attualmente i carbonati sono prevalentemente costituiti da aragonite e calcite altomagnesiaca (*HMC*) nei mari caldi e da calcite bassomagnesiaca (*LMC*) nelle zone temperate, possiamo ritenere che la depressione della piattaforma interna presenti condizioni ambientali transizionali a quelle dei mari caldi.

Osservazioni al microscopio elettronico

L'osservazione degli stessi campioni al microscopio elettronico ha permesso di analizzare la tessitura del materiale, la morfologia dei minerali argillosi e la morfoscopia dei minerali e litoclasti delle frazioni più grossolane presenti. Sono state inoltre compiute delle microanalisi sui singoli minerali che ne hanno consentito l'identificazione. I campioni osservati in questo lavoro non sono stati pretrattati, salvo un preliminare lavaggio per l'eliminazione del sale marino. Privo di umidità, il campione è stato posto su uno *stub* metallico in una camera da vuoto dove la sua superficie è stata ricoperta per condensazione da una patina d'oro. Il riconoscimento dei minerali per microanalisi è stato fatto in base al confronto tra gli elementi identificati nelle misurazioni sui singoli granuli con la mineralogia delle specie più comuni presenti in piattaforma (potassio e sodio sono inequivocabili indicatori dei feldspati, il calcio dei carbonati ecc.). Al confronto con i dati diffrattometrici si è osservata una buona relazione tra le principali tipologie di cristalli osservati nel sedimento al microscopio elettronico e i dati ottenuti per diffrattometria (Fig.3).

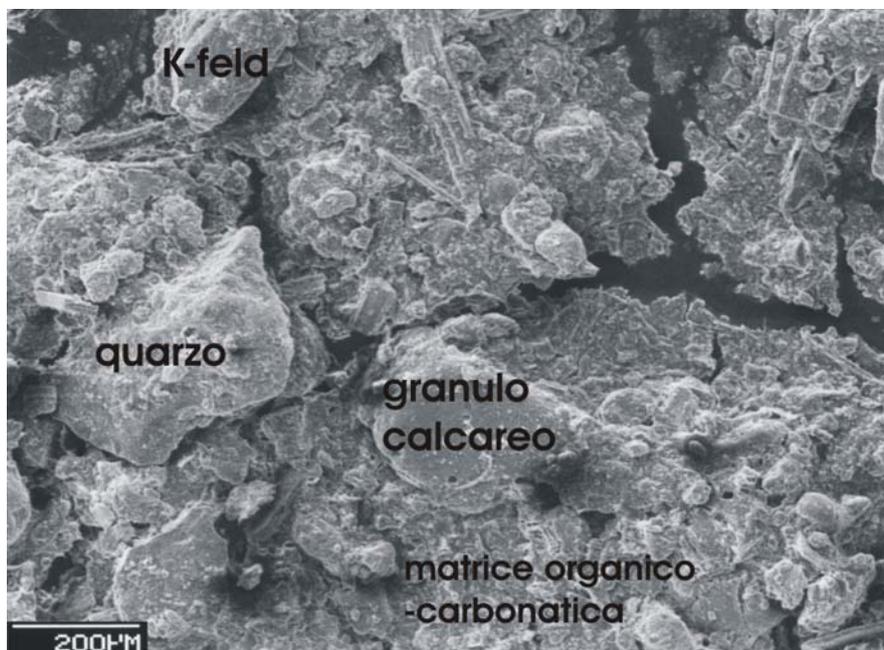


Fig. 3. Fotografia al SEM del campione M10, fangoso-organico della depressione in piattaforma interna Ovest. I granuli sono immersi in una matrice organico- carbonatica composta per lo più di fibre di posidonia.

5.2 Principali tipologie di granuli riconosciute

Lo studio dei materiali sedimentari ha portato alla distinzione di otto principali tipologie di granuli terrigeni e di svariati granuli di origine bioclastica.

Componente terrigena

Sono state distinte le seguenti componenti terrigene: quarzo, feldspati *s.l.*, miche *s.l.*, litoclasti metamorfici, magmatici e calcarei, minerali accessori e granuli antropici. Il quarzo è caratterizzato dall'aspetto vitreo; il feldspato *s.l.*, è riconoscibile sulla base della forma, raramente idiomorfa, della presenza di sfaldature e del colore; il K-feldspato è distinguibile per il tipico colore più o meno roseo e i plagioclasti per il colore biancastro. I litoclasti presentano dimensioni e aspetto vario in base alla mineralogia che influenza la morfostruttura, il colore, l'alterazione ecc. Le biotiti e le muscoviti (rare) sono caratterizzate dalla loro forma in scaglie e dalla lucentezza. I minerali accessori si ritrovano nelle frazioni granulometriche più piccole, generalmente sabbie molto fini e silt; alcuni cristalli sono stati riconosciuti in base alla forma e al colore; si tratta principalmente di magnetite, pirosseni e anfiboli, gluconite e talvolta piccoli cristalli di olivina. Sono state osservate inoltre svariate specie indeterminate a composizione sia basica che acida. I granuli antropici infine mostrano un aspetto vacuolare, che permette di intuire la loro origine artificiale (scarti di navi a vapore). I granuli relitti, infine, pur non costituendo delle tipologie a sé stanti sono molto importanti ai fini della ricostruzione delle facies sedimentarie; sono caratterizzati spesso da un'intensa alterazione con patine giallo-rossastre o colorazioni tendenti al grigio scuro nel caso di granuli bioclastici.

Componente bioclastica

Sono stati riconosciuti, in ordine di importanza, i seguenti organismi: **alghe rosse**, **molluschi** (bivalvi e gasteropodi in frammenti e gusci interi), colonie di **briozoi**, **foraminiferi** (soprattutto forme bentoniche), **echinodermi** (frammenti di gusci e radioli), **ostracodi** (presenti nelle frazioni 500÷125 µm) e numerosi organismi a guscio chitinoso-proteico appartenenti principalmente agli **artropodi**. Inoltre si segnala la presenza di *fecal pellets* in diversi campioni della depressione interna occidentale.

Tra le alghe rosse sono state distinte le alghe calcificate, dirette produttrici di sedimento carbonatico, dalle specie non calcificate dove la deposizione di carbonato si verifica solo nella parte sciafila per opera di organismi epifiti. Il gruppo più produttivo è quello delle *Corallinaceae*, come noto provviste di tallo (*hypothallium* e *perithallium*) calcificato (Adey & Macintyre, 1973; Riedl, 1991). La distinzione speditiva tra i generi e le specie è stata eseguita mediante il confronto con le forme descritte in letteratura (Johnson, 1962; Johnson & Adey, 1965; Boudouresque *et al.*, 1992) che possono essere variamente ramificate (*Lithophyllum racemus*, *Lithothamnium fruticosum*), incrostanti o a struttura a foglia (per esempio *Lithophyllum expansum*, *Pseudolithophyllum expansum* e *Mesophyllum lichenoides*). Tra le varie forme sembrano prevalere quelle a ramificazioni distanziate (*loose branching*, cfr. *Lithothamnium solutum*, Johnson, 1962) non fissate sul fondo rispetto alle forme incrostanti e a quelle globose.

Tra le specie debolmente calcificate si osserva *Peyssonnelia squamaria* (gruppo delle *Peyssonneliaceae*, cui fanno parte organismi a diversi gradi di calcificazione), che presenta una consistenza fogliacea. Tra le forme non calcificate infine troviamo frequentemente la specie *Vidalia volubilis*, in quantità volumetricamente rilevante nei sedimenti mobili della piattaforma intermedia, oltre il limite della Posidonia.

Generalmente nelle frazioni granulometriche superiori a 0,5 mm si rinvengono frammenti e gusci interi di numerose specie di bivalvi e di gasteropodi. La componente bioclastica attribuibile ai molluschi riveste una notevole importanza data la sua distribuzione in tutta la piattaforma.

Anche i foraminiferi fanno parte dei più importanti gruppi di organismi che contribuiscono alla produzione dei sedimenti carbonatici, in particolare nelle componenti sabbiose medio-fini della piattaforma intermedia ed esterna. Sono presenti soprattutto le forme bentoniche tra le quali è facilmente riconoscibile la *Miniacina miniacea*, che forma sulle posidonie colonie irregolarmente ramificate simili a quelle dei briozoi e dal tipico colore rosso, e diverse specie di *Miliolidae* anch'esse molto frequenti. Le *Textulariidae*, talvolta molto abbondanti, sono riconoscibili per il tipico guscio agglutinato biseriale. Nei sedimenti delle parti distali aumentano progressivamente i foraminiferi planctonici.

Un altro importante gruppo di organismi biocostruttori è costituito dai briozoi, le cui colonie ricoprono diversi tipi di substrato e di organismi tra i quali le varie parti delle

piante di Posidonia. Nei sedimenti si riconoscono facilmente le colonie a struttura reticolata (*Cellopora pumicosa*, *Sertella septentrionalis*, *Schizobranchiella sanguinea*), da quelle a struttura radiale come la *Lichenopora radiata*, e frammenti di specie ramificate (*Myapora truncata*).

Gli Echinodermi, *Regularia* e *Irregularia*, sono presenti in diversi vagli granulometrici come frammenti di gusci e, nelle frazioni più fini, radioli degli irregolari. L'aspetto e le dimensioni dei bioclasti permettono di distinguere tra i *Regularia* prevalentemente il *Paracentrotus lividus* e tra gli *Irregularia* l'*Echinocyamus pusillus* spesso in associazione con alghe rosse e briozoi, lo *Schizaster canaliferus*, abbondante nei substrati fangosi a diverse profondità, e lo *Spatangus purpureus*.

Altre componenti sono rappresentate in genere nelle granulometrie comprese tra 125 e 500 µm da Ostracodi, in percentuali nettamente subordinate rispetto al volume totale dei carbonati, e da piccoli organismi a guscio chitinoso-proteico.

Data l'estensione dell'areale considerato, questo elenco comprende solo i più importanti gruppi di granuli individuati e non esclude la presenza di altre tipologie presenti in parti della piattaforma non campionate e/o riconoscibili in uno studio specialistico.

In Allegato 3 è presente un catalogo fotografico che illustra le principali specie di granuli campionate.

5.3 Studio statistico e raggruppamenti di dati (*cluster analysis*)

I dati quantitativi rappresentanti le caratteristiche tessiturali e mineralogiche dei campioni sono stati trattati secondo il metodo statistico di *cluster analysis* che permette di raggruppare secondo gradi di affinità gli elementi di un insieme e definire delle classi di appartenenza per ogni oggetto.

Il metodo ha permesso di raggruppare i sedimenti in classi, sulla base dei soli parametri numerici, e di confrontare queste con le *facies* sedimentarie individuate sulla base degli ambienti deposizionali e delle caratteristiche dei campioni. In questo modo l'analisi risulta slegata da elementi non sempre oggettivi quali la vicinanza geografica di due campionature e rappresenta un approccio puramente quantitativo alla individuazione di caratteristiche sedimentologiche simili tra i campioni. Ciò costituisce sia un pregio che

una limitazione dell'analisi, che non tiene conto di elementi non trascurabili quali la tipologia della componente bioclastica, la presenza di granuli relitti, eccetera.

Il raggruppamento dei dati è basato su algoritmi la cui struttura logica prevede :

- 1) l'associazione degli elementi che possiedono distanza minima
- 2) la registrazione della distanza a cui avviene l'associazione
- 3) la formazione di vari gruppi e il calcolo della distanza tra i gruppi esistenti.

Lo strumento grafico che consente di rappresentare il processo di raggruppamento è il dendrogramma, cioè un diagramma costruito sulle matrici calcolate con i vari algoritmi, dal quale è possibile apprezzare il livello di distanza a cui avviene la fusione tra due elementi e quanto un gruppo sia separato dagli altri. Esso quindi indica la forza delle relazioni esistenti tra due elementi in base alla distanza che intercorre tra l'origine e la linea verticale più vicina che connette le linee orizzontali corrispondenti ai due elementi considerati. Il rapporto tra il livello di distanza a cui un gruppo viene formato e quello a cui si fonde con un gruppo gerarchicamente superiore è indicativo del grado di differenziazione poiché definisce quanto il grappolo è delimitato e separato dagli altri.

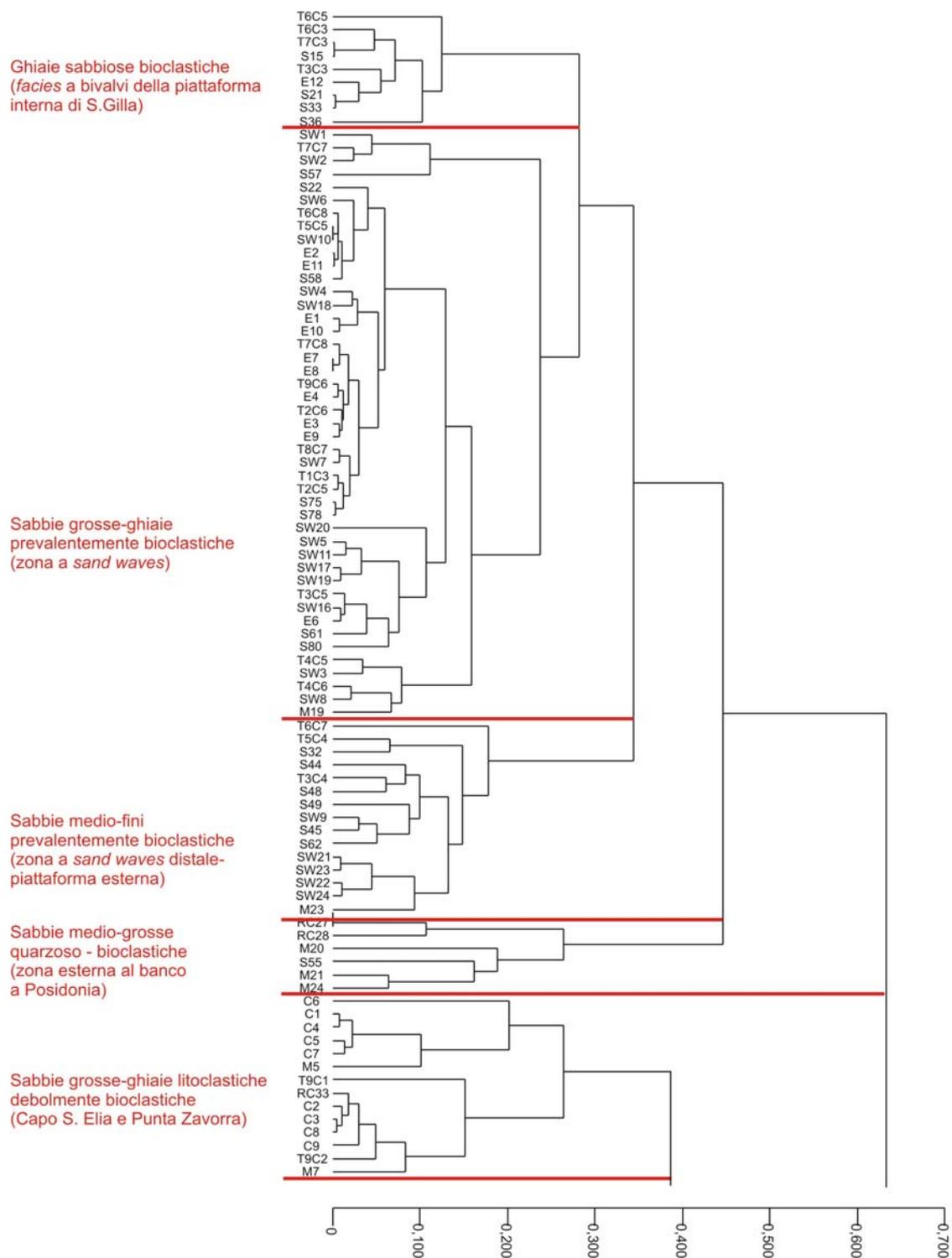
Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è XLSTAT, una macro di Excel che offre la possibilità di effettuare diverse tipologie di raggruppamento.

Gli algoritmi utilizzati nella trattazione dei dati dipendono dalle misure di similarità e dissimilarità degli elementi, cioè dal metodo gerarchico di aggregazione. Il metodo utilizzato è quello di Pearson (che rappresenta la misura di similarità più comunemente utilizzata), con la formula del legame medio (*average linkage*) in cui la distanza tra 2 classi è calcolata in base alla media delle distanze di tutti gli elementi di una classe da quelli dell'altra (WARD, 1963).

I valori caratteristici di ogni campione presi in considerazione per la formazione dei raggruppamenti sono stati immessi in tabelle formato MS Excel e sono rappresentati dalla percentuale in peso delle 7 classi granulometriche, da 5 valori che rappresentano le percentuali composizionali di quarzo, feldspati, litici, bioclasti e componenti accessorie, e infine dalla profondità di prelievo di ogni campione (vedi Tab. 2). Ogni campione è perciò rappresentato da 13 valori, utilizzati dal *software* per il calcolo statistico; la granulometria ha il peso maggiore ai fini del raggruppamento (7 valori), seguita dalla composizione e infine dalla profondità. Viene di seguito presentato il dendrogramma

delle campionature, e l'interpretazione delle caratteristiche delle principali classi individuate riferita all'areale o al livello batimetrico del campionamento (Fig. 4).

Dissimilarità di Pearson



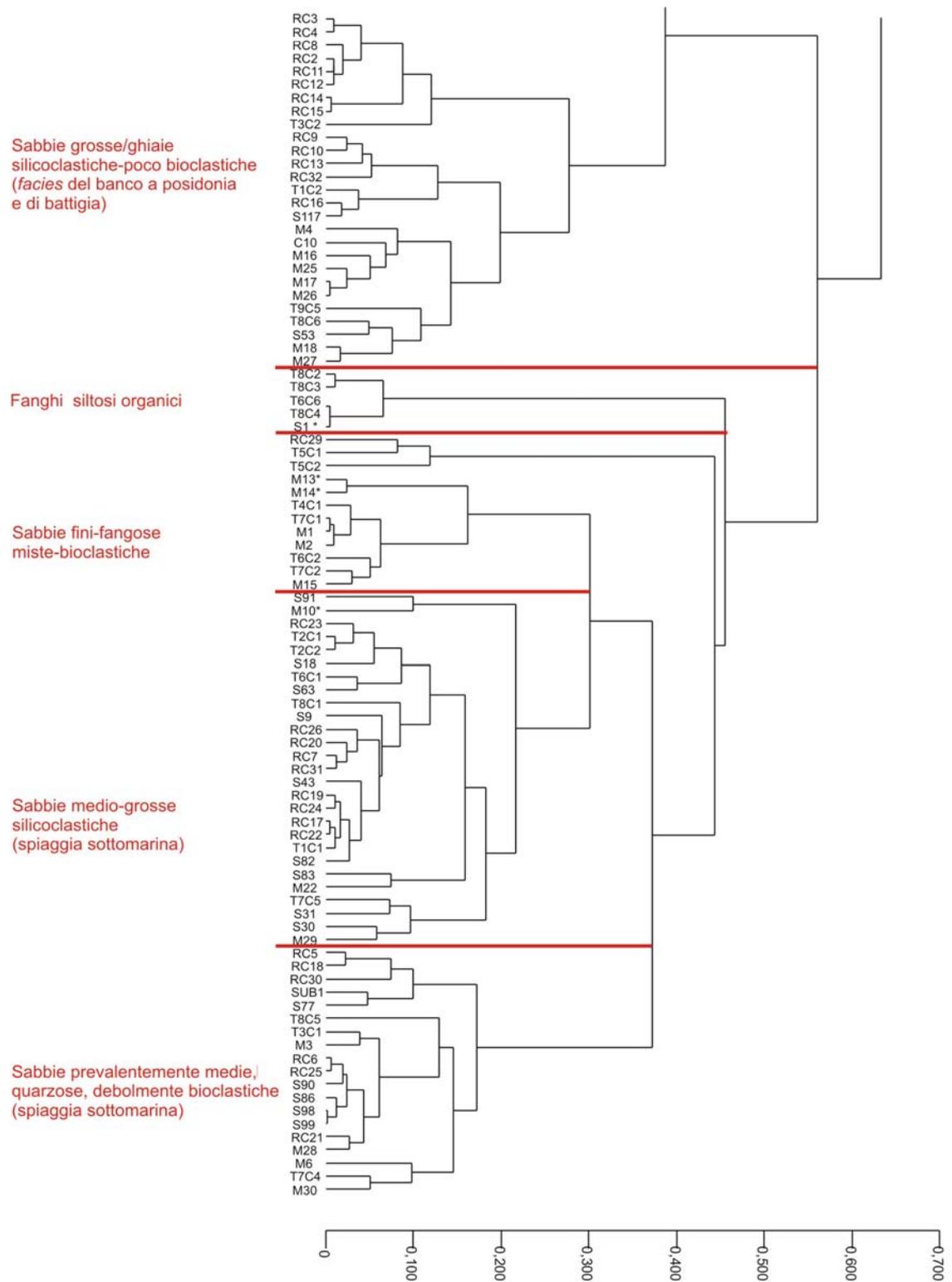


Fig. 4. Dendrogramma delle campionature, basato sulle caratteristiche granulometriche e composizionali dei campioni. In ascissa: distanza di fusione tra i campioni.

Le classi create presentano gradi di parentela legati maggiormente alla granulometria, e secondariamente alla composizione (e.g. gli estremi del dendrogramma sono: in alto sedimenti bioclastici talvolta bimodali, con sabbie medie scarse o assenti e in basso sabbie medie quarzoso-terrigene). I raggruppamenti osservati rispecchiano in modo approssimativo alcune associazioni di *facies* riconosciute, ma poiché i parametri utilizzati non rendono conto di alcune caratteristiche qualitative essenziali, quali il tipo di associazione bioclastica presente o l'areale di prelievo, i risultati sono talvolta incongruenti. In tal modo, ad esempio, le facies terrigene relitte del banco a Posidonia vengono associate a quelle dell'attuale battigia della costa Est del Golfo di Cagliari. Questo pur rappresentando una forte limitazione all'utilizzo della metodologia, in mancanza di un'attribuzione di un maggior numero di parametri, rappresenta comunque un approccio utile alla comparazione dei risultati deposizionali di processi in atto in contesti eustatico-ambientali diversi.

PARTE II

AMBIENTI DEPOSIZIONALI E LITOFACIES

I principali sistemi di ambienti della piattaforma, individuati su base ecografica, vengono di seguito descritti nei loro aspetti morfologici, processi deposizionali e prodotto sedimentario, con riferimento a eventuali controlli strutturali e all'evoluzione durante l'ultima fase eustatica trasgressiva.

1. PIATTAFORMA INTERNA DEL GOLFO DI SANTA GILLA

Questo sistema è caratterizzato da una concorrenza tra i processi biologici e quelli fisici, che si contendono il controllo morfo-sedimentologico dei fondali. La sedimentazione attuale è mista e controllata sia da apporti terrigeni di sedimenti fini, che dalle regioni costiere subiscono trasporto fino ai fondali depressi, che dallo sviluppo delle praterie di fanerogame e delle comunità bentoniche, responsabili della produzione bioclastica.

1.1 Ubicazione e processi

Il sistema shoreface- depressione interna del Golfo di Cagliari occupa la parte più interna della piattaforma. A Est è riparato dal promontorio calcareo di Capo Sant'Elia mentre a Ovest si estende fino quasi a Punta Zavorra. L'areale è circoscritto, verso mare, dal paleo rilievo della piattaforma intermedia che oltre a costituire un limite morfologico-deposizionale svolge una importante funzione di attenuazione del moto ondoso proveniente dai quadranti meridionali. Questa ubicazione fa sì che l'ambiente subisca in maniera esigua l'energia idrodinamica, e sia sede di una importante sedimentazione sabbiosa fine e fangosa.

L'ambiente emerso circostante è dominato da ampie zone lagunari, sedi delle trasgressioni marine pleistoceniche, con una rete idrografica caratterizzata da due principali affluenti (Flumini mannu e Cixerri) e discreti apporti fluviali di cui non si hanno purtroppo valutazioni quantitative, che alimentano lo *shoreface*.

L'idrodinamismo prevalente in quest'area è caratterizzato da un debole moto ondoso prodotto durante le mareggiate da SudEst, essendo assenti o molto deboli le correnti indotte da venti dai quadranti settentrionali e occidentali e le correnti *long-shore* indotte che attraversano il golfo in senso orario producendo basse strutture sui sedimenti fini osservabili nei profili *side scan sonar*.

1.3 Caratteristiche morfologiche e analisi dei fondali

Il sistema *shoreface*-depressione interna è costituito da una superficie sottomarina inclinata e debolmente convessa che si estende per una lunghezza massima di circa 5 Km, fino a un'ampia depressione, ad andamento irregolarmente allungato, che si dispone circa parallela alla linea di costa, raggiungendo in alcuni settori profondità di 27 m (Fig. 1).



Fig. 1. Profilo T6 della piattaforma interna del golfo di Santa Gilla, da riva fino al banco a Posidonia. In basso scala orizzontale chilometrica. Ubicazione in figura 2.

Il fondo della depressione, a sedimentazione fangosa, si presenta generalmente spoglio e perfettamente planare, mentre vari processi idrodinamici-sedimentari e biologici determinano la morfologia superficiale dei fondali dello *shoreface* superiore e inferiore. Gli elementi strutturali più evidenti, osservabili dal profilo all'ecografo sono: 1) la transizione tra il lungo pendio della spiaggia sottomarina e la depressione interna, che si presenta netta e costituita da un gradino morfologico in alcuni punti alto fino a $8 \div 10$ m, e 2) la più graduale risalita del fondale oltre la depressione, lungo il banco della piattaforma intermedia.

Altri elementi osservabili sono il regolare profilo dello *shoreface* superiore, caratterizzato da una ridotta superficie spoglia di vegetazione sottomarina in prossimità della spiaggia, che si ricopre da profondità di $2 \div 6$ m circa, di alghe e basse fanerogame prima, e successivamente di posidonie ben strutturate a *mattes* generalmente basse, con piccole depressioni chiuse e canali profondi $1 \div 2$ m riempiti di sedimento. Più esternamente, il fondale si presenta colonizzato in maniera discontinua, con rare *mattes* isolate e una bassa vegetazione algale. Talvolta le *mattes* appaiono “annegate” nel sedimento fangoso. Ciò si evidenzia nei profili SSS come un minore contrasto tra le *mattes* e le depressioni di *intermattes*, che appaiono opache, e i prelievi mostrano sistematicamente la presenza di sedimento fangoso in superficie. Verso la depressione

infine si ha una sedimentazione tendenzialmente più fangosa, con scarsa presenza di vegetazione e di fauna bentonica. Nel settore meridionale invece la Posidonia si presenta talvolta progradante oltre il gradino erosionale sui fondali fangosi della depressione mentre nelle parti centrali di questa, il fondale passa a superfici spoglie.

Il rilievo *side scan sonar*, confrontato con i profili ecografici e *SBP* ha evidenziato la presenza di cinque tipologie principali di fondali:

- Lo *shoreface*, privo di vegetazione con ripple e strutture sedimentarie minori;
- Un'area a Posidonia a mattes basse, con caulerpa e alghe minori;
- Un'area fangosa a posidonia prevalentemente depleta, spesso con *mattes* annegate, vegetazione algale e fauna a bivalvi;
- Un fondale a sedimenti sabbiosi fini-fangosi con strutture sedimentarie;
- Un'area più profonda a fanghi siltosi organici (fig. 2).

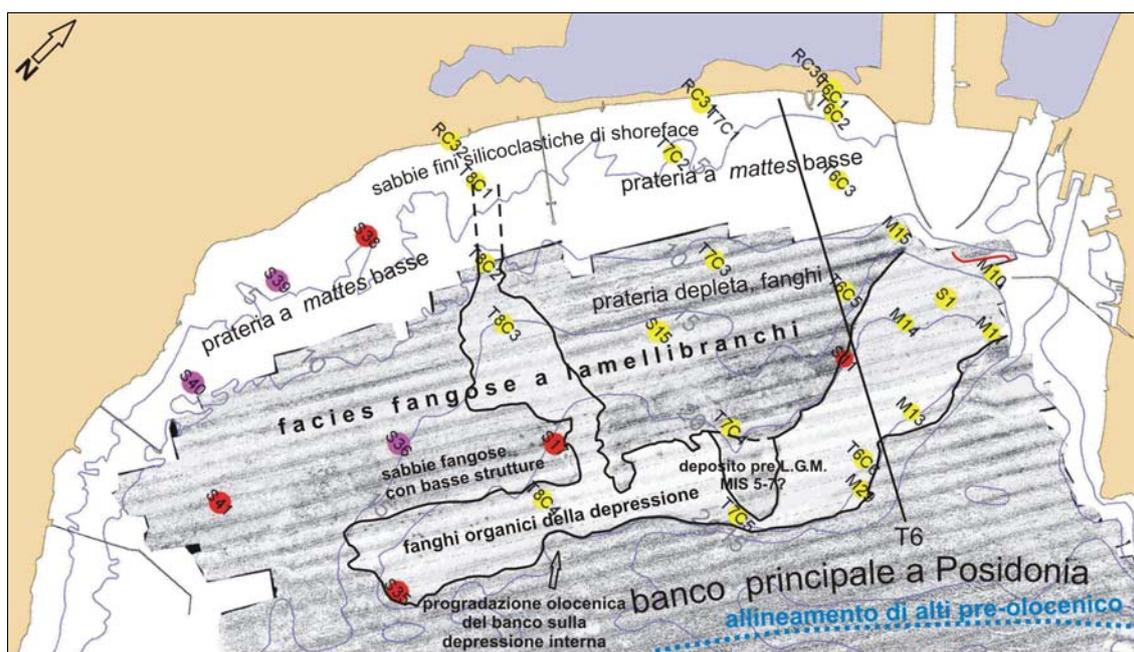


Fig. 2. Mosaico SSS della piattaforma interna del golfo di Santa Gilla interpretato. T6: ubicazione del profilo in figura 1.

L'interpretazione dei differenti tipi di fondale al *side scan sonar* non è sempre facilmente risolvibile in questo settore di piattaforma. Le varie specie vegetali si presentano spesso in associazione senza che si possa stabilire un limite batimetrico alla diffusione di una determinata tipologia di colonizzazione. Inoltre anche in aree dove la

struttura a mattes delle posidonie appaia colonizzare in maniera continua il substrato, le campionature dimostrano invece la presenza di sedimenti fini-fangosi misti bioclastico-terrigeni, diversamente da quanto avviene nel banco principale dove, a parte nelle ristrette aree di *intramatte* le campionature non sono effettuabili talmente è fitta la prateria. Questa limitata distribuzione e continuità della prateria, che presenta ampie zone a sedimento libero, indica probabilmente una “competizione” con i processi di trasporto di materiali terrigeni dalla costa. La presenza eccessiva di sedimento fine, favorita dall’energia molto bassa dell’ambiente, ostacola probabilmente la crescita delle piante; i sonogrammi a scansione laterale mostrano spesso delle riflessioni opache sulle *matte*, dovute forse a fango che potrebbe talvolta annegare le strutture. La posidonia appare prevalente nei profili ecografici fino a profondità di 10m circa nel settore centrale del golfo mentre nelle aree meridionali di questo, dove numerosi tentativi di campionamento con benna sono stati effettuati senza successo, la prateria sembra più estesa e con una maggiore integrità. A tale riguardo si può pensare che in queste aree siano maggiormente esposte alle correnti di moto ondoso, e che la dispersione dei sedimenti fini favorisca appunto la crescita delle fanerogame.

Le numerose campionature effettuate in quest’area mostrano in definitiva il prevalere di substrati fangosi, colonizzati da varie specie algali come la *Caulerpa prolifera*, *Codium fragile* e *Codium bursa* e piccole fanerogame come la *Cimodocea nodosa*, sui quali prolifera una fauna prevalentemente a molluschi (bivalvi e gasteropodi) echinidi e foraminiferi.

1.4 Analisi dei sedimenti

La depressione e lo *shoreface* in generale sono caratterizzati da sedimentazione fine, più o meno fangosa e ad alto contenuto di materia organica, proveniente dal disfacimento delle posidonie in situ e dal banco principale situato a ridosso della depressione.

La produttività carbonatica è più o meno diffusa nello *shoreface* superiore e nei fondali colonizzati da posidonie, mentre nei settori più distali sui fondali fangosi è ridotta per la scarsa presenza di in-fauna in queste aree, forse dovuta alle condizioni asfittiche della sedimentazione. Nelle zone più profonde della depressione si ha infatti decantazione

delle frazioni più fini degli apporti continentali, della materia organica e la sedimentazione dei materiali spazzati dal banco della piattaforma intermedia durante le occasionali mareggiate (Tab.1).

Campione	Profondità (m)	Descrizione
RC 30	-	Sabbia media e grossa silicoclastica, molluschi
RC 31	-	Sabbia quarzosa fine, ben classata, molluschi
RC32	-	Sabbia molto grossa silicoclastica a minerali accessori
M10	9,5	Fango debolmente organico
M29	20,0	Sabbia fine, materia organica
M13	19,0	Fango a <i>fecal pellets</i>
M14	20,0	Fango a <i>fecal pellets</i>
M15	12,5	Sabbia molto fine a <i>pellets</i>
T6C1	2,0	Sabbia fine a bivalvi
T6C2	4,0	Sabbia molto fine fangosa a bivalvi
T6C3	8,0	Sabbia eterometrica a bivalvi
T6C5	12,5	Sabbia fine a bivalvi, ciottoli fluviali relitti
T6C6	23,5	Fango organico estremamente classato $Dg < 0,063$ mm
T7C1	2,0	Sabbia quarzosa-bioclastica molto fine
T7C2	5,3	Sabbia quarzosa molto fine-fangosa
T7C3	11,9	Sabbia medio-fine a bivalvi
T7C4	17,0	Sabbia eterometrica a bivalvi
T7C5	24,4	Sabbia fine mista bioclastica a <i>pellets</i>
T8C1	8,0	Sabbia fine a bivalvi
T8C2	10,5	Fango sabbioso a bivalvi
T8C3	15,0	Fango sabbioso a bivalvi
T8C4	23,0	Fango organico estremamente classato $Dg < 0,063$ mm
S1	18,7	Fango silteso organico carbonatico
S11**	17,1	Sabbia fine, argilla, corallo bianco, detriti antropici
S15	17,3	Sabbia fangosa a bivalvi
S17**	22,2	Cimodocea su substrato fangoso
S35**	24,0	Sabbia fine mista e caulerpa
S36*	17,5	Sedimento fangoso con Caulerpa

S38**	8,5	Fango a bivalvi con caulerpa
S39*	7,9	Sabbia fine fangosa
S40*	10,7	Sabbia fine fangosa
S41**	12,7	Caulerpa su substrato fangoso

Tab. 1. Campionature del settore interno della piattaforma di Cagliari, golfo di Santa Gilla, con descrizione sintetica del sedimento sulla base delle analisi granulometriche e composizionali. I campioni asteriscati sono stati analizzati solo granulometricamente, mentre dei campioni con due asterischi si ha solamente una descrizione visiva del contenuto.

La sedimentazione in *shoreface* è prevalentemente terrigena e caratterizzata da una generale tendenza *fining basinward* con sabbie grosse in prossimità della battigia e fini verso il largo. I sedimenti presentano generalmente uno scheletro silicoclastico, con una componente bioclastica dovuta alla fauna presente, costituita da organismi epi ed endobentonici di limivori e filtratori. Questa componente è prevalentemente costituita da gusci di molluschi (lamellibranchi e gasteropodi), ma si ritrovano inoltre radioli e frammenti di gusci di echinidi irregolari, briozoi, foraminiferi e, nelle frazioni di diametro minore, rare spicole di spugne silicee. La componente bioclastica si attesta, nei campioni prelevati sulla battigia, intorno al 10÷15% e nei campioni di spiaggia sommersa al 30% circa del totale, fino a circa il 45% nel campione T8C1. La frazione terrigena è costituita per circa il 60÷70% da quarzo che proviene dagli apporti fluviali del Graben del Campidano, mentre risultano subordinati i feldspati e i granuli litici.

In relazione alla bassa energia dell'ambiente, anche nei campioni più prossimali è spesso presente una componente organica costituita da frammenti di foglie di Posidonia, che diviene poi dominante in alcune campionature effettuate nella depressione interna.

Tale componente nel campione T6C3 arriva fino a circa il 30% (stima areale al binoculare) nella frazione 500÷250 µm, nel T7C2 il al 30% nella frazione 250÷125 µm, nel T7C3 al 20% nelle frazioni 1000÷500 µm, 60% volumetrico complessivo nel campione T7C4.

Oltre la fascia prossimale le facies divengono più fangose, seppur con curve granulometriche con andamento irregolare, in alcuni casi marcatamente bimodali o polimodali a causa del contenuto in gusci, specialmente di molluschi. Lungo il pendio dello *shoreface*, fino alla brusca transizione con la depressione i campioni presentano un

generale aumento di componente bioclastica (80÷90% del totale in T7C3 e T6C3, 94% in S15). Nel campione T6C5 si osserva, oltre a queste componenti, la presenza di ciottoli fluviali relitti; questi documentano una sedimentazione tardo-olocenica-attuale discontinua che, in aree limitate, lascia esposti sedimenti più antichi.



Fig 2. Campione T6C5; componente bioclastica a bivalvi e rari noduli algali e ciottoli fluviali relitti.

Associata alla presenza della componente organica di fibre di Posidonia si osserva spesso la presenza di *fecal pellets*. Queste particelle, dalle dimensioni variabili tra 500÷125 μm , presentano un caratteristico aspetto ovoidale, con superficie irregolare e una debole coerenza. La reazione all'attacco acido HCl dimostra la loro composizione moderatamente carbonatica, associata a componenti siltose e organiche.



Fig. 2. Frazione delle sabbie medie ($500 \div 250 \mu\text{m}$) del Campione T7C5 con *fecal pellets*, quarzo e frammenti bioclastici.

Viene segnalata inoltre la campionatura di una facies fangosa con corallo bianco, in corrispondenza di una zona a forte influenza antropica e di dubbia interpretazione al *side scan* (S11).

Fanghi organici della depressione

I campioni più fangosi della piattaforma (S1, M10, M11, M14, T6C6, T7C5 e T8C4) vengono prelevati all'interno della depressione, che rappresenta un'areale favorevole all'accumulo delle torbide del Rio Mannu e del Cixerri, che si è constatato, raggiungono peraltro quasi tutta la piattaforma occidentale e delle particelle fini bioclastiche e organiche provenienti da tutto il golfo. In quest'area le caratteristiche ambientali limitano la vita anche degli organismi bentonici filtratori, altrove presenti e della vegetazione anche algale, che non sopporta le condizioni asfittiche di questi fondali. I fanghi si presentano - dal punto di vista organolettico - neri, a forte odore di putrefazione, e documentano l'instaurarsi precocemente, in questo ambiente, di condizioni riducenti subito al di sotto dell'interfaccia acqua-sedimento.

Le facies più fini sono rappresentate dai campioni S1, M10, T6C6 e T8C4 nei quali tutto il materiale passa al vaglio dei $63 \mu\text{m}$. Il contenuto carbonatico di questi campioni è costituito, oltre che da una piccola percentuale di gusci di molluschi e foraminiferi, da silt e particelle di diametro inferiore provenienti probabilmente da detriti bioclastici del

banco a Posidonia. La percentuale carbonatica, valutata mediante calcimetria, è compresa tra il 17% (T7C5) e il 24% (M10), con una percentuale calcite/aragonite che si attesta tra il 20% del M10, il 34% del T6C6 e il 40% del T8C4.

E' stata effettuata sul campione T8C4, una valutazione del contenuto in peso della materia organica/argillosa rispetto alle componenti siltose-sabbiose e ai carbonati, che è risultata attestarsi al 43%. La materia organica si aggrega in questi sedimenti con le particelle fini e forma una matrice nella quale sono immersi i granuli più grossi (vedi Parte I, Cap. 5, Fig. 3).

Alcuni campioni mostrano la presenza sia di livelli fangosi organici che sabbiosi fini e mostrano al momento del prelievo, una struttura costituita da una fitta alternanza di lamine millimetriche di sabbia molto fine e di argille nere, presenti per almeno circa 20 cm sotto la superficie del fondale (profondità raggiunta dalla benna). Questo elemento documenta la presenza di una sedimentazione alterna di fanghi di bel tempo, ricchi di materia organica, con lamine sabbiose di tempesta. Nelle parti più profonde della depressione i sedimenti (che al momento del prelievo presentano una discreta coerenza) non mostrano una simile laminazione e sono costituiti da un omogeneo spessore di fango, forse per la mancanza di disponibilità di materiali più grossi in quelle zone.

1.5 Analisi dei profili SBP e ipotesi genetiche della depressione

La genesi della depressione interna, decisiva per la comprensione del funzionamento sedimentario dell'intera piattaforma attuale, è da riferirsi a cause strutturali e a processi legati alle variazioni eustatiche pleistoceniche.

Dall'analisi dei profili SBP si può riconoscere, ad una profondità fino a 47m sotto il livello del mare, una superficie, dove si scorge talvolta anche una geometria a terrazzi, attribuibile all'erosione in fase di *low-stand* (Fig. 4).

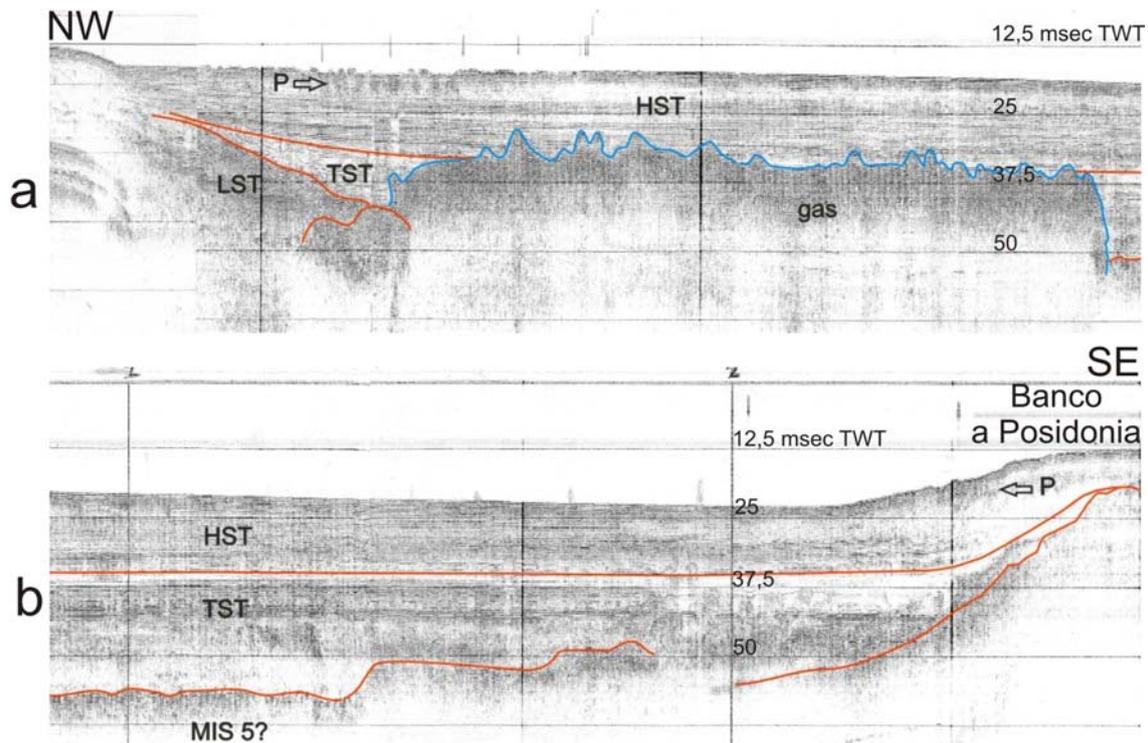


Fig. 4. Profilo *SBP* trasversale alla depressione del Golfo di Santa Gilla diviso nelle due immagini **a** e **b**. Il riempimento può essere interpretato come una sequenza di trasgressione e una di stazionamento alto delimitate dalla *maximum flooding surface*.

Il profilo mostra una sequenza di riempimento della depressione suddivisibile in diverse fasi. Alla base si osservano da una successione di riflettori suborizzontali, interpretabili come depositi terrazzati fluviali. Nella parte inferiore si osservano riflessioni chiare, non organizzate, attribuite a depositi di tipo fluviale e continentale in fase di risalita eustatica. Successivamente si osservano riflettori pianoparalleli interpretabili come un'alternanza deposizionale di sedimenti più fini (bande chiare) e più grossi (scure) a controllo di auto o allo cicli di ordine inferiore. A circa metà della sequenza di riempimento si osserva la presenza di un riflettore più chiaro (perciò più fangoso) che indica probabilmente il raggiungimento del *maximum flooding*, ovvero la massima distalità dell'ambiente o profondità del livello marino. Questo limite permette di separare la sequenza inferiore che rappresenta un riempimento in fase trasgressiva, da quella superiore che corrisponderebbe a un deposito in fase di stazionamento alto. Questa sequenza olocenica non colma la depressione, che si presenta ancora in *deficit* sedimentario. Durante lo *high stand* le posidonie progradano sulla depressione sia dal banco principale verso terra, sia in alcuni settori dallo *shoreface* inferiore verso il largo.

Lo sviluppo di questa area depressa appare controllato contemporaneamente dai due fattori. Un' importante erosione in fase di *falling*, *low stand* e *rising*, verificatasi lungo valli fluviali circa parallele alla costa sia a Est che a Ovest di Capo S. Elia, avrebbe inciso la piattaforma interna ed isolato dei rilievi esterni ad essa. Durante le fasi di innalzamento eustatico e soprattutto dopo i *maximum flooding*, la depressione si sarebbe accentuata sia per la capacità aggradante del banco a, sia per il verificarsi di un *deficit* volumetrico di sedimenti nelle paleo-valli fluviali, derivato dalla retrogradazione dell'*input* terrigeno e dall'aumento dello spazio disponibile.

L'attuale concezione del funzionamento di questa parte della piattaforma, che riprende parzialmente quella di Segre (erosione di valli fluviali durante la fase eustatica di *low stand* "wurmiana" (MIS 4-2)), prevede inoltre il susseguirsi, in piattaforma intermedia, di diversi stazionamenti marini che avrebbero sbarrato l'attuale piattaforma interna appoggiandosi lungo l'infrastruttura costituita dal promontorio di Capo Sant'Elia, durante i quali la regione retrostante sarebbe stata occupata da un'avvicinarsi di ambienti fluviali e transizionali marini. La fascia centrale della piattaforma, in rilievo, si presume sia stata sede di una successione di corpi sedimentari attribuiti a campi dunari, cordoni litorali, barre sabbiose, ecc. in seguito all'annegamento colonizzati dal banco bioclastico a posidonie. Questa configurazione morfologica indicherebbe il fatto che quest'area sia stata, anche per le favorevoli condizioni infrastrutturali e di disponibilità di sedimenti, più volte sede di sistemi costieri e circolatori e che questo livello (attualmente tra i -15÷20 m) rappresenti una condizione di relativo stazionamento frequentemente raggiunta durante i cicli eustatici pleistocenici. Durante i periodi di livello eustatico basso la depressione sarebbe stata confinata da questi rilievi, che avrebbero inoltre costretto i paleo alvei a seguire un andamento più o meno parallelo alla costa, con una foce fluviale ubicata probabilmente nell'estremità meridionale del golfo.

2. PIATTAFORMA INTERNA DEL GOLFO DI QUARTU

Questo ambiente si sviluppa nell'area del Golfo di Quartu, delimitata a Ovest dal Capo Sant'Elia, e si estende a Est fino alla zona costiera di Capitana e verso mare fino alla batimetria di -15m oltre i fondali depressi della piattaforma interna.

Questo settore di piattaforma si colloca su un blocco di *horst* del *Rift* Sardo, rispetto al *Graben* del Campidano e questo livello strutturale più alto esercita un controllo sulla tipologia di sedimenti (granulometrie più grosse), sulle geometrie e sugli spessori sedimentari plio-quadernari.

Il sistema della piattaforma interna del Golfo di Quartu mostra analogie con quello del golfo di Santa Gilla dovute alla sovrapposizione dei processi controllati dai cicli eustatici tardo pleistocenici, sui due contesti infrastrutturali diversi.

L'ambiente emerso circostante è caratterizzato anch'esso, come il corrispettivo del settore Ovest da zone lagunari, sebbene di estensione minore e limitata alle zone adiacenti il litorale attuale.

L'area depressa del fondale si dispone circa parallela alla linea di costa, e attraversa con continuità per almeno 5÷6 km la piattaforma, allungandosi fino oltre il promontorio di Capo Sant'Elia nella piattaforma occidentale.

La rete idrografica è meno sviluppata rispetto al settore occidentale della piattaforma, per cui i bilanci volumetrici totali in *foreshore* sono esigui. L'ambiente litorale mostra condizioni instabili e, in tempi storici, arretramenti per cause globali e antropiche locali. Il basso tasso di sedimentazione fangosa favorisce, all'interno del golfo, la presenza dell'ecosistema a posidonie che occupa in maniera più o meno continua tutto l'areale dello shoreface inferiore e della depressione.

2.1 Caratteristiche morfologiche e analisi dei fondali

L'ambiente prossimale è costituito da uno *shoreface* sabbioso ampio 1÷1,2 km nelle zone occidentali ridossate al Capo S.Elia, e progressivamente più corto verso est fino a essere estremamente ridotto (poche decine di metri) nella parte orientale della spiaggia del Poetto e lungo tutta la costa orientale del golfo. Sono presenti in *shoreface* barre litorali e corpi sabbiosi non stabili, migranti stagionalmente. Il golfo è interessato inoltre da correnti di trasporto long-shore dirette in senso orario, con bilanci sedimentari attualmente negativi nelle zone occidentali e positivi nelle zone orientali del Poetto (località Margine Rosso), con debole progradazione del litorale in quest'area.

Lo *shoreface* inferiore è costituito da un pendio irregolare, con alti morfologici evidenziati dai profili ecografici e attribuibili a linee di riva forse recenti, colonizzato dalle posidonie con la loro tipica configurazione a *mattes*. Le parti distali dello *shoreface* inferiore sono invece di non chiara risolvibilità dai profili ecografici e *side scan*, ma per la scomparsa della struttura a *mattes* e per le campionature disponibili si ritiene siano irregolarmente colonizzate da rare posidonie e più frequentemente da altre fanerogame ed alghe. In alcuni settori è invece verosimile la presenza di *Posidonia* anche nei fondali più profondi della depressione sebbene con strutture discontinue.

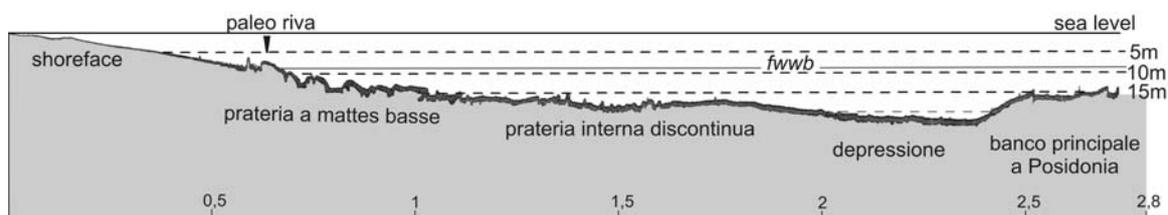


Fig. 1. Sezione interpretata della piattaforma interna del Golfo di Quartu. Ubicazione in fig. 2. Scala orizzontale in Km.

La *Posidonia* e le praterie algali in quest'area sembrano favorite dalla ridotta sedimentazione fangosa, causata sia dai minori apporti terrigeni, sia per l'idrodinamismo più elevato a cui quest'area è soggetta rispetto alla corrispettiva area della piattaforma interna del golfo di Santa Gilla. I fondali si presentano perciò più produttivi per quanto riguarda la biomassa legata alla presenza dell'ecosistema a posidonie e dei tappeti algali, con scarse zone senza coperture vegetali.

I fondali identificati all'analisi dei profili *side scan* ed ecografici sono riconducibili a 4 principali tipologie:

- 1 fondali sabbiosi con barre litorali, *ripple marks* e strutture sedimentarie minori;
- 2 fondali sabbiosi fini-fangosi, a Cimodocea, basse praterie algali e rare posidonie
- 3 fondali colonizzati dalla prateria di Posidonia a mattes basse;
- 4 fondali fangosi a posidonia discontinua con piccole mattes (Fig. 2).

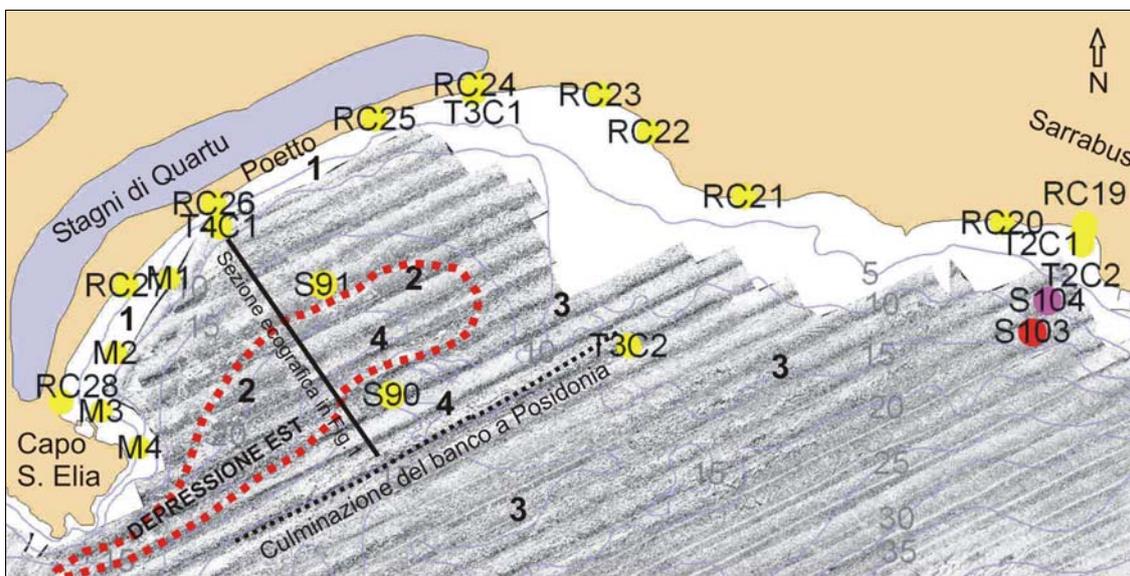


Fig. 2. Mosaico *side scan sonar* dello shoreface-depressione orientale della piattaforma interna.

I fondali a prevalenza di Cimodocea e Caulerpa in associazione con altre alghe, rappresentano probabilmente condizioni di degrado dell'ecosistema. I fattori sedimentologici possono limitare la diffusione della prateria di posidonie, come discusso nel capitolo precedente, ma in questo caso le influenze antropiche come la pesca a strascico, ampiamente diffusa in questo settore del golfo, possono aver giocato un ruolo determinante nella rottura dell'equilibrio biologico di queste aree, lasciando una vegetazione che può essere considerata degradata-residuale rispetto alla colonizzazione a Posidonia (fig. 3).



Fig. 3. Fondale a *Posidonia oceanica* e *Caulerpa prolifera*, nello *shoreface* prossimale, pressi di Capo Sant'Elia.

Non si hanno a disposizione profili SBP in questo settore di piattaforma, ma la morfologia del fondale e le conoscenze della depressione in piattaforma occidentale consentono di attribuirle una genesi ed una evoluzione post glaciale analoga. Attualmente i fondali depressi raggiungono profondità massime di circa 23÷24 metri. La minore escavazione di questo settore della piattaforma rispetto al Golfo di Santa Gilla potrebbe essere dovuta sia al minore sviluppo della rete idrografica in quest'area, sia alla minore erodibilità dei depositi pre-olcenici presenti, rispetto ai materiali fini che costituiscono la parte sommitale della sequenza di colmamento del graben del Campidano.

2.2 Analisi dei sedimenti

Questo areale è stato campionato principalmente lungo la fascia costiera prossimale, mentre nello *shoreface* inferiore la presenza della *Posidonia* ha impedito il prelievo sistematico di campioni (Tab. 1).

Campione	Profondità (m)	Descrizione
RC19	-	Sabbia fine silicoclastica
RC20	-	Sabbia quarzosa fine, ben classata ($\sigma\phi=0,40$)
RC 21	-	Sabbia media silicoclastica
RC 22	-	Sabbia quarzosa fine, ben classata ($\sigma\phi =0,45$)
RC 23	-	Sabbia fine, debolmente bioclastica a biotite e minerali accessori
RC 24	-	Sabbia media-fine silicoclastica
RC 25	-	Sabbia media-fine silicoclastica, debolmente litoclastica
RC 26	-	Sabbia fine a componente bioclastica (ripasciuta)
RC 27	-	Sabbia mista bioclastico-terrigena (ripasciuta)
RC 28	-	Sabbia mista bioclastico-terrigena (ripasciuta)
T2C1	3,5	Sabbia fine silicoclastica a biotite e minerali accessori
T2C2	5,5	Sabbia fine silicoclastica a biotite e minerali accessori
T3C1	1,0	Sabbia media-fine quarzoso-feldspatica
T3C2	14,2	Giaia sabbiosa litoclastica
T4C1	6,0	Sabbia quarzosa molto fine
M1	6,5	Sabbia molto fine quarzoso-bioclastica*
M2	8,5	Sabbia quarzosa molto fine
M3	6,5	Sabbia media-fine a bivalvi
M4	5,5	Sabbia silicoclastica grossa-molto grossa
S90	12,5	Sabbia media-fine quarzoso-bioclastica a bivalvi
S91	18,5	Sabbia fine fangosa bioclastico-terrigena a bivalvi, materia organica
S103**	10,9	Sedimento bioclastico di intramatte
S104*	7,7	Sabbia media bioclastica, frammenti di Posidonia

Tab. 1. Campionature del settore interno della piattaforma di Cagliari, golfo di Quartu, con descrizione sintetica del sedimento sulla base delle analisi granulometriche e composizionali. I campioni asteriscati sono stati analizzati solo granulometricamente, mentre dei campioni con due asterischi si ha solamente una descrizione visiva del contenuto.

La regione costiera più orientale è caratterizzata da sedimenti derivanti dall'erosione del complesso plutonico tardo ercinico del Sarrabus, a composizione granitoide e, in subordine, del complesso filoniano calcoalcalino. I sedimenti in *foreshore* sono quarzoso feldspatici, debolmente litoclastici, con una piccola frazione bioclastica dovuta alla presenza frammenti di gusci di gasteropodi e bivalvi. I sedimenti prevalentemente

quarzosi della regione occidentale del golfo, che mostrano maggiori indici di maturità tessiturale e composizionale, provengono invece dalle arenarie e marne arenacee mioceniche che affiorano a est di Cagliari (soprattutto dalla formazione delle Arenarie di Pirri, Serravalliano, PECORINI & POMESANO CHERCHI, *op. cit.*), quindi derivano anch'essi dal basamento metamorfico e granitoide del Sarrabus, ma tramite più cicli deposizionali che possono risalire fino al Paleogene.

I sedimenti marini campionati nel settore ovest del Golfo di Quartu (T4C1, M1, M2 e M3) presentano una composizione quarzosa e granulometria nelle sabbie fini-molto fini con discreta componente bioclastica, mentre il campione M4 ha composizione sempre silicoclastica ma con granulometria sabbiosa grossa e molto grossa. Questo sedimento rispecchia condizioni idrodinamiche più energetiche ed è attribuibile ad una facies relitta di shoreface molto comune in piattaforma intermedia (vedi capitolo successivo). La produttività carbonatica aumenta nella parte distale dei fondali sabbiosi soprattutto con l'inizio della prateria di posidonie, che può essere ubicato a $-4\div-8$ m, profondità alle quali gli organismi crescono in condizioni idrodinamiche tranquille. A questo livello batimetrico è possibile associare il limite d'azione dell'onda di tempesta (*fair weather wave base: fwwb*). Poiché lo sviluppo della struttura a *matte* richiede diversi anni si deduce che questo limite non è soggetto alle fluttuazioni stagionali, ma è piuttosto da ritenersi stabile lungo un arco di tempo almeno decennale.

Nelle zone più profonde la sedimentazione bioclastica e quella terrigena fangosa aumentano. I campionamenti nello shoreface inferiore (S90, S91) mostrano un sedimento sabbioso fine-fangoso, con componente silicoclastica prevalente nelle frazioni fini (in equilibrio con gli attuali bassi livelli energetici) e componente bioclastica prodotta dagli organismi *in situ*: gusci di bivalvi, gasteropodi, foraminiferi, briozoi e rari esemplari di alghe corallinacee. Si ritrova in questi sedimenti anche una discreta componente organica data dall'accumulo di residui di posidonie, analogamente a quanto accade nello *shoreface* inferiore del Golfo di S.Gilla, sebbene in misura minore. I livelli energetici raggiunti in quest'area sono perciò più alti rispetto a quelli della piattaforma interna del Golfo di S.Gilla, sia per il livello strutturale più alto che per la maggiore esposizione alle correnti incidenti da SudEst.

3. BANCO PRINCIPALE A POSIDONIA E PENDIO ESTERNO DELLA PIATTAFORMA INTERMEDIA

In piattaforma intermedia è presente una fascia in rilievo ampia 3÷5 Km quasi parallela alla linea di costa che si raccorda verso NE alla piattaforma del Sarrabus, verso SW a quella del Sulcis meridionale e nella parte centrale al promontorio di Capo S. Elia. Il rilievo è sede attualmente del banco a Posidonia, così denominato per la struttura interna non *wave resistant* (RIDING, 2002), che in condizioni attuali mostra una capacità aggradante con spessori misurati al di sopra della superficie di *ravinement* olocenica dell'ordine di 7 metri circa.

La presenza di questa area in rilievo, che attualmente rappresenta il più importante limite fisiografico della piattaforma, fa ritenere probabile che essa sia stata sede, durante le variazioni eustatiche pleistoceniche, di antichi depositi costieri e continentali transizionali che ne costituiscono l'infrastruttura attuale.

3.1 Caratteristiche morfologiche e analisi delle facies acustiche

Il banco a posidonie si eleva di 10÷15 metri oltre le depressioni della piattaforma interna, culmina a circa -12 metri di profondità, ed è seguito da un ampio prisma deposizionale a superficie poco inclinata, la cui attaccatura raggiunge i 30÷35 metri di profondità.

Superficialmente, la morfologia del banco si diversifica sotto il controllo dell'idrodinamismo e probabilmente del tipo di substrato sul quale le fanerogame si insediano. La Posidonia presenta una struttura di accrescimento, denominata *mattes*, che si eleva dal fondale come un gradino morfologico, con un tasso di crescita (dipendente dal tasso di sedimentazione) che può raggiungere 1 m/secolo (PÉRÈS & PICARD, 1964; RIEDL, 1991). In prossimità della depressione la prateria, che cresce su fondali fangosi, si presenta generalmente a *mattes* piccole (Fig.1).



Fig. 1. Mosaico SSS che mostra la progradazione del banco a Posidonia sulla depressione ovest della piattaforma interna. La Posidonia è molto discontinua con frequenti *intramattes* e la sedimentazione sul fondale è prevalentemente fangosa.

Nella parte alta del banco invece la struttura a *matte* presenta pareti alte e grandi canali *inter-matte* allineati parallelamente alle isobate. I gradini sono sistematicamente rivolti verso il largo e ciò implica un controllo idrodinamico per frequente azione delle onde di bel tempo e dell'azione più intensa di quelle di tempesta che erodono e scalzano i sedimenti alla base delle strutture. Più esternamente, per profondità di 18÷20 m circa, la prateria appare più continua e caratterizzata spesso da un profilo ad ampi terrazzi (fig. 2).

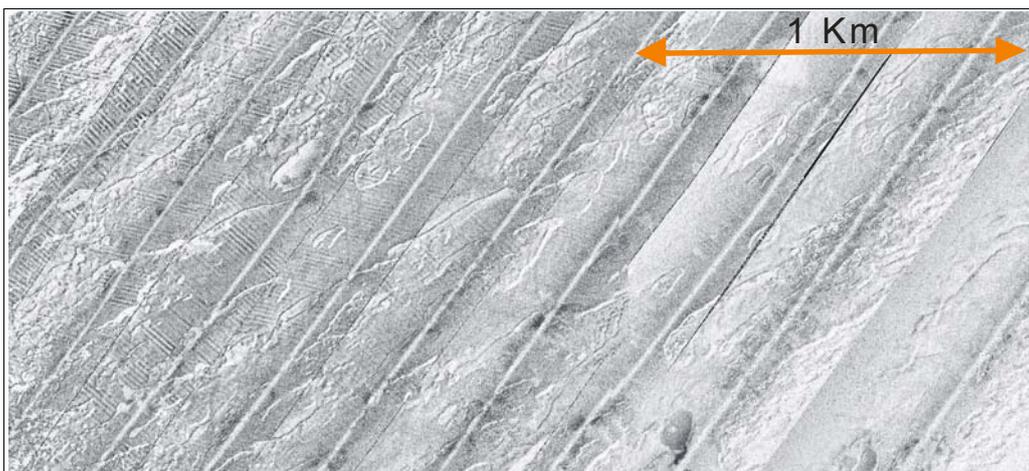


Fig. 2. Prateria a terrazzi. Le depressioni di *intramattes* formano dei canali il cui allineamento segue quello delle isobate. La profondità in questo settore è di 20m circa.

Nelle parti distali ($-23\div 25$ m) la prateria si dirada per poi scomparire definitivamente alla profondità di circa $30\div 35$ m per diminuzione della luminosità (fig. 3).



Fig. 3. Transizione esterna del banco a Posidonia con la fascia delle sand waves (allineate anch'esse secondo l'andamento batimetrico). Alla struttura a *mattes* fa seguito un'area acusticamente poco riflettente (presenza di matrice fine nei sedimenti), con vegetazione ridotta a tappeti algali e rare *mattes* isolate. La profondità di questo limite è di 25m.

La prateria che occupa il settore est della piattaforma di Cagliari presenta generalmente strutture più piccole e discontinue e non si assiste allo sviluppo dei grandi ripiani allineati di *mattes* presenti invece nel settore occidentale.

3.2 Analisi dei sedimenti

Nella superficie attuale del banco è presente un'importante produttività bioclastica mentre nelle depressioni *intra-mattes* è presente una componente prevalentemente silicoclastica. Il ruolo della prateria nel controllo della sedimentazione attuale si esplica da un lato nella produzione di materiale organico e di sedimento carbonatico-bioclastico, dall'altro nelle funzioni di consolidamento delle superfici deposizionali e di smorzamento del moto ondoso di tempesta e delle correnti associate. La produttività bioclastica si diversifica in prossimità dell'apparato radicale, nei rizomi e nelle foglie e gli abbondanti resti scheletrici carbonatici vengono intrappolati dalla prateria che aggrada su di essi.

Gli organismi che contribuiscono in maniera significativa alla produzione bioclastica in questo ecosistema sono i lamellibranchi, le alghe rosse corallinacee, i briozoi, i foraminiferi e gli echinodermi; sono stati inoltre identificati brachiopodi, scafopodi, tubicoli di vermi, ostracodi, e frammenti di gusci di artropodi (Fig. 4).



Fig. 4. Campione T3C3, frazione a diametro >2mm: la scarsità di componente terrigena (4%) denota l'alta produttività della prateria in quest'area. La componente bioclastica è costituita principalmente da alghe rosse, bivalvi, gasteropodi e briozoi.

La facies deposizionale più diffusa è quella mista bioclastico-terrigena. Si riscontrano tuttavia delle differenze composizionali legate sia alla produttività carbonatica locale che alla stabilità dei sedimenti depositi rispetto all'idrodinamismo presente (Tab. 1 e Fig. 5).

Campione	Profondità (m)	Descrizione sintetica
M16	22,0	Sabbia grossa e molto grossa terrigena a lamellibranchi
M17	19,5	Sabbia grossa e molto grossa terrigena a lamellibranchi

M18	21,0	Sabbia grossa e molto grossa terrigena, frammenti di arenaria cementata
M19	32,0	Sabbia eterometrica mista bioclastico-terrigena a gasteropodi e bivalvi
M20	33,0	Sabbia eterometrica mista bioclastico-terrigena a gasteropodi e bivalvi
M21	34,0	Sedimento misto a componente terrigena relitta di due specie differenti
M22	34,0	Sedimento eterometrico misto a lamellibranchi con ciottoli fluviali relitti
M23	33,0	Sedimento eterometrico misto a lamellibranchi con ciottoli fluviali relitti
M24	33,5	Sedimento eterometrico misto a lamellibranchi con arenarie fini cementate
M25	18,5	Sabbia grossa silicoclastica a gasteropodi e bivalvi
M26	18,0	Sabbia molto grossa silicoclastica
M27	18,5	Sabbia grossa-molto grossa silicoclastica
M28	16,0	Sabbia media quarzoso-feldspatica
SUB1	20,0	Sabbia media silicoclastica a lamellibranchi e alghe corallinacee
T3C2	14,2	Ghiaia e sabbia molto grossa terrigena. Litoclasti del basamento granitoide
T3C3	21,8	Sabbie e ghiaia bioclastica a alghe rosse, molluschi e foraminiferi
T3C4	33,0	Facies mista terrigeno-bioclastica ad alghe rosse e lamellibranchi
T4C5	35,0	Sabbia grossa mista a lamellibranchi e alghe corallinacee,
T5C4	33,5	Sabbia mista a lamellibranchi, arenarie cementate
T6C7	29,0	Sabbia medio-fine mista a lamellibranchi, terrigeno relitto
T8C5	25,0	Sabbia medio-fine mista a lamellibranchi, arenarie cementate
T8C6	32,0	Sabbia mista a lamellibranchi, arenarie cementate
S9	21,6	Sabbia fine quarzoso-feldspatica. Facies relitta del banco a posidonie
S18	19,4	Sabbia fine-fangosa con componente organica transizionale alla depressione
S21	28,1	Facies bioclastica ad alghe calcaree e moluschi
S30	33,7	Facies mista a molluschi. Litoclasti metamorfici e arenarie cementate

S31	34,6	Facies mista a ostreidi e bivalvi. Litoclasti metamorfici e arenarie cementate
S32	32,9	Sabbia eterometrica bioclastica a foraminiferi e gasteropodi
S33	23,7	Sabbia molto grossa-ghiaiosa bioclastica a bivalvi
S43	27,5	Sabbia molto fine silicoclastica con bivalvi
S44	39,2	Sabbia fine mista a bivalvi e alghe corallinacee
S48	36,7	Facies bioclastica a bivalvi, poco terrigeno quarzoso
S49	26,0	Facies mista a bivalvi, terrigeno quarzoso
S50*	17,5	Facies fangosa con frammenti di posidonia e caulerpa

Tab. 1. Campionature del settore intermedio della piattaforma di Cagliari, con descrizione sintetica del sedimento sulla base delle analisi granulometriche e composizionali. Del campione S50 si ha solamente una descrizione visiva del contenuto.

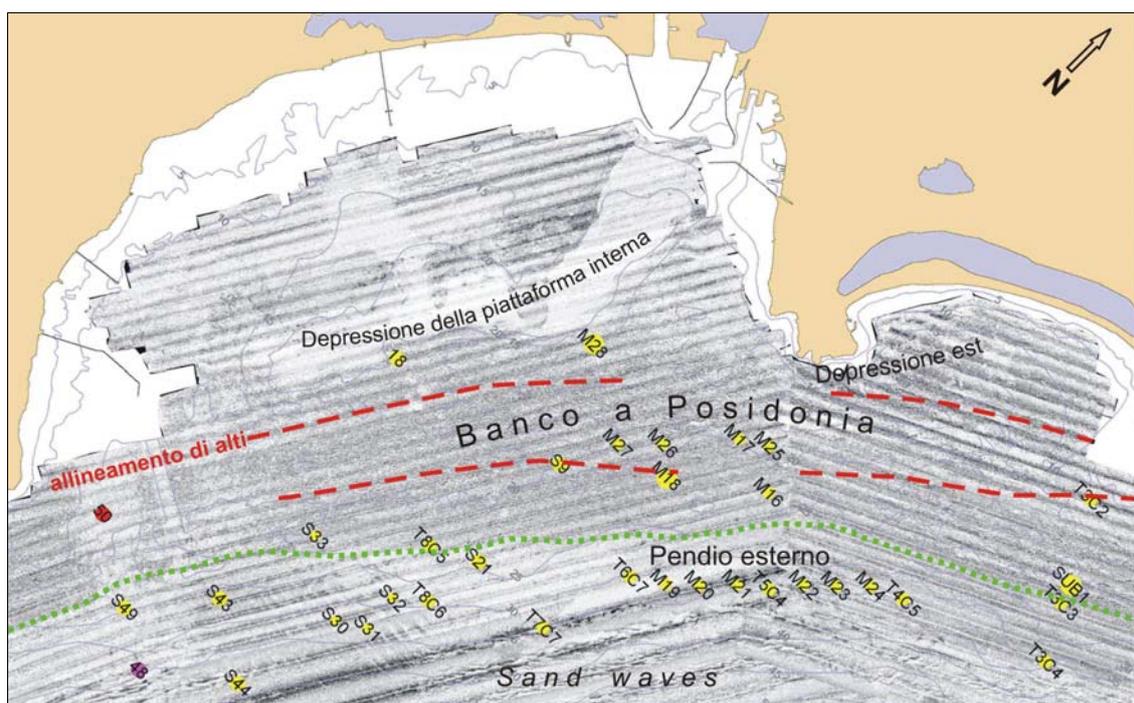


Fig. 5. Ubicazione delle campionature nel banco a Posidonia e nel pendio esterno di transizione alla fascia a sand waves. Sono inoltre indicate le culminazioni strutturali subaffioranti presenti sotto il banco.

I sedimenti nella parte alta del banco (M16, M17, M18, M25, M26, M27 e M28) sono stati campionati all'interno dei grandi allineamenti *interamatte*, larghi fino a 30 m e lunghi svariate centinaia di metri presenti in quest'area, mentre quelli esterni sono stati

campionati al diradarsi della prateria su substrati parzialmente colonizzati da posidonia, spesso in associazione alla *Caulerpa prolifera*. I campioni di *interamattes* sono terrigeni con percentuali di materiale bioclastico basse, oscillanti tra il 5% (M28, da calcimetria) e il 15% (M25) e rappresentate da gusci di gasteropodi e rari bivalvi.

Nel pendio esterno del banco la frazione di materiale bioclastico diventa più abbondante, con percentuali in media del 50%. Questa differenza può essere dovuta sia alla maggiore produttività che alla maggiore stabilità dei fondali a quella profondità rispetto a livelli batimetrici più elevati, soprattutto in corrispondenza della culminazione del banco (-12m) dove l'energia ostacola probabilmente la vita degli organismi bentonici.

Si osserva inoltre una maggiore produttività verso la piattaforma del Sulcis (S49 e S43, con 84% circa di bioclastico) e verso la costa del Sarrabus (T3C3, 96%). Meno produttiva risulta invece la parte centrale della piattaforma dove è sempre presente un sedimento misto ad influenza terrigena (Fig.6).



Fig. 6. Campione M19: facies mista bioclastico-terrigena alle pendici del banco a Posidonia, con bivalvi, gasteropodi alghe calcaree e subordinatamente briozoi, echinidi, foraminiferi e scafopodi. La componente terrigena è presente in tutte le frazioni granulometriche ed è valutata intorno al 45%.

La componente terrigena si differenzia nel settore prossimale del banco, dove sono presenti sabbie medie e fini prevalentemente quarzose (M18, M28 e S9), dalle parti più distali dove prevale una tipologia quarzoso- feldspatica e litoclastica a diametro maggiore (sabbie grosse e molto grosse).

La componente terrigena è presente, superficialmente, nelle aree a scarsa produttività bioclastica e soprattutto nelle depressioni di *intramatte* e indica la presenza, al di sotto del banco a posidonie, di depositi terrigeni relitti (Fig. 7).



Fig. 7. Campione terrigeno di *intermatte* M27

I sedimenti disponibili lungo la costa infatti non hanno attualmente la possibilità di raggiungere il banco per la presenza delle depressioni retrostanti, (che rappresentano appunto aree in deficit sedimentario). I materiali terrigeni più fini presenti invece nella parte prossimale, a ridosso delle depressioni, possono provenire da risospensioni per eventi di tempesta, ed essere quindi in equilibrio con l'attuale livello marino.

Il campione terrigeno ghiaioso T3C2, nel settore orientale del banco a posidonie, rappresenta una tipica facies di *shoreface* deposta in condizioni di livello marino più basso di 12÷15m circa (Fig. 8).



Fig. 8. Campione T3C2: facies silicoclastica relitta all'interno del banco a Posidonia, Golfo di Quartu.

La provenienza dei materiali, per trasporto fluviale, è dal complesso graniticoide del Sarrabus e dalle formazioni metamorfiche paleozoiche della zona delle falde esterne erciniche. L'antica linea di riva lungo la quale è stata campionata questa facies forma attualmente la principale culminazione morfologica del banco, a ridosso delle depressioni della piattaforma interna. La tessitura di questo sedimento documenta una selezione in un ambiente a energia molto elevata e rispecchia le differenziazioni delle caratteristiche sedimentologiche della paleo linea di costa, che si esplicavano in senso longitudinale, con *facies* a indice di energia maggiore lungo la costa orientale, come avviene tuttora nel *foreshore* orientale del Golfo di Quartu. L'andamento delle batimetrie nell'area sembra indicare la presenza di importanti falde di ghiaie alluvionali, rielaborate in depositi costieri durante la trasgressione e attualmente rimaste fossili.

Esternamente al prisma deposizionale del banco a Posidonia (alla profondità di 35m circa) si campiona sul fondale una facies terrigena di natura diversa. I granuli, prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi grossi hanno un aspetto opaco, con una colorazione gialla-marrone e sono ben arrotondati.

A profondità maggiori i sedimenti presentano questa tipologia di terrigeno, che proviene probabilmente da un ciclo deposizionale più antico ed è stata probabilmente soggetta a processi continentali (e.g. argillificazione dei feldspati e ossidazione del ferro Fig. 9).



Fig. 9. Campione M21: facies mista in prossimità dell'attaccatura del prisma deposizionale del banco a Posidonia. La componente terrigena è presente in due tipologie: la prima, presente nelle frazioni a diametro inferiore, con granuli lucidi, spigolosi, fa parte delle facies quarzose della progradazione del banco a Posidonia; la seconda è presente nelle frazioni grosse con feldspati, granuli litici e quarzo dall'aspetto opaco e maggiormente elaborati viene campionata a profondità maggiori. Questo campione presenta una transizione tra le due facies terrigene. La componente bioclastica è valutata intorno al 34%.

3.3 Analisi delle facies sismiche e ipotesi genetiche delle paleo morfologie in piattaforma intermedia

L'infrastruttura della piattaforma intermedia all'analisi dei profili SBP è legata alla presenza, al sotto del banco a Posidonia, di due principali allineamenti di alti che si sviluppano circa parallelamente alla linea di costa attuale. La prima culminazione raggiunge una profondità di 12m mentre la seconda, posta a una distanza di circa 1,5 Km verso largo, raggiunge una quota batimetrica di circa -15m. La presenza di due culminazioni è più evidente nella piattaforma orientale, dove, per minore apporto

sedimentario le morfologie sono separate da un'area depressa. Nella piattaforma occidentale invece questa morfologia è sepolta, e il banco occupa l'areale in maniera continua (Fig. 10).

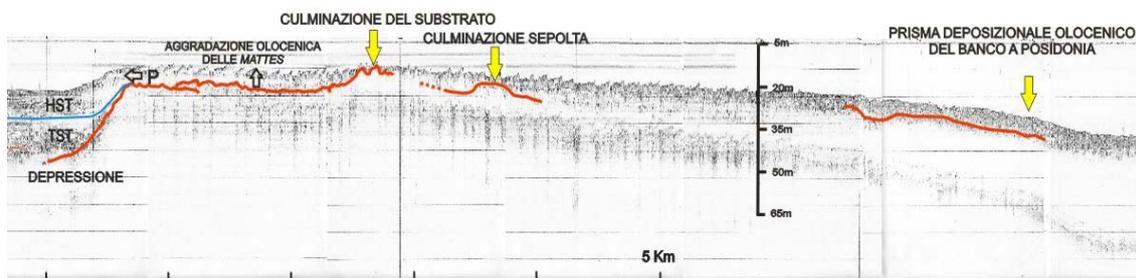


Fig. 10. Sezione interpretata del banco a Posidonia e del pendio esterno. In rosso, superficie di erosione würmiana.

Nel profilo si identifica un riflettore irregolare, attribuibile alla superficie di erosione di *low-stand* (MIS 2, LGM), coperto da depositi di spessore fino a 7÷8 metri che presentano una geometria progradante lievemente convessa. Questo corpo può essere associato alla deposizione, durante la trasgressione versiliana, di depositi di ambienti litorali prima e marini in seguito e indicherebbe il fatto che quest'area sia stata sede, anche per le favorevoli condizioni infrastrutturali e di disponibilità di sedimenti, di sistemi costieri per livelli eustatici di 12÷15m più bassi dell'attuale. Con l'innalzamento del livello marino olocenico i rilievi sarebbero stati colonizzati dalla prateria che avrebbe aggradato fino a raggiungere gli attuali spessori sedimentari. La genesi di queste strutture va associata a quella della formazione delle retrostanti depressioni, che erano occupate da ambienti fluviali e transizionali durante gli stazionamenti che producevano i corpi sabbiosi di *shoreface*, analogamente a quanto avviene attualmente nella fascia costiera. In fase di annegamento le depressioni avrebbero isolato i rilievi favorendo l'insediamento di una produttività carbonatica per l'assenza di apporti terrigeni continentali. Questi processi sarebbero potuti avvenire non solo durante l'ultimo ciclo eustatico ma anche durante le precedenti oscillazioni pleistoceniche per un numero imprecisato di cicli di deposito ed erosione. L'aggradazione del banco carbonatico sul rilievo avrebbe ulteriormente ampliato il divario con le depressioni, innescando forse un meccanismo di *feedback* che avrebbe indotto, durante cicli successivi, la costruzione delle linee di costa alle stesse batimetrie, per la presenza di

spazio di accomodamento dovuto all'intersezione del livello marino il rilievo topografico. L'erosione fluviale in fase di *low-stand* inoltre si sarebbe imposta preferenzialmente nelle aree depresse creando le importanti incisioni attualmente osservate (45 m nella depressione interna occidentale e lungo l'imboccatura della laguna di S.Gilla (Pecorini, 1966; Orrù et Al. 2004)). Durante le fasi trasgressive queste depressioni sarebbero state parzialmente colmate da depositi fluviali e successivamente dai prismi sedimentari dei sistemi costieri più arretrati. Si sarebbe infine prodotta l'attuale configurazione di stazionamento alto con un *infilling*, nelle depressioni, di sedimenti più fini all'aumento di distalità degli ambienti.

Le differenze sedimentologiche riscontrate tra le facies terrigene del banco e quelle della fascia distale sono da mettere in relazione con le dinamiche sedimentarie durante l'ultimo ciclo eustatico. I depositi campionati superficialmente nel banco a Posidonia sono da attribuire a una progradazione terrigena relativa all'ultima fase trasgressiva, mentre la *facies* terrigena campionata oltre i -35 m di profondità occupa una posizione stratigrafica più bassa e deve essere attribuita a periodi e contesti eustatici di *falling - low-stand*, e successivamente rimaneggiate dalla trasgressione olocenica.

4. SUPERFICI A SAND WAVES E FONDI PIANI DELLA PIATTAFORMA INTERMEDIA

La fascia che si estende esternamente al banco a posidonie, da -35 a -55 m circa, è caratterizzata nella parte prossimale dal dominio di processi prevalentemente fisici, con grandi strutture trattive che rappresentano il risultato dell'equilibrio dinamico-deposizionale del fondale; nei settori più distali invece, oltre la base d'azione dell'onda di tempesta è presente un'area a fondali piani a dominio biologico, attualmente colonizzati da alghe rosse corallinacee e fauna bentonica.

I sedimenti sono nella parte prossimale misti, con una componente bioclastica costituita dai resti scheletrici dall'ecosistema algale, e una componente terrigena relitta; verso il largo i sedimenti perdono il carattere terrigeno, che riappare occasionalmente in corrispondenza di affioramenti di paleo-spiagge. Questo areale è delimitato verso largo dal principale paleo-cordone litorale presente in piattaforma (-55÷-60m), che rappresenta una importante discontinuità morfologico-ambientale e segna l'inizio di un'unità deposizionale indipendente, la piattaforma esterna.

4.1 Analisi dei fondali

Nel Golfo di Cagliari si osservano ampie e basse strutture sedimentarie, che modellano il fondale della piattaforma intermedia tra batimetrie comprese tra -35 e -50m circa, con una lunghezza d'onda variabile da 10m nelle parti più profonde fino a 225 m in quelle superficiali, e con altezze fino a 1,50m. Le strutture sono orientate circa parallelamente alle isobate con allungamento in direzione N-NE nel settore occidentale e NE in quello orientale. Nell'estremità occidentale della piattaforma del Sulcis le creste hanno un andamento più irregolare, talvolta trasversale alle isobate, mentre sono assenti nella terminazione orientale della piattaforma di Cagliari, così come nella piattaforma del Sarrabus (Fig. 1).

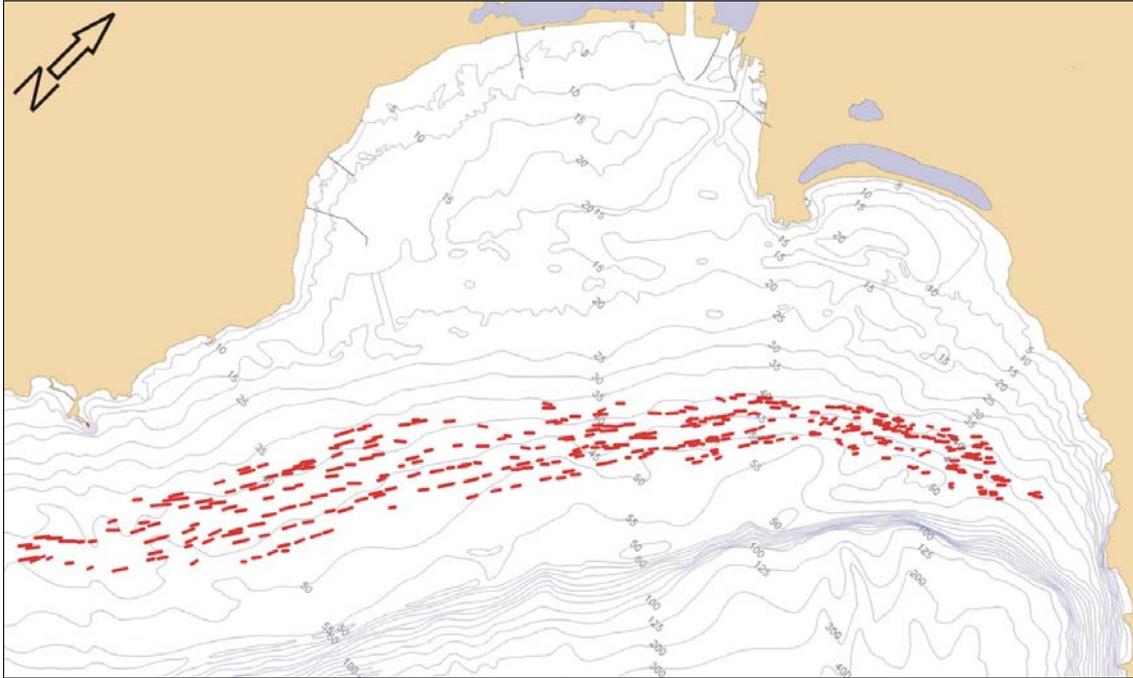


Fig. 1. Areale di distribuzione e orientazione delle *sand waves* rispetto all'andamento batimetrico.

In letteratura sono presenti diverse classificazioni di strutture, basate su dimensioni, geometria e granulometria dei sedimenti (Boothroyd & Hubbard, 1975, Dalrymple et al., 1978, Ashley, 1990). Nonostante le distinzioni, in genere si concorda nel definire strutture caratterizzate da profili poco acclivi (con rapporto lunghezza /altezza maggiore di 40) e lunghezze d'onda maggiori di 6÷10m come *sand waves*. Queste, insieme ai cosiddetti banchi di sabbia (*sand ridges*), per le loro dimensioni maggiori, sono comunemente osservate nel Mare del Nord e attribuite agli effetti delle maree che inducono importanti spostamenti di masse d'acqua lungo i canali e nei bassi fondali di questo mare. Nelle regioni, come quelle mediterranee, dove non ci sono importanti escursioni di marea, la presenza di *sand waves* nelle piattaforme continentali è associata invece all'azione del moto ondoso (Vanney, 1977).

La profondità sembra essere il fattore determinante della distribuzione delle forme e delle loro dimensioni; le *sand waves* più grandi, associate a *megaripples* si incontrano a profondità minori mentre verso il largo sono osservate solo piccole *sand waves*, a dimensione decrescente fino alla scomparsa dalle registrazioni ecografiche a profondità di -50÷-55 m, in relazione all'energia idrodinamica presente.

L'andamento delle creste è generalmente sinuoso e talvolta lobato nel settore prossimale, mentre si presenta più rettilineo a profondità maggiori, con creste parallele di lunghezze anche chilometriche e scarse biforcazioni (Fig. 2).

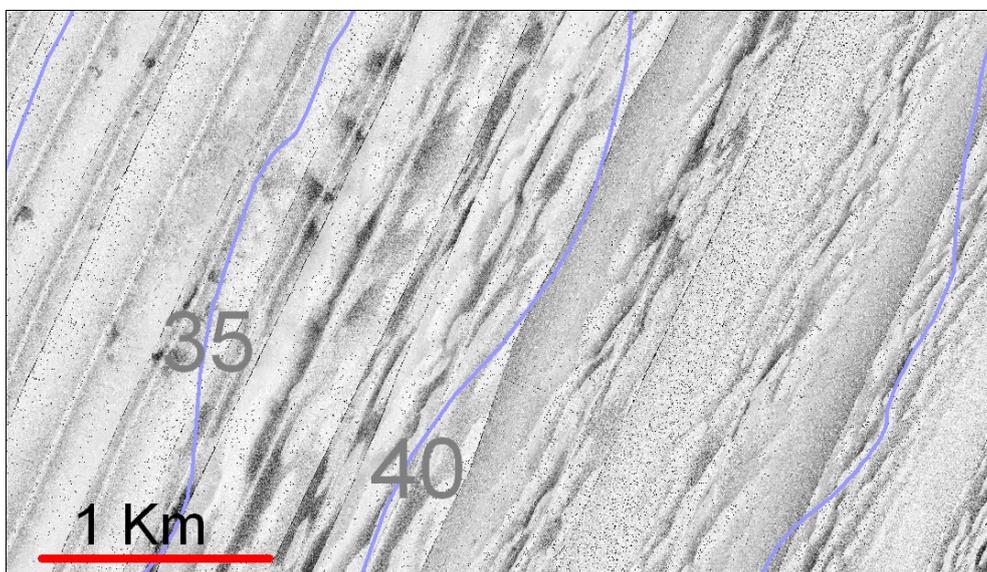


Fig. 2. Campo di *sand waves* (bande chiare) nel settore occidentale della piattaforma. Le aree senza registrazione rappresentano una limitata acquisizione del fascio della scansione laterale del sonar.

I sonogrammi *side scan* della campagna *Placers 80/1*, mostrano più in dettaglio una caratteristica alternanza di risposte ecografiche forti (fascie scure) e più deboli (aree chiare). L'organizzazione di queste alternanze è costituita da una transizione da riflessioni chiare a scure netta, seguita da una transizione da riflessioni scure a nuovamente chiare graduale, lungo una direzione perpendicolare all'allungamento delle strutture da largo verso costa circa (Fig. 3).

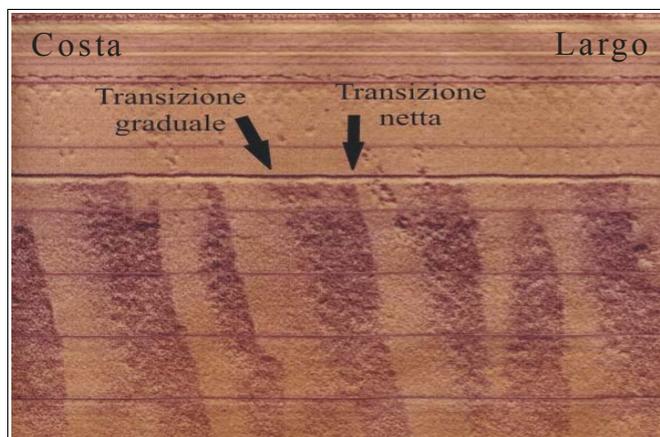


Fig. 3. Sonogramma *side scan* nella piattaforma del Sulcis, di lunghezza 250 m e profondità 40 m circa.

Il sonogramma in Fig. 3 mostra il rilievo appena accennato delle aree a risposta ecografica debole (chiara) rispetto alle restanti aree scure. Essendo queste differenze di colore legate all'intensità della riflessione del segnale (escludendo la presenza di ombre acustiche nella scansione laterale, data l'esigua altezza delle forme), si può dedurre la presenza, nel fondale, di due diverse tessiture: sedimenti meno riflettenti, associabili a materiali fini o con discreta coda fine in corrispondenza delle creste, e sedimenti a maggior coefficiente di riflessione, corrispondenti a materiali di granulometria maggiore a limitata matrice, nei cavi delle strutture.

Queste differenze sono probabilmente dovute al trasporto selettivo del sedimento, disponibile inizialmente in tessiture mal classate, da parte del moto ondoso con presa in carico del sedimento più fino e/o idrodinamicamente più portante (gusci, ecc.), che va a costruire la sommità delle strutture, mentre il sedimento più grosso subisce più limitati movimenti e costituisce dei *lag* discontinui più stabili, sui quali le *waves* migrano.

Altri caratteri osservabili sono un basso rapporto di lunghezza/altezza ($L/H = 50\div 100$), l'asimmetria dei profili ($L1/L2 > 5$), con un versante più acclive (*lee*) rivolto verso terra e quello meno acclive (*stoss*) rivolto verso largo e talvolta la presenza di *megaripples* sia sulle creste (su sedimenti fini) che nei cavi delle onde di sabbia per profondità minori di 45m circa (Fig. 4).

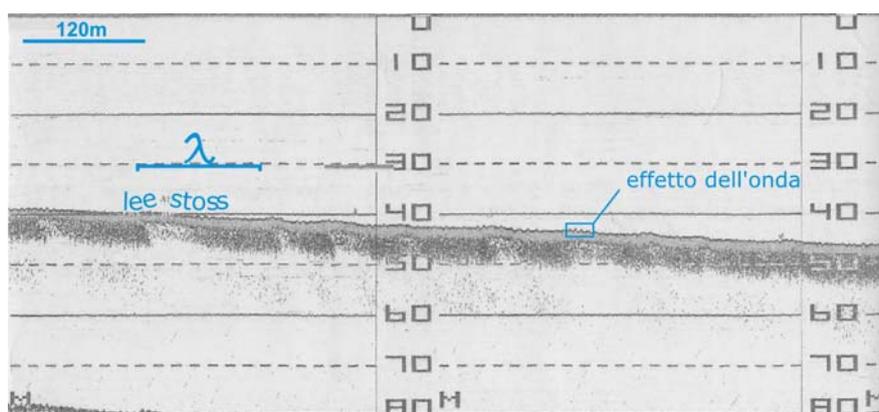


Fig. 4. Transetto ecografico T6. La scala verticale è esagerata di circa 5 volte rispetto a quella orizzontale.

Si segnala inoltre nel settore nordorientale della piattaforma, una maggiore spaziatura delle strutture, con ampi *lags*, mentre nel settore sudoccidentale le forme appaiono più

vicine le une alle altre. Questo fatto potrebbe indicare una maggiore disponibilità di materiali in quest'ultima area a causa probabilmente del suo contesto infrastrutturale ribassato.

Alle *sand waves* si associano, a profondità minori, altre basse strutture costituite da ondulazioni di dimensioni metriche su sedimenti a granulometria prevalentemente grossa, note come *megaripples*. Questi sono osservati comunemente in tutta la piattaforma sulle sabbie grosse e molto grosse delle *intermattes* e nell'areale a *sand waves*, nei *lags* tra le creste, nel settore più prossimale del campo (profondità inferiori a 45m circa) benché siano presenti talvolta anche lungo la superficie sopracorrente delle dune, su sedimenti medio fini. L'intensità della riflessione ecografica associata ai *megaripples* è maggiore di quella delle culminazioni delle *sand waves* a indicare una tipologia di sedimento a granulometria più grossa e/o l'assenza di materiale fino (Figg. 5 e 6).

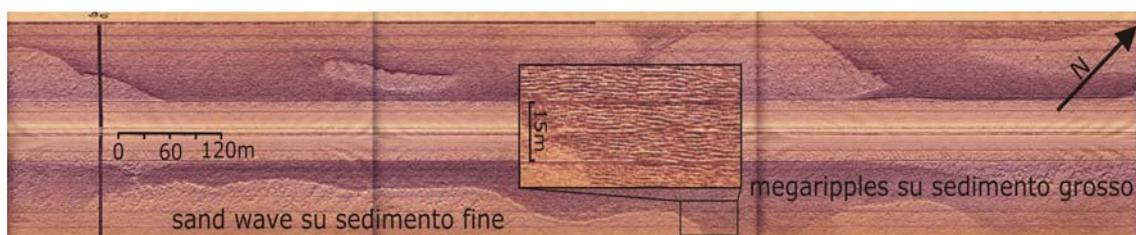


Fig. 5. Sonogramma *side scan* anamorfosato mostrandone il profilo longitudinale di una *sand wave* con direzione migrazione circa da mare verso terra (NO) e presenza di strutture da corrente metriche sui sedimenti grossi tra un corpo dunare e il successivo. La profondità è di circa 40m.

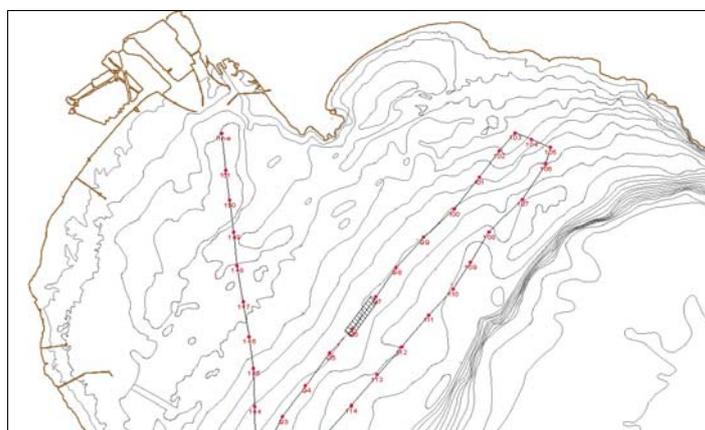


Fig. 6. Ubicazione del sonogramma in figura 5 lungo la rotta 11, campagna *Placers 80/1*.

L'idrodinamismo di questo settore di piattaforma determina la coesistenza delle due tipologie di strutture per la differenziazione dei materiali coinvolti. La dinamica dell'accrescimento è determinata dal diverso comportamento idraulico dei materiali; i granuli più grossi subiscono un trasporto prevalentemente di fondo (rotolamento e saltazione) che determina la formazione dei *megaripples*, mentre un trasporto in sospensione intermittente dei materiali fini determina la costruzione delle *sand waves*.

I campi di esistenza per tali strutture sono descritti nei diagrammi di Hülstrom, Shield e Allen, dove vengono illustrate le forme create per diverse velocità di flusso e intervalli granulometrici.

La granulometria dei sedimenti sembra essere un fattore decisivo nella formazione delle *sand waves* poichè una percentuale elevata sia di sabbie grosse, sia di fanghi, ne impedisce lo sviluppo (Bokuniewicz et al. 1977, Southard 1971; Southard and Boguchwal 1990; Zarillo 1982). L'altezza delle forme può essere messa in relazione alla granulometria, con ondulazioni più alte per granulometrie inferiori, attribuendo questo al cambiamento da trasporto prevalentemente sul fondo, ad un trasporto in sospensione per le granulometrie più fini (McCave, 1971), (Fig. 7).

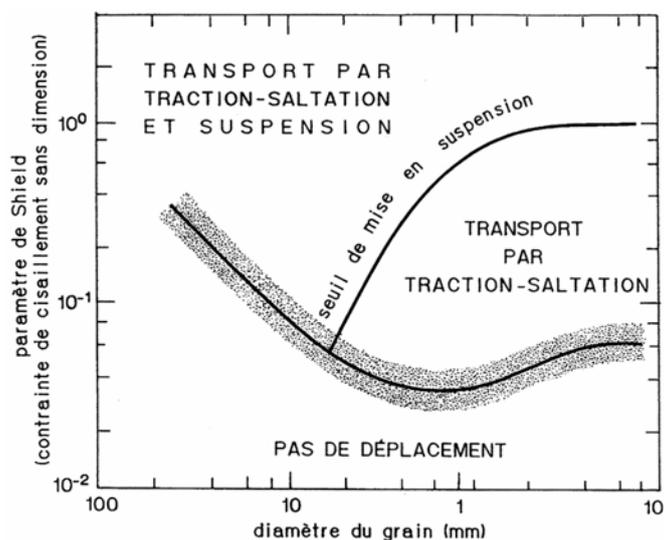


Fig. 7. Il diagramma mette in relazione la modalità di trasporto per un determinato diametro dei granuli con il parametro di Shield (forza di taglio τ / τ critico), (da Cojan & Renard, 1999).

Al di sotto della profondità di circa 55 m, riferibile alla base del moto ondoso di tempesta (*storm wave base, SWB*), i fondali della piattaforma appaiono piani con indici

di riflessione al *side scan sonar* bassi, segno della presenza di matrice fine, anche organica nel fondale.

4.2 Analisi dei sedimenti

I prelievi effettuati mostrano la presenza di sedimenti misti, con una componente bioclastica per la maggior parte a frammenti algali ramificati, bivalvi e foraminiferi, e una componente silicoclastica relitta di granulometria generalmente superiore al mm presente nella parte prossimale dell'areale. I sedimenti sono granulometricamente eterogenei (da mediocrementemente a mal classati) con mediane prevalentemente nelle sabbie molto grosse (>1mm), ma talvolta anche nelle sabbie medie. Verso il largo i sedimenti mostrano un progressivo aumento di componente bioclastica (tab. 1 e figg. 8 e 9).

Campione	Profondità (m)	Descrizione
SW1	47	Sabbia molto grossa a componente algale e terrigena relitta
SW2	47	Sabbia ghiaiosa a componente algale e terrigena relitta
SW3	43	Sabbia grossa a componente algale e terrigena relitta
SW4	48	Sabbia ghiaiosa a componente algale e terrigena relitta
SW5	50	Sabbia media-grossa bioclastica
SW6	53	Sabbia ghiaiosa a componente algale e terrigena relitta
SW7	52	Sabbia molto grossa a componente algale e terrigena relitta
SW8	50	Sabbia grossa bioclastica
SW9	43	Sabbia media-fine bioclastica
SW10	45	Sabbia ghiaiosa bioclastica
SW11	50	Sabbia media-grossa bioclastica
T7C7	36	Sabbia molto grossa a componente algale e terrigena relitta
T8C7	50	Sabbia molto grossa bioclastica
T6C8	50	Sabbia molto grossa bioclastica
T5C5	48	Sabbia molto grossa bioclastica
T4C6	51	Sabbia media-grossa a componente algale e terrigena relitta
T2C5	39	Ghiaia sabbiosa bioclastica
T3C5	52,5	Sedimento mal classato bioclastico ad alghe rosse e bivalvi
T2C6	51	Sabbia grossa-molto grossa bioclastica
E1	47	Sabbia grossa ghiaiosa bioclastica

E2	47	Sabbia grossa ghiaiosa bioclastica
E3	43	Sabbia grossa a componente algale e terrigena relitta
E4	48	Sabbia grossa a componente algale e terrigena relitta
E5*	50	Sedimento bioclastico algale
E6	53	Sabbia molto grossa bioclastica
E7	52	Sabbia molto grossa bioclastica
E8	50	Sabbia grossa-molto grossa bioclastica, debolmente terrigena
E9	43	Sabbia grossa-molto grossa bioclastica, debolmente terrigena
E10	45	Sabbia grossa-molto grossa bioclastica
E11	50,5	Sabbia grossa-molto grossa bioclastica
E12	51,5	Ghiaia sabbiosa bioclastica
S44	39	Sabbia fine mista a bivalvi e alghe corallinacee
S45	51	Sabbia media-fine bioclastica
S53	40	Sabbia molto grossa bioclastico-terrigena
S58	39	Sabbia molto grossa mista bioclastica a bivalvi
S61	39,5	Sedimento mal classato a bivalvi e alghe rosse
S62	40,5	Sabbie medie-grosse miste a molluschi e alghe rosse

Tab. 1. Descrizione sintetica dei campioni di sedimenti dell'areale delle *sand-waves* e dei fondali piani della piattaforma intermedia. *) solo valutazione visiva del contenuto.

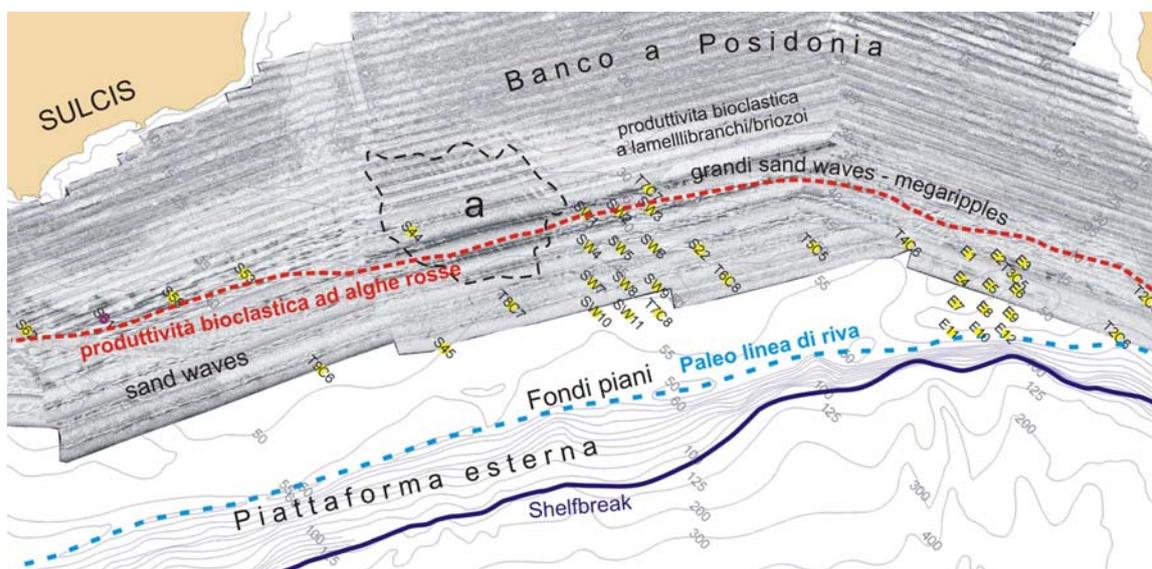


Fig.8. Mosaico SSS della fascia a *sand waves* con ubicazione delle campionature effettuate e limiti di distribuzione della componente bioclastica. **a)** area ad influenza antropica con strutture trasversali alle isobate forse dovute all'attività delle navi petroliere che stazionano in questo spazio.



Fig. 9. Campione misto terrigeno-bioclastico SW1. Alle sabbie grosse e ghiaie silicoclastiche (K-feldspato, litoclasti e in misura minore quarzo) si associa una componente bioclastica ad alghe rossee e bivalvi.

Le campionature della litofacies mista bioclastica-terrigena, nell'areale prossimale della fascia delle *sand waves* (profondità di 35÷45 m) presentano una importante variabilità tessiturale e composizionale. Le mediane delle curve granulometriche si dispongono sia nel campo delle sabbie molto grosse (1÷2mm), che nelle sabbie medie, a indicare la presenza di una importante coda fine (Fig. 10).

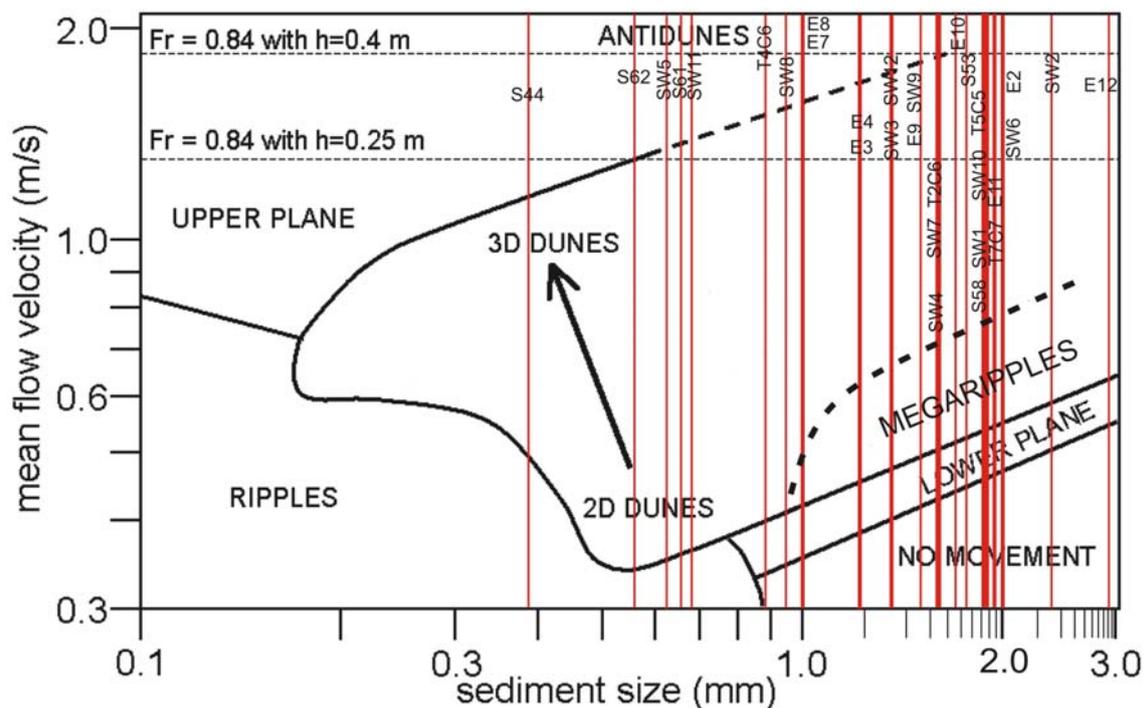


Fig. 10. Mediane dei sedimenti prelevati nella piattaforma intermedia del Golfo di Cagliari, nei fondali a *sand waves* e fondi piani distali. Il diagramma mette in relazione le strutture di fondo con la granulometria media e la velocità del flusso (Allen P., 1997, modificato).

I campioni più fini sono costituiti per lo più da gusci di bivalvi e foraminiferi, con componente algale subordinata e terrigeno relitto a diametro grosso quasi assente. Queste differenze sono probabilmente da mettere in relazione al prelievo selettivo di materiali o nei tappeti residuali tra le *waves* o nella parte alta delle ondulazioni, che presentano granulometrie progressivamente più fini lungo lo *stoss side* fino alla cresta, e poi nuovamente grosse nel cavo della duna successiva (ciò è indicato dalla brusca variazione di risposta acustica osservata nei profili ecografici alla transizione tra la cresta e il cavo successivo lungo la direzione mare-terra, Fig. 3). Il prelievo di sedimento lungo diversi punti del profilo trasversale delle dune e nei cavi sarebbe responsabile inoltre delle variazioni composizionali osservate nei sedimenti più fini (assenza di terrigeno relitto e di noduli algali e prevalenza di frammenti di bivalvi e gusci di foraminiferi) in relazione alle modalità di accrescimento delle strutture discusse in precedenza. Quest'andamento irregolare delle tessiture si sovrappone comunque ad una tendenza complessiva *finig basinward*, per diminuzione dell'energia idrodinamica nel fondale nei settori distali.

I sedimenti campionati nei settori più distali invece presentano granulometrie determinate dal solo controllo biologico (ad esempio il campione ghiaioso E12) e legate alle dimensioni delle strutture scheletriche degli organismi (prevalentemente alghe corallinacee ramificate). Al di sotto di profondità di 50 m circa i fondali appaiono infatti colonizzati da alghe rosse, che formano probabilmente vere e proprie praterie. Lo sviluppo di questa biocenosi necessita di condizioni idrodinamiche tranquille per lo sviluppo della struttura scheletrica degli organismi, con solo sporadici eventi di tempeste eccezionali che mettano in movimento i sedimenti presenti (Fig. 11).



Fig. 11. Campione bioclastico T3C5. Le componenti presenti sono: alghe rosse calcaree ramificate e foliacee con incrostazioni nella parte sciafila, foraminiferi, molluschi, echinidi, rari frammenti di gusci di artropodi, ostracodi e spicole di spugne silicee nelle frazioni più fini.

Il limite superiore di questa colonizzazione deve, per questo motivo, essere messo in relazione con la *SWB* - la base d'azione dell'onda di tempesta. La diminuzione progressiva e infine la scomparsa di componente terrigena, al di sotto del limite approssimativo di 50m circa, è dovuta perciò all'attuale produttività bioclastica e al contestuale minor rimaneggiamento dei fondali. Si ritiene comunque che i sedimenti relitti siano presenti al di sotto di ridotto spessore superficiale di deposito bioclastico.

4.3 Dinamica del moto ondoso e formazione delle *sand waves*

Il prevalere di *patterns* ecografici tendenzialmente paralleli alle isobate induce a ritenere che la genesi delle *sand waves* sia attribuibile all'idrodinamismo da moto ondoso. In mancanza di disponibilità di dati correntometrici, è stato analizzato il regime di venti e mari per stabilire una eventuale compatibilità tra l'azione del moto ondoso e le strutture osservate sul fondale della piattaforma, che mostra un primo smistamento di sedimenti già a profondità di 60 metri.

Il regime dei venti è stato preso in considerazione poiché agendo sulla superficie marina genera onde le cui caratteristiche (lunghezza d'onda, frequenza, ampiezza e direzione di propagazione) sono legate all'intensità e durata dell'evento meteorologico e alla superficie esposta. Il moto ondoso infatti induce a sua volta in profondità moti di fluido complessi, idealmente descritti come orbite di diametro esponenzialmente decrescente in profondità, responsabili dell'interferenza col fondale in ambienti di piattaforma anche profonda, con produzione di strutture sedimentarie e zonazioni tessiturali. Le principali caratteristiche che permettono di descrivere un'onda sono:

(1) la celerità o velocità di fase: $C = L / T$,

dove C = velocità dell'onda; L = lunghezza; T = periodo;

(2) la lunghezza d'onda in acque alte: $L = G T^2 / 2 \pi \approx 1,56 T^2$;

(3) la celerità in acque alte $C = \sqrt{G L / 2 \pi} = \sqrt{G/k}$,

dove il numero d'onda $k = 2 \pi / L$;

(4) la ripidità dell'onda, che rende conto della sua energia ed è: $R = H / L$,

dove H è l'altezza dell'onda. Si distinguono onde molto energizzate per $H=1/10 \div 1/35$, onde di media energia per $H= 1/35 \div 1/70$ e di bassa energia per $H>1/70$

(5) l'energia di un'onda, che dipende dalla ripidità secondo la formula: $E=1/8 G H^2 L e$, dove e è la densità dell'acqua e L la lunghezza dell'onda sinusoidale in acqua profonda;

infine (6) la velocità orbitale che è $v \approx H \pi / T$,
 che descrive il comportamento delle orbite in superficie a seconda che le onde siano lunghe e basse (=movimento lento) o brevi e alte (=movimento rapido). La velocità orbitale diminuisce esponenzialmente in profondità alla metà del valore in superficie per profondità = $1/9 \lambda$ e diminuisce a $1/535$ per $h=\lambda$. E' generalmente accettato che un'onda inizia a interagire significativamente con il fondale per profondità $\geq 1/2 \lambda$.

Le caratteristiche delle onde e del vento sono state estratte dal Wind and Wave Atlas of the Mediterranean (2004) che proietta i dati registrati tramite una rete ondometrica, lungo una maglia di regolare spaziatura di un grado di latitudine e di longitudine in tutto il Mediterraneo. I nodi di calcolo in prossimità della costa meridionale della Sardegna sono tre; le condizioni più simili a quelle all'interno del Golfo di Cagliari sono quelle presenti nelle vicinanze del nodo situato esternamente alla piattaforma, in coordinate N 39,0° , E 10,0°, a circa 20 miglia SE di Capo Carbonara. Sono stati registrati i dati di lunghezze d'onda, periodo, altezza, direzione e intensità del vento.

I periodi d'onda registrati si dispongono in 2 famiglie, corrispondenti alle direzioni di provenienza dei 2 venti principali, il maestrale e lo scirocco.

th_wave-hs	0.00 - 0.25	0.25 - 0.50	0.50 - 0.75	0.75 - 1.00	1.00 - 1.25	1.25 - 1.50	1.50 - 1.75	1.75 - 2.00	2.00 - 2.50	2.50 - 3.00	3.00 - 3.50	3.50 - 4.00	4.00 - 5.00	5.00 - 6.00	6.00 - 7.50	7.50 - 9.00	9.00 - 10.00	Total
-	6	7	3	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
15	10	11	7	4	3	3	2	1	3	2	1	0	1	0	0	0	0	48
30	7	12	8	5	3	2	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	45
45	5	9	5	3	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
60	3	5	4	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19
75	2	3	3	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
90	3	3	3	3	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	16
105	3	5	6	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
120	4	8	7	5	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
135	8	16	16	13	9	6	4	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	80
150	9	25	23	17	11	9	4	4	4	2	1	0	0	0	0	0	0	109
165	5	11	9	7	5	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	43
180	2	6	5	4	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
195	1	4	5	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
210	1	4	4	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
225	2	4	7	6	4	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	30
240	3	11	14	11	8	7	5	5	5	2	2	1	0	0	0	0	0	74
255	6	14	17	15	12	10	8	5	7	4	2	0	1	0	0	0	0	101
270	3	9	14	13	12	10	9	5	7	2	1	0	0	0	0	0	0	85
285	1	7	9	11	8	8	6	4	4	2	1	0	0	0	0	0	0	61
300	1	6	6	6	5	4	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	35
315	1	5	6	4	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	25
330	2	6	5	3	2	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	21
345	3	9	6	4	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	28
Total	91	200	192	148	105	78	59	38	42	20	10	2	2	0	0	0	0	987

Bivariate frequency table of hs and th_wave
 (39N, 10E)
 Months: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
 Total number of observations: 14608

Fig. 4. Numero di osservazioni effettuate di direzione di provenienza del moto ondoso ed altezze d'onda significativa durante un arco di tempo annuale.

La prima tabella associa alle direzioni di provenienza le altezze massime d'onda registrate lungo un arco di tempo annuale. Dalla tabella risulta una altezza massima per l'onda da scirocco (direzione di provenienza $135 \div 165^\circ$) di $3 \div 3,5\text{m}$ e un'altezza di $3,5 \div 4\text{m}$ per l'onda di Maestrale (direzione di provenienza $225 \div 330^\circ$), con un numero di osservazioni maggiore per onde più piccole, rispetto alle onde provenienti da SE). Dalle altezze si può risalire al periodo dell'onda tramite la seguente tabella:

tp-hs	0.00 - 0.25	0.25 - 0.50	0.50 - 0.75	0.75 - 1.00	1.00 - 1.25	1.25 - 1.50	1.50 - 1.75	1.75 - 2.00	2.00 - 2.50	2.50 - 3.00	3.00 - 3.50	3.50 - 4.00	4.00 - 5.00	5.00 - 6.00	6.00 - 7.50	7.50 - 9.00	9.00 - 10.00	Total
0.00 - 1.93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.93 - 2.58	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
2.58 - 3.12	9	12	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
3.12 - 3.78	29	29	24	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	86
3.78 - 4.57	24	73	55	40	14	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	208
4.57 - 5.03	6	22	22	22	18	11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103
5.03 - 5.53	6	18	23	19	16	17	11	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	114
5.53 - 6.08	4	14	19	17	14	12	12	11	6	0	0	0	0	0	0	0	0	109
6.08 - 6.69	4	12	15	17	13	11	8	7	12	3	0	0	0	0	0	0	0	102
6.69 - 7.36	3	10	11	10	12	8	7	5	7	5	2	0	0	0	0	0	0	80
7.36 - 8.10	2	7	11	11	8	7	6	6	6	3	2	1	0	0	0	0	0	70
8.10 - 8.90	1	3	6	6	6	5	4	4	6	4	2	1	1	0	0	0	0	49
8.90 - 9.79	0	1	3	3	4	3	3	2	4	2	2	1	0	0	0	0	0	28
9.79 - 10.78	0	0	1	1	1	1	2	1	2	2	2	1	1	0	0	0	0	15
10.78 - 11.86	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	3
11.86 - 13.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
13.04 - 14.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.35 - 17.36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.36 - 20.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	91	204	193	150	106	77	55	39	45	21	11	4	2	0	0	0	0	998

Bivariate frequency table of hs and tp
(39N, 10E)
Months: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
Total number of observations: 14608

Fig. 5. Valori diagrammati del numero di osservazioni effettuate di periodi d'onda e altezze, per un anno di tempo.

Osserviamo che per valori di altezze di $3 \div 3,5\text{m}$ abbiamo periodi compresi tra 6,69 e 11,86 secondi. Secondo la seguente tabella si può ricavare la velocità del vento incidente per le relative altezze d'onda.

uw-hs	0.00 - 0.25	0.25 - 0.50	0.50 - 0.75	0.75 - 1.00	1.00 - 1.25	1.25 - 1.50	1.50 - 1.75	1.75 - 2.00	2.00 - 2.50	2.50 - 3.00	3.00 - 3.50	3.50 - 4.00	4.00 - 5.00	5.00 - 6.00	6.00 - 7.50	7.50 - 9.00	9.00 - 10.00	Total
0.00 - 1.00	8	11	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
1.00 - 2.00	25	34	17	6	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	86
2.00 - 3.00	29	52	28	11	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	126
3.00 - 4.00	20	51	33	12	6	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127
4.00 - 5.00	8	41	43	23	10	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	132
5.00 - 6.00	2	11	43	30	15	7	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	112
6.00 - 7.00	0	3	19	35	22	11	6	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	101
7.00 - 8.00	0	0	4	22	25	14	8	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	79
8.00 - 9.00	0	0	1	5	16	18	10	6	5	1	0	0	0	0	0	0	0	62
9.00 - 10.00	0	0	0	1	6	13	13	8	8	1	1	0	0	0	0	0	0	51
10.00 - 12.00	0	0	0	0	1	5	11	14	18	8	3	1	0	0	0	0	0	61
12.00 - 14.00	0	0	0	0	0	0	0	1	8	7	4	2	1	0	0	0	0	23
14.00 - 16.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	1	0	0	0	0	6
16.00 - 18.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
18.00 - 20.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	92	203	194	147	107	78	55	39	42	20	10	5	2	0	0	0	0	994

Bivariate frequency table of hs and uw
(39N, 10E)
Months: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
Total number of observations: 14608

Fig. 6. Numero di osservazioni effettuate di intensità del vento e altezza dell'onda per un arco di tempo annuale.

Per valori di altezze d'onda di $3 \div 3,5\text{m}$ la tabella indica velocità di $9 \div 16 \text{ m/sec}$. Tali valori sono presentati senza distinguere la direzione di provenienza del vento.

La dinamica del moto ondoso nei settori di piattaforma più interni, protetti della costa lungo i quadranti settentrionali, sarà diversa da quella registrata nel nodo di calcolo considerato, poiché l'area risulterà all'interno del *fetch* per i venti da Maestrale. Le onde generate da questi venti presentano dunque lunghezze e altezze minori nelle zone interne del golfo rispetto a quelle a largo o causate da venti incidenti da altre direzioni. In mancanza di boe ondometriche nel Gofu di Cagliari i dati ventometrici sono stati confrontati con alcune tabelle empiriche che permettono di prevedere le massime altezze e periodi dell'onda misurati in ragione della distanza dalla costa (per venti agenti in direzione perpendicolare da costa verso mare) e dell'intensità del vento (Fig. 7).

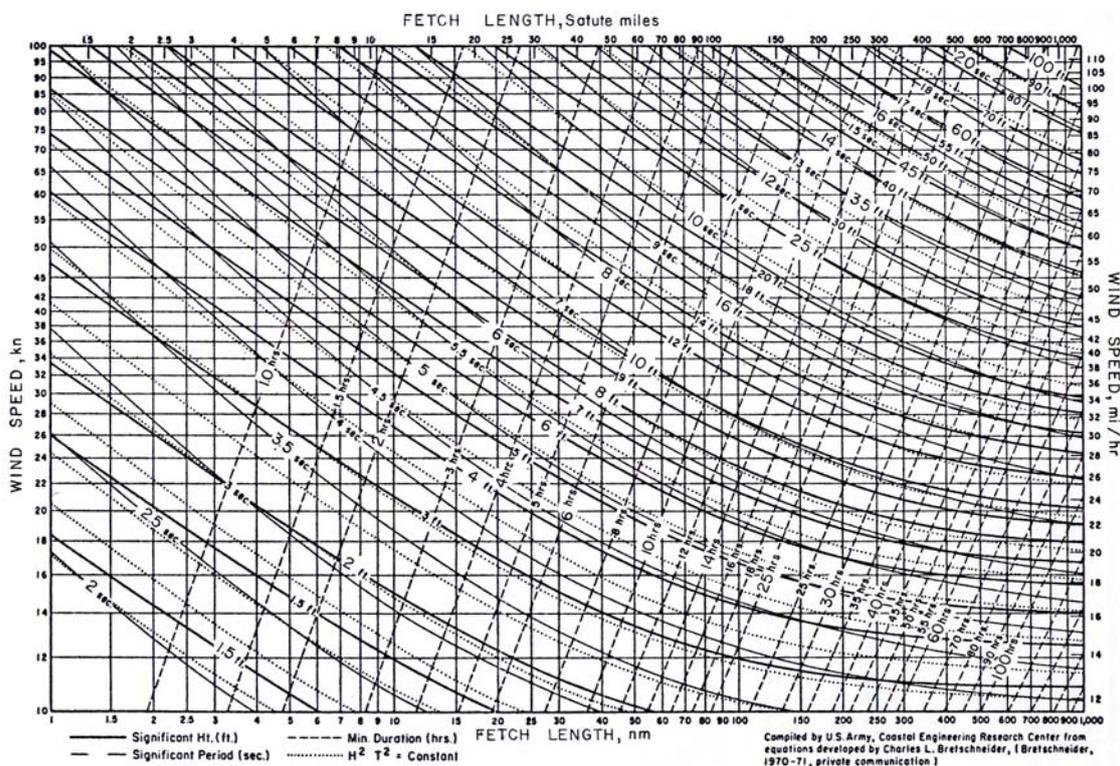


Fig. 7. Previsione di altezze significative, periodo dell'onda e durata del vento calcolata sulla base della lunghezza della *fetch* e velocità del vento (BRETSCHNEIDER 1970-71, in COLLINS, 1976)

Essendo la lunghezza massima della piattaforma di circa 18 Km (o 10 miglia nautiche), si può prevedere che per venti di $v=16\text{m/s}$ (ovvero $57,6\text{ Km/h}$ o 32 nodi), in un arco di tempo di circa 2 ore si raggiungeranno a quella distanza i valori massimi di altezze di 1,6m, e periodi di $4,5 \div 5$ secondi.

Per una stessa intensità di vento, ma con provenienza da mare, con un *fetch* di circa 100 miglia, si possono invece raggiungere in un arco di tempo di $10 \div 12$ ore le massime altezze d'onda di circa 4m e periodi di 7,5 secondi. Le altezze d'onda maggiori, con i corrispondenti periodi d'onda sono perciò da riferirsi, in piattaforma, principalmente al moto ondoso generato da venti di Sud-Sudest. Un secondo diagramma a diversa lettura conferma, per uguali valori di *fetch* e intensità di vento, le stesse caratteristiche d'onda (Fig. 8).

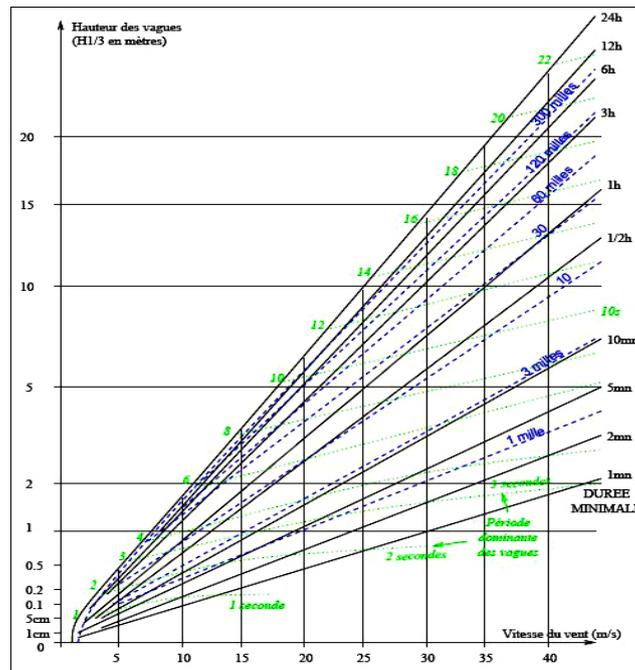


Fig. 8. Previsione di altezze significative, periodo dell'onda e durata del vento calcolata sulla base della lunghezza del *fetch* e velocità del vento (PARENTHOËN *et al.* 2003).

Se consideriamo un valore medio dei periodi dell'onda di $T = 9,27$ secondi, registrati per le onde di 3,5m d'altezza (misurazioni delle altezze massime significative delle onde di scirocco, fig. 2), in base alla relazione (2) possiamo ottenere la lunghezza

d'onda incidente $\lambda = 134\text{m}$. La ripidità dell'onda ($R = H/L$) sarà di $1/38$ corrispondente ad onde di media-alta energia.

In base alle relazioni note in bibliografia, la base del moto ondoso interferisce con il fondale a cominciare da profondità uguali a metà della lunghezza d'onda, con energia pari al 5% di quella in superficie. Una lunghezza d'onda di circa 130m può dunque essere ritenuta responsabile di un'azione sul fondale alla profondità di $60\div 65$ metri.

Poiché queste lunghezze d'onda vengono raggiunte diverse volte l'anno, durante le mareggiate generate da venti di SE, si può ritenere che il fondo della piattaforma intermedia sia spesso interessato da importanti flussi selettivi. Nei dati non vengono considerate le sovrapposizioni di onde, che possono dar luogo a diverse configurazioni geometriche di interferenza costruttiva o gruppi d'onda a dimensioni maggiori. Inoltre non vengono probabilmente registrate dagli ondometri le onde a lungo periodo e bassa ampiezza (*houle*) che possono produrre effetti anche nei fondali anche a grande profondità.

I sedimenti supereranno la soglia di trasporto in base alla granulometria. Il diagramma in Fig. 9 mette in relazione il diametro di sedimenti messi in movimento dal passaggio di un'onda a periodo lungo, $T=15$ secondi, a seconda della profondità e dell'altezza.

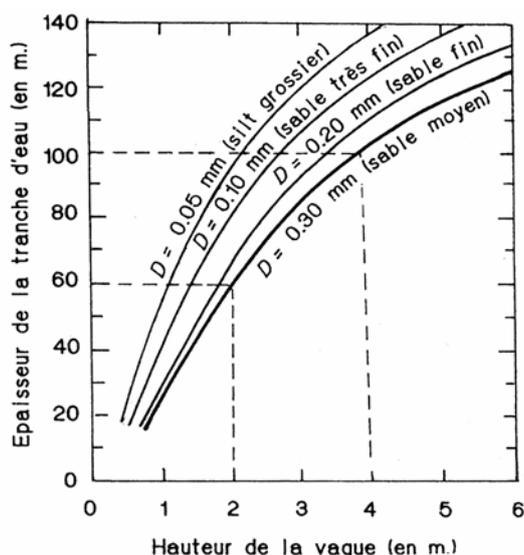


Fig. 9. Profondità di *entrainement* di granuli a diametro variabile per effetto di un'onda di periodo di 15 secondi di altezza variabile (COJAN & RENARD, 1999).

La lettura del diagramma indica che per altezze di 3,0÷3,5m si può produrre sul fondale il movimento di sabbie medio-fini già a profondità di 80÷100m.

In conclusione, si può affermare che il moto ondoso registrato per una provenienza da SudEst può essere ritenuto responsabile di produrre un flusso tale da determinare la selezione e il trasporto di sedimenti medio-fini già per profondità di 55÷60 metri. Le profondità delle *sand waves* presenti in piattaforma si presentano compatibili con questo dato e ciò induce a ritenere che esse siano attualmente attive e in equilibrio con l'energia idrodinamica presente.

4.4 Genesi delle *sand waves*

Le *sand waves* rappresentano il risultato dell'equilibrio dinamico tra i sedimenti e il gradiente energetico presente. Come discusso precedentemente l'accrezione delle strutture deve essere riferita ad un flusso prevalente da mare verso terra generato dal moto ondoso proveniente dai quadranti meridionali (poiché il moto ondoso proveniente da NordOvest è di intensità inferiore, per la ridotta area di *fetch*, e per le evidenze legate alla morfologia della strutture che presentano *stoss sides* rivolti verso mare). I treni d'onde, al loro ingresso nella piattaforma, per fenomeni di rifrazione si orientano parallelamente alle isobate, e intercettano il fondale a diverse profondità producendo perturbazioni ricollegabili ai moti generati sulla *tranche* d'acqua dalla loro propagazione. Come si osserva dai profili *SSS*, le *sand waves* si orientano costantemente seguendo l'andamento batimetrico, e ciò indica una loro attività in equilibrio con il livello del mare attuale.

La periodicità e la spaziatura delle forme sono da mettersi in relazione con le caratteristiche di propagazione delle onde. Il moto ondoso induce infatti nella colonna d'acqua diversi moti, uno orbitale, e uno associato a una traslazione delle particelle d'acqua nella direzione di propagazione dei fronti d'onda.

Il moto orbitale descrive movimenti con diametri decrescenti e minori energie verso profondità maggiori. Al diminuire della profondità le orbite si fanno più ellittiche fino, a limite del contatto col fondale, a dare luogo ad un movimento avanti-indietro risultante in una periodica variazione di sforzo di taglio. Lo *Stokes Drift*, o “deriva” lungo la propagazione dell'onda avviene a causa della minore velocità del moto orbitale nelle parti basse dell'orbita per aumento di pressione, e risulta in uno spostamento di massa

netto nella parte superiore delle orbite non bilanciato dal moto in direzione opposta alla propagazione, nella parte bassa. La distribuzione delle *sand waves* dipende perciò dalla profondità in cui il fondale intercetta le celle di movimento, e dà luogo a *waves* molto piccole nelle parti distali della piattaforma intermedia, da circa -55÷-60m, e *waves* a grande lunghezza d'onda nelle parti meno profonde (fino a 150 metri circa di λ a 35 metri di profondità, fig. 12).

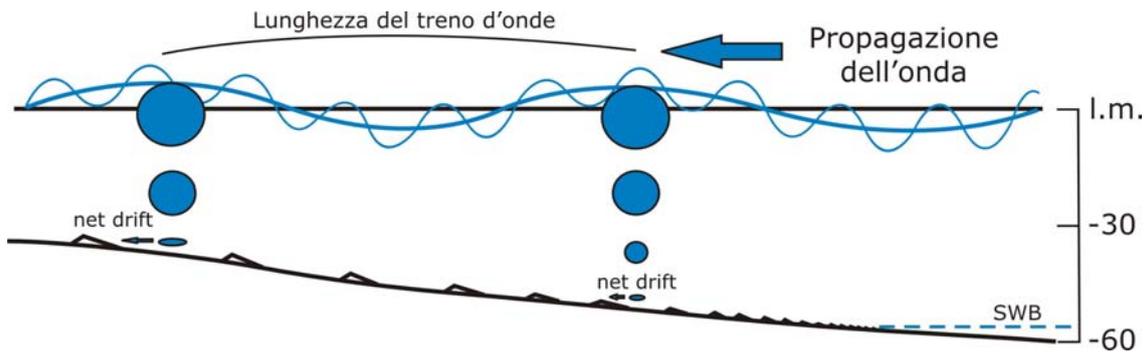


Fig. 12. Moti orbitali prodotti dallo spostamento di un treno d'onde sul fondale. Al diminuire della profondità aumenta la dimensione delle celle di movimento e la componente orizzontale di flusso, determinando l'aumento di dimensione delle *sand waves*.

La componente orbitale del flusso è perciò almeno in parte responsabile della periodicità delle strutture, mentre la componente parallela alla direzione di propagazione dell'onda, ha un ruolo determinante nell'asimmetria delle forme. La geometria delle strutture, con profili asimmetrici e versanti meno acclivi rivolti verso largo potrebbe essere il risultato di un funzionamento delle *waves* di tipo *stoss side* – *lee side*, con erosione sullo *stoss* e deposizione nella superficie sottocorrente, indotto dalle correnti da moto ondoso provenienti da mare verso terra, meccanismo simile, a scala inferiore, a quello dei *ripples* da corrente (Fig. 13).

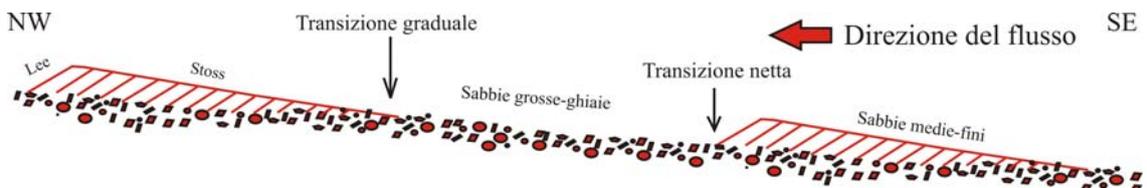


Fig. 13. Migrazione delle *sand waves* ipotizzata per un flusso di corrente da mare verso terra, con una geometria interna semplice a lamine inclinate nel verso della corrente.

Non si hanno dati sulla geometria interna delle *sand waves*, che potrebbe essere sia di tipo semplice, con lamine inclinate nella direzione di trasporto o di tipo composito, con variazioni di organizzazione dei set di lamine dipendenti dall'equilibrio idrodinamico presente al momento della deposizione e dal tasso di sedimentazione.

La transizione osservata da creste rettilinee a sinuose verso costa, a profondità di circa 35m, corrisponde verosimilmente alla transizione, a queste profondità, da moti idraulici prevalentemente circolari ad elicoidali per accresciuto attrito del moto ondoso sul fondale.

Disponendo dei dati relativi alle caratteristiche dell'onda in superficie si è cercato di mettere in relazione la lunghezza d'onda delle *sand waves* con le dimensioni delle onde che le generano.

Il diametro dei moti orbitali secondo Allen (1997), in profondità, varia in ragione della formula:

$$d_h \text{ (diametro dei moti orbitali)} = H * 10^{-(2\pi h/\lambda)}$$

dove H è l'altezza dell'onda, h la profondità e λ la lunghezza d'onda. Per una profondità $h = \lambda/2$ il diametro sarà 0,04H, mentre per $h = \lambda$ il diametro decresce a 0,002H.

L'applicazione di questa relazione utilizzando i valori massimi significativi registrati per un moto ondoso incidente da SE (uguali alla media dei valori del terzo delle onde maggiori, con altezze = 3,5m e lunghezze d'onda = 134m, vedi cap. 1, par. 3) dà luogo a valori di diametri molto piccoli, di circa 1,6cm a 35 metri e di 8cm a 50 metri di profondità.

Il diametro di queste celle di movimento non è perciò direttamente confrontabile con la lunghezza d'onda delle onde di sabbia ma dove tenere conto dell'intervento della componente di traslazione orizzontale. A basse profondità inoltre l'attrito generato al contatto della base dell'onda con il fondale determina la rottura delle celle di movimento e la generazione uno sforzo di taglio lungo la direzione di propagazione di difficile quantificazione. Questo stato di flusso super critico, che si verifica tramite moti vorticosi, è probabilmente responsabile della formazione di strutture irregolarmente allungate (tridimensionali) e determina complicazioni nella previsione delle lunghezze d'onda delle strutture per basse profondità.

I valori di flusso stimati dal diagramma in fig. 10, mostrano una soglia di velocità per la formazione delle strutture più precoci (a profondità di circa 55 m), bidimensionali e a creste prevalentemente parallele, per sedimenti a moda nelle sabbie grosse (500-1000 μ m), di 0,35 m/s. Nonostante il diagramma di Allen si riferisca a granuli quarzosi, il suo utilizzo nella stima della velocità di flusso per il sedimento misto è giustificato dal comportamento idrodinamico complessivo dei noduli algali che per peso, forma e dimensioni, possono essere messi in movimento con sforzi di taglio simili ai granuli silicoclastici (il fatto che li si ritrovi selezionati insieme è indicativo in questo senso).

La morfologia delle *sand waves* a profondità minori (35÷40 m circa), sembra indicare l'accresciuta importanza della componente traslazionale nella dinamica di fondo (elementi strutturali 3d: curvatura delle creste, presenza di lobi e cuspidi nella direzione della corrente). Il flusso, disturbato dall'attrito sul fondale si avvicina probabilmente a condizioni critiche (cioè il numero di Froude, espresso come il rapporto fra velocità del flusso e velocità di propagazione dell'onda lunga ($Fr=U/\sqrt{G*h}$) si avvicina a 1). Il passaggio a strutture dunari di tipo tridimensionale (lobate e a creste sinuose) richiede, secondo il diagramma, una velocità di flusso di circa 0,6 m/s. Contestualmente alle grandi *sand waves* si osserva alla stessa profondità la formazione dei *megaripples*; ciò trova corrispondenza, nel diagramma, al raggiungimento, per le sabbie molto grosse (>1mm), di condizioni di flusso superiori al *lower plane* per velocità maggiori di circa 0,4÷0,6 m/s. A profondità minori di 30÷35m circa, si osserva la scomparsa delle *sand waves* dalle registrazioni ecografiche e la transizione verso il banco a Posidonia, caratterizzata da fondali debolmente colonizzati da basse fanerogame, alghe e altri organismi. Questo limite potrebbe essere dovuto sia alla presenza della copertura vegetale, che stabilizzerebbe il fondale impedendo i movimenti delle sabbie fini, sia all'eccessivo aumento di trasporto dei materiali in sospensione per maggiore energia del moto ondoso sul fondale. McCave (1971) afferma a tal proposito che l'energia idrodinamica necessaria alla formazione delle *sand waves* deve essere tale da far prevalere il trasporto di fondo e un regime di flusso subcritico. Questa seconda ipotesi implicherebbe che si raggiunga, a questa profondità, il limite di sviluppo massimo delle *sand waves*, e che un ulteriore incremento di energia porterebbe alla dispersione dei materiali fini. Tale velocità corrisponde al raggiungimento di condizioni di *upper plane*, ed è stimata nel diagramma in circa 1,0 m/s. I sedimenti più fini, non essendo più in

equilibrio con il gradiente energetico presente, dovrebbero essere nuovamente dispersi nei settori più distali per poi eventualmente riniziare un nuovo ciclo di trasporto verso costa ad opera delle correnti di moto ondoso.

Relazione tra profondità e lunghezza d'onda

In bibliografia non esistono relazioni univoche tra la velocità del flusso e la lunghezza d'onda delle strutture; alcune formule empiriche sono state proposte allo scopo di mettere in relazione profondità dell'acqua e lunghezza d'onda delle strutture osservate, e hanno perciò un valore solamente nel contesto locale di osservazione (cfr. Allen, 1970, Yalin, 1977, Van Rijn, 1984, Soulsby 1997 e Gabel, 1993).

La dipendenza delle dimensioni delle *sand waves* dalla profondità è stata valutata anche in questo contesto in modo empirico diagrammando le misurazioni di 50 strutture (Fig. 15).

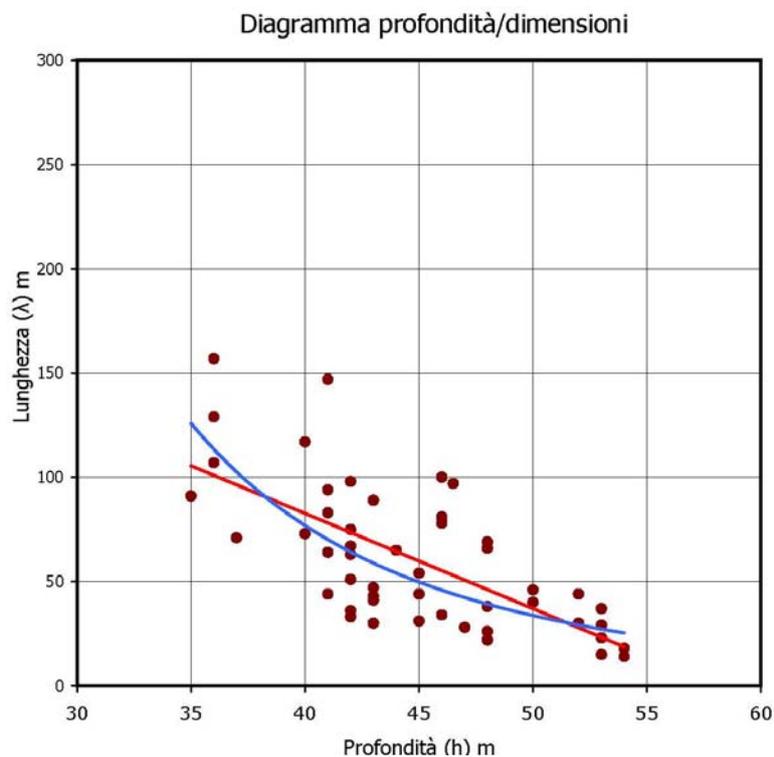


Fig. 15. Il diagramma mostra le misurazioni di lunghezza d'onda di 50 strutture e la loro profondità.

La relazione ottenuta può essere descritta tramite una equazione esponenziale che rende conto della rapida diminuzione delle turbolenze in profondità e conseguentemente della

dimensione delle strutture, o con una più semplice equazione lineare. La prima è esprimibile come:

$$\lambda = 6E+07 h^{-3,6983}$$

Mentre l'equazione lineare risulta:

$$\lambda = 265 - 4,5h$$

Queste formule si discostano da quelle proposte da altri Autori essendo, come detto, dipendenti dalle caratteristiche delle aree rilevate. Allen (1970) propone una formula esponenziale $\lambda = 1,16h^{1,55}$, mentre per Soulsby (1997) questi parametri sono legati dalla relazione lineare: $\lambda = 7,3h$.

5. PIATTAFORMA ESTERNA DEL GOLFO DI CAGLIARI

5.1 Paleo cordoni litorali e fondali esterni della piattaforma

La parte più distale della piattaforma è costituita da un breve pendio di lunghezza variabile (da 1 a 3 Km, o poche centinaia di metri in corrispondenza dei *canyon*) a inclinazione maggiore rispetto al resto della piattaforma ($1,5^\circ$), che termina con la rottura di pendio ed il raccordo della scarpata continentale verso il bacino.

Due allineamenti di alti strutturali, che si elevano fino ad altezze di 5÷10m dal fondale profondo circa 60m separano questo segmento di piattaforma dal resto dello *shelf*. Le strutture si sviluppano quasi parallele lungo tutta la piattaforma e si distanziano di circa 1,5 Km nel settore SudOvest mentre si rastremano nella parte di NordEst fino a poche centinaia di metri di distanza. La struttura più esterna attraversa con continuità tutta la piattaforma, mentre la più prossimale si presenta parzialmente sepolta nella parte Ovest della piattaforma, in corrispondenza della soglia di S.Elia verso la parte ribassata dell'infrastruttura, in relazione al maggior tasso di sedimentazione presente in quest'area. L'ampiezza della piattaforma interna è anch'essa dipendente dalle condizioni di alimentazione: nel settore occidentale si osservano le estensioni maggiori con progradazioni convesse e una rottura di pendio a profondità fino a 130 m circa, mentre in quello orientale il ripiano ha dimensioni ridotte e la rottura di pendio si osserva a profondità minore (75 m), per sottoalimentazione della piattaforma in queste aree e per la presenza di importanti *canyons*.

5.2 Analisi dei sedimenti

Le campionature effettuate nell'areale sono di seguito elencate (Tab 1, Fig. 1):

Campione	Profondità (m)	Descrizione
----------	----------------	-------------

SW16	62,3	Sabbia grossa-ghiaiosa bioclastica
SW17	62,6	Sabbia media-grossa bioclastica
SW18	57,9	Sabbia molto grossa-ghiaiosa bioclastica
SW19	73,7	Sabbia media-grossa bioclastica, debolmente terrigena
SW20	75,0	Sabbia media, grossa e molto grossa mista bioclastico-terrigena
SW21	80,0	Sabbia media-fine bioclastica, debolmente terrigena
SW22	96,0	Sabbia fine bioclastico-quarzosa
SW23	98,0	Sabbia media-fine bioclastico-quarzosa
SW24	102,0	Sabbia fine-media bioclastico-quarzosa

Tab 1. Campionature effettuate e descrizione sintetica del sedimento

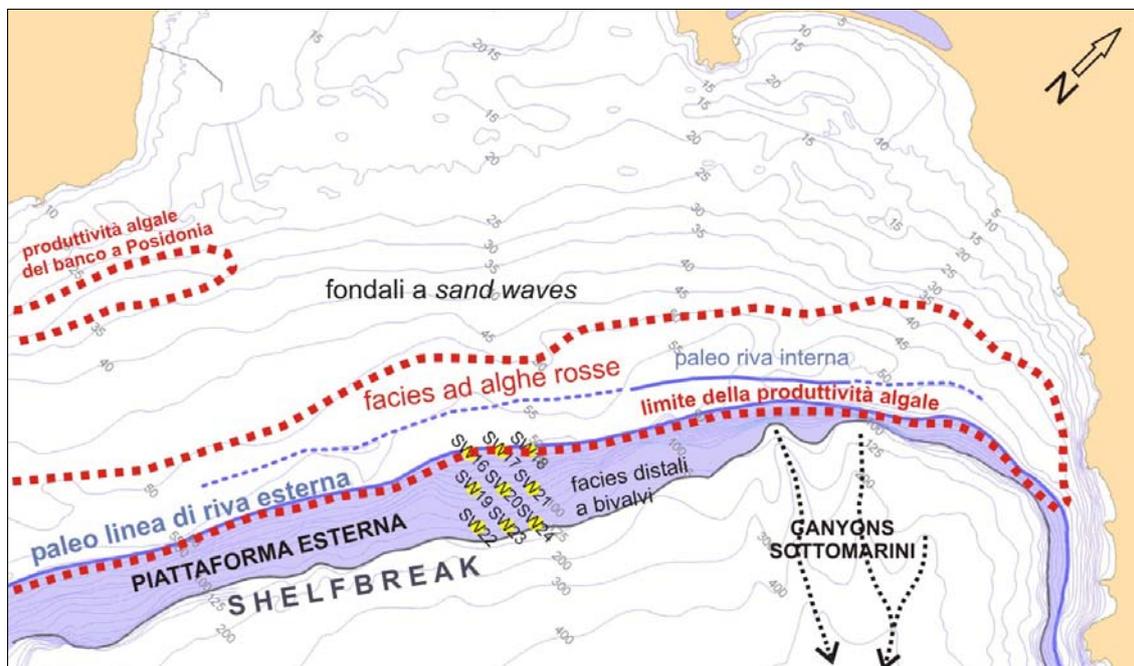


Fig. 1. Ubicazione delle campionature e zonazione delle facies in piattaforma esterna

I fondali di questo areale sono caratterizzati dalla presenza di una biocenosi attuale molto ricca ad alghe rosse ramificate, presente in corrispondenza della depressione della piattaforma intermedia, fino alla culminazione della paleo riva più esterna (campioni SW16, SW17 e SW18), oltre il quale la sedimentazione algale diminuisce fortemente, probabilmente per il raggiungimento del limite batimetrico di distribuzione delle specie. Esternamente a questa struttura viene campionata la componente terrigena relitta caratteristica dell'areale delle *sand waves*, (da circa -40 m di profondità), che affiora

oltre la paleo riva esterna probabilmente per la diminuita produttività algale (campioni SW19, SW20 e SW 21, Fig. 2).

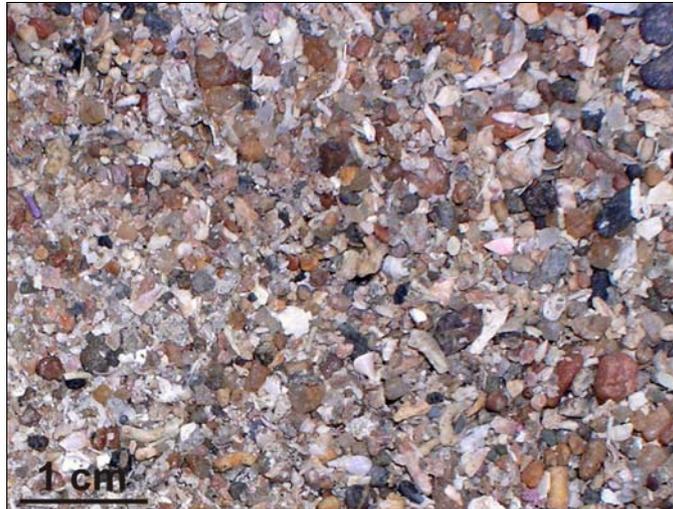


Fig. 2. Campione SW20, misto bioclastico e terrigeno (componente relitta)

Ai sedimenti misti terrigeni-bioclastici subentra, a profondità di 80 m, una sedimentazione più fine (campioni SW22, SW23, SW24), a piccoli bivalvi, echinidi e scafopodi che costituiscono i resti bioclastici della fauna popolante questi fondali profondi (oltre a foraminiferi planctonici, ostracodi, spicole di spugne e componenti minori rinvenute nel sedimento). Associata al materiale bioclastico si osserva una discreta componente quarzosa (a granulometria nelle sabbie molto fini) e una componente di minerali accessori in percentuali maggiori rispetto al resto della piattaforma (Fig. 3).

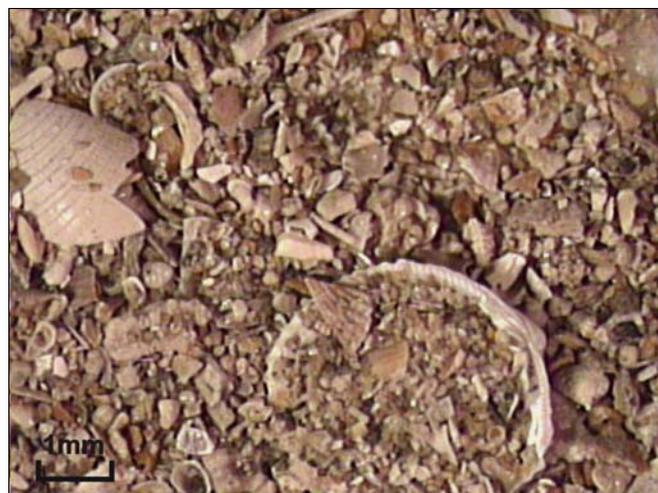


Fig. 3. Campione SW24, facies fine a bivalvi.

Questi sedimenti rappresentano una debole progradazione attuale o sub-attuale che ricopre con spessori esigui i sedimenti del prisma di stazionamento basso dell'ultima fase regressiva.

5.3 Analisi dei profili SBP

I paleo cordoni litorali presenti al limite della piattaforma esterna rappresentano, nelle attuali condizioni eustatiche, degli importanti limiti fisiografico-deposizionali che determinano il confinamento degli apporti terrigeni nelle zone retrostanti e lasciano pervenire nella parte più distale della piattaforma solo gli apporti più fini, capaci di un lungo trasporto in sospensione. La strutturazione del margine esterno deve essere perciò riferita a progradazioni sedimentarie in fase di livello eustatico basso, in seguito rielaborate durante le fasi trasgressive. I profili SBP che attraversano il margine esterno mostrano i *systems tracts* tardo pleistocenici che documentano la progradazione dei sistemi costieri, con terminazioni in geometria di *toptlap* al di sotto di una superficie di erosione interpretata come *ravinement*. (Fig. 4).

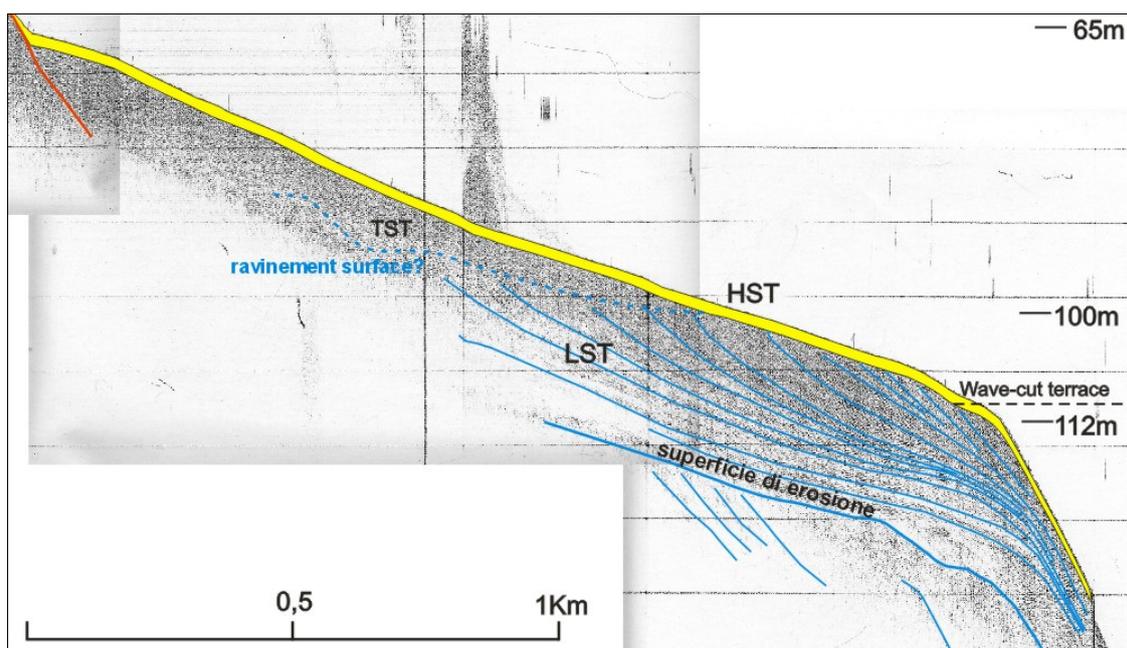


Fig. 4. Profilo *SBP* del margine esterno della piattaforma e interpretazione sequenziale. In alto a sinistra si nota la prosecuzione nel substrato del corpo sedimentario litificato della paleo riva esterna.

Al di sopra di tale superficie, secondo questa interpretazione, poggiano i sedimenti depositi in fase di innalzamento di livello eustatico post *LGM*, che rappresenterebbero la retrogradazione degli ambienti sedimentari lungo la piattaforma esterna. Nella parte sommitale è infine presente un deposito dello spessore di circa 1,0 ÷ 1,2 metri di sedimenti fini depositi durante le fasi finali della trasgressione olocenica.

Alla base di questa parasequenza si può osservare una seconda superficie attribuibile all'erosione del ciclo eustatico precedente (MIS 4-6)

Il margine esterno dello *shelf* è orlato dalla paleo-struttura più esterna, che mostra evidenze di più cicli di deposito ed erosione per la presenza di tre ripiani con scarpate rivolte verso largo, legati probabilmente ad altrettanti episodi di stazionamento del mare pleistocenico. Un secondo cordone è presente inoltre verso terra, e presenta una rilevanza minore per dimensioni e continuità lungo la piattaforma. Questi corpi rappresentano il risultato di processi analoghi legati a prolungati stazionamenti di livello eustatico alle rispettive quote (Fig. 5).

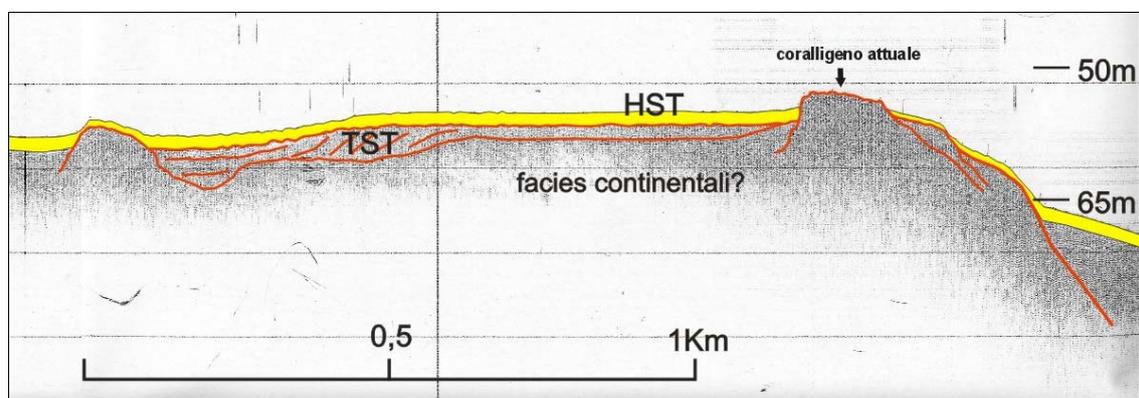


Fig. 5. Profilo *SBP* che mostra le due paleo rive e l'area in erosione interposta con l'interpretazione del riempimento. Nella paleo riva esterna sono visibili 3 ripiani relativi a cicli di erosione-deposito.

Nei profili si osserva la presenza di aree depresse sia nella zona retrostante la paleo struttura più interna e sia tra le due strutture. Queste depressioni sono in parte colmate da sedimenti ma sono per ampi tratti del golfo deficitarie (settore Est della piattaforma). Dall'analisi della carta batimetrica si può dedurre l'allungamento delle aree depresse parallelamente alle strutture e ciò fa supporre una paleogeografia, per intervalli eustatici

compresi tra -55 e -65 metri circa, caratterizzata da ampie aree occupate da lagune costiere ed ambienti transizionali nelle aree retrostanti i cordoni litorali (Fig. 6). Questo comportamento è in generale tipico dei sistemi costieri attuali della Sardegna ed è probabilmente estendibile, nella piattaforma di Cagliari, ad altri livelli batimetrici in cui si rinvenivano alti strutturali e associate depressioni retrostanti.

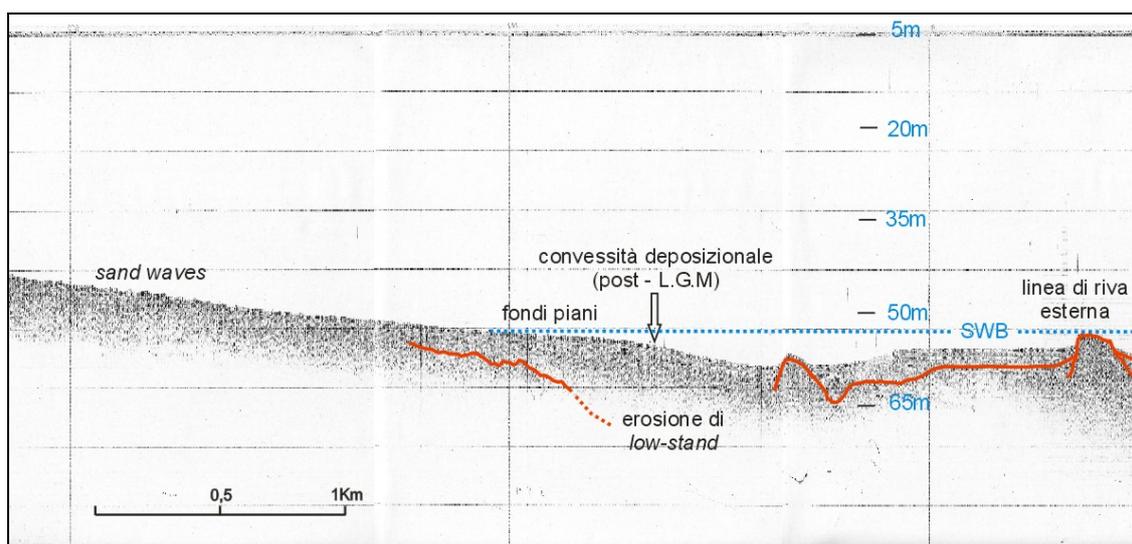


Fig. 6. Profilo SBP della piattaforma intermedia distale, settore centrale dello *shelf* di Cagliari. Sono evidenziate le paleo strutture affioranti, l'erosione di stazionamento basso e il colmamento, con geometria sigmoide, della fase di trasgressione - *high-stand*.

La presenza di questa configurazione di alti e depressioni può essere ricondotta sia a fattori strutturali che a cause eustatiche. A questa profondità si situa infatti un'importante fase di stazionamento di livello marino presente alla base dello *younger Dryas*, e mostrata dal cambiamento del tasso di risalita eustatica globale a circa 12 Ka BP. L'origine delle paleo strutture è tuttavia probabilmente policiclica (come indicato dalla presenza di erosione lungo il margine esterno della paleo riva più distale). L'ipotesi più probabile prevede che durante successivi stazionamenti marini, sia in fase trasgressiva che regressiva, in questa fascia si siano stabilizzati sistemi costieri che producevano, per la grande disponibilità di materiali e basso spazio di accomodamento, importanti depositi in facies di *shoreface*. Alle spalle dei cordoni litorali si formavano zone lagunari, sulle quali, in fasi di livello marino più basso di -60 m circa, si impostava il sistema drenante della piattaforma. I depositi, litificati per processi di non facile determinazione venivano in seguito sommersi dal mare e ricoperti da biocostruzioni

algali favorite dalla posizione elevata del fondale, mentre le aree depresse venivano colmate parzialmente dalle progradazioni terrigene dei sistemi costieri più arretrati e in seguito dalla produttività bioclastica algale dell'attuale *high-stand*. Questi processi si sono ripetuti probabilmente diverse volte nel corso del Pleistocene medio-superiore e hanno determinato (forse per un meccanismo di *feedback*) la formazione delle strutture attualmente osservate.

6. PIATTAFORMA DEL SARRABUS

6.1 Caratteristiche morfologiche

Questa stretta piattaforma si struttura sull'omonimo *horst* ed è alimentata da apporti provenienti dall'entroterra granitoidi e scistosi. Il profilo dello *shelf* mostra condizioni di sottoalimentazione, e una rottura di pendio è individuabile a -10 m per controllo strutturale (Fig. 1). Lo *shelfbreak* è presente alla profondità di -70m÷100 m per la scarsa alimentazione che riflette le condizioni fisiche e strutturali di un bacino anziano e tettonicamente stabile.

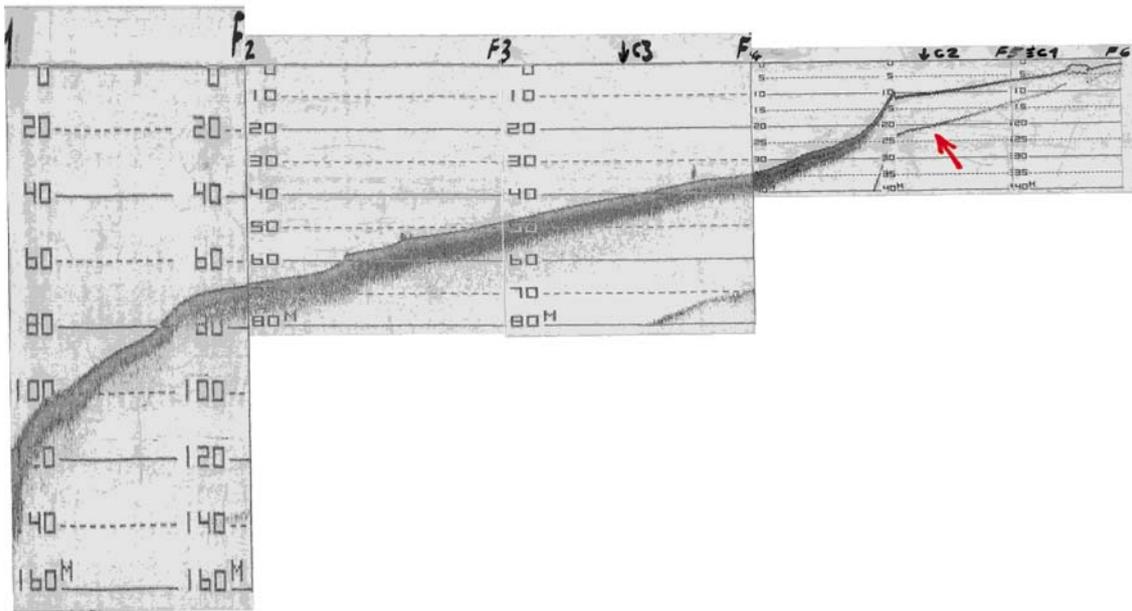


Fig. 1 Profilo ecografico T1 della piattaforma del Sarrabus, che mette in evidenza il controllo strutturale e la morfologia ribassata di gran parte della piattaforma. La freccia evidenzia la riflessione multipla del segnale. Ubicazione in Fig.2.

6.2 Analisi dei sedimenti

I campionamenti effettuati sono distribuiti prevalentemente nella zona costiera e all'esterno della fascia a posidonie e si presentano silicoclastici sotto costa e bioclastici

oltre la prateria. La fascia della spiaggia sommersa è dominata dagli apporti terrigeni con limitato sviluppo di organismi e produttività carbonatica associata. I fondali oltre la prateria di posidonia sono a sedimentazione bioclastica per la produttività della prateria e dell'ecosistema ad alghe rosse (Tab. 1 e Fig.2).

Campione	Profondità (m)	Descrizione
RC1	-	Ghiaia sabbiosa silicoclastica
RC2	-	Sabbia grossa ghiaiosa silicoclastica
RC3	-	Sabbia grossa ghiaiosa silicoclastica
RC4	-	Sabbia grossa ghiaiosa silicoclastica debolmente bioclastica
RC5	-	Sabbia media ben classata debolmente bioclastica
RC6	-	Sabbia media-fine ben classata debolmente bioclastica
RC7	-	Sabbia fine ben classata debolmente bioclastica
RC8	-	Sabbia molto grossa-ghiaiosa silicoclastica
RC9	-	Sabbia grossa silicoclastica
RC10	-	Sabbia grossa- molto grossa silicoclastica
RC11	-	Sabbia grossa silicoclastica
RC12	-	Sabbia molto grossa-ghiaiosa silicoclastica
RC13	-	Sabbia molto grossa-grossa silicoclastica
RC14	-	Sedimento bimodale silicoclastico di foce fluviale
RC15	-	Sedimento bimodale silicoclastico di foce fluviale
RC16	-	Sabbia grossa-media silicoclastica
RC17	-	Sabbia fine silicoclastica, debolmente bioclastica
RC18	-	Sabbia media-grossa silicoclastica
T1C1	7,0	Sabbia fine silicoclastica
T1C2	10,0	Sabbia grossa-media silicoclastica
T1C3	40,0	Sabbia molto grossa-grossa bioclastica (<i>facies</i> ad alghe rosse)
T2C5	39,2	Sabbia molto grossa-grossa bioclastica (<i>facies</i> ad alghe rosse)
T2C6	50,5	Sabbia molto grossa-grossa bioclastica (<i>facies</i> ad alghe rosse)
S116*	8	Sabbia media-grossa silicoclastica
S117	6,2	Sabbia grossa silicoclastica

Tab. 1. Campionature della piattaforma del Sarrabus, estremità orientale del golfo di Cagliari, con descrizione sintetica del sedimento sulla base delle analisi granulometriche e composizionali. * solo analisi granulometrica.

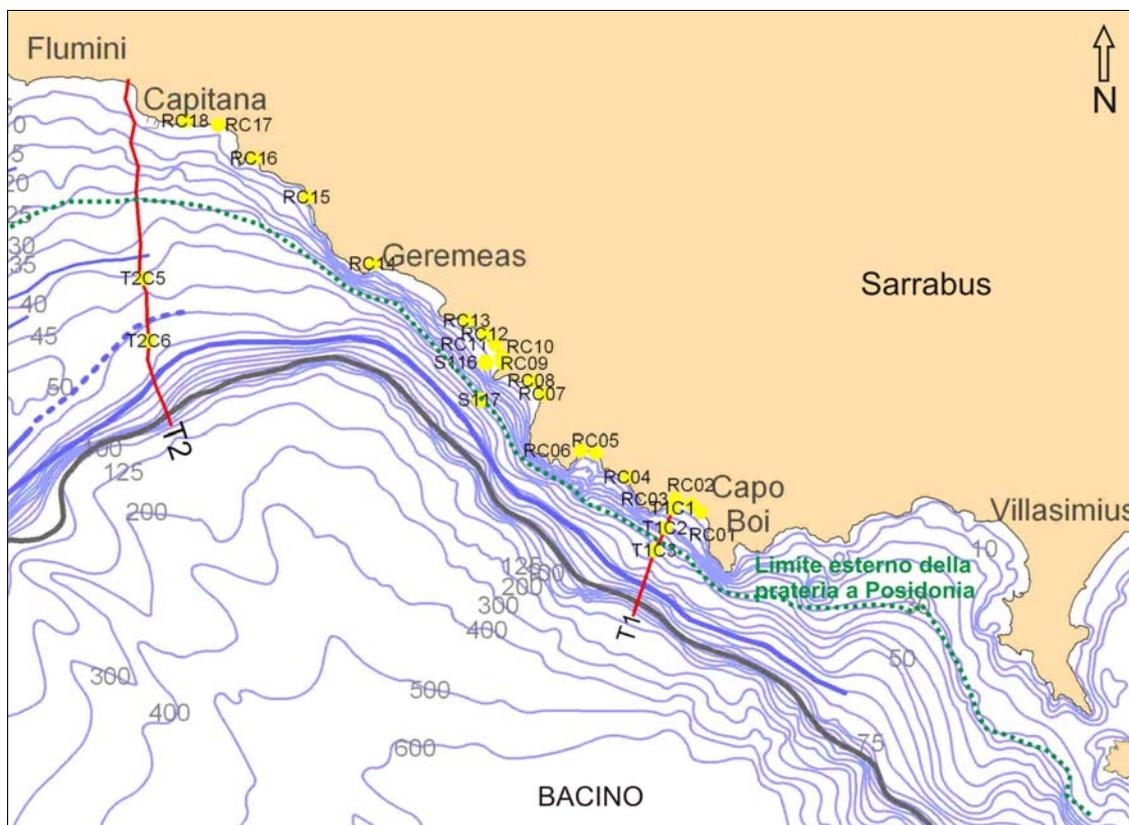


Fig.2. Ubicazione delle campionature nella piattaforma del Sarrabus e limite di distribuzione inferiore della prateria.

Nella fascia sotto costa sono attivi processi di selezione e rimaneggiamento operati dal moto ondoso (correnti oscillatorie e correnti unidirezionali).

La relazione tra le direzioni principali del moto ondoso (da SO) e la geometria della costa induce altri fattori locali di controllo sui sedimenti depositi. Il profilo della linea di costa modula l'energia del moto ondoso tramite la rifrazione delle onde nelle zone più esposte, cosicché esse interferiscono perdendo energia e nelle zone più interne delle baie prevale una sedimentazione fine di bassa energia; le zone più esposte mostrano invece un sedimento più grossolano mentre i promontori, più esposti alle correnti, sono in erosione come testimoniano le molte falesie in questa parte del golfo.

Le principali strutture identificabili nella fascia più prossimale della piattaforma sono i *ripple marks*, tipici dell'ambiente di alta energia che indicano una presenza di importanti flussi litorali selettivi.

I sedimenti sotto costa sono tutti quasi esclusivamente silicoclastici con piccole percentuali di carbonati sotto forma di piccole conchiglie e frammenti di gusci. La sedimentazione bioclastica è ridotta ai frammenti più grossi mentre i più fini e/o i meno pesanti, soggetti al trasporto del moto ondoso, vengono allontanati verso largo. I sedimenti costieri hanno una composizione mineralogica strettamente relazionata al substrato affiorante nelle immediate vicinanze, con una variabilità limitata che rientra perciò nelle caratteristiche delle fasi di alterazione dei graniti. (alta percentuale in quarzo in granuli monomineralogici, generalmente superiore al 45%, una percentuale importante di feldspati, e una minore componente litoclastica). Si associa inoltre una modesta quantità di biotiti e di minerali accessori.

Dal punto di vista granulometrico i sedimenti presentano generalmente una moda compresa negli intervalli delle sabbie molto grosse e delle sabbie grosse, a testimonianza delle condizioni di forte idrodinamismo dell'ambiente di sedimentazione. Alcune eccezioni sono rappresentate dalle sabbie fini ad abbondanti miche e minerali ferromagnesiaci campionate in località Torre delle Stelle (RC7 e RC8), derivate dall'alterazione di rocce basiche e localmente dalla presenza di una componente bioclastica che può costituire anche circa il 10% in volume di alcuni campioni.

I campioni marini T2C1, T2C2 e T1C1, prelevati a profondità comprese tra 1 e 7 metri, presentano una distribuzione granulometrica prevalente nell'intervallo delle sabbie fini (250-125 μ m) e composizione terrigena. Il limite batimetrico inferiore delle *facies* terrigene è dovuto dall'inizio della colonizzazione del substrato dalla prateria a posidonie che da un lato svolge una funzione stabilizzatrice nei confronti del sedimento, associata a un'azione di freno dell'energia idrodinamica, e dall'altro marca l'inizio della sedimentazione bioclastica. I sedimenti campionati oltre il banco mostrano ricche associazioni bioclastiche ad alghe rosse, lamellibranchi, briozoi, foraminiferi, echinidi e svariati altri organismi associati all'ecosistema a Posidonia.

7. PIATTAFORMA DEL SULCIS

Questa importante area sommersa si sviluppa in un contesto strutturale diverso rispetto alla piattaforma di Cagliari, ubicato sull'*horst* del Sulcis-Iglesiente. Il substrato presente è principalmente granitoide con importanti apparati vulcanici oligo-miocenici andesitici in prossimità delle faglie occidentali del graben del Campidano.

7.2 Caratteristiche morfologiche e analisi dei fondali

La piattaforma presenta una vasta area colonizzata dalla prateria a Posidonia che si estende dalla costa fino a 30÷35 m circa. La prateria si sviluppa parallelamente alla costa in modo continuo, con un'estensione trasversale variabile, di circa 3 Km. Nella fascia costiera si sviluppa un breve *shoreface* sabbioso che viene colonizzato a pochi metri dalla riva da varie alghe e in seguito dalla prateria a Posidonia. Il limite di distribuzione inferiore di questa presenta un andamento irregolare, frastagliato e discontinuo e raggiunge in genere profondità maggiori rispetto a quelle nel golfo di Cagliari.

La fascia costiera è inoltre caratterizzata dalla presenza di numerose piattaforme d'abrasione; particolarmente estese sono quelle dell'area di Santa Margherita e dell'area antistante il promontorio di *Capo Spartivento*.

I fondali esterni alla prateria presentano, analogamente alla piattaforma di Cagliari, un'area a sedimentazione bioclastico-terrigena subito oltre le posidonie, a cui fa seguito una fascia a *sand waves* e i fondali pianeggianti nella parte distale della piattaforma. La rottura di pendio si osserva a basse profondità (circa 90 m) ed è seguita nella parte sudoccidentale dello *shelf* da un secondo ripiano deposizionale posto a circa 110÷125 m di profondità.

7.3 Analisi dei sedimenti

I campioni sono stati prelevati prima dell'inizio della prateria e al diradarsi di questa a profondità di 35÷40m (Tab.1 e Fig.1).

Campione	Profondità (m)	Descrizione sintetica
RC33	-	Ghiaia sabbiosa litoclastica
T9C1	1,9	Sabbia ghiaiosa bioclastico-litoclastica
T9C2	6,9	Sabbia molto grossa-ghiaiosa bioclastico-litoclastica
S53	40,0	Sabbia molto grossa bioclastico-litoclastica
S55	29,8	Sabbia grossa bioclastico-litoclastica
S57	28,7	Sabbia molto grossa bioclastico-litoclastica
S58	39,2	Sabbia molto grossa bioclastica
S61	39,4	Sabbia ghiaiosa bioclastica mal classata
S62	40,6	Sabbia media bioclastica, debolmente terrigena
S63	10,0	Sabbia fine-molto fine quarzoso-bioclastica
S75	32,8	Sabbia molto grossa bioclastica
S77	6,6	Sabbia media-grossa silicoclastica
S78	32,0	Sabbia molto grossa bioclastica
S80	29,0	Sedimento mal classato bioclastico
S82	10,3	Sabbia fine-media quarzoso-feldspatica
S83	42,0	Sabbia fine terrigeno-bioclastica
S86	14,8	Sabbia media terrigeno-bioclastica
S98	5,6	Sabbia media-fine quarzoso feldspatica
S99	4,0	Sabbia media-fine quarzoso feldspatica
S51**	20,0	Sabbia fine con caulerpa
S56*	8,9	Sabbia molto fine silicoclastica
S67**	40	Sabbie bioclastiche ad alghe ramificate
S68**	33	Sabbia fine, alghe verdi
S71**	32,2	Sabbia con rizomi e foglie di Posidonia
S85**	7,0	Sabbia silicoclastica di spiaggia sottomarina
S93**	4,8	Sabbia silicoclastica di spiaggia sottomarina
S95**	4,0	Substrato roccioso, sabbia silicoclastica

Tab. 1. Campionature della piattaforma del Sulcis con descrizione sintetica del sedimento sulla base delle analisi granulometriche e composizionali; * solo analisi granulometrica, ** descrizione visiva del contenuto.

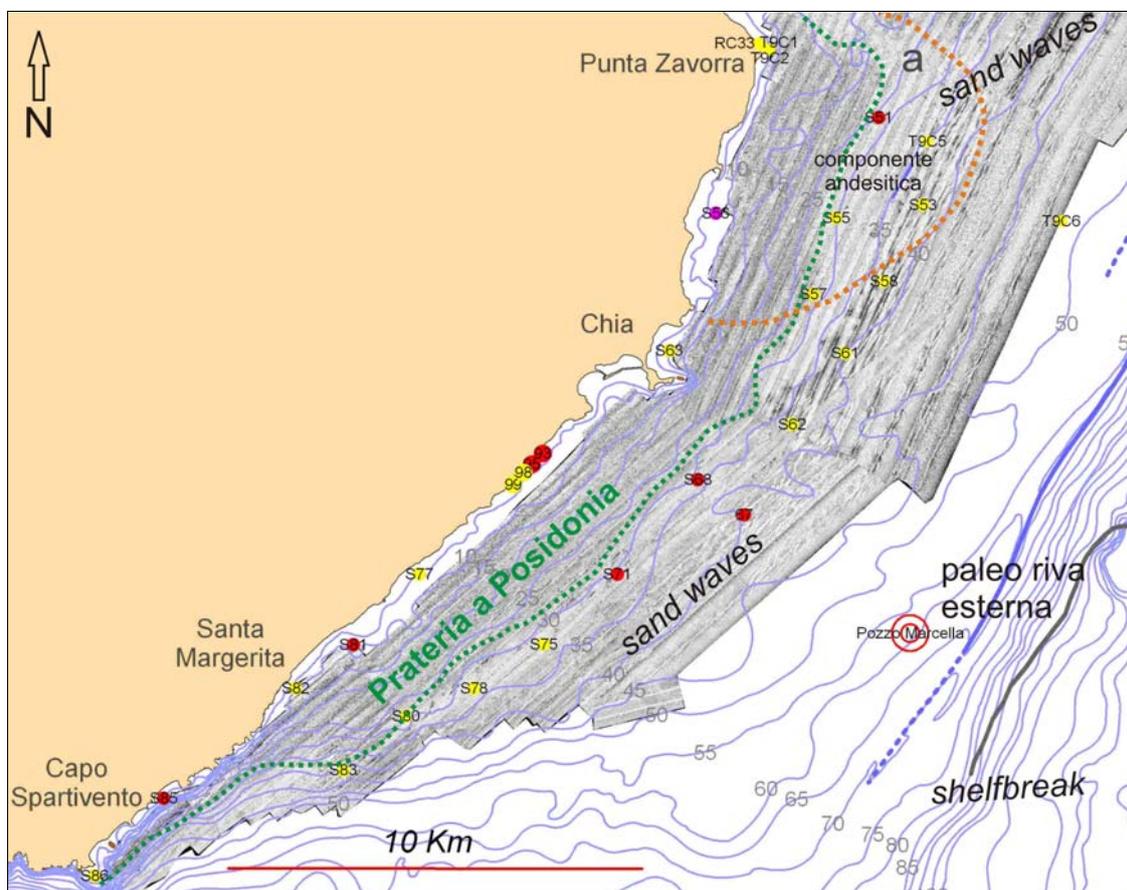


Fig. 1. Piattaforma del Sulcis. Sul mosaico SSS è ubicato il limite di distribuzione della Posidonia, le campionature effettuate e la presenza di sedimenti di derivazione andesitica dal complesso vulcanico di Punta Zavorra.

Le baie tra i promontori, presentano corpi sabbiosi in progradazione sui quali vengono campionate sabbie terrigene medie e fini. Oltre il banco a ridosso del limite inferiore di questo sono presenti sabbie grosse bioclastiche a lamellibranchi, alghe rosse e briozoi. Oltre il limite batimetrico dei 40m circa i sedimenti sono misti bioclastico terrigeni a componente relitta, e i fondali sono interessati da selezione granulometrica con smistamento di sabbie fini in *sand ribbons* e *sand waves* di subordinata estensione rispetto ai fondali a sabbie grosse. L'energia dell'ambiente è più alta rispetto alle aree

interne al golfo di Cagliari per l'esposizione della costa al forte moto ondoso dei quadranti meridionali, che provoca strutture di selezione anche a grandi profondità.

La parte distale di tale piattaforma non è stata campionata, ma la conoscenza dell'area esterna della piattaforma di Cagliari permette ipotizzare la presenza di una analoga fascia a produttività bioclastica per la presenza dell'ecosistema ad alghe rosse, e in seguito una sedimentazione fine di bordo di piattaforma.

La presenza del complesso vulcanico oligo-miocenico, nei pressi di Punta Zavorra, influenza la composizione dei sedimenti per una vasta area, nella quale viene campionata una componente litoclastica vulcanica molto importante (RC33, T9C1, T9C2, T9C5, S53, S55, S56, S57), (Fig.2).



Fig. 2. Componente litoclastica andesitica proveniente dall'apparato vulcanico oligo-miocenico del Sulcis

L'estensione di questi depositi al di sotto delle coperture attuali non è determinabile ma si ritiene possa essere molto ampia.

8. FACIES DEPOSIZIONALI

Comparando le caratteristiche deposizionali dei sedimenti campionati lungo i vari ambienti deposizionali individuati, sulla i risultati delle analisi dimensionali e composizionali, si è giunti alla individuazione di 11 gruppi di litofacies, rappresentativi della configurazione sedimentaria attuale della piattaforma del Golfo di Cagliari.

8.1 Facies di *shoreface* terrigene e miste (Fig.1)



Fig.1 Sabbia medio-fine terrigeno-bioclástica di shoreface

Si tratta di sedimenti terrigeni deposti durante le fasi finali della trasgressione post glaciale in depositi debolmente progradanti. Il materiale costituente è quarzoso, feldspatico e litico, con una componente bioclástica minore costituita prevalentemente da resti di conchiglie di bivalvi e gasteropodi. Nella transizione al dominio infralitorale le facies assumono, in accordo con il minore livello energetico presente, una granulometria più fine e una maggiore componente bioclástica per aumento della fauna bentonica e dell'infauna. Il materiale silicoclastico è presente nelle frazioni fini mentre i bioclasti possono essere rappresentati sia da gusci interi che da frammenti in ogni classe granulometrica.

Facies silicoclastiche dello shoreface del Golfo di Quartu e della costa del Sarrabus

Dal punto di vista granulometrico i sedimenti presenti in quest'area hanno generalmente una moda compresa negli intervalli delle ghiaie (*granule*), delle sabbie molto grosse e delle sabbie grosse mentre può arrivare alle sabbie fini-molto fini negli ambienti più protetti. La composizione del sedimento è quasi esclusivamente terrigena (quarzoso-arcosica) con componente bioclastica limitata a frammenti di molluschi. I campioni prelevati lungo il settore di costa più orientale hanno una composizione mineralogica che deriva dal substrato granitoido ampiamente affiorante nell'*horst* del Sarrabus. Nella spiaggia del Golfo Quartu invece i sedimenti mostrano maggiori indici di maturità tessiturale e composizionale, e provengono dalle arenarie e marne arenacee mioceniche che affiorano a est di Cagliari. Pur derivando anch'essi dal basamento metamorfico e granitoido del Sarrabus, sono rielaborati da più cicli deposizionali che possono risalire fino al Paleogene.

Le composizioni presentano un'alta percentuale in quarzo, generalmente superiore al 45%, una percentuale associata di feldspati e una componente litica nelle code ghiaiose. Si associa inoltre una modesta quantità di biotiti e di altri minerali accessori. Alcune eccezioni sono rappresentate dalle sabbie fini, campionate in località Torre delle Stelle ad abbondanti miche e minerali femici derivati probabilmente da locali affioramenti di rocce basiche, oltre a una componente bioclastica fino a circa il 10% di alcuni campioni.

Facies quarzoso-bioclastiche dello shoreface di S. Gilla

In questo areale si rinvencono facies sabbiose fini e molto fini con una transizione a sedimenti fangosi verso le parti distali della piattaforma interna. La composizione dei sedimenti è prevalentemente terrigena con circa il 50% di quarzo che proviene dagli apporti fluviali del Graben del Campidano, mentre la componente bioclastica si attesta, nei campioni prelevati sulla battigia, intorno al 10÷15% e nei campioni di spiaggia sommersa può arrivare al 30% circa del totale. I bioclasti sono in prevalenza gusci di molluschi (bivalvi e gasteropodi), radioli e frammenti di gusci di echinidi irregolari, briozoi, foraminiferi e, nelle frazioni di diametro minore, rare spicole di spugne silicee. In relazione con la bassa energia del Golfo di S. Gilla, nei campioni più distali di tale gruppo di facies è spesso presente una componente organica costituita da frammenti di foglie di *Posidonia* che arriva fino a circa il 30% (stima areale al binoculare).

8.2 Facies miste bioclastico-terrigene della prateria di posidonie (Fig. 2)

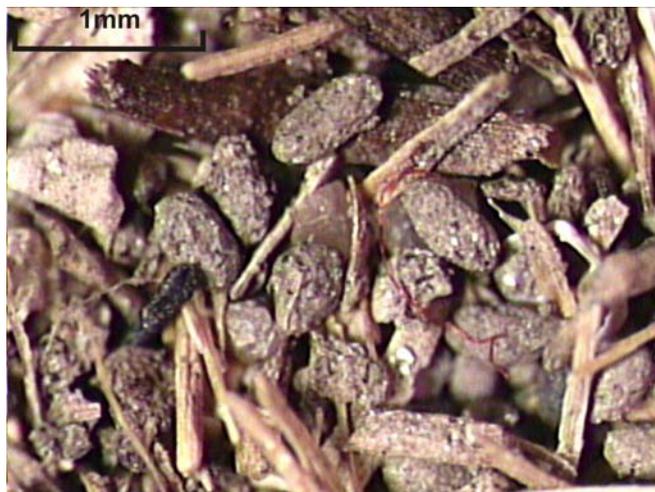


Fig.2 *Fecal pellets*, fibre di posidonie e granuli quarzosi in un sedimento dei fondali della depressione del Golfo di Quartu.

Queste facies sono presenti nella spiaggia sottomarina del Golfo di Quartu e di Santa Gilla, nelle aree di *shoreface* inferiore colonizzate dalle fanerogame e più verso largo nella transizione con il banco a Posidonia. Sono caratterizzate da sedimenti terrigeni prevalentemente quarzosi, (sabbie fini e molto fini) con una componente bioclastica che può diventare prevalente in alcune aree, a bivalvi, gasteropodi, briozoi, echinidi e *fecal pellets*. Questi ultimi hanno dimensioni variabili tra 500÷125 μm e sono costituiti da fango terrigeno-carbonatico e materia organica. L'importanza dei frammenti di posidonie, è stata quantificata in diversi campioni e raggiunge localmente valori molto alti, superiori al 50%. La componente terrigena è prevalentemente quarzosa, in minor misura feldspatica e litoclastica. Si ritrovano talvolta materiali di origine antropica, probabili scarti di combustione di navi a vapore che stazionavano in rada e più recenti granuli aggregati da bitume.

La sedimentazione bioclastica aumenta per la presenza della prateria fino a valori del 30% o più a seconda della produttività locale. In generale la produzione bioclastica in questo ambiente non è tale da occultare completamente la componente silicoclastica, che sicuramente predomina al di sotto delle coperture superficiali bioclastiche. Questi

sedimenti fanno parte della progradazione del sistema olocenico di *shore-shoreface* che si differenzia nei settori più distali con una zonazione a controllo energetico di tipo costa-largo.

8.3 Facies fangose a lamellibranchi dello *shoreface* inferiore (Fig. 3)



Fig. 3. Campione S36. Fondale del Golfo di Santa Gilla con colonizzazione a *Caulerpa* e bivalvi.

Ampi areali dello *shoreface* inferiore sono caratterizzati da fondali sabbiosi fini e fangosi, colonizzati da una ricca fauna prevalentemente di bivalvi. Le coperture vegetali in queste aree sono limitate a praterie algali, in genere discontinue. I sedimenti hanno moda generalmente nelle sabbie fini e molto fini benché le curve granulometriche abbiano un andamento irregolare, e in alcuni casi siano marcatamente bimodali o polimodali per la presenza di gusci originati dalla fauna bentonica presente nel fondale.

Il materiale bioclastico è costituito per lo più da grossi lamellibranchi come mitilidi, pettinidi e cardidi e subordinati gasteropodi. Una componente minore è costituita da foraminiferi, briozoi, radioli di echinidi, rari noduli algali e *fecal pellets*. E' presente spesso una componente organica di frammenti di *Posidonia*.

Si trovano talvolta in questi areali dei ciottoli fluviali relitti, che documentano una sedimentazione tardo-olocenica-attuale discontinua, che in alcune aree lascia esposti sedimenti più antichi.

8.4 Fanghi organici della depressione del golfo di Santa Gilla

La depressione del Golfo di Santa Gilla è parzialmente colmata da fanghi torbosi, dovuti all'accumulo dei sedimenti più fini degli eventi di piena del Rio Mannu e del Cixerri, e al trasporto, durante le mareggiate, di imponenti volumi di materia organica dal banco a posidonie, costituiti da resti fogliari e vari detriti vegetali e animali. Questo ambiente è asfittico e sono presenti condizioni riducenti subito al di sotto dell'interfaccia acqua-sedimento che impediscono la proliferazione di fauna bioclastica in situ, che appare limitata a piccoli bivalvi e foraminiferi. Le curve granulometriche mostrano sedimenti molto fini, e talvolta i campioni presentano il 100% di materiale passante al vaglio di 63 µm. La componente bioclastica è scarsa o assente, benché sia presente una componente di calcisilt, valutata mediante calcimetria intorno al 20÷25%, dovuta probabilmente al trasporto di materiali molto fini provenienti dal banco a Posidonia. I sedimenti presentano inoltre una componente argillosa terrigena, che insieme alla frazione organica costituisce circa il 50%, una frazione di silt silicoclastico e numerosi *fecal pellets*.

I sedimenti mostrano talvolta, al momento del prelievo una tipica struttura costituita da una fitta alternanza di lamine millimetriche di sabbia molto fine e argille nere attribuibile all'alternanza di deposizione di fanghi di bel tempo, ricchi di materia organica, con lamine sabbiose di tempesta.

Si ritrovano talvolta nel sedimento alcuni bioclasti subattuali, con la parte interna del guscio annerita a causa del seppellimento nel fango, a testimonianza delle condizioni fortemente riducenti di questo ambiente.

8.5 Facies terrigene di paleo-*shoreface* del banco a Posidonia (Fig. 4)



Fig. 4. Facies di *shoreface* sub-attuale campionata in depressioni *intermattes* nel banco a Posidonia.

Queste facies sono presenti nell'area del banco principale a posidonie, che occupa una fascia che si estende su una culminazione morfostrutturale orientata circa NE e passante 1Km a largo di Capo S.Elia, la quale congiunge la costa occidentale del golfo nei pressi di Punta Zavorra con la costa orientale.

Questi sedimenti rappresentano sequenze di deposito sub-attuali di *shore-shoreface*, sedimentate durante le fasi tardive della trasgressione post glaciale, che ha costituito a partire da un livello di circa -15m un importante prisma deposizionale che si estende fino circa alla batimetrica dei -35m, per una larghezza di circa 6Km.

Le campionature, effettuate a varie batimetrie, nelle depressioni tra le *mattes* di Posidonia, mostrano sistematicamente la presenza di sedimenti terrigeni e permettono di affermare che sotto il banco a Posidonia sia presente un'impalcatura prevalentemente silicoclastica relitta.

I sedimenti sono quarzoso-feldspatici e in minor misura litoclastici. La componente bioclastica attuale è subordinata a percentuali del 5-10% circa e rappresentata da bivalvi e gasteropodi.

Le curve granulometriche presentano moda prevalentemente nelle sabbie grosse, e coefficienti di cernita bassi, indicanti sedimenti con un grado di classazione discreto (maggiore rispetto alle sabbie ghiaiose bioclastico/terrigene della fascia a *sand waves*, descritte in seguito). L'aspetto è tipico di sedimenti in facies di spiaggia sottomarina e di battigia, con granuli arrotondati nelle frazioni grosse e a spigoli vivi in quelle a

diametri inferiori. I sedimenti mantengono caratteristiche tessiturali e composizionali simili a varie profondità benché si noti una diminuzione di granulometria nei campioni più prossimi alla costa (SUB1, M29) e un aumento verso largo (M16), oltre a differenze in senso longitudinale alla paleo-riva con sedimenti tendenzialmente più ghiaiosi (T3C2) nei pressi della costa orientale.

L'attuale assenza di sedimenti fini, sia bioclastici che silicoclastici, è probabilmente dovuta a una cernita del sedimento per la forte energia idrodinamica sul fondale.

Le retrostanti zone di spiaggia sottomarina e di *shoreface* sono infatti protette dalla presenza del banco di media piattaforma che attenua sensibilmente l'energia del moto ondoso incidente dal meridione.

8.6 Facies miste bioclastico terrigene del pendio esterno al banco (Fig. 5)



Fig. 5. Facies mista dei fondali esterni al banco a Posidonia a lamellibranchi e componente terrigena sub-attuale. Profondità 30÷35m.

Nella fascia esterna al banco a Posidonia, ampie superfici spoglie o non omogeneamente colonizzate da caulerpa e alghe minori, sono interessate da una sedimentazione mista in cui alle componenti terrigene relitte descritte in precedenza si associa una componente bioclastica abbondante, con percentuali di circa 55 ÷ 60%. Il materiale terrigeno è, analogamente alle facies di *shoreface* relitto, di composizione quarzoso - feldspatica e in minor misura litica, e la sua provenienza è legata agli

stazionamenti marini in media piattaforma.. E' inoltre comune la presenza di ciottoli di metamorfiti di dimensioni centimetriche ricollegabili a dinamiche di tipo fluviale o colluviale, e di arenarie cementate relitte.

La fauna bioclastica campionata in questo settore di piattaforma è sia indigena che proveniente dall'ecosistema della prateria di posidonie: il fondale, ospita una biocenosi costituita da molluschi, briozoi, tra i quali sono stati riconosciuti *Cellepora pumicosa* e *Lichenopora radiata*, numerosi foraminiferi bentonici di dimensioni fino a 1000 µm – diverse specie di Miliolidi, echinidi, gasteropodi, e alghe rosse ramificate. Da segnalare inoltre la presenza di ostracodi, ornati e non ornati, brachiopodi, *fecal pellets* nella frazione 500 - 250µm e di qualche raro esacorallo. È da notare la frequente presenza di *Miniacina miniacea*, che vive sulle radici e rizomi delle posidonie.

Al livello batimetrico di circa -35m si inizia a osservare in alcuni campioni l'influenza di una tipologia di sedimento silicoclastico più grosso, morfoscopicamente diverso (più arrotondato) e opaco, che diventa poi molto abbondante e comune nell'ambiente sedimentario più profondo della zona delle *sand waves*.

8.7 Sedimenti misti bioclastici e terrigeni relitti della fascia a *sand waves* (Fig. 6)

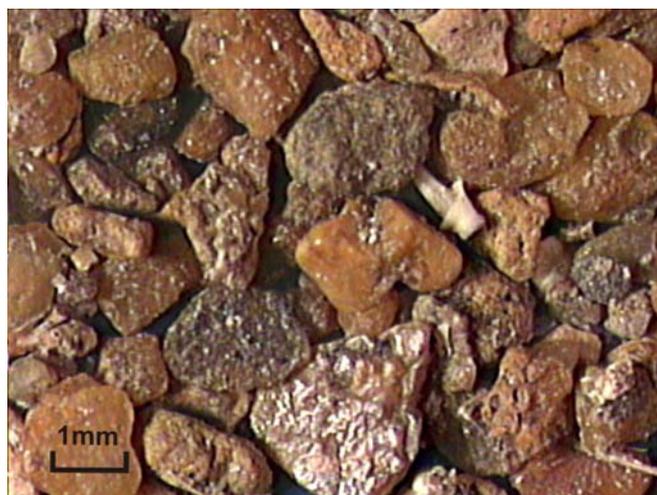


Fig. 6. Componente terrigena relitta campionata in piattaforma tra 35÷80 m di profondità circa. Sono presenti inoltre litoclasti vulcanici (granuli scuri).

Sedimenti misti bioclastico-terrigeni sono presenti in piattaforma intermedia oltre il prisma deposizionale olocenico del banco. Questo gruppo di facies viene campionato a

profondità comprese tra -35 e -55 m circa, oltre le quali si ha un controllo prevalentemente biologico dei fondali e prevalenza di sedimenti bioclastici algali. I sedimenti sono disponibili in tessiture mal classate, talvolta bimodali, e distribuiti prevalentemente nelle classi delle sabbie grosse e molto grosse (2000-500 μm), con una importante coda fine. Generalmente il bioclastico prevale sul terrigeno con percentuali del 60÷70%, decrescenti verso costa con valori del 30÷40%. La componente bioclastica è dominata dai frammenti di alghe rosse calcificate, mentre i lamellibranchi perdono rilevanza rispetto alla facies transizionale oltre il banco a Posidonia. Si osserva inoltre la presenza di foraminiferi bentonici e subordinatamente radioli e placche di echinidi e briozoi.

La componente terrigena è presente in granulometrie molto grosse (ghiaie e sabbie grosse) e mostra condizioni di alterazione superficiale dei granuli quali arrossamento e rivestimento di sottili patine. Sono presenti inoltre granuli di arenaria cementata, anch'essi intensamente arrossati.

Questa fascia è caratterizzata da fondi semi-mobili con poche specie algali campionate vive *in situ*, e rappresenta un ambiente con processi prevalentemente fisici dominati dall'idrodinamismo. In quest'area l'azione del moto ondoso prende selettivamente in carico le granulometrie più fini che formano ampie strutture trattive. Queste strutture sono attive e migrano mostrando una netta periodicità dipendente dalla profondità. I sedimenti si diversificano lungo le creste delle strutture in sabbie medie-fini con asimmetria di curva positiva, e nei ventri in sabbie ghiaiose, che formano un letto sul quale le onde migrano.

Questa associazione di *facies* rappresenta l'affioramento in superficie di depositi, verosimilmente molto estesi, deposti in gran parte della piattaforma durante fasi di stazionamento eustatico basso. L'aspetto arrossato e alterato dei granuli è da mettersi in relazione con episodi di emersione, perciò la deposizione di questi sedimenti si colloca in un intervallo temporale precedente il *last glacial maximum*. L'estensione verso terra dei depositi non è nota ma si ritiene che essi siano presenti al di sotto della progradazione silicoclastica sub-attuale impostata sui rilievi della piattaforma intermedia. Questa facies viene sostituita al di sotto di -55 m circa dall'attuale facies bioclastica legata alla produttività della biocenosi a rodofcee, ma i campionamenti effettuati mostrano che essa è ancora presente in sub affioramento anche in piattaforma

esterna, fino a profondità di almeno 80 m circa. Questo fatto porta a pensare che tali depositi rappresentino una tipologia comunemente presente in tutta la piattaforma, al di sotto di deboli coperture sub-attuali, con l'eccezione della piattaforma interna che è legata a contesti infrastrutturali diversi e dinamiche prevalentemente continentali per gran parte del Pleistocene medio-superiore.

8.8 Facies litico-bioclastiche di Punta Zavorra (Fig. 7)



Fig. 7. Componente andesitica in prossimità delle falesie di Punta Zavorra. Campione S53, frazione >2 mm.

Nei pressi di Punta Zavorra si osservano facies poligeniche con componente litoclastica e bioclastica. Il fondo marino è in prevalenza roccioso (andesiti) e i sedimenti si accumulano all'interno di cavità erosionali che si alternano a *mattes* isolate di Posidonia. I sedimenti sono rappresentati da sabbie grosse o molto grosse con una discreta componente ghiaiosa. Nella battigia predomina la componente litoclastica (85%), mentre in mare predomina la componente bioclastica (50÷60% circa). I clasti litici, in genere arrossati, provengono dall'erosione delle andesiti oligoceniche e dei depositi quaternari esposti in falesia, e indirettamente dal basamento dell'*Horst* del Sulcis. Nettamente subordinati sono i piccoli granuli di quarzo a spigoli vivi, che diventano relativamente importanti nelle frazioni a granulometria minore.

La componente bioclastica è composta prevalentemente da piccoli gasteropodi, mentre i lamellibranchi sono meno rappresentati. Inoltre sono presenti radioli e frammenti di gusci di echinidi e, in misura subordinata, frammenti algali, briozoi e chele di piccoli crostacei, oltre a incrostazioni e particelle aggregate da vermetidi.

8.9 Facies calcilitiche di Capo S. Elia (Fig. 8)



Fig. 8. Facies terrigena a componente calcilitica

Attorno al Capo S. Elia è presente un gruppo di facies terrigene a componente calcilitica. Sulla battigia le sabbie sono grosse e composte prevalentemente da granuli calcarei poco elaborati, provenienti dall'erosione delle falesie dove affiora una sequenza del Miocene superiore costituita da calcari a *lithotamnium*, assieme a calcari marnosi e in subordine areniti quarzoso-feldspatiche debolmente cementate (LEONE *et al.*, 1992). Questa componente litica subisce un rapido calo spostandosi verso il largo per la presenza del banco di posidonie, presente verso il lato meridionale del promontorio già a poca distanza dalla riva. La componente terrigena è in parte quarzosa con granuli di dimensioni minori rispetto a quelli calcilitici. La componente bioclastica è subordinata in battigia (circa 1% del totale) ma acquista rapidamente importanza a qualche metro di profondità ed è legata all'ecosistema del banco (molluschi, alghe rosse briozoi, echinidi, foraminiferi bentonici e ostracodi). La materia organica, come frammenti di fanerogame ed alghe di bassa profondità, è talvolta presente in quantità importante.

8.10 Facies ad alghe rosse e foraminiferi

Queste facies si distribuiscono prevalentemente oltre la fascia delle *sand waves* sui fondali profondi (55÷65 m circa) colonizzati dalla biocenosi ad alghe rosse e foraminiferi fino alla transizione verso la piattaforma esterna, costituita dalla paleo riva a -55÷-65 m. La composizione dei sedimenti è carbonatica ma verso terra si osserva una transizione graduale con le facies miste che conferma la presenza di sedimenti terrigeni relitti al di sotto di un modesto spessore di sedimenti biogenici attuali. L'andamento delle curve granulometriche mostra tessiture mal classate e materiale non selezionato con dimensioni legate all'accrescimento delle strutture scheletriche degli organismi. L'importante presenza di una coda di sabbia molto fine-fangosa carbonatica, con modeste quantità di materia organica documenta l'ambiente distale a bassa energia.

La componente predominante è costituita da grossi frammenti e individui algali prevalentemente ramificati (*Lithophyllum racemus*) e altre forme indeterminate *loose branching* (*sensu* JOHNSON 1962 e JOHNSON & ADEY, 1965) di alcuni millimetri di lunghezza. Seguono per importanza i foraminiferi, frammenti di molluschi, di echinidi e colonie di briozoi. I numerosi campionamenti effettuati tra -55 e -65 m di profondità mostrano sistematicamente la presenza di alghe rosse vive e questo fatto induce a pensare che i fondali siano colonizzati da una "prateria" algale continua e molto produttiva. La fauna si concentra inoltre nelle zone in rilievo dei paleo cordoni dove le campionature mostrano una ricca biocenosi attuale.

Il limite batimetrico inferiore di distribuzione di queste facies è stato ubicato lungo la paleo-riva esterna del Golfo di Cagliari, oltre la quale i fondali, che raggiungono profondità di 75m circa, mostrano la presenza di sedimenti terrigeni relitti (vedi sedimenti della fascia delle *sand waves*) per il venir meno della presenza delle *facies* algali in superficie.

8.11 Facies distali a lamellibranchi e foraminiferi

Le campionature distali, effettuate nel settore occidentale del golfo hanno mostrato, nella parte più esterna della piattaforma (-80÷-110 m), la presenza di sedimenti sabbiosi fini bioclastici legati a una sedimentazione di trasgressione-stazionamento alto che produce esigui spessori lungo il bordo dello *shelf*. Più internamente, a profondità minori di 80 m circa il fondale presenta invece ghiaie e sabbie grosse terrigene relitte che si ritiene debbano essere presenti lungo tutto il margine esterno della piattaforma al di sotto di tali coperture superficiali.

La produttività organogena in questa fascia distale è rappresentata da piccole conchiglie di bivalvi, foraminiferi sia bentonici che planctonici e in minor quantità da echinidi irregolari. La componente silicoclastica è rappresentata da sabbie fini quarzose a spigoli vivi. Inoltre è presente una discreta concentrazione di minerali autigeni, accresciuti all'interno di foraminiferi, e altri minori indeterminabili.

Sulla base del riconoscimento delle principali caratteristiche sedimentologiche dei campioni è stata elaborata una carta di zonazione delle litofacies (Fig. 9).

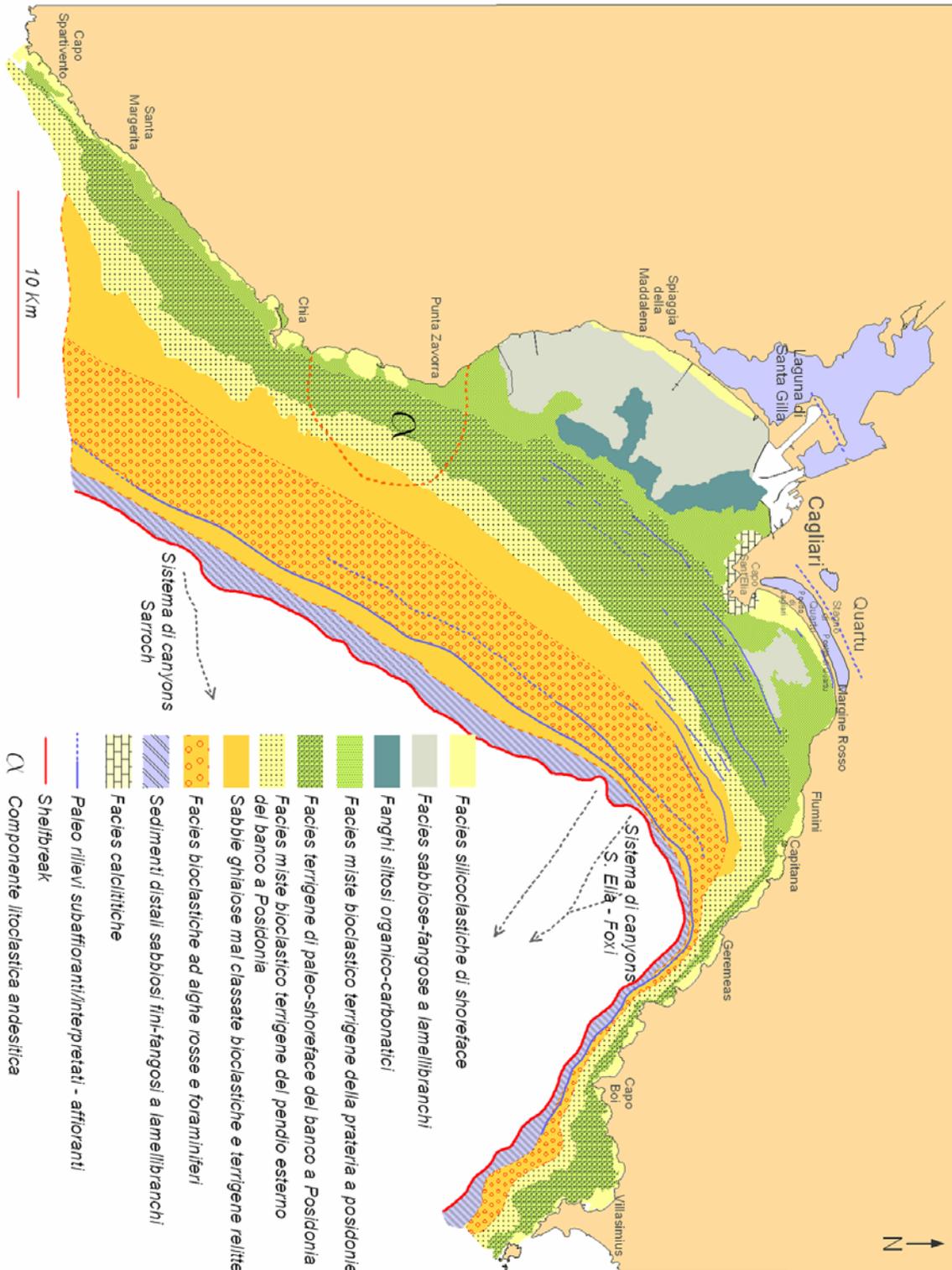


Fig. 9. Zonazione delle litofacies presenti nella piattaforma di Cagliari

PARTE III

SINTESI DEL MODELLO DEPOSIZIONALE, RICOSTRUZIONE EVOLUTIVA E CONCLUSIONI

1. MODELLO DEPOSIZIONALE DELLA PIATTAFORMA DI CAGLIARI

1.1 Ambienti e facies deposizionali tardo olocenico–attuali

La piattaforma del Golfo di Cagliari si delinea come un sistema sedimentario complesso, sede di processi deposizionali controllati da diversi tipi di fattori allo- e autociclici. Nella configurazione eustatica attuale gli apporti terrigeni sono scarsi mentre, in piattaforma intermedia, una importante produttività carbonatica si sovrappone a sedimenti di precedenti cicli deposizionali a controllo eustatico. Il risultato è quello di una piattaforma mista terrigeno-carbonatica organizzata in un sistema di ambienti documentati dalla presenza di diversi gruppi di facies deposizionali. La componente terrigena è presente in due tipologie una subattuale e la seconda risalente a cicli deposizionali precedenti.

L'attuale morfologia del fondo marino controlla i processi biologici, di trasporto e di deposizione. La presenza di aree depresse, attribuibili a paleo ambienti fluviali e costieri transizionali, contribuisce a confinare il terrigeno in piattaforma interna, mentre una fascia in rilievo distante dagli apporti terrigeni, in media piattaforma, costituisce un'areale ottimale per l'ecosistema a Posidonia e, a maggiori profondità, per quelli algali, a lamellibranchi, echinidi e foraminiferi.

Sulla base dei maggiori elementi morfologico-strutturali si può individuare la presenza di tre domini principali: la **piattaforma interna**, da riva fino al banco a posidonia, a sedimentazione sabbiosa fine e fangosa nelle parti distali con un'area depressa sede di valli fluviali, orlata verso l'esterno da una fascia in rilievo;

la **piattaforma intermedia**, sede del *build-up* del banco a posidonie e di un prisma deposizionale subattuale correlabile al rallentamento della curva di risalita eustatica dell'*optimum* glaciale, che si raccorda con il fondale a 35m profondità;

la **piattaforma esterna**, delimitata dal paleo cordone litorale dei -55m e sede di progradazioni terrigene di *low-stand* e di deboli spessori di sedimentazione trasgressiva e di *high-stand*.

I principali ambienti deposizionali osservati in piattaforma sono:

Ambiente transizionale

La zona lagunare, separata dal dominio marino dalla discontinua barriera sabbiosa attuale non è descritta in questo studio, ma deve essere considerata parte integrante del sistema della piattaforma continentale, per gli apporti terrigeni estuarini che alimentano

lo *shoreface*, per i controlli marini che subisce attualmente da parte delle tempeste, per la produttività bioclastica salmastra (COTTIGLIA *et al.*, 1973) e infine perché durante gli stazionamenti alti quaternari è stata sede dei più interni *coastal onlap*. Rispetto all'attuale piattaforma tale ambiente viene pertanto considerato come un paleo *shore-shoreface*-depressione interna della piattaforma quaternaria durante le fasi di massimo eustatico come per esempio durante il Tirreniano (*MIS 5, Marine Isotope Stage 5 sensu* MARTINSON *et al.*, 1987; PECORINI, 1986).

Spiaggia emersa-shoreface superiore

Lo *shoreface* è un'areale dominato da sedimentazioni terrigene, con alimentazione fluvio-continentale attuale, a controllo del moto ondoso, e si presenta con una superficie lievemente convessa priva di vegetazione sottomarina. La sedimentazione è *fining basinward*, con sabbie grosse in prossimità della battigia e fini verso le depressioni della piattaforma interna. L'inizio delle posidonie marca l'aumento di produttività bioclastica e può essere ubicato a profondità di $-4 \div 8$ m nel settore orientale e a circa $-2 \div 6$ m in quello occidentale, dove condizioni idrodinamiche tranquille permettono la vita degli organismi. Questa colonizzazione prossimale da parte della prateria è un prezioso indicatore delle condizioni idrodinamiche e consente di ubicare, anche se in modo approssimato, la base del moto ondoso di bel tempo (*FWWB*) all'inizio della fascia a posidonie. Poiché lo sviluppo della struttura a *matte* richiede diversi anni si deduce che questo limite non è soggetto alle fluttuazioni stagionali, ma è piuttosto da ritenersi stabile lungo un arco di tempo almeno decennale.

La sedimentazione bioclastica nello *shoreface* del Golfo di Quartu è quasi completamente assente mentre è maggiore nel Golfo di Santa Gilla. In questo golfo le fanerogame colonizzano le aree prossimali più protette già a pochi metri di profondità, e le sabbie presentano una componente bioclastica importante, talvolta fino a circa il 40%. Infatti, l'energia in questo tratto di costa è piuttosto bassa e il substrato di sabbie fini-molto fini permette la presenza di una ricca fauna epi ed endo-bentonica di limivori e filtratori.

Shoreface inferiore e prateria a posidonie interna

I dati ecografici documentano una prima prateria a Posidonia nella fascia prossimale, con una tipica struttura a *mattes* e canali *intermatte* irregolari, cioè non allungati parallelamente alla costa ma costituiti da ripiani isolati e discontinui. A profondità maggiori la prateria si presenta generalmente più continua, con meno canali, per diminuita azione erosiva del moto ondoso, e talvolta depleta, con cespugli di posidonie isolate o talvolta ancora con *mattes* annegate nei sedimenti. I sedimenti sono misti bioclastico-terrigeni, con tendenza a granulometrie più fini-siltose nella parte più profonda di transizione alla depressione della piattaforma interna. Si evidenzia nelle parti distali dello *shoreface* una competitività tra le posidonie e gli apporti terrigeni fini,

che tendono a annegare le *mattes*. Il fatto che nel Golfo di S. Gilla la prateria interna scompaia a profondità inferiori circa 10m può essere indicativo del fatto che a quella profondità il moto ondoso non sia sufficientemente forte da allontanare le frazioni fini presenti. Queste possono rendere il fondale anossico e impedire la formazione dell'apparato radicale delle posidonie o in alternativa sommergere completamente le piante in caso di importanti torbide fluviali. Nel Golfo di Quartu la prateria è presente invece anche oltre queste profondità, sebbene in associazione con prateria algali che in alcune aree la sostituiscono probabilmente per maggiore tolleranza di sedimentazione fine nel fondale.

Depressioni della piattaforma interna

La piattaforma di Cagliari è caratterizzata dalla presenza di due depressioni che si sviluppano circa parallelamente alla linea di costa, ubicate tra lo *shoreface* e il banco della piattaforma intermedia.

La più importante, quella a ovest di Capo S. Elia e antistante la laguna di S. Gilla, è interessata da una importante sedimentazione fangosa organico-carbonatica olocenica, già descritta in lettera e presente per circa 30m al di sotto del fondale. Superficialmente la sedimentazione del fondo della depressione varia da un'alternanza deposizionale di lamine di fango e di sabbie fini (facies fangose a lamellibranchi), a sedimenti completamente fangosi nella parte più profonda, che raggiunge i -27 m circa (campioni T6C6, T8C4, M10, S1). L'idrodinamismo è molto basso grazie alla protezione data dal banco a posidonia che in piattaforma intermedia accresce delimitando una zona chiusa a scarsa circolazione delle acque. In questo ambiente si individua dunque un limitato "offshore inferiore" chiuso nella piattaforma interna protetta, come evidenziano i fondi piani e la laminazione parallela nella parte più profonda della depressione. Esternamente al banco, nella parte aperta ed esposta della piattaforma, l'inizio dell'*offshore* inferiore (*SWB*) si delinea a maggiori profondità, tra le *sand waves* e i fondi piani. Sul fondo della depressione si instaurano condizioni anossiche che impediscono la colonizzazione del substrato da parte di vegetali, persino delle alghe. Il colmamento di questa depressione è in larga parte dovuto al materiale organico proveniente dal disfacimento delle foglie delle posidonie dal banco principale e dallo *shoreface*, oltre che dal materiale fine in sospensione derivato dalle torbide fluviali argillose. I campioni più fangosi mostrano una componente carbonatica con valori di circa il 20% (da calcimetria) che si associa a una siltosa di circa il 30% e una componente organica di circa il 40-50%. Oltre a queste componenti si sottolinea la presenza di granuli fecali.

Nella depressione della piattaforma a Est di Capo S. Elia, invece, un simile contesto deposizionale non si verifica, essendo la depressione più piccola e meno profonda (-22 m, profilo T4). L'esposizione al moto ondoso consente sia un maggior ricambio d'acqua sia l'allontanamento delle frazioni fini, pertanto i sedimenti sono più sabbiosi e le posidonie, o coperture algali, sono presenti anche nelle parti più profonde.

Banco principale a posidonie

La prateria a Posidonia occupa un'ampia fascia in rilievo quasi parallela alla linea di costa che si raccorda verso NE alla piattaforma del Sarrabus e verso SW a quella del Sulcis meridionale e nella parte centrale al promontorio di Capo S. Elia. Il banco mostra una importante capacità aggradante, con un accrescimento olocenico di circa 7÷8 metri rispetto al sottofondo e la parte più elevata culmina a circa -12 metri sotto la superficie del mare. Il regime idrodinamico della piattaforma interna è modificato sostanzialmente dalla presenza del banco a Posidonia oceanica. Essendo il golfo esposto alle sole mareggiate dai quadranti meridionali e ridossato rispetto a quelle dei quadranti occidentali (SERRA, 1971; ISTITUTO IDROGRAFICO DELLA MARINA, *op. cit.*), la protezione offerta dal banco non permette che si verifichino in piattaforma interna, condizioni di costa di tipo *wave-dominated*, diversamente a quanto avviene nella Sardegna occidentale (CARBONI *et al.*, 1989). I profili ecografici evidenziano la presenza di una struttura a *mattes* periodica, con alte pareti rivolte verso il largo e canali disposti circa parallelamente alla linea di costa, probabilmente prodotta dalla frequente azione delle onde di bel tempo e dall'azione più intensa di quelle di tempesta. Più esternamente la prateria appare più continua e caratterizzata spesso da un profilo ad ampi ripiani. Nelle parti distali la prateria si dirada per poi scomparire alla profondità di circa 25 ÷ 30 m per diminuzione della luminosità.

Al banco si associa un'importante produttività bioclastica che si diversifica in prossimità dell'apparato radicale, nei rizomi e nelle foglie (PÉRÈS & PICARD, 1964 *op. cit.*). Nonostante la produttività attribuibile al banco sia alta, lungo le depressioni di *inter* o *intramatte* vengono campionati prevalentemente sedimenti terrigeni (sabbie grosse-molto grosse) con percentuali bioclastiche basse (10÷20%). Questo fatto può essere dovuto all'energia idrodinamica presente, che soprattutto nei canali *intramatte* (che costituiscono delle zone in erosione) seleziona i materiali rimuovendo le componenti più leggere, a scapito perciò della componente bioclastica.

La presenza di tali sedimenti terrigeni in quest'area della piattaforma è singolare poiché un trasporto attuale dalla costa è impedito dalle depressioni in piattaforma interna. E' verosimile che questi depositi siano relativi a processi deposizionali di *shoreface* avvenuti durante stazionamenti eustatici più bassi, che a queste profondità costituivano barriere costiere e *coastal onlaps*. L'analisi dei profili *SBP* mostra la presenza di un corpo deposizionale progradante, a superficie convessa che dalla culminazione del banco si estende verso largo, raccordandosi al fondale a circa -35 metri.

Al di sotto di tale profondità è presente una seconda facies terrigena, costituita da grossi granuli litici e quarzoso-feldspatici intensamente arrossati, che rappresentano depositi appartenenti ad un ciclo eustatico precedente la cui estensione potrebbe essere fatta risalire anche fino alle zone costiere.

Fondali a sand waves, fondi piani e paleo-rive

Oltre il banco principale si osservano ondulazioni del fondo disposte circa parallelamente all'andamento delle batimetriche, chiaramente riconoscibili come *sand waves*, prodotte dall'azione delle onde di tempesta sul fondale, in una fascia batimetrica compresa tra -35 e -55 metri circa. Il sedimento è costituito da sabbie ghiaiose miste bioclastico-terrigene con matrice fangosa, attualmente selezionate in strutture da corrente dal dinamismo presente sul fondale.

La componente bioclastica è costituita da frammenti algali (prevalentemente detriti alloctoni provenienti dalla biocenosi situata più in profondità), da briozoi, molluschi, echinidi e foraminiferi. La frazione algale è costituita soprattutto da *Lithophyllum racemus*, oltre a *Lithophyllum expansum*, *Peysonnellya sqamaria* e *Vidalia volubilis*, quest'ultima parzialmente calcificata. I frammenti algali appaiono spesso alterati, di colore grigio scuro, testimoniando episodi di seppellimento forse dovuto alla migrazione delle strutture sul fondale. Le *sand waves* sono legate alla dinamica del moto ondoso, che incide da mare verso terra, che prende in carico i materiali più fini e li dispone in strutture trasversali alla direzione della corrente (circa paralleli alle isobate). Le strutture sono asimmetriche con *stoss sides* rivolti verso il largo e mostrano un'andamento periodico con minori dimensioni verso largo. Alla profondità di 55 m si osserva la transizione ai fondi planari, caratterizzati da una morfologia depressa allungata parallelamente alla costa, seguita da una rapida risalita del fondale per l'affioramento dei due paleo-cordoni litorali. Le alghe rosse prevalgono a profondità più basse (50÷65 m) rispetto all'areale di distribuzione delle posidonie, e si sovrappongono con queste ultime solo parzialmente a profondità minori. Ciò evidenzia una possibile complementarietà con le posidonie. Infatti dove le posidonie hanno il maggiore accrescimento le alghe rosse non riescono ad essere competitive, avendo una struttura scheletrica molto più bassa, mentre al diradarsi della prateria per la diminuita luminosità ne risultano avvantaggiate. Nella fascia a *sand waves* l'idrodinamismo delle tempeste impedisce la colonizzazione dei fondali da parte della biocenosi ad alghe rosse; i sedimenti algali presenti in questa zona sono infatti alloctoni e provengono dalla mediocre produttività presente nel banco a Posidonia e dalla più importante produzione nelle fasce profonde.

A profondità di 50÷65 m invece le specie algali vengono campionate vive; sui fondi incoerenti prevalgono le specie variamente ramificate, mentre sulla cima dei paleo cordoni si osservano caratteristici pinnacoli prodotti piuttosto da specie di tipo incrostanti.

La transizione tra la zona ad alghe rosse e quella più profonda a sedimenti sabbiosi fini a lamellibranchi si verifica in corrispondenza della paleo-riva esterna, che costituisce un limite di distribuzione di queste specie; i fondali al suo esterno raggiungono infatti profondità tali (75m circa) probabilmente da limitare lo sviluppo della biocenosi.

La componente silicoclastica relitta è campionata tra -35 e -50 m con percentuali decrescenti verso il largo, profondità oltre la quale la produttività bioclastica ricopre i sedimenti terrigeni con spessori probabilmente esigui, inferiori al metro. I tipi di granuli terrigeni presenti nei sedimenti (clasti litici metamorfici, granuli millimetrici di quarzo e k-feldspato e rari granuli di arenarie debolmente cementate, arrossati), sono attribuibili a antiche *facies* verosimilmente presenti attualmente sotto il banco principale delle posidonie fino in piattaforma esterna come dimostrano i campionamenti effettuati in quel settore (tra i -15 e i -80 m circa). Tenuta presente l'evoluzione paleogeografica durante la risalita post-glaciale, la componente terrigena deve essere ritenuta più ampiamente disponibile e ricondotta fino alla linea di costa verso il Sulcis e il Sarrabus, sia verso il Capo Sant'Elia. Tali *facies* relitte sono attribuibili a depositi alluvionali e colluviali continentali e a depositi di spiaggia depositi almeno durante l'ultima fase regressiva (o precedenti), e intensamente alterati in seguito all'emersione.

Piattaforma esterna

Della piattaforma esterna si ha una buona definizione su base ecografica mentre della sedimentazione si hanno solo dati preliminari. La piattaforma esterna è costituita da un breve pendio di lunghezza variabile (da 1 a 3 Km, o poche centinaia di metri in corrispondenza dei *canyon*) a inclinazione maggiore rispetto al resto della piattaforma (1,5°), che termina con la rottura di pendio ed il raccordo della scarpata continentale verso il bacino.

Il margine esterno presenta una estensione variabile, che dipende dalle condizioni di alimentazione dell'area di piattaforma considerata: nella zona sudoccidentale si osservano le estensioni maggiori con progradazioni debolmente convesse e una rottura di pendio a profondità fino a 130 m circa, mentre nella zona nordorientale si osservano dimensioni ridotte e una profondità di rottura di pendio minore (75 m), dovuta alla sottoalimentazione della piattaforma in queste aree.

I sedimenti che strutturano questa parte di piattaforma sono costituiti prevalentemente dalle progradazioni tardo-pleistoceniche dei sistemi costieri, in regime di stazionamento basso eustatico. Al di sopra di questi è presente una superficie interpretata come *ravinement*, poco evidente, sulla quale poggiano sedimenti depositi durante l'innalzamento di livello. Nella parte sommitale è infine presente una sedimentazione ridotta di mare aperto deposta durante le fasi di stazionamento alto del livello marino, costituita da sabbie fini siltose a lamellibranchi, foraminiferi ed echinidi irregolari con scarsa componente terrigena. Lo spessore di queste coperture è debole, circa 1,0 – 1,2 metri. E' da segnalare la presenza a ridosso della paleo riva esterna, delle *facies* terrigene relitte, fino alla profondità di 80m. L'ampiezza della piattaforma esterna è nettamente subordinata rispetto agli altri ambienti perché il livello eustatico di *low-stand* dei 19-20 Ky e i precedenti *low-stand* intercettavano il prisma deposizionale in prossimità della transizione alla parte profonda del bacino di Cagliari; i sedimenti

venivano pertanto deposti in condizioni poco stabili e in tempi brevi subivano processi di trasporto, granulare e di massa, verso il bacino.

A sintesi di quanto esposto, viene mostrata una sezione completa della piattaforma con i principali ambienti deposizionali e le facies individuate (Fig. 1).

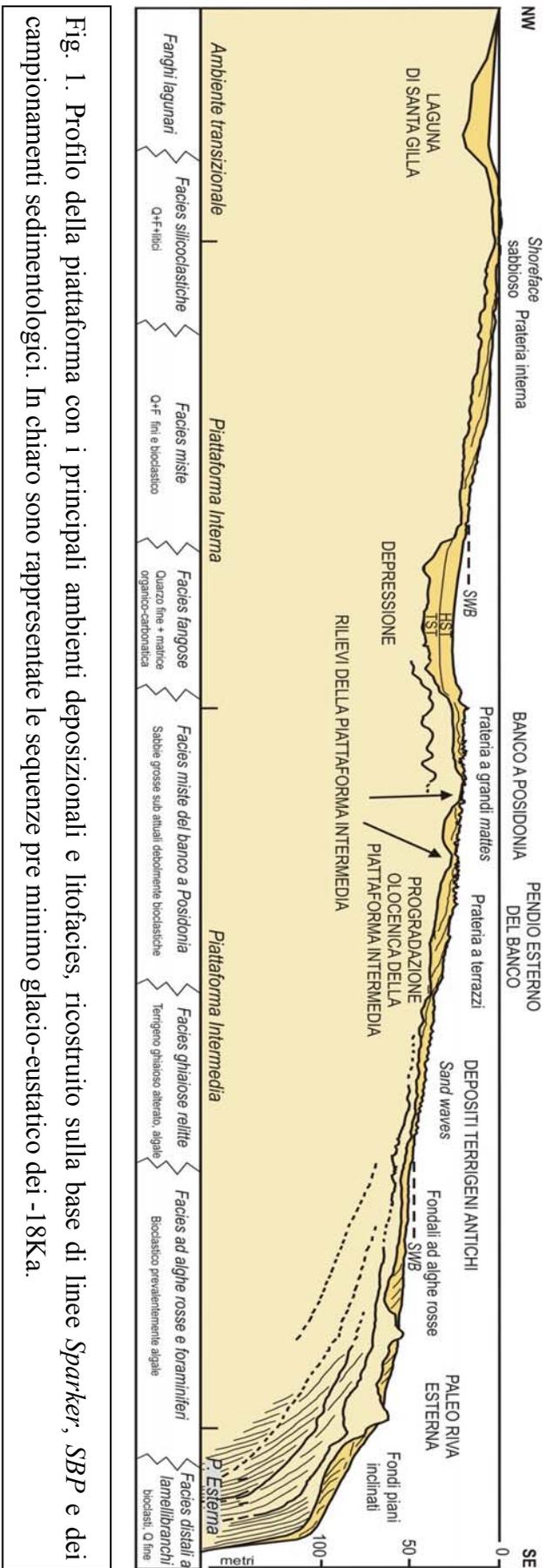


Fig. 1. Profilo della piattaforma con i principali ambienti deposizionali e litofacies, ricostruito sulla base di linee *Sparke*, *SBP* e dei campionamenti sedimentologici. In chiaro sono rappresentate le sequenze pre minimo glacio-eustatico dei -18Ka.

1.2 Evoluzione della piattaforma dal LGM all'attuale

Sulla base delle facies sedimentarie campionate, dei dati sismici e confrontando le geometrie deposizionali e la ripartizione dei depositi in piattaforma con la curva di risalita eustatica post-glaciale si è cercato di ricostruire il funzionamento sedimentario della piattaforma durante la trasgressione “versiliana” (post LGM÷Olocene)

La trasgressione è, come noto, controllata da fattori astronomici – cicli a controllo di precessione degli equinozi di 20Ka, sovrapposti a cicli di eccentricità dell’orbita di 40Ka – che in seguito ad una complicata catena di reazioni ambientali, portarono all’aumento di livello marino per progressivo scioglimento dei ghiacciai polari. Questo processo, tuttora oggetto di dibattito, può essere graduale, con una risalita continua, o, come taluni autori propongono, irregolare, con rapide trasgressioni e periodi di rallentamento, pausa o addirittura abbassamento del livello marino in corrispondenza di ciclicità minori locali del sistema eustatico. Lo studio di FAIRBANKS (1989) sui *reefs* di *Acropora palmata* nell’arcipelago delle Barbados contiene ad esempio delle significative lacune nel record deposizionale, rappresentate dall’arretramento dei terrazzi carbonatici osservati in maniera discontinua sulla piattaforma, e associati a discontinui e rapidi cambiamenti di livello eustatico. Centrale a questa interpretazione è peraltro l’idea che la formazione delle scogliere avvenga su un pendio liscio e a pendenza uniforme per lo stazionamento del livello del mare, seguito da un rapido innalzamento dello stesso che annega il *buildup*, che successivamente si stabilizza a quote superiori. Una possibile alternativa a questa interpretazione è che le scogliere si formarono su antichi terrazzi colonizzando preferibilmente le aree in rilievo, non riuscendo a insediarsi sui pendii sabbiosi interposti tra un terrazzo e l’altro, durante una risalita eustatica graduale. Il modello è perciò complicato ulteriormente dal fatto che la curva è diversa da un luogo all’altro per l’interazione con la morfologia della piattaforma che impone controlli sulla deposizione dei corpi sedimentari. Un tale contesto può ad esempio essere osservato anche nella piattaforma di Cagliari dove le produttività bioclastiche, di tipo coralligena algale, profonda, e a *Posidonia oceanica* più superficiale, si insediano preferibilmente in corrispondenza di rilievi morfologici. La seconda ipotesi tenderebbe a dar credito alla possibilità di una risalita del mare piuttosto continua, rispetto a discontinue pulsazioni. Ad ogni modo nella curva di risalita eustatica sono generalmente riconosciute diverse fasi, caratterizzate da velocità di risalita rapide, alternate a periodi di lenta risalita o relativo stazionamento.

Secondo il principio che lo stabilizzarsi del livello marino alle diverse quote permette la progradazione di corpi sedimentari, per il rapporto positivo tra tasso di sedimentazione e tasso di creazione di spazio disponibile, la disposizione dei principali corpi progradanti osservati in piattaforma è stata messa in relazione con le principali fasi di innalzamento eustatico individuate nella curva di risalita post glaciale (Fig. 2).

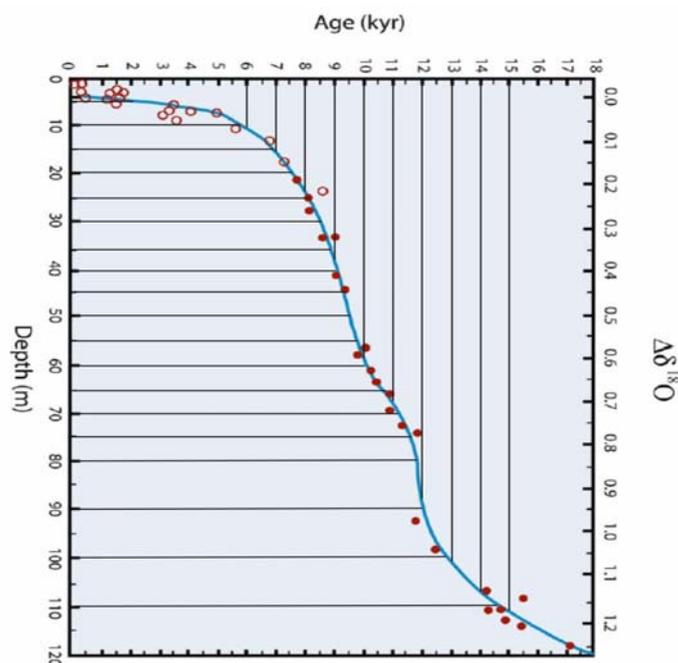


Fig. 2. Curva di risalita eustatica post-glaciale delle Barbados, da FAIRBANKS. 1989, modificata.

Nella curva si osservano due fasi di rapida trasgressione, separate da una fase di rallentamento/ stazionamento nell'intervallo 10-12Ka, e una fase finale di risalita molto più lenta.

Sulla base dell' interazione eustatismo-morfologia il funzionamento della piattaforma è stato schematizzato nel modello seguente:

Durante la fase di massimo *low-stand*, la piattaforma era completamente emersa e la superficie si presentava irregolare e incisa da valli fluviali spesso disposte parallele alla costa. A queste si associavano incisioni trasversali che rappresentavano l'antico sistema drenante della piattaforma. Contestualmente a questa fase di erosione continentale, in ambiente marino, si deponono importanti sequenze terrigene progradanti di bordo di piattaforma osservate a profondità comprese tra -100÷120m.

Alla profondità di 110 m si osserva il *wavecut terrace*, che rappresenta l'ultima fase di stazionamento marino prima di una fase di risalita che può essere individuata nella curva eustatica nell'intervallo -18÷12 Ka. Durante questo periodo il mare si solleva rapidamente, (>7,5mm/anno) fino a raggiungere una quota di relativo stazionamento oltre la quale la trasgressione è più lenta (profondità di 75÷65 m). Intorno ai 12÷10 Ka, corrispondente alla base del "younger Dryas", è noto infatti il verificarsi di un rallentamento o una irregolarità della risalita di livello eustatico di carattere globale.

Durante questa fase si ha, in piattaforma esterna, la migrazione degli ambienti deposizionali verso costa e la stabilizzazione di ambienti costieri esternamente alla paleo riva dei -55 m, che costituiva probabilmente una costa alta a falesie. Questo corpo

presenta evidenze morfologiche di erosione date dalla presenza di due superfici terrazzate che supportano un'ipotesi genetica policiclica. Il paleo cordone separava dal dominio marino delle estese aree lagunari in modo più o meno discontinuo. Tali aree depresse, osservate lungo tutta l'estensione trasversale del golfo, raggiungevano profondità di oltre 70 m ed erano probabilmente interessate da sedimentazioni di tipo fangoso analogamente a quanto accade attualmente nella laguna di S.Gilla e nella depressione della piattaforma interna. Nella piattaforma esterna si deponevano contestualmente sequenze trasgressive, al di sopra della superficie di *ravinement* seguite da depositi costieri con geometria di *onlap*. La presenza di ampie fasce depresse alle spalle dei cordoni litorali può indicare la relativa sottoalimentazione dell'ambiente costiero a quei livelli eustatici. La formazione dei sistemi costieri rappresentate delle paleo rive a -50 e -55m, al confine piattaforma intermedia-esterna potrebbe essere attribuita ad un controllo strutturale che determina la presenza di un alto orientato circa NE-SO in questa zona, separato dal resto della piattaforma intermedia da una zona ribassata sulla quale si impostava il sistema transizionale fluvio-lagunare. A supporto di questa ipotesi, nell'area interposta tra le due paleo-rive si osservano nel substrato dei riflettori obliqui, interpretati come depositi stratificati neogenici. (Fig. 3).

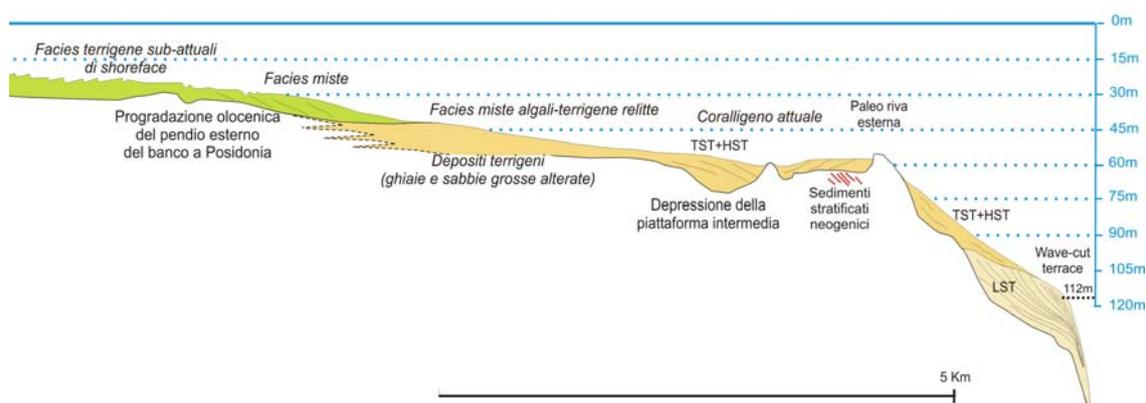


Fig. 3. Relazioni spaziali tra le facies del banco a Posidonia e del suo pendio esterno e le facies della fascia a sand waves e più esterni.

Una seconda fase trasgressiva interessa la piattaforma intermedia in un intervallo temporale compreso tra -10 e -6,5 Ka, caratterizzata, come mostrato dalla curva di Fairbanks, da un tasso di innalzamento di livello di circa 12mm/anno durante il quale il livello marino varia da circa -60 a -15 metri.

Durante questo intervallo di tempo il mare supera rapidamente le paleo rive esterne e i sistemi costieri arretrano lungo la piattaforma intermedia.

In seguito alla sommersione, sui paleo cordoni si impostarono probabilmente delle produttività carbonatiche prima a Posidonia (che in regime di stazionamento basso

glaciale doveva occupare delle nicchie ecologiche in areali ristretti della piattaforma) e in seguito, per annegamento di questa, le biocenosi più profonde ad alghe rosse.

In questa fase si ha il parziale colmamento delle depressioni del paleo sistema litorale esterno, con depositi inizialmente continentali e in seguito marini, come si osserva dalle geometrie progradanti verso largo. Le aree appaiono attualmente in *deficit* sedimentario, maggiore nel settore nordorientale, in relazione ai minori apporti in quest'area. I materiali disponibili a questi livelli batimetrici sono costituiti dalle ghiaie terrigene attualmente osservate tra -35 e -50 m (prima della sovrapposizione dei sedimenti bioclastici algali). Questo deposito potrebbe provenire dall'erosione dei "sedimenti alluvionali argilloso-sabbioso-ghiaiosi ferrettizzati" rinvenuti in sondaggio nel Golfo di S.Gilla (PECORINI & POMESANO CERCHI, 1964, *op. cit.*) al di sotto di due unità interglaciali riferite al Tirreniano I e Tirreniano II, provenienti dalla base di rilievi paleozoici e paleogenici di Capoterra e che proseguono secondo IBBA (1994, *op.cit.*) fin sotto il livello del mare.

L'innalzamento del livello marino prosegue con rapidità fino a circa $-7\div 6$ Ka, periodo in cui il mare rallenta la sua risalita e si stabilizza a profondità di $-15\div 20$ m in corrispondenza dei rilievi presenti in piattaforma intermedia al di sotto del banco a Posidonia (Fig.1). Durante questo rallentamento della risalita eustatica viene prodotta la progradazione terrigena osservata al di sotto del banco a Posidonia. La provenienza dei materiali era legata a processi fluviali testimoniati dalla presenza, a questi livelli batimetrici, di numerosi ciottoli elaborati. Il sistema costiero separava dal dominio marino un sistema lagunare-estuarino impostato nelle depressioni in piattaforma interna. L'ultima fase della trasgressione è caratterizzata dalla sommersione delle paleo-spiagge in piattaforma intermedia e dal passaggio delle aree lagunari al dominio marino, con arretramento della linea di riva fino alle attuali posizioni. In epoca tardiva la Posidonia ha colonizzato il rilievo, e il prodotto sedimentario relativo alla sequenza olocenica (costituita da sabbie di *shoreface* prima e dal *buildup* del banco poi) mostra uno spessore di $7\div 8$ m circa al di sopra della superficie di trasgressione. Le oscillazioni del mare durante la fase terminale della trasgressione sono tuttora oggetto di discussione, e sono ipotizzate sia lente e uniformi risalite, sia pulsazioni che avrebbero portato il mare al di sopra delle quote attuali (Fig. 4).

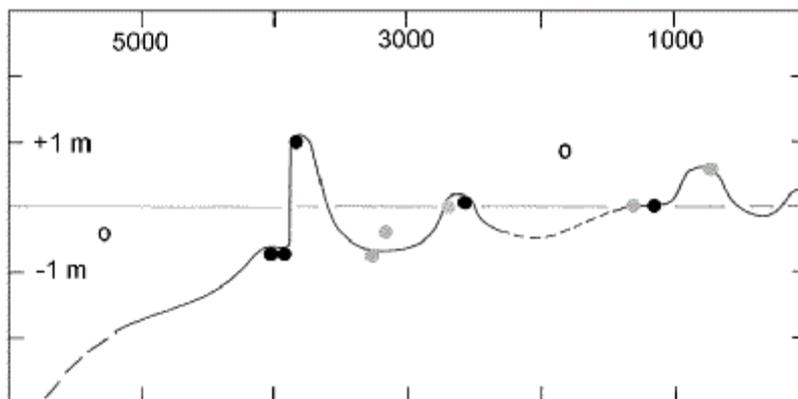


Fig. 4. Risalita eustatica secondo MÖRNER *et al.* (2004)

Nel Golfo di Cagliari non si hanno evidenze di depositi legati ad una trasgressione marina al di sopra dell'attuale livello eustatico per l'Olocene. Una testimonianza di stazionamento vicina al livello attuale è presente nel settore sommerso della spiaggia del Poetto di Quartu, dove è presente un cordone litorale a circa -2m s.l.m., che potrebbe essere associato all'ultimo evento trasgressivo. Datazioni effettuate su corpi sommersi ad analoghe profondità nella Sardegna nordorientale attribuiscono loro un'età di circa 2,5 Ka *B.P.* (DE MURO & ORRÙ, 1998) e avvallano parzialmente l'ipotesi di una trasgressione graduale con uno stazionamento a tale profondità, avvenuto in tempi storici. Una eventuale oscillazione al di sopra dell'attuale linea di costa sarebbe stata perciò poco significativa dal punto di vista morfogenetico-deposizionale. Lo studio delle ultime fasi della trasgressione merita comunque ulteriori approfondimenti per l'acceso interesse, anche in sede non scientifica verso queste tematiche, legato alle modificazioni ambientali, per la riconosciuta importanza della fascia costiera, per gli aspetti sociali, economici e storico-culturali ad essa collegati.

1.3 Evoluzione della piattaforma nel Quaternario

Il carattere essenzialmente bioclastico di gran parte della sedimentazione nell'intera piattaforma è riferibile all'odierno contesto eustatico di *high stand*. I fattori climatico-ambientali come temperatura, salinità e limpidezza delle acque in questo ambiente mediterraneo sono favorevoli alla vita di importanti biocenosi come quella a posidonie, ad alghe rosse, a molluschi e diverse altre. Una tale produttività è comparabile ad altre aree del mediterraneo centrale e occidentale dove sono state descritte sedimentazioni carbonatiche come a Ovest della Sicilia e a Est della Tunisia (BUROLLET, 1981; COLANTONI *et al.*, 1993) e nelle isole Baleari (MATEU, 1989; FORNOS *et al.*, 1991; FORNOS & AHR, 1997), ma nel Golfo di Cagliari si evidenzia una piattaforma articolata in ben diversificati ambienti. La morfologia del fondo marino, in questa fase eustatica,

controlla i processi biologici e fisici di trasporto e di deposizione. La presenza di aree depresse, attribuibili a paleo ambienti fluviali e costieri transizionali, contribuisce a confinare il terrigeno attuale in piattaforma interna, mentre una fascia in rilievo distante dagli apporti terrigeni, in media piattaforma, costituisce un'areale ottimale per l'ecosistema a Posidonia e, a maggiori profondità, per quelli algali, a lamellibranchi, echinidi e foraminiferi.

La sedimentazione terrigena attualmente prevale solo nello *shoreface* mentre nel resto della piattaforma è presente quella carbonatica che, in piattaforma intermedia, si unisce ai sedimenti relitti terrigeni dando luogo a facies miste.

Nonostante ciò, questa produttività rappresenta una percentuale minore della sedimentazione complessiva della piattaforma che mostra, al di sotto di discontinue coperture attuali, la presenza di antichi depositi terrigeni che ne evidenziano il carattere essenzialmente silicoclastico.

Nonostante il chiaro riconoscimento dell'attuale fase carbonatica, questa può essere riferita solo all'attuale contesto eustatico perché durante tutto il tempo che tale piattaforma si è trovata in condizioni di livello più basso dell'attuale, fino ai massimi *low stand*, si sono avvantaggiati sempre più gli ambienti subaerei e di *shoreface* a sedimentazione continentale e sabbiosa terrigena.

Da quanto emerge dalla stratigrafia dei sondaggi eseguiti nei settori litorali del S. Gilla, i sedimenti attribuibili agli ultimi interglaciali (MIS 5, 7, e forse 9) non costituiscono importanti spessori e si deduce che la loro continuità laterale lungo la piattaforma presenti analogamente, ove si sia conservata, spessori esigui. I maggiori volumi di sedimenti sono perciò attribuibili a depositi continentali (attraversati in sondaggio fino a circa 150m rispetto al livello del mare) provenienti dalle spalle degli *horst* sia del campidano che del blocco miocenico ribassato dell'areale di Quartu.

Dalla presenza di facies continentali relitte in piattaforma intermedia si può dedurre che importanti depositi alluvionali siano giunti in piattaforma intermedia.

Pur non potendo, allo stato attuale attribuire delle precise età, per la mancanza di datazioni, si ritiene di poter individuare delle fasi evolutive che possano spiegare l'attuale ripartizione dei sedimenti, ridistribuiti in particolare durante la trasgressione *LGM*-olocene.

Sulla base delle conoscenze bibliografiche (Harland et al. 1990), il quaternario può essere suddiviso in due grandi fasi.

- 1) Una fase da 1,8-0,8Ma, in cui dalle curve $\delta^{18}O$ emerge che le oscillazioni hanno avuto un controllo prevalente a frequenza di 40 Ka circa, cioè a controllo di inclinazione dell'orbita-precessione degli equinozi. Dalle curve isotopiche si deduce che le oscillazioni hanno avuto minore ampiezza e i livelli marini occupavano prevalentemente la piattaforma intermedia mentre l'attuale piattaforma interna era quasi sempre emersa.

2) Durante il quaternario “glaciale” cioè durante il periodo in cui si verificò il glacioeustatismo (per effetto di eccentricità dell’orbita, di 100 Ka, cui si sovrappone il ciclo di precessione) le oscillazioni erano più ampie, e i limiti dell’oscillazione erano riferibili tra lo zero attuale o valori leggermente maggiori fino a + 5m circa, e valori estremi di regressione fino a un ordine di -130÷140.

Durante la **fase 1** la piattaforma di Cagliari veniva alimentata da apporti continentali fluviali, provenienti dagli alti paleozoici sia dal Sarrabus che dal Sulcis (ma in misura maggiore da quest’ultimo perché si trovava di fronte al Campidano subsidente) e in piattaforma emersa si sviluppavano facies di versante, suoli ecc.. I sedimenti si distribuivano lungo la piattaforma intermedia, a seconda del livello in cui il mare intercettava la piattaforma producendo spessori importanti, da diverse decine fino a un centinaio di metri.

Nella **fase 2**:

durante i massimi eustatici il mare occupava lo spazio che era rimasto disponibile alle diverse quote dei massimi trasgressivi perciò dove trovava volumi preesistenti (sia alluvionali quaternari che miocenici e paleozoici) erodeva e ridistribuiva sedimenti. In piattaforma interna vi era un importante spazio disponibile, maggiore nel Golfo di Santa Gilla e minore nel Golfo di Quartu.

Durante le fasi di abbassamento eustatico venivano riattivate le falde continentali dove ci poteva essere ancora continuità di alimentazione, oppure dove si attivavano corsi d’acqua le valli separavano le falde di sedimenti continentali mediante vuoti erosionali. In situazioni locali venivano elaborate falde di sedimenti più recenti e meno spesse continentali che si sovrapponevano al sistema precedentemente deposto.

Durante i minimi eustatici iniziava la deposizione del sistema esterno, con il sovrapporsi di unità di *lowstand*. E’ da notare che osservando le linee *sparker* si notano almeno 4 accrescimenti di *lowstand* separati da superfici di erosione (Fig. 1) attribuibili verosimilmente ad altrettanti cicli del quaternario “glaciale”.

Fase 3 (pleistocenico superiore-olocenica).

Questa fase viene riferita alla situazione in cui la piattaforma è già organizzata con diverse strutture deposizionali/morfologie relative alle diverse fasi evolutive viste in precedenza. Le principali caratteristiche sono:

A I rilievi esterni, considerati paleo linee di riva, alla profondità di 55m:

B La presenza di depositi terrigeni relitti in piattaforma intermedia

C I rilievi sotto il banco a Posidonia

D Le depressioni in piattaforma interna

A rappresenta i cordoni litorali-barriere di sedimenti sdabbiosi-ghiaiosi di spiaggia riferibili a diversi livelli del mare che hanno intersecato lo *shelf* a quella profondità. Siccome tale struttura si trova nella parte alta della sovrapposizione delle unità di regressione, la sua genesi, seppur policiclica, sembra possa risalire all'ultimo o al penultimo ciclo di eccentricità MIS 6-8. Ovviamente tutte le volte che il mare è passato a questo livello ha sia eroso che accresciuto tale linea di riva. Un'ultima volta dovrebbe essere coincisa con la fase eustatica alla base dello *Younger Dryas*.

B Questi sedimenti costituiscono una incontestabile facies terrigena relitta e troverebbe spiegazione nella erosione diretta delle alluvioni del Pleistocene medio-inferiore oppure della erosione di sedimenti prodottisi a spese di questo, provenienti dalle terre emerse.

C è attribuibile allo *stacking* di sedimenti relativi a livelli eustatici attorno a -15-20m che hanno costituito per numerose oscillazioni il livello massimo raggiunto dalle trasgressioni. Questo limite è stato superato e il rilievo si è trovato in fase aggradante, solo per i massimi eustatici degli interglaciali più caldi. tali quote strutture/fasi sistemi litorali. Gli ultimi incrementi deposizionali sono stati prodotti durante l'olocene da parte di sequenze sabbiose e del banco a Posidonia.

D Premesso che la depressione occidentale ha un controllo probabilmente tettonico dell'infrastruttura neogenica, sembrerebbe che le depressioni siano correlabili con l'erosione operata dai fiumi che provenivano dal campidano e dalla zona di Quartu isolando l'alto strutturale sotto il banco a Posidonia. La persistenza e la conservazione di tale struttura depressa verrebbe spiegata dal prevalere in queste aree dell'erosione fluviale in fase di *lowstand* e dalla mancanza di sedimenti sufficienti per colmarlo durante le fasi di trasgressione in quanto vi si imposterebbero ambienti deposizionali scarsamente alimentati come le lagune di retrospiaggia e le paludi estuarine. Questi depositi come noto essendo facilmente erodibili verrebbero ripetutamente incisi in relazione al livello di base del massimo regressivo.

1.4 Sintesi dell'evoluzione della piattaforma

In piattaforma è presente un chiaro controllo strutturale che si esprime in direzione NO-SE per via della continuazione nel Golfo di S. Gilla della depressione del Campidano, debolmente subsidente, mentre a NordEst dell'allineamento delle colline di Cagliari e della piattaforma del golfo di Quartu la piattaforma insiste su un blocco intermedio del *Rift* Sardo probabilmente non subsidente (perché non mostra spazio di accomodamento tettonico)

Un altro controllo si esprime in direzione SO-NE ed è rappresentato dalla soglia di Sant'Elia-Pula che rappresenta un alto che separa le regioni interne della piattaforma, sul quale si impostarono gli ambienti deposizionali sottomarini durante la maggior parte delle oscillazioni eustatiche del Pleistocene. Mentre la paleo costa si situava aldilà dei

rilievi dei -15÷20 m s.l.m. attuali, la regione della piattaforma interna rimaneva emersa e occupata da ambienti fluvio-lacustri. Solamente durante i cicli a oscillazione maggiore del Pleistocene superiore gli ambienti interni sono stati occupati dal mare e ciò lo si deduce dalle curve del $\delta^{18}\text{O}$ e dalle caratteristiche morfologico-deposizionali della piattaforma.

Durante le trasgressioni maggiori come il “Tirreniano” (*MIS 5*) e l’attuale, la piattaforma di Cagliari ha funzionato prevalentemente come piattaforma carbonatica con scarsi apporti terrigeni, probabilmente maggiormente produttiva nel *MIS 5*, come si deduce dalla presenza di faune calde (CARBONI & LECCA, 1985; CARBONI & LECCA, 1992).

Durante la regressione “würmiana” (*MIS 4-2*) le facies terrigene hanno raggiunto almeno la linea della paleo-riva dei -55÷60 m e nella fase di massimo *low stand* le valli fluviali hanno inciso anche la piattaforma esterna (LECCA *et al.*, 1988). In seguito, nel post-glaciale, la risalita del mare ha rimaneggiato il terrigeno continentale relitto in depositi sabbiosi di trasgressione (*ravinement surface* e *trasgressive systems tract*) presenti oltre la batimetrica dei -35 m. Lo stazionamento nelle fasi finali della risalita sui circa -15÷20 m ha prodotto una progradazione terrigena subattuale sotto il banco a Posidonia; la trasgressione è proseguita fino a raggiungere l’attuale stadio di *high stand systems tract* prevalentemente carbonatico che determina la produttività bioclastica su quasi tutta la piattaforma, localizzata maggiormente in aree selezionate dello *shelf*.

2. Considerazioni conclusive

Questo lavoro, pur lasciando tuttora aperte alcune tematiche meritevoli di ulteriori approfondimenti, si ritiene abbia avanzato sotto diversi aspetti il quadro delle conoscenze e abbia permesso di raggiungere una sintesi completa e soddisfacente del funzionamento della piattaforma di Cagliari. In particolare il lavoro ha permesso di:

- 1) individuare e descrivere i principali ambienti deposizionali e le litofacies presenti in piattaforma;
- 2) descrivere l'organizzazione spaziale e le caratteristiche della sedimentazione in relazione alla trasgressione eustatica post *MIS 2*;
- 3) individuare e qualificare i principali processi sedimentari con particolare riferimento alla produttività organogena che domina nell'attuale fase eustatica;
- 4) proporre un modello evolutivo che spieghi l'attuale complessa articolazione della piattaforma in sottoambienti sedimentari, che appare legata sia a processi tettono-sedimentari risalenti al Miocene, che alla sovrapposizione di processi deposizionali a controllo glacio-eustatico nel Pleistocene superiore.

Rimangono invece non risolte, per insufficienza di dati alcune tematiche di grande interesse quali:

- 1) il significato delle linee di riva e la loro relazione con le fasi di stazionamento eustatico;
- 2) la ricostruzione paleogeografica in particolare la presenza di foci fluviali sepolte non individuate al disotto delle coperture attuali.

Lo studio del sistema sedimentario si è appoggiato su dati originalmente acquisiti, costituiti da: 1) 20 profili ecografici/*side scan* sonar a preliminare descrizione dei fondali e rilievo dei principali elementi morfo-batimetrici; 2) prelievo di circa 200 campioni di sedimento, analizzati e suddivisi in litofacies sulla base del loro contenuto. L'interpretazione si è avvalsa inoltre di profili *SBP*, linee sismiche *ES*, mappatura *side scan* e sondaggi eseguiti nella fascia costiera, che hanno integrato i dati acquisiti.

Il lavoro interpretativo sui campioni, spesso reso difficoltoso dalla variabilità del dato sedimentario superficiale ha mostrato la presenza di caratteristiche sedimentologiche oggettive, ricollegabili sia a dinamiche attuali che alla ripartizione dei depositi preolocenici a controllo eustatico. I limiti zonalari presentano infatti delle regolarità riferibili all'eustatismo, come lo sviluppo di rilievi sommersi paralleli alla costa.

Le dinamiche attuali, di tipo fisico e biologico sono state studiate. In particolare è stato descritto il funzionamento delle principali strutture sedimentarie osservate, le *sand waves*, ed è stata ipotizzata la loro genesi sulla base delle conoscenze dell'idrodinamismo presente in piattaforma. La sedimentazione bioclastica è stata studiata e riferita a quattro zone di produttività distinte, di mare temperato.

L'abbondanza di questa sedimentazione permette di identificare una chiara fase carbonatica durante questa configurazione eustatica.

Il lavoro interpretativo ha portato alla produzione di due carte tematiche: una carta rappresenta i fondali della piattaforma, su base principalmente ecografica, che mostra differenziazioni delle coperture superficiali in relazione alla presenza di morfologie relitte e/o a controllo di processi biologici attuali. In particolare sono state analizzate le caratteristiche dei fondali occupati dal banco a Posidonia e sono state distinte diverse tipologie relazionate a fattori ambientali, dinamici e sedimentari presenti. Una seconda carta mostra la ripartizione delle litofacies sedimentarie e rappresenta un prodotto conclusivo dello studio e rappresentativo della sintesi delle conoscenze attuali della zona.

L'interpretazione del sottofondo, dove delle finestre di lettura lo permettono come la depressione in piattaforma interna e la progradazione di *lowstand* del margine della piattaforma, ha portato alla comprensione delle sequenze sedimentarie prodottesi durante l'ultima trasgressione. Altrove l'interpretazione è più problematica per la non omogeneità di lettura del dato sismico.

La ricostruzione evolutiva proposta per il quaternario, purtroppo condizionata dalla mancanza di attribuzioni di età affidabili, pur rappresentando un quadro generale e precisabile, è di indubbio interesse per la comprensione dei processi che hanno portato all'attuale strutturazione della piattaforma.

ALLEGATI

ALLEGATO 1 PIANO DI POSIZIONAMENTO DEI CAMPIONI

Coordinate: ED1950 hddd° mm,mmm

<i>Campione</i>	<i>Prof. (m) / ubicazione</i>	<i>Latitudine</i>	<i>Longitudine</i>
S1	18,7	N 39° 11,319'	E 9° 06,351'
S2	16,6	N 39° 10,380'	E 9° 08,747'
S4	20,4	N 39° 09,728'	E 9° 09,902'
S5	18,5	N 39° 09,115'	E 9° 09,179'
S6	15,01	N 39° 09,347'	E 9° 07,377'
S7	22,4	N 39° 08,847'	E 9° 09,657'
S8	18,3	N 39° 08,692'	E 9° 08,643'
S9	21,4	N 39° 08,102'	E 9° 08,280'
S10	21,3	N 39° 09,715'	E 9° 07,380'
S11	17,1	N 39° 10,421'	E 9° 05,918'
S11b	n.r.	N 39° 10,519'	E 9° 05,955'
S12	22,4	N 39° 09,227'	E 9° 06,258'
S13	22,6	N 39° 08,966'	E 9° 06,631'
S14	26,1	N 39° 08,835'	E 9° 05,750'
S15	17,3	N 39° 09,501'	E 9° 04,411'
S16	25,7	N 39° 08,210'	E 9° 05,404'
S17	22,2	N 39° 08,261'	E 9° 04,518'
S18	19,4	N 39° 07,567'	E 9° 05,404'
S20	23,4	N 39° 06,506'	E 9° 07,264'
S21	27,7	N 39° 06,618'	E 9° 08,558'
S22	47,8	N 39° 6,502'	E 9° 11,461'
S30	33,7	N 39° 04,974'	E 9° 07,593'
S31	34,2	N 39° 05,225'	E 9° 08,173'
S32	33,5	N 39° 05,599'	E 9° 08,049'
S33	25,3	N 39° 05,535'	E 9° 06,566'
S34	18,1	N 39° 06,012'	E 9° 05,334'
S35	23,6	N 39° 06,528'	E 9° 04,451'
S36	17,5	N 39° 07,326'	E 9° 03,380'
S37	10,6	N 39° 07,814'	E 9° 02,401'
S38	8,5	N 39° 08,390'	E 9° 01,575'
S39	7,4	N 39° 07,651'	E 9° 01,320'
S40	10,7	N 39° 06,548'	E 9° 01,454'
S42	24	N 39° 04,729'	E 9° 05,096'
S43	27,5	N 39° 04,206'	E 9° 06,118'
S44	39,2	N 39° 03,644'	E 9° 07,212'
S45	50,8	N 39° 02,755'	E 9° 09,230'
S48	36,7	N 39° 02,948'	E 9° 06,071'
S49	26	N 39° 03,346'	E 9° 05,219'
S50	20	N 39° 03,943'	E 9° 04,004'
S51	20	N 39° 02,595'	E 9° 04,782'
S53	40	N 39° 01,438'	E 9° 05,522'
S55	29,8	N 39° 01,274'	E 9° 04,067'

S56	8,9	N 39° 01,335'	E 9° 02,048'
S57	28,7	N 39° 00,264'	E 9° 03,685'
S58	39,2	N 39° 00,434'	E 9° 04,866'
S61	39,4	N 38° 59,486'	E 9° 04,214'
S62	40,6	N 38° 58,541'	E 9° 03,327'
S63	10	N 38° 59,520'	E 9° 01,269'
S67	40	N 38° 57,347'	E 9° 02,524'
S68	33	N 38° 57,818'	E 9° 01,749'
S69	13,3	N 38° 57,891'	E 8° 59,822'
S70	12,6	N 38° 57,891'	E 8° 59,822'
S71	32,2	N 38° 56,567'	E 9° 00,396'
S75	32,8	N 38° 55,638'	E 8° 59,165'
S76	29,3	N 38° 55,921'	E 8° 58,798'
S77	6,6	N 38° 56,567'	E 8° 57,082'
S78	32	N 38° 55,057'	E 8° 57,999'
S80	29	N 38° 54,692'	E 8° 56,862'
S81	10,3	N 38° 55,638'	E 8° 55,964'
S82	10,3	N 38° 55,074'	E 8° 55,039'
S83	42	N 38° 53,981'	E 8° 55,808'
S85	7	N 38° 53,603'	E 8° 52,808'
S86	14,8	N 38° 52,578'	E 8° 51,649'
S87	19,4	N 39° 09,523'	E 9° 09,224'
S88	21,7	N 39° 9,575'	E 9° 10,765'
S90	12,5	N 39° 11,811'	E 9° 12,329'
S91	18,5	N 39° 12,582'	E 9° 11,703'
S92	6,3	N 38° 58,070'	E 8° 59,109'
S93	4,8	N 38° 58,080'	E 8° 59,002'
S95	4,0	N 38° 58,072'	E 8° 59,002'
S96	6,0	N 38° 58,017'	E 8° 59,078'
S97	3,7	N 38° 57,957'	E 8° 58,893'
S98	5,6	N 38° 57,902'	E 8° 58,833'
S99	4,0	N 38° 57,838'	E 8° 58,737'
S100	4,2	N 38° 57,721'	E 8° 58,663'
S103	10,9	N 39° 12,196'	E 9° 17,479'
S104	7,7	N 38° 12,393'	E 9° 17,602'
RC01	Solanas	N 39° 07,965'	E 9° 25,920'
RC02	Solanas	N 39° 08,048'	E 9° 25,763'
RC03	Solanas	N 39° 08,123'	E 9° 25,563'
RC04	Portu Perdosu	N 39° 08,355'	E 9° 24,892'
RC05	Torre delle Stelle	N 39° 08,630'	E 9° 24,447'
RC06	Torre delle Stelle	N 39° 08,672'	E 09° 24,232'
RC07	Torre delle Stelle	N 39° 09,288'	E 9° 24,690'
RC08	Torre delle Stelle	N 39° 09,435'	E 9° 24,537'
RC09	Baccu Mandara	N 39° 09,630'	E 9° 23,133'
RC10	Baccu Mandara	N 39° 09,703'	E 9° 23,115'
RC11	Geremeas 2	N 39° 09,828'	E 9° 22,997'
RC12	Geremeas	N 39° 09,943'	E 9° 22,862'
RC13	Kala 'e Moru	N 39° 10,110'	E 9° 22,600'

RC14	Cala Regina	N 39° 10,747'	E 9° 21,303'
RC15	Terra Mala	N 39° 11,482'	E 9° 20,373'
RC16	Is Mortorius	N 39° 11,928'	E 9° 19,630'
RC17	S'Arritzolu Saliu	N 39° 12,300'	E 9° 19,118'
RC18	Capitana	N 39° 12,358'	E 9° 18,648'
RC19	S. Luria	N 39° 12,780'	E 9° 17,847'
RC20	Flumini	N 39° 12,825'	E 9° 17,183'
RC21	S'Oru 'e Mari	N 39° 12,992'	E 9° 15,108'
RC22	Foxi	N 39° 13,400'	E 9° 14,340'
RC23	Margine Rosso	N 39° 13,635'	E 9° 13,952'
RC24	Poetto di Quartu	N 39° 13,652'	E 9° 12,943'
RC25	Poetto di Quartu	N 39° 13,487'	E 9° 12,133'
RC26	Poetto di Cagliari	N 39° 12,953'	E 9° 10,843'
RC27	Poetto di Cagliari	N 39° 12,443'	E 9° 10,137'
RC28	Poetto di Cagliari	N 39° 11,703'	E 9° 09,615'
RC29	Cala Mosca	N 39° 11,187'	E 9° 09,117'
RC30	Villa Aresu	N 39° 11,775'	E 9° 03,902'
RC31	Peschiera	N 39° 10,984'	E 9° 02,986'
RC32	La Maddalena	N 39° 09,325'	E 9° 01,495'
RC33	Punta Zavorra	N 39° 03,476'	E 9° 02,727'
T1C1	7,0	N 39° 08,020'	E 9° 25,530'
T1C2	10,0	N 39° 07,800'	E 9° 25,417'
T1C3	40,0	N 39° 07,545'	E 9° 25,280'
T2C1	3,5	N 39° 12,760'	E 9° 17,830'
T2C2	5,5	N 39° 12,680'	E 9° 17,815'
T2C5	39,2	N 39° 10,590'	E 9° 18,050'
T2C6	50,5	N 39° 09,900'	E 9° 18,120'
T3C1	1,0	N 39° 13,650'	E 9° 12,940'
T3C2	14,2	N 39° 12,050'	E 9° 14,120'
T3C3	21,8	N 39° 10,960'	E 9° 14,950'
T3C4	33,0	N 39° 10,345'	E 9° 15,406'
T3C5	52,4	N 39° 09,440'	E 9° 16,080'
T4C1	6,0	N 39° 12,810'	E 9° 10,890'
T4C5	35,0	N 39° 09,700'	E 9° 13,250'
T4C6	51,0	N 39° 08,680'	E 9° 14,035'
T5C1	1,6	N 39° 11,150'	E 9° 09,100'
T5C2	4,3	N 39° 10,890'	E 9° 09,410'
T5C4	33,5	N 39° 08,690'	E 9° 11,730'
T5C5	48,3	N 39° 07,650'	E 9° 12,820'
T5C1	1,6	N 39° 11,150'	E 9° 09,100'
T5C2	4,3	N 39° 10,890'	E 9° 09,410'
T5C4	33,5	N 39° 08,690'	E 9° 11,730'
T5C5	48,3	N 39° 07,650'	E 9° 12,820'
T6C1	2,0	N 39° 11,750'	E 9° 03,930'
T6C2	4,0	N 39° 11,650'	E 9° 04,075'
T6C3	8,0	N 39° 11,300'	E 9° 04,610'
T6C5	12,5	N 39° 10,700'	E 9° 05,470'
T6C6	23,2	N 39° 09,840'	E 9° 06,830'

T6C7	29,0	N 39° 07,660'	E 9° 10,140'
T6C8	50,1	N 39° 06,400'	E 9° 12,070'
T7C1	2,1	N 39° 10,960'	E 9° 03,050'
T7C2	5,3	N 39° 10,515'	E 9° 03,206'
T7C3	11,9	N 39° 10,140'	E 9° 04,290'
T7C4	17,0	N 39° 09,270'	E 9° 05,640'
T7C5	24,4	N 39° 08,810'	E 9° 06,330'
T7C7	36,6	N 39° 06,530'	E 9° 09,770'
T7C8	50,7	N 39° 05,320'	E 9° 11,600'
T8C1	1,0	N 39° 09,230'	E 9° 01,980'
T8C2	10,5	N 39° 08,820'	E 9° 02,640'
T8C3	15,0	N 39° 08,580'	E 9° 03,230'
T8C4	23,0	N 39° 07,800'	E 9° 04,790'
T8C5	25,0	N 39° 06,290'	E 9° 07,720'
T8C6	32,0	N 39° 05,820'	E 9° 08,290'
T8C7	50,0	N 39° 03,850'	E 9° 09,500'
T9C1	1,9	N 39° 03,490'	E 9° 02,760'
T9C2	6,5	N 39° 03,430'	E 9° 02,900'
T9C5	37,0	N 39° 02,210'	E 9° 05,540'
T9C6	51,0	N 39° 01,160'	E 9° 07,790'
M1	6,5	N 39° 07.683	E 9° 11.221
M2	8,5	N 39° 12.071	E 9° 10.103
M3	5,5	N 39° 11.708	E 9° 09.995
M4	6,5	N39 °11.480	E 9° 10.301
M5	10,0	N 39° 11.128	E 9° 10.077
M6	10,5	N 39° 11.017	E 9° 09.203
M7	5,0	N 39° 11.121	E 9° 08.617
M10	9,5	N 39° 11.692	E 9° 06.465
M13	19,0	N 39° 10.434	434 E9° 06.892
M14	20,0	N 39° 10.907	E 9° 06.178
M15	12,5	N 39° 11.383	E 9° 05.455
M16	22,0	N 39°09.507	E 9° 09.273
M17	17,5	N 39° 09.590	E 9° 10.602
M18	21,0	N 39° 10.529	E 9° 12.787
M19	32,0	N 39° 07.943	E 9° 10.668
M20	33,0	N 39° 08.208	E 9° 11.020
M21	34,0	N 39° 08.512	E9° 11.400
M22	34,0	N 39° 09.049	E 9° 12.100
M23	33,0	N 39° 09.311	E 9° 12.444
M24	33,5	N 39° 09.604	E 9° 12.835
E1	47,0	N 39° 09,257'	E 9° 15.051'
E2	47,0	N 39° 09,548 '	E 9° 15.514'
E3	43,0	N 39° 09,749 '	E 9° 15.932'
E4	48,0	N 39° 08,924 '	E 9° 15.313'
E5	51,0	N 39° 09,158 '	E 9° 15.796'
E6	53,0	N 39° 09,388 '	E 9 °16.225'
E7	52,0	N 39° 08,601 '	E 9 °15.568'
E8	50,0	N 39° 08,852'	E 9° 16.035'

E9	42,8	N 39° 09.069 '	E 9° 16.459'
E10	45,0	N 39° 08.240'	E 9° 15.867'
E11	50,5	N 39° 08.508 '	E 9° 16.290'
E12	51,5	N 39° 08.725 '	E 9 °16.692'
SW1	47,0	N39 05.668	E9 09.329
SW2	47,0	N39 06.036	E9 09.747
SW3	43,0	N39 06.390	E9 10.139
SW4	48,0	N39 05.343	E9 09.817
SW5	50,0	N39 05.665	E9 10.271
SW6	53,0	N39 06.020	E9 10.687
SW7	52,0	N39 04.998	E9 10.357
SW8	50,0	N39 05.327	E9 10.816
SW9	43,0	N39 05.636	E9 11.276
SW10	45,0	N39 04.728	E9 10.795
SW11	50,0	N39 05.045	E9 11.272
SW16	62,3	N39 03.897	E9 12.015
SW17	62,6	N39 04.279	E9 12.435
SW18	57,9	N39 04.596	E9 12.839
SW19	73,7	N39 03.53	E9 12.597
SW20	75,0	N39 03.868	E9 13.032
SW21	80,0	N39 04.207	E9 13.441
SW22	96,0	N39 03.138	E9 13.212
SW23	98,0	N39 03.491	E9 13.618
SW24	102,0	N39 03.840	E9 13.995

Allegato 2

Analisi granulometriche e composizionali semi-quantitative

CAMP/PROF.	CLASSI % PESO - UNITA Φ							COMPONENTE TERRIGENA					
	< -1	-1 ÷ 0	0 ÷ 1	1 ÷ 2	2 ÷ 3	3 ÷ 4	> 4	Quarzo	Feldsp.	Minori	Litoc.	BIOC.	
RC1	-	49,7%	30,7%	9,4%	9,2%	0,3%	0,0%	0,0%	52,6%	42,7%	0,3%	3,6%	0,0%
RC2	-	25,2%	65,5%	9,1%	0,2%	0,1%	0,0%	0,0%	49,5%	47,3%	0,1%	3,2%	0,0%
RC3	-	38,0%	50,2%	11,3%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	53,4%	39,9%	0,0%	6,5%	0,0%
RC4	-	38,2%	44,0%	6,2%	4,5%	6,6%	0,3%	0,0%	45,8%	44,0%	0,5%	5,2%	4,0%
RC5	-	0,3%	2,6%	21,5%	60,2%	14,4%	0,1%	0,0%	53,0%	32,7%	2,4%	3,9%	8,0%
RC6	-	0,1%	0,3%	6,2%	58,9%	34,2%	0,3%	0,0%	56,1%	31,8%	2,7%	3,0%	9,0%
RC7	-	0,0%	0,1%	0,2%	2,0%	84,9%	12,0%	0,0%	64,4%	21,1%	6,3%	0,9%	7,0%
RC8	-	22,8%	49,5%	5,3%	6,6%	14,8%	0,9%	0,0%	48,1%	41,7%	1,2%	6,5%	2,0%
RC9	-	4,6%	40,5%	29,6%	18,4%	6,7%	0,3%	0,0%	53,3%	39,0%	0,3%	6,8%	1,0%
RC10	-	2,3%	30,8%	42,1%	20,9%	3,9%	0,1%	0,0%	50,7%	39,1%	0,3%	9,7%	0,0%
RC11	-	17,5%	60,1%	16,3%	4,5%	1,5%	0,1%	0,0%	46,0%	42,2%	0,1%	11,6%	0,0%
RC12	-	18,8%	67,6%	5,8%	2,7%	4,5%	0,6%	0,0%	49,9%	39,3%	0,3%	10,3%	0,0%
RC13	-	3,0%	58,2%	34,5%	3,3%	0,8%	0,1%	0,0%	50,0%	42,3%	0,1%	7,7%	0,0%
RC14	-	26,3%	29,8%	9,4%	6,9%	23,4%	4,0%	0,0%	38,9%	30,7%	0,8%	25,5%	4,0%
RC15	-	23,4%	28,5%	9,8%	8,2%	25,9%	4,2%	0,0%	40,0%	34,2%	1,4%	21,8%	3,0%
RC16	-	2,8%	13,2%	55,4%	27,4%	1,1%	0,0%	0,0%	50,1%	38,7%	0,1%	11,1%	0,0%
RC17	-	1,1%	2,7%	2,7%	23,9%	68,0%	1,5%	0,0%	56,7%	33,2%	2,4%	2,9%	5,0%
RC18	-	0,2%	0,6%	36,1%	60,9%	2,4%	0,1%	0,0%	55,0%	36,2%	0,1%	8,9%	0,0%
RC19	-	0,3%	3,1%	8,2%	25,4%	61,0%	2,0%	0,0%	61,9%	30,2%	1,3%	5,4%	1,0%
RC20	-	0,6%	4,7%	2,6%	7,6%	81,9%	2,4%	0,0%	62,2%	31,5%	2,7%	3,0%	0,0%
RC21	-	3,0%	4,0%	7,2%	63,5%	21,9%	0,4%	0,0%	50,4%	27,7%	0,5%	19,8%	2,0%
RC22	-	0,1%	0,1%	0,2%	20,6%	76,6%	2,2%	0,0%	53,5%	34,5%	0,8%	4,2%	7,0%
RC23	-	0,1%	0,5%	3,5%	18,1%	60,7%	17,0%	0,1%	58,6%	27,5%	2,7%	3,7%	8,0%
RC24	-	0,3%	1,2%	3,3%	30,5%	56,3%	8,4%	0,0%	64,0%	29,6%	1,7%	2,8%	2,0%
RC25	-	0,0%	0,3%	4,6%	56,0%	38,9%	0,2%	0,0%	61,1%	29,3%	0,4%	7,5%	2,0%
RC26	-	0,7%	2,2%	6,0%	17,7%	71,9%	1,3%	0,0%	52,7%	16,2%	1,5%	2,5%	27,0%
RC27	-	0,7%	5,0%	66,7%	21,6%	5,6%	0,4%	0,0%	12,7%	7,3%	0,1%	2,8%	71,0%
RC28	-	5,0%	7,9%	32,8%	27,0%	25,4%	1,8%	0,0%	19,3%	7,2%	0,3%	1,7%	71,0%
RC29	-	5,5%	20,5%	60,2%	10,2%	3,3%	0,3%	0,0%	12,4%	5,0%	80,2%	0,9%	1,0%
RC30	-	0,3%	3,6%	35,3%	32,8%	26,8%	1,2%	0,0%	44,4%	32,7%	0,6%	9,5%	13,0%
RC31	-	1,2%	0,5%	0,2%	1,5%	81,4%	15,0%	0,1%	49,6%	28,0%	5,2%	2,2%	15,0%
RC32	-	15,4%	33,9%	35,1%	9,4%	5,7%	0,4%	0,0%	39,1%	48,5%	1,3%	3,1%	8,0%
RC33	-	42,7%	36,8%	20,0%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	1,0%	0,0%	0,0%	85,4%	14,0%
C1	-	3,6%	11,8%	39,4%	38,6%	6,3%	0,2%	0,0%	22,2%	8,4%	0,0%	67,9%	1,3%
C2	-	37,5%	36,2%	6,5%	9,6%	9,6%	0,4%	0,0%	16,8%	4,9%	0,0%	73,2%	5,1%
C3	-	55,0%	42,9%	1,8%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	12,4%	5,0%	0,0%	79,3%	3,1%
C4	-	5,5%	10,1%	39,6%	44,6%	0,2%	0,0%	0,0%	25,7%	4,4%	0,4%	60,4%	8,9%
C5	-	1,8%	23,1%	46,4%	24,1%	4,5%	0,0%	0,0%	24,3%	5,8%	0,3%	60,3%	9,3%
C6	-	1,7%	4,7%	8,6%	33,6%	49,4%	1,9%	0,1%	23,3%	6,5%	0,1%	54,0%	16,0%
C7	-	5,5%	15,9%	45,1%	32,8%	0,4%	0,0%	0,0%	13,5%	5,2%	0,0%	62,9%	18,3%
C8	-	57,8%	32,2%	7,1%	2,5%	0,4%	0,0%	0,0%	11,1%	3,1%	0,0%	83,4%	1,9%
C9	-	31,6%	59,9%	8,1%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	11,4%	4,4%	0,0%	83,2%	1,0%
C10	-	14,9%	25,7%	41,3%	17,5%	0,4%	0,0%	0,0%	41,4%	21,1%	0,0%	34,2%	2,9%
T1C1	7,0	0,0%	0,2%	1,4%	28,4%	65,4%	4,5%	0,1%	55,0%	37,6%	4,4%	1,9%	0,0%
T1C2	10,0	0,0%	2,8%	56,5%	40,4%	0,3%	0,0%	0,0%	55,9%	38,8%	0,8%	4,0%	0,0%
T1C3	40,0	8,1%	42,3%	33,0%	12,6%	2,9%	0,9%	0,1%	1,1%	0,9%	0,0%	0,5%	97,0%
T2C1	3,5	0,0%	0,2%	1,1%	5,8%	57,1%	33,1%	2,8%	63,6%	28,1%	3,0%	2,6%	2,0%
T2C2	5,5	0,5%	0,8%	1,3%	6,3%	57,9%	26,1%	7,0%	67,1%	20,5%	3,9%	2,0%	6,0%
T2C5	39,2	13,2%	42,2%	33,6%	9,2%	1,4%	0,2%	0,1%	1,4%	1,4%	0,0%	0,1%	97,0%
T2C6	50,5	13,6%	32,6%	33,8%	13,5%	4,5%	1,3%	0,2%	0,8%	0,7%	0,0%	0,0%	98,0%
T3C1	1,0	0,0%	0,1%	3,9%	48,3%	40,7%	6,8%	0,2%	70,0%	26,6%	0,5%	1,7%	1,0%
T3C2	14,2	35,5%	56,0%	8,1%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	44,2%	18,8%	0,0%	35,9%	1,0%
T3C3	21,8	25,4%	31,0%	19,9%	11,9%	7,6%	3,5%	0,8%	1,7%	1,4%	0,2%	0,8%	96,0%
T3C4	33,0	3,0%	8,6%	17,8%	29,8%	22,5%	14,8%	3,3%	18,3%	8,5%	0,9%	2,7%	69,0%
T3C5	52,4	12,8%	20,2%	20,1%	19,6%	18,7%	7,6%	1,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	100,0%
T4C1	6,0	0,0%	0,0%	0,1%	0,6%	40,3%	55,9%	3,1%	67,1%	27,3%	2,2%	0,8%	3,0%
T4C5	35,0	9,0%	33,5%	34,9%	15,5%	5,2%	1,6%	0,4%	14,8%	11,3%	0,0%	3,8%	70,0%
T4C6	51,0	4,6%	16,0%	43,0%	27,6%	6,7%	1,9%	0,3%	17,7%	7,1%	0,0%	1,9%	73,0%
T5C1	1,6	0,0%	0,0%	1,0%	31,3%	50,0%	14,9%	2,6%	36,0%	0,0%	50,8%	0,0%	13,0%
T5C2	4,3	0,1%	0,3%	3,2%	88,3%	8,0%	0,1%	0,0%	44,5%	5,2%	42,6%	0,2%	7,0%
T5C4	33,5	4,1%	13,0%	22,6%	30,7%	24,0%	5,1%	0,3%	31,7%	7,9%	0,0%	2,8%	57,0%
T5C5	48,3	18,9%	46,1%	24,9%	7,8%	1,6%	0,5%	0,2%	0,2%	0,1%	0,0%	0,0%	100,0%
T6C1	2,0	0,2%	0,2%	0,1%	0,3%	69,1%	28,7%	1,5%	51,3%	13,0%	1,7%	2,7%	31,0%

CAMP/PROF.	CLASSI % PESO - UNITA Φ								COMPONENTE TERRIGENA				
	< -1	-1 ÷ 0	0 ÷ 1	1 ÷ 2	2 ÷ 3	3 ÷ 4	> 4	Quarzo	Feldsp.	Minori	Litoc.	BIOC.	
T6C2	4,0	0,0%	0,1%	0,0%	0,6%	16,9%	54,8%	27,5%	39,4%	28,5%	1,0%	3,5%	28,0%
T6C3	8,0	29,7%	15,6%	16,0%	16,1%	13,4%	7,5%	1,4%	12,0%	3,3%	0,0%	0,5%	79,0%
T6C5	12,5	24,6%	19,7%	14,8%	0,0%	31,0%	7,0%	1,8%	16,7%	4,8%	0,0%	2,0%	74,0%
T6C6	23,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	20,0%	10,0%	0,0%	5,0%	30,0%
T6C7	29,0	3,3%	18,4%	19,4%	22,7%	25,1%	8,6%	1,9%	18,5%	13,2%	0,0%	10,9%	57,0%
T6C8	50,1	13,7%	47,9%	26,8%	7,0%	2,8%	1,6%	0,4%	3,1%	0,3%	0,0%	0,1%	97,0%
T7C1	2,1	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	35,4%	60,2%	4,2%	61,7%	6,3%	5,7%	3,0%	23,0%
T7C2	5,3	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	3,3%	69,0%	27,3%	61,4%	7,4%	2,6%	3,5%	9,0%
T7C3	11,9	67,6%	10,0%	6,5%	4,6%	3,8%	4,8%	1,9%	3,9%	1,8%	0,1%	0,6%	86,0%
T7C4	17,0	11,7%	6,7%	11,0%	46,0%	20,4%	3,6%	0,6%	30,4%	11,3%	0,0%	4,3%	31,0%
T7C5	24,4	0,3%	0,0%	0,0%	19,2%	60,6%	15,8%	4,2%	34,0%	9,6%	1,9%	21,2%	29,0%
T7C7	36,6	21,9%	42,9%	20,1%	8,7%	3,9%	2,0%	0,6%	30,1%	8,6%	0,0%	16,5%	44,0%
T7C8	50,7	9,9%	31,9%	29,3%	17,0%	8,7%	3,0%	0,3%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
T8C1	1,0	2,4%	3,7%	7,7%	25,4%	50,0%	9,7%	0,9%	34,3%	20,6%	0,3%	0,3%	44,0%
T8C2	10,5	0,7%	4,0%	6,0%	9,8%	8,9%	22,2%	47,7%	47,6%	22,5%	1,7%	3,3%	24,0%
T8C3	15,0	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	9,1%	29,8%	60,4%	40,9%	19,9%	4,5%	5,7%	29,0%
T8C4	23,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	20,0%	10,0%	0,0%	5,0%	30,0%
T8C5	25,0	5,4%	10,1%	21,6%	30,8%	27,5%	4,3%	0,5%	32,4%	19,3%	0,0%	3,5%	37,0%
T8C6	32,0	6,9%	31,1%	26,5%	15,9%	14,6%	3,8%	1,1%	26,2%	22,5%	0,0%	18,0%	33,0%
T8C7	50,0	12,1%	39,9%	27,8%	10,6%	6,0%	2,9%	0,7%	2,1%	0,0%	0,1%	0,0%	98,0%
T9C1	1,9	19,9%	29,4%	34,5%	15,4%	0,7%	0,2%	0,0%	3,3%	6,3%	0,0%	28,0%	62,0%
T9C2	6,5	31,6%	45,9%	14,7%	7,6%	0,1%	0,1%	0,0%	3,9%	5,6%	0,0%	43,3%	47,0%
T9C5	37,0	7,5%	38,2%	42,9%	6,8%	2,5%	1,7%	0,5%	38,0%	16,8%	0,0%	13,2%	32,0%
T9C6	51,0	5,4%	35,9%	37,6%	14,4%	5,4%	1,2%	0,2%	2,1%	0,9%	0,0%	0,1%	97,0%
SW1	47,0	18,5%	43,7%	22,6%	9,9%	3,9%	1,1%	0,2%	19,1%	13,7%	0,0%	7,9%	59,4%
SW2	47,0	28,7%	49,1%	15,4%	4,8%	1,3%	0,5%	0,1%	23,2%	12,8%	0,0%	11,4%	52,6%
SW3	43,0	7,7%	28,9%	46,4%	11,6%	4,4%	0,9%	0,1%	18,9%	7,0%	0,0%	4,9%	69,1%
SW4	48,0	22,7%	24,7%	19,9%	18,3%	10,5%	3,4%	0,4%	6,6%	5,7%	0,0%	3,4%	84,3%
SW5	50,0	0,3%	6,0%	34,2%	42,1%	13,9%	3,2%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
SW6	53,0	18,6%	54,9%	15,3%	5,7%	3,9%	1,3%	0,2%	7,2%	3,5%	0,1%	6,6%	82,6%
SW7	52,0	8,3%	39,8%	32,1%	12,0%	4,5%	2,6%	0,5%	4,3%	2,6%	0,0%	2,6%	89,8%
SW8	50,0	1,0%	15,6%	56,0%	21,9%	4,6%	0,9%	0,1%	1,7%	1,2%	0,0%	0,4%	96,7%
SW9	43,0	0,5%	2,7%	13,2%	45,9%	29,4%	7,6%	0,7%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	98,9%
SW10	45,0	19,3%	45,5%	25,3%	7,0%	1,8%	0,9%	0,2%	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	99,4%
SW11	50,0	4,2%	14,6%	26,3%	35,0%	15,3%	4,1%	0,4%	0,6%	0,1%	0,0%	0,0%	99,3%
SW16	62,3	13,7%	24,6%	27,5%	20,1%	9,9%	3,5%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	99,6%
SW17	62,6	5,7%	12,0%	26,5%	31,6%	17,9%	5,6%	0,7%	0,8%	0,6%	0,0%	0,0%	98,2%
SW18	57,9	19,7%	36,9%	20,4%	10,8%	6,6%	4,4%	1,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	99,9%
SW19	73,7	3,1%	14,1%	23,8%	30,4%	24,2%	4,2%	0,3%	2,6%	0,4%	0,0%	0,2%	96,8%
SW20	75,0	6,4%	26,9%	27,6%	21,9%	14,0%	3,0%	0,2%	12,5%	6,8%	0,0%	6,0%	74,8%
SW21	80,0	0,8%	5,7%	15,6%	39,1%	34,7%	3,7%	0,2%	3,3%	0,1%	0,0%	0,1%	96,4%
SW22	96,0	0,8%	2,9%	6,7%	17,1%	56,7%	15,0%	0,7%	7,5%	0,0%	0,5%	1,0%	90,9%
SW23	98,0	0,9%	5,5%	11,5%	44,8%	29,6%	7,2%	0,2%	4,0%	0,0%	2,3%	0,0%	93,3%
SW24	102,0	2,2%	7,5%	11,1%	22,2%	43,8%	12,4%	0,6%	4,3%	0,0%	2,5%	0,0%	92,4%
E1	47,0	23,2%	35,6%	28,1%	10,7%	2,0%	0,4%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,1%
E2	47,0	19,0%	54,1%	19,7%	4,4%	1,6%	0,8%	0,4%	1,5%	1,1%	0,0%	0,0%	97,4%
E3	43,0	10,8%	25,8%	35,8%	19,2%	7,1%	1,1%	0,3%	5,9%	5,7%	0,0%	0,0%	88,4%
E4	48,0	6,3%	29,4%	38,8%	19,3%	5,1%	1,0%	0,1%	1,5%	2,1%	0,0%	0,0%	91,2%
E6	53,0	14,4%	26,0%	22,6%	17,5%	11,4%	6,9%	1,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,1%
E7	52,0	5,5%	28,7%	30,4%	21,3%	10,0%	3,4%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,1%
E8	50,0	5,5%	28,7%	30,4%	21,3%	10,0%	3,4%	0,7%	2,2%	1,9%	0,3%	0,2%	95,5%
E9	42,8	11,3%	31,9%	37,3%	16,9%	2,0%	0,3%	0,2%	2,2%	0,9%	0,0%	0,8%	96,0%
E10	45,0	18,7%	31,8%	31,9%	15,3%	2,2%	0,2%	0,0%	0,3%	1,7%	0,0%	0,0%	98,0%
E11	50,5	17,8%	53,1%	22,0%	4,4%	1,5%	0,9%	0,3%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	99,8%
E12	51,5	48,9%	23,1%	17,1%	7,3%	2,3%	0,9%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	99,9%
SUB1	20,0	3,5%	5,7%	33,3%	51,3%	1,7%	0,2%	0,0%	61,1%	13,3%	0,0%	3,0%	18,3%
S1 *	18,7	0,0%	0,0%	0,4%	2,0%	3,7%	6,1%	87,9%	25,0%	4,9%	2,0%	0,0%	21,1%
S9	21,1	0,2%	1,2%	11,8%	19,6%	65,2%	2,0%	0,0%	58,2%	20,4%	1,4%	17,9%	2,1%
S15	17,3	74,1%	9,7%	5,7%	4,0%	2,8%	2,6%	0,8%	1,1%	0,8%	0,1%	4,1%	93,6%
S18	19,4	0,5%	0,6%	1,0%	11,9%	68,7%	15,4%	4,7%	79,6%	14,1%	0,0%	3,2%	5,6%
S21	28,1	52,2%	37,8%	7,8%	1,1%	0,4%	0,2%	0,3%	1,7%	0,6%	0,0%	0,5%	97,0%
S22	28,7	14,0%	47,6%	29,6%	6,0%	1,5%	0,7%	0,4%	8,5%	7,8%	0,0%	7,8%	75,4%
S30	33,7	12,3%	6,0%	5,4%	9,4%	44,7%	19,8%	2,5%	43,0%	13,2%	1,8%	16,6%	25,4%

CAMP/PROF.	CLASSI % PESO - UNITA Φ								COMPONENTE TERRIGENA				
	< -1	-1 ÷ 0	0 ÷ 1	1 ÷ 2	2 ÷ 3	3 ÷ 4	> 4	Quarzo	Feldsp.	Minori	Litoc.	BIOC.	
S31	34,6	10,4%	7,1%	8,8%	16,6%	45,4%	9,9%	1,8%	35,0%	12,1%	0,0%	29,5%	23,3%
S32	32,9	3,6%	11,7%	30,6%	28,8%	21,6%	3,3%	0,3%	23,2%	6,4%	0,3%	5,5%	64,5%
S33	23,7	45,6%	30,9%	12,1%	6,4%	3,7%	0,7%	0,6%	4,4%	1,3%	0,1%	0,7%	93,5%
S36	17,5	18,6%	7,9%	3,8%	2,4%	2,5%	0,8%	0,2%	15,7%	3,6%	0,0%	1,4%	79,7%
S43	27,5	4,7%	4,0%	4,7%	19,6%	59,8%	6,8%	0,3%	50,7%	30,7%	0,7%	3,0%	14,7%
S44	39,2	2,0%	3,6%	18,1%	31,2%	34,9%	9,3%	0,5%	17,3%	10,0%	0,0%	8,8%	63,8%
S45	50,8	0,1%	0,5%	3,6%	68,0%	27,6%	0,1%	0,0%	0,7%	0,0%	0,0%	2,8%	96,5%
S48	36,7	4,2%	8,2%	12,9%	32,7%	28,3%	11,5%	1,6%	28,3%	1,9%	0,0%	0,0%	70,5%
S49	26,0	5,7%	13,0%	15,4%	28,4%	31,8%	5,2%	0,6%	10,9%	1,6%	0,3%	3,4%	83,7%
S53	40,0	15,2%	39,0%	30,0%	8,7%	4,1%	2,5%	0,6%	28,3%	26,0%	0,2%	18,4%	26,3%
S55	29,8	1,9%	7,7%	31,5%	23,4%	24,9%	10,4%	1,0%	31,0%	19,5%	0,0%	7,3%	43,0%
S57	28,7	11,2%	55,3%	23,4%	6,8%	2,3%	0,7%	0,3%	6,1%	7,2%	0,0%	25,3%	61,1%
S58	39,2	14,1%	50,0%	28,4%	5,0%	1,5%	0,7%	0,3%	5,0%	2,6%	0,4%	1,4%	90,5%
S61	39,4	15,7%	16,4%	16,6%	23,5%	15,6%	11,0%	1,1%	1,9%	1,5%	0,2%	0,6%	95,6%
S62	40,6	0,6%	2,5%	27,8%	51,0%	15,4%	2,5%	0,2%	7,6%	2,3%	0,0%	0,3%	89,5%
S63	10,0	0,0%	0,1%	0,1%	5,1%	61,2%	31,7%	1,7%	45,4%	0,0%	7,1%	1,6%	45,8%
S75	32,8	11,1%	36,9%	26,5%	13,1%	8,3%	3,6%	0,3%	0,4%	0,1%	0,0%	0,7%	98,5%
S77	6,6	0,1%	0,8%	47,2%	51,8%	0,2%	0,0%	0,0%	55,3%	22,4%	0,0%	14,0%	5,9%
S78	32,0	11,4%	35,6%	29,5%	15,3%	6,5%	1,8%	0,2%	0,8%	0,8%	0,0%	0,5%	98,0%
S80	29,0	10,0%	16,8%	26,7%	26,0%	20,3%	8,2%	0,9%	1,3%	0,6%	0,1%	0,0%	97,8%
S82	10,3	0,0%	0,1%	0,4%	38,0%	54,0%	7,3%	0,2%	56,5%	38,1%	2,0%	1,3%	2,0%
S83	42,0	3,0%	3,3%	5,3%	8,3%	67,5%	11,5%	0,2%	43,8%	25,6%	0,2%	0,0%	29,9%
S86	14,8	0,1%	0,5%	3,6%	68,0%	27,6%	0,1%	0,0%	45,9%	30,5%	0,0%	2,5%	21,1%
S90	12,5	6,3%	6,1%	7,6%	40,7%	35,5%	3,5%	0,3%	42,5%	27,2%	0,1%	5,8%	25,0%
S91	18,5	1,6%	3,7%	7,6%	25,5%	43,8%	13,6%	4,1%	35,2%	0,6%	0,0%	0,1%	63,9%
S98	5,6	2,4%	0,2%	1,5%	67,5%	26,3%	2,1%	0,0%	56,8%	37,2%	0,4%	4,6%	1,0%
S99	4,0	0,0%	0,0%	0,0%	69,5%	29,1%	1,2%	0,0%	52,8%	38,5%	1,0%	5,1%	2,4%
S117	6,2	0,1%	19,4%	64,0%	16,0%	0,3%	0,1%	0,0%	46,2%	37,8%	2,0%	9,8%	3,6%
M1	6,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	32,6%	65,5%	1,8%	66,2%	10,3%	2,7%	2,6%	18,1%
M2	8,5	0,0%	0,0%	0,1%	0,3%	23,2%	72,9%	3,4%	83,5%	7,4%	2,2%	0,0%	6,6%
M3	5,5	0,0%	0,0%	1,8%	50,0%	44,9%	3,0%	0,2%	57,4%	12,9%	0,1%	3,8%	25,7%
M4	6,5	0,3%	36,2%	54,1%	9,3%	0,1%	0,0%	0,0%	59,5%	17,5%	0,1%	14,3%	8,6%
M5	10,0	0,2%	3,3%	44,3%	50,1%	1,9%	0,1%	0,0%	43,9%	3,6%	0,0%	34,2%	18,0%
M6	10,5	0,8%	2,1%	10,4%	64,1%	19,8%	2,5%	0,3%	41,2%	5,0%	0,0%	37,9%	15,8%
M7	5,0	24,4%	27,7%	36,3%	11,2%	0,3%	0,0%	0,0%	23,9%	3,8%	0,0%	44,8%	27,4%
M10*	9,5	2,0%	1,9%	4,3%	24,3%	44,0%	19,2%	2,9%	19,9%	3,2%	0,0%	3,4%	20,6%
M13*	19,0	1,0%	1,5%	7,6%	19,7%	16,6%	30,6%	22,5%	12,5%	0,0%	0,0%	0,5%	6,0%
M14*	20,0	0,7%	1,4%	6,8%	27,2%	25,6%	23,5%	14,5%	16,3%	2,3%	0,0%	0,8%	13,6%
M15	12,5	4,1%	0,9%	3,7%	14,1%	13,7%	52,0%	11,5%	28,3%	3,5%	0,0%	6,5%	22,9%
M16	22,0	10,8%	37,6%	35,9%	13,8%	1,9%	0,0%	0,0%	38,7%	14,8%	0,0%	36,3%	10,5%
M17	17,5	2,4%	31,6%	53,5%	11,7%	0,4%	0,1%	0,1%	44,4%	18,8%	0,1%	25,0%	10,6%
M18	21,0	11,2%	47,8%	36,8%	4,1%	0,1%	0,0%	0,0%	36,9%	31,6%	0,0%	26,4%	5,1%
M19	32,0	5,5%	20,8%	42,1%	20,7%	10,2%	0,5%	0,1%	21,8%	12,7%	0,1%	10,5%	54,8%
M20	33,0	3,3%	11,4%	31,5%	25,2%	22,2%	5,5%	0,6%	25,9%	11,3%	5,8%	10,8%	45,9%
M21	34,0	3,3%	18,5%	45,5%	20,1%	9,3%	2,8%	0,4%	36,3%	22,1%	0,1%	6,6%	34,3%
M22	34,0	2,9%	8,3%	13,9%	19,7%	43,3%	11,3%	0,5%	30,9%	12,0%	1,8%	4,5%	50,7%
M23	33,0	9,0%	16,1%	17,8%	25,6%	24,2%	6,2%	1,1%	28,5%	8,6%	3,4%	6,8%	52,7%
M24	33,5	3,1%	12,3%	43,0%	25,7%	11,4%	3,3%	0,9%	35,4%	11,5%	0,5%	6,8%	45,7%
M25	18,5	6,7%	29,7%	43,9%	17,0%	2,5%	0,1%	0,0%	37,2%	12,6%	0,4%	34,3%	15,3%
M26	18,0	2,9%	31,6%	54,4%	10,7%	0,4%	0,0%	0,0%	41,3%	16,9%	0,1%	32,0%	9,6%
M27	18,5	14,7%	41,4%	30,1%	11,0%	2,8%	0,0%	0,0%	39,4%	23,0%	0,2%	26,1%	11,2%
M28	16,0	0,6%	2,0%	9,3%	63,5%	21,7%	2,5%	0,1%	60,3%	19,5%	0,3%	14,1%	5,5%
M29	20,0	2,8%	0,8%	3,3%	9,5%	44,5%	26,7%	11,9%	40,9%	12,0%	1,7%	17,2%	8,8%
M30	4,5	0,7%	1,1%	6,9%	69,5%	21,5%	0,2%	0,0%	41,8%	4,7%	0,2%	11,7%	41,8%

* Totali inferiori al 100%, non è compresa la percentuale di componente organica.

Allegato 3

Archivio fotografico dei granuli

A titolo di supporto illustrativo delle analisi dei sedimenti vengono mostrate alcune delle più comuni tipologie di granuli individuate in piattaforma, con una breve nota descrittiva. Le prime pagine sono dedicate a granuli di natura terrigena e quelle successive a clasti di origine biologica.



Quarzo, plagioclasio e Kfeldspato



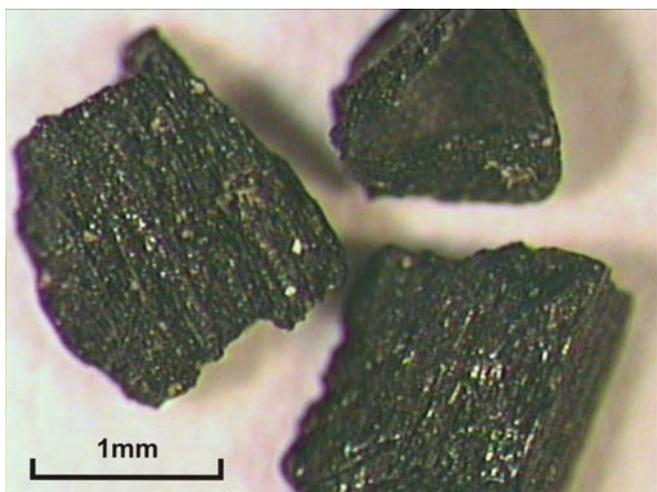
Litico prevalentemente quarzoso



K-feldspato



Granulo litico vulcanico



Granuli litici vulcanici



Granulo litico vulcanico



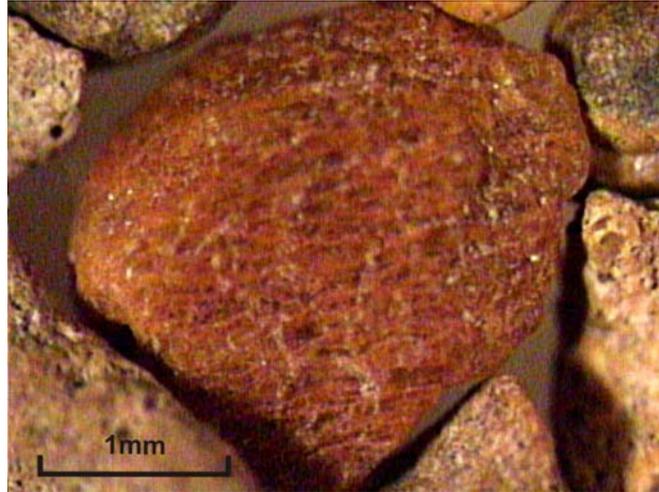
Pirosseno?



Litico andesitico



Litico vulcanico



Litico magmatico pertitico



Sanidino



Pirosseno?



Glaucosite



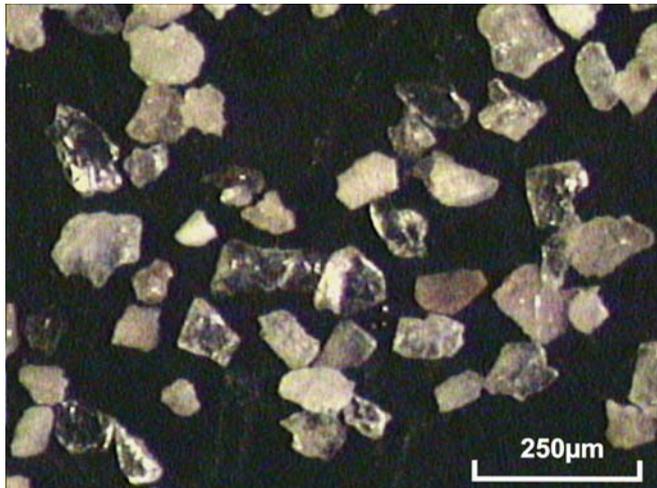
Biotite



Anfibolo?, Olivina?



Anfibolo?



Quarzo a spigoli vivi molto fine, componenti accessorie



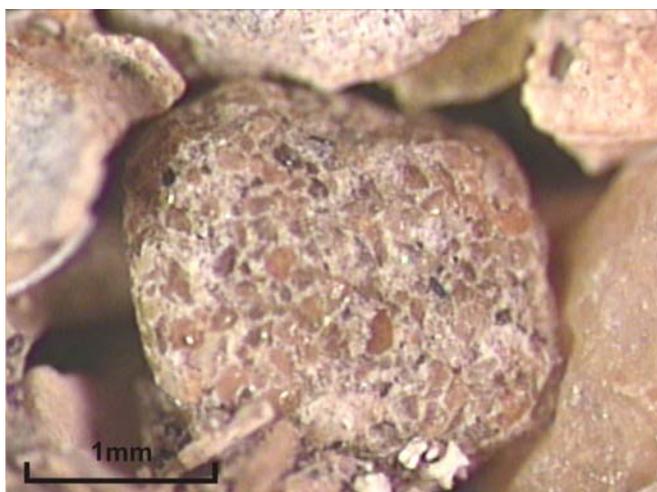
Litico calcareo (calclitico)



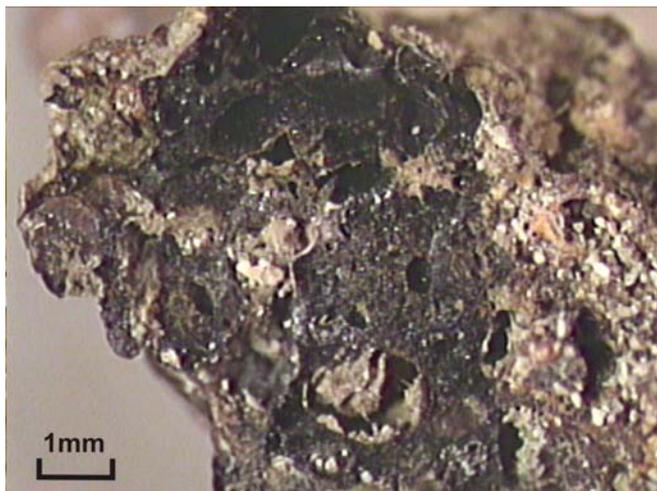
Litico terrigeno, cementato



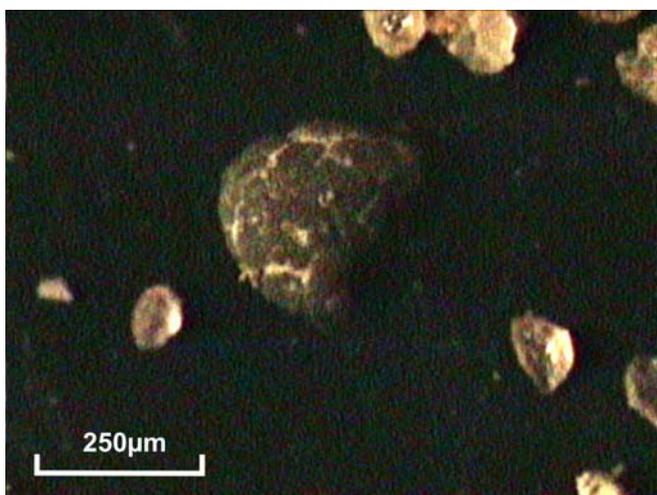
Litico terrigeno, arenaria cementata, miocenica?



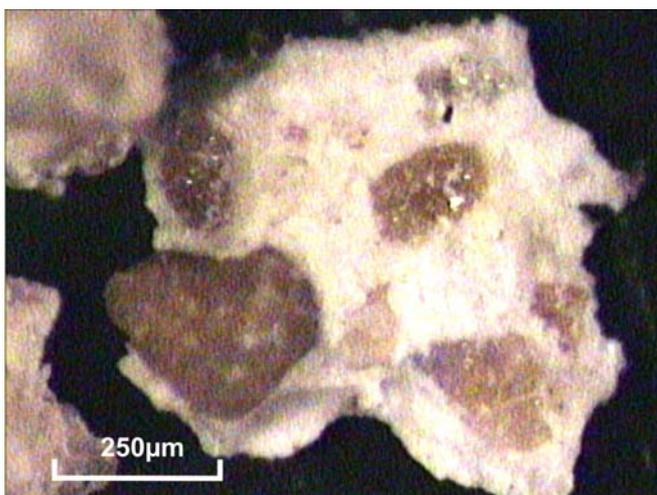
Arenaria cementata, età?



Granulo antropico, scoria di nave a vapore



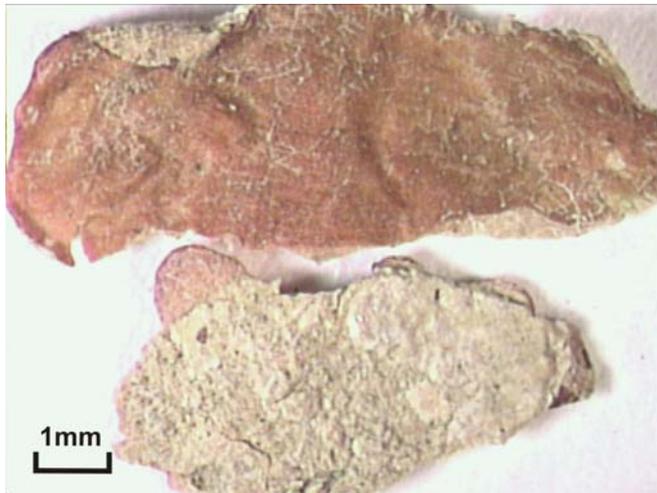
Modello interno di un foraminifero piritizzato



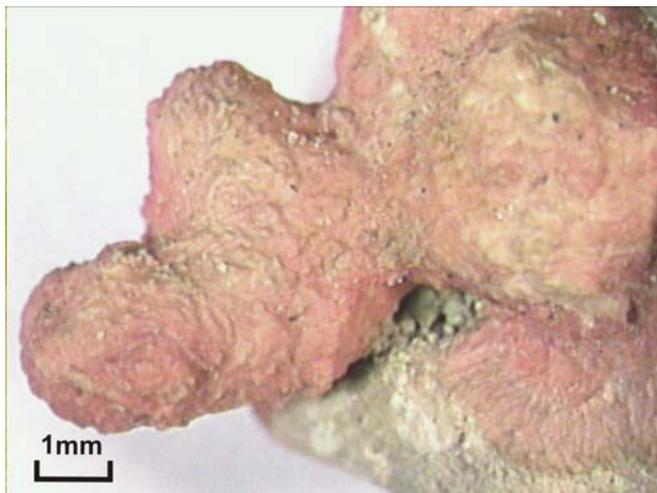
Carbonato di calcio cementante



Biolite algale



Peysonnelia sqamaria



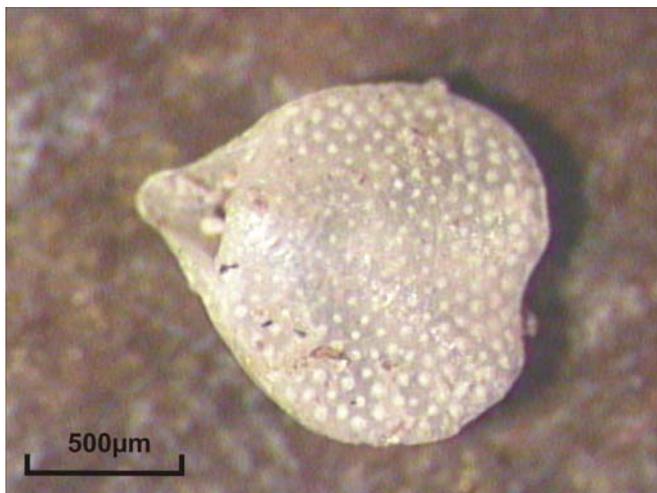
Racemo di alga rossa



Frammento di alga rossa non attuale



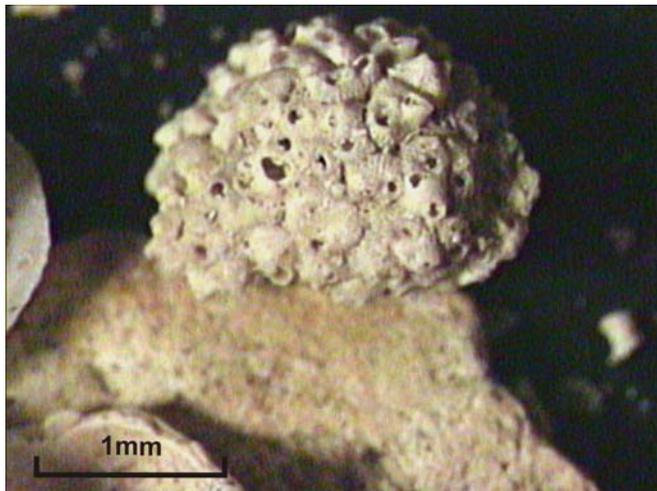
Algale *loose branched*, attuale



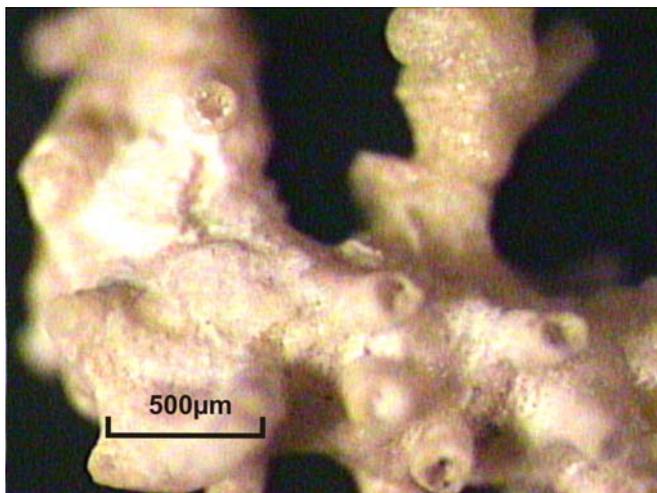
Piccolo brachiopode



Echinidi irregolari, *Pusillus*



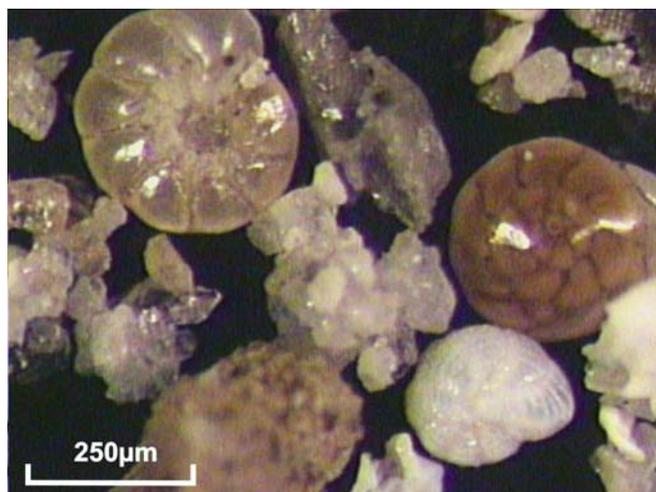
Colonia di briozoi



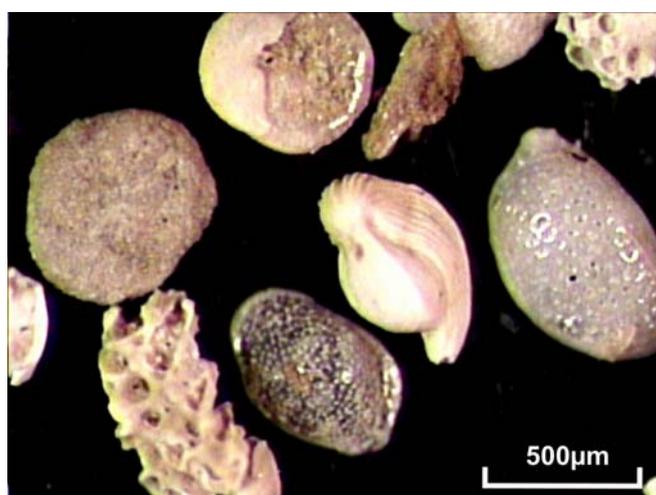
Colonia di briozoi ramificata



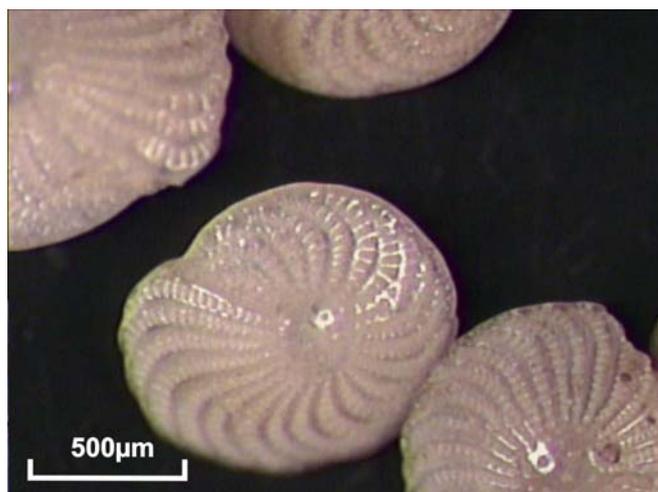
Scafopode



Associazione di foraminiferi bentonici



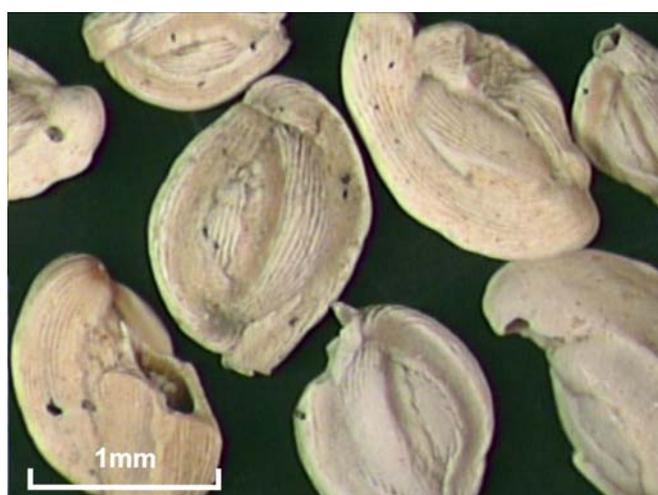
Foraminiferi ostracodi e briozoi



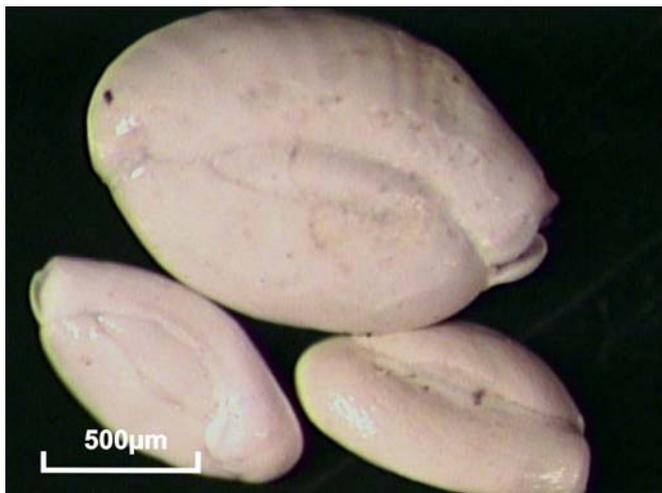
Foraminiferi bentonici (*Elphidium*)



Foraminiferi bentonici (*Ammonie*)



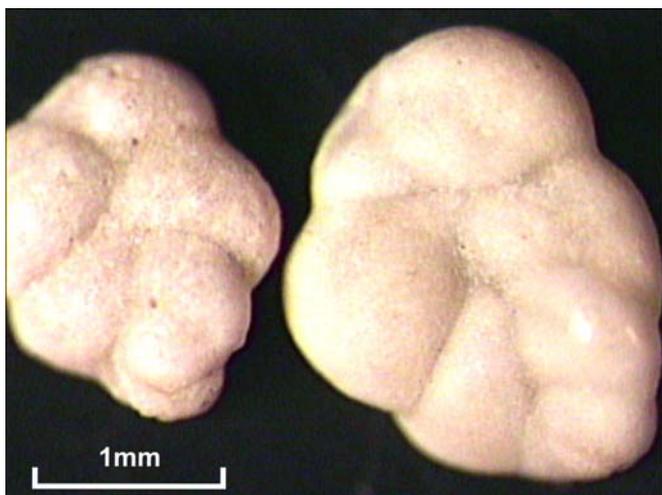
Miliolidi (*Quinqueloculine*)



Miliolidi (*Quinqueloculine*)



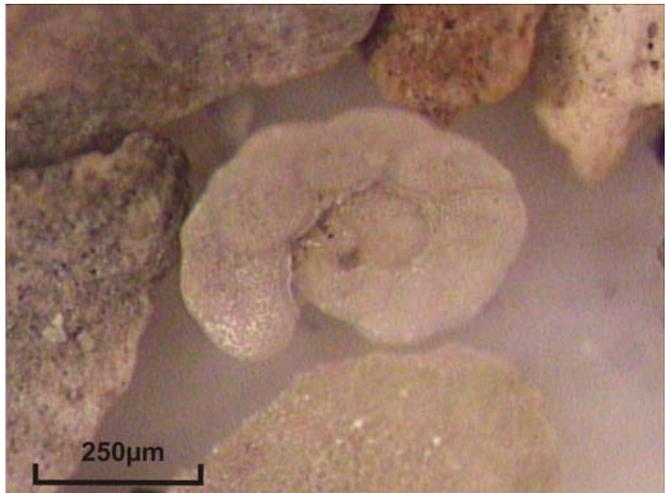
Miliolidi (*Quinqueloculine*)



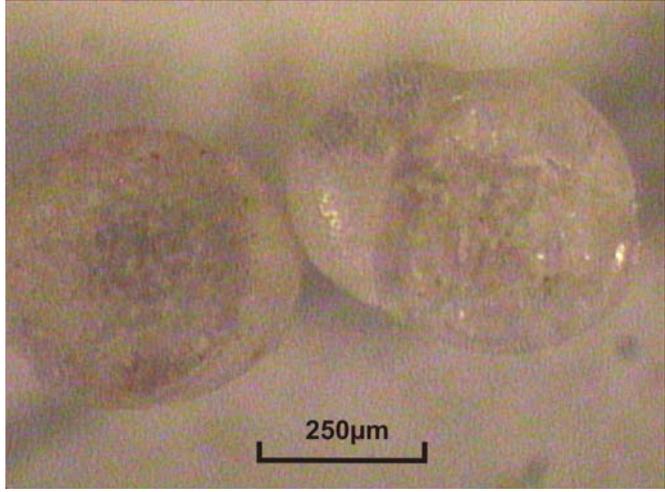
Foraminiferi bentonici



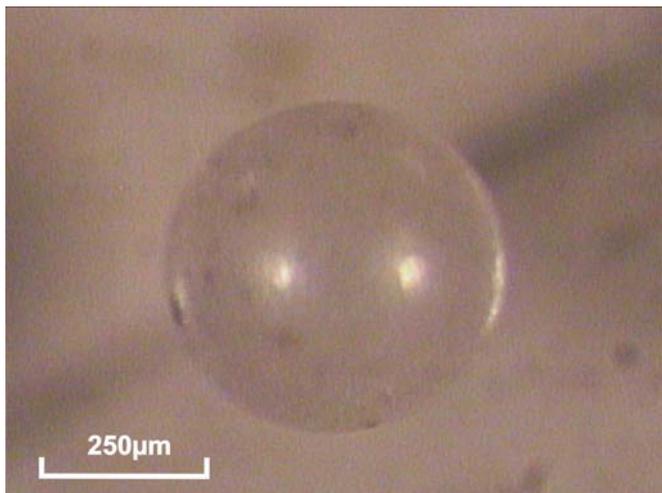
Foraminiferi bentonici



Foraminiferi



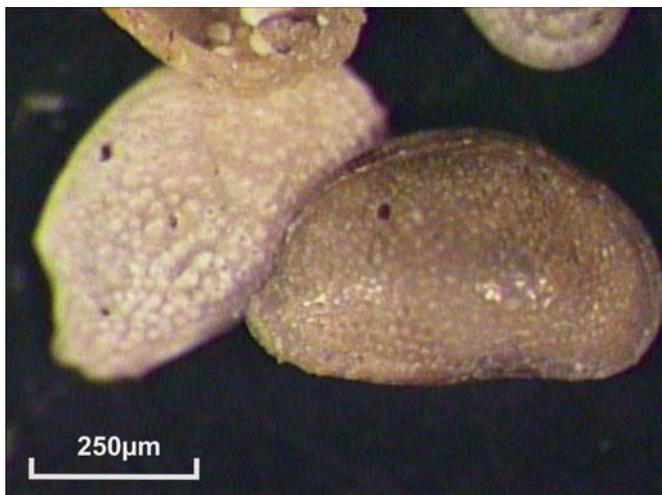
Foraminiferi



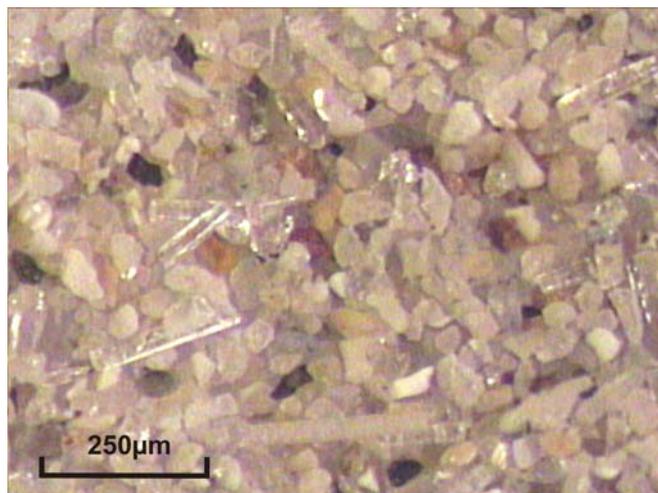
Foraminifero



Foraminifero



Ostracodi



Spicole silicee



Myriacina miniacea



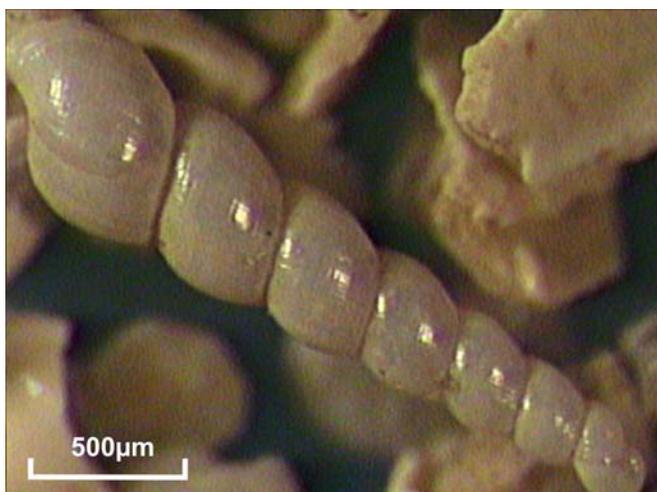
Bivalvi a guscio sottile dei fondali fangosi



Bivalvi a guscio sottile dei fondali fangosi



Aculei di echinidi regolari e gasteropode



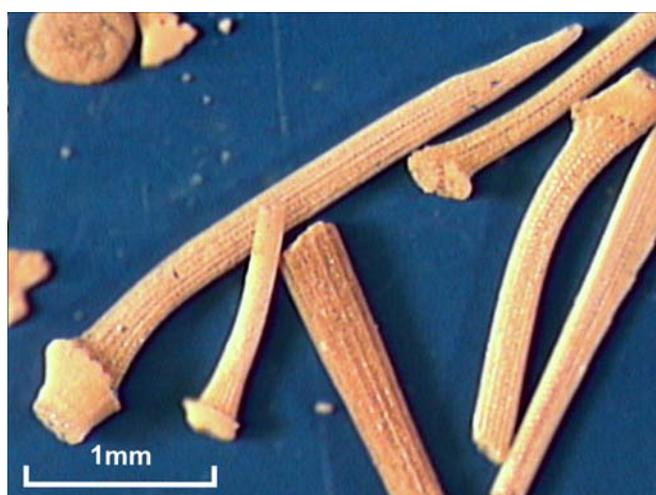
Gasteropode



Gasteropodi e bivalvi



Guscio di echinide regolare



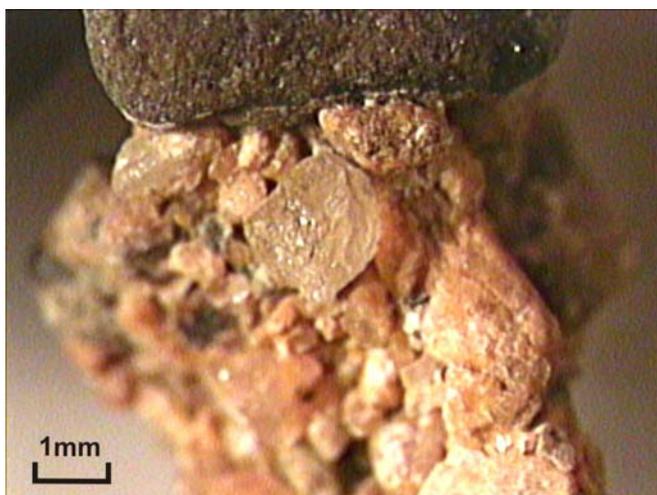
Radioli di echinide irregolari curvi e regolare (rettilineo)



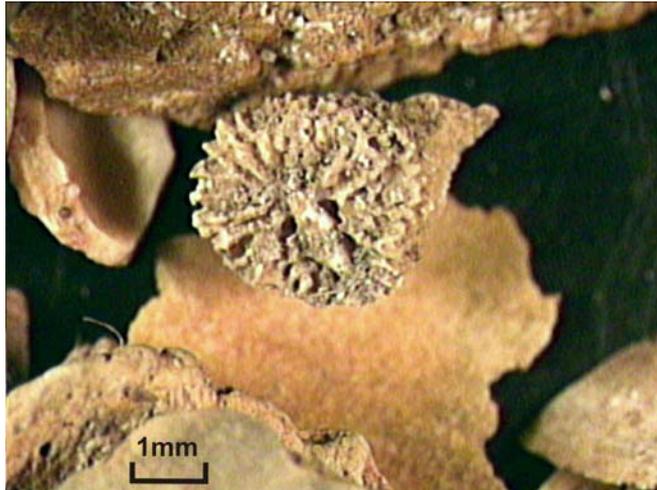
Guscio di echinide irregolare



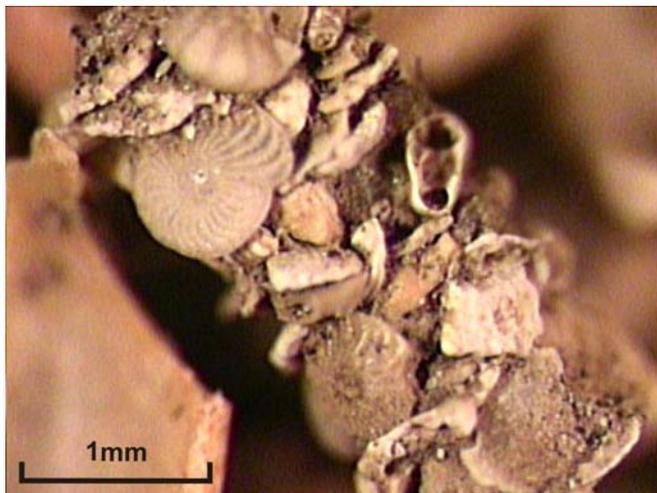
Fecal pellets fangoso-carbonatico (20% circa)



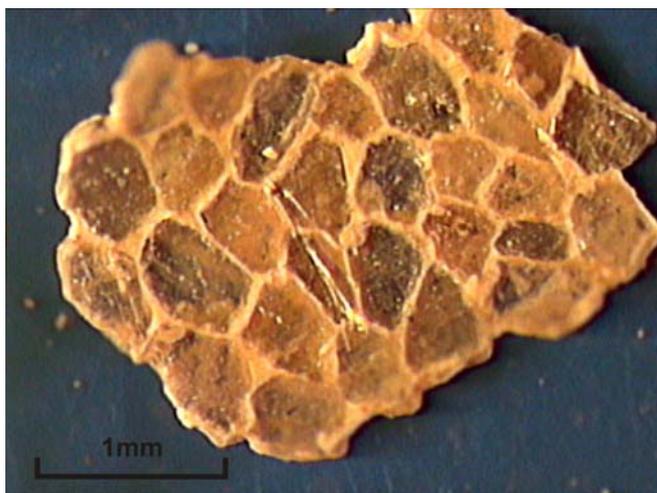
Cementazione carbonatica attuale



Corallo aermatipico subattuale



Tana di invertebrato



Tana di invertebrato

BIBLIOGRAFIA

- Acosta J., Herranz P., Mateu G., Sanz J.L., Canals M., Serra J., Casas A., Calafat A., Casamor J.L., Catafau E., San Gil C. (1992) - *Morphology and Sedimentary environments of the Menorca Canyon head*. Rapp. comm. int. Mer Médit., 33, 111.
- Adey W.H. & Macintyre I.G. (1973) - *Crustose coralline algae: a re-evaluation in the geological sciences*. Geol. Soc. Am. Bull., 84, 883-904.
- Allen, J. R. (1970). *Physical processes of sediment transport*. New York, NY: American Elsevier Publishing Company.
- Alvarez W., Coccozza T. and Wezel Forese C. (1974) - Fragmentation of the alpine orogenic belt by microplate dispersal. *Nature*, 248, 309-314
- Argand E. (1924) - *La tectonique de l'Asie*. C.R.13è Congr.Géol.Inter.Belgique (1922), 171-372.
- Ashley, G. M. (1990) - *Classification of large-scale subaqueous bedforms: A new look at an old problem*. *Journal of Sedimentary Petrology* 60(1):160-172.
- Assorgia, A., Balogk, K., Lecca, L., Ibba, A., Porcu, A., Secchi, F., Tilocca, G., (1994) *Volcanological characters and structural context of Oligo-Miocene volcanic succession from Central Sardinia (Italy)*. *Acc.Naz.delle Sc.,XL,XIV, (Rapporti Alpi-Appennino)*, 397-424.
- Assorgia A., Barca S. & Spano C. (1997) - *A synthesis on the Cenozoic stratigraphic, tectonic and volcanic evolution in Sardinia (Italy)*. *Boll.Soc.Geol.It.*, 116, 407-420.
- Barca S. e Ulzega A. (2005) – *Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio n.557 "Cagliari"* – APAT, Regione Autonoma della Sardegna
- Barca S. e Ulzega A. (2005) - *Note illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio n.557 "Cagliari"*. APAT, Regione Autonoma della Sardegna

- Beccaluva L., Brotzu P., Macciotta G., Morbidelli L., SERRI G. and TRAVERSA G. (1987) - *Caenozoic tectono-magmatic evolution and inferred mantle sources in the Sardo-Tyrrhenian area*. In: *The Lithosphere in Italy: Advances in Earth Science Research*. Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, 229 - 248.
- Beccaluva L., Civetta L., Macciotta G. and Ricci C. A. (1985) - *Geochronology in Sardinia: results and problems*. Rend. Soc. It. Min. Petr. 40, 57-72.
- Bianchi C., Dore G., Morri C., (1998) - *Guida del subacqueo naturalista mediterraneo e tropici* - Archivio Fotografico Sardo, Nuoro.
- Boccaletti M. & Guazzone G. (1972) *Gli archi appenninici, il Mar Ligure ed il Tirreno nel quadro della tettonica dei bacini di retro-arco*. Mem.Soc.Geol.It., 10, 53-63.
- Boccaletti M. & Guazzone G. (1974) *Il microcontinente sardo come un arco residuo di un sistema arco-fossa miocenico*. Rend.Sem.Fac.Sc.Univ.Cagliari, suppl. vol. XLIII, 1973, 57-68.
- Boguchwal, L. A., and J. B. Southard. (1990). *Bedform configurations in steady unidirectional water flows. Part 1: Scale model study using fine sands*. Journal of Sedimentary Petrology 60(5):649-657.
- Boothroyd, J. C. & Hubbard, D. K., (1975) - *Genesis of bedforms in mesotidal estuaries*. In: Cronin, L. E. (ed.), *Estuarine Research, Volume II: Geology and Engineering*, pp. 217-234, Academic Press, New York,USA, 1975.
- Bokuniewicz, H. J., R. B. Gordon, and K. A. Kastens (1977) - *Form and migration of sand waves in a large estuary, Long Island Sound*. *Marine Geology* 24:185-199.
- Boudoresque C.F., Meinesz A. & Verlaque M. (1992) – *Guides des algues des mers d'Europe. Méditerranée*. Delachaux et Niestlé, 139-219.
- Burollet P.F. (1981) – *The Pelagian Sea east of Tunisia: bioclastic deposit under temperate climate*. *Marine Geology*, 44, 157-170.
- Carannante G., Cherchi A., Simone S. (1994) — *Chlorozoan versus foramol lithofacies in Upper Cretaceous rudist limestones* — *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 119, 137–154.
- Carannante G., Esteban M., Milliman J.D. & SIMONE L. (1988) – *Carbonate lithofacies as paleolatitude indicators: problems and limitations*. *Sedimentary Geology*, 60, 333–346.

- Carboni S & Lecca L. (1985) – *Osservazioni sul Pleistocene medio-superiore della Penisola del Sinis (Sardegna occidentale)*. Boll.Soc.Geol.It., 104, 459-477.
- Carboni S. & Lecca L. (1992) – *Quaternary carbonate sedimentation in the western Sardinian Shelf*. XXXIIIe Congr.-Ass. Plénière de la CIESM, Trieste 1992, 123.
- Carboni S. & Lecca L. & Ferrara C. (1989) – *La discordanza versiliana sulla piattaforma continentale occidentale della Sardegna*. Boll.Soc.Geol.It., 108, 503-519.
- Carmignani L., Oggiano G., Barca S., Conti P., Salvadori I., Eltrudis A., Funedda A., Pasci S. (2001) - *Carta Geologica della Sardegna, scala 1:200.000*. Servizio Geologico Nazionale.
- Carta M., Del Fa' C., Ulzega A. & URAS I. (1986) – *La piattaforma continentale sarda, studi geogiacimentologici, geofisici, sedimentologici e di valorizzazione dei minerali contenuti*. In P.F.Oceanografia e Fondi Marini, Sottoprogetto Risorse Minerarie, Rapporto tecnico finale, CNR, Roma 1986, 1-35.
- Casula G., Cherchi A., Montadert L., Murru M. & Sarria E. (2001) - *The Cenozoic graben system of Sardinia (Italy): geodynamic evolution from new seismic and field data*. Marine and petroleum geology, 18, 863-888.
- Cherchi A. and Montadert L. (1982) - *The Oligo-Miocene Rift of Sardinia and early history of the western mediterranean basin*. Nature, 298, 736 - 739.
- Cherchi A. & Murru M., (1985) - *Plio-Quaternary Campidano graben*. In Cherchi A. ed, European Micropal.. Coll. Sardinia Oct. 1-10 1985, 105-112.
- Cojan I. & Renard M. (1999) - *Sédimentologie* - Dunod, Paris.
- Colantoni P., Ligi M., Morsiani M. P., Penitenti D., (1993) – *Morphology and recent sedimentary evolution of the western Sicilian Continental Shelf Geological development of the Sicilian-Tunisian Platform*. Unesco Reports in Marine Science, 58, 93-98.
- Coulon C. (1977) *Le volcanisme calco-alcaline cénozoïque de Sardaigne (Italie): pétrographie, géochimie et genèse des laves andesitiques et des ignimbrites. Signification géodynamique*. Thèse Univ. Marseille, 1- 370.
- D'angelo G. & Gargiullo S. (1978) – *Guida alle conchiglie mediterranee*. Fabbri ed., Milano, 224 pp.

- Dalrymple, R.W., Zaitlin, B.A., Boyd, R., (1992) - *Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications*. *Journal Sedimentary Petrology* 62, 1130-1146.
- De Muro S. e Kalb C. (2003) – *Geo-Lithological map of seafloor between Capo Boi and Torre de su Fenugu – SE Sardinia*. *Atti del Convegno “Geosed 2003”*, pp. 143-149. Alghero, Italia.
- De Muro S. & Orrù P. (1998) – *Il contributo delle beach-rock nello studio della risalita del mare olocenico. Le beach-rock post-glaciali della Sardegna nord-orientale*. *Il Quaternario*, 11 (1), 19–39.
- Diaz Del Rio V., Somoza L., Goy J.L., Zazo C., Rey J., Hernandez Molina F.J. (1992) - *Quaternary features in Palma Bay (Balears, Spain) and surrounding littoral areas: a physiographic approach*. *Rapp. comm. int. Mer Médit.*, 33, 127.
- Duncan, C. S., J. A. Goff, J. A. Austin, and C. S. Fulthorpe (2000) - *Tracking the last sea level cycle: seafloor morphology and shallow stratigraphy of the latest Quaternary New Jersey middle continental shelf*, *Mar. Geol.*, 170, 395-421.
- Fairbanks, R. G., (1989): *A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: Influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation*. *Nature*, 342, 637–642
- Fanucci F., Fierro G., Ulzega A., Gennesseaux M., Rehault J. P. and Viaris De Lesegno L. (1976) - *The continental shelf of Sardinia: structure and sedimentary characteristics*. *Boll. soc. geol. It*, 95,
- Finetti I.R., Del Ben A, Fais S., Forlin E., Klingele E., L. Lecca, Pipan M., Prizzon A. (2005) - *Crustal tectono-stratigraphic setting and geodynamics of the Corso-Sardinian Block from new CROP seismic data*. In I.R.Finetti editor. *Crop Deep seismic exploration of Mediterranean region*. Elsevier, 413-446.
- Fornos J.J., Forteza V., Jaume C., Martinez-Taberner A. (1991) – *Present-day Halimeda carbonate sediments in temperate Mediterranean embayments: Fornells, Balearic Islands*. *Sedimentary Geology*, 75, 283–293.
- Fornos J.J. & Ahr W.M. (1997) – *Temperate carbonates on a modern, low-energy, isolated ramp: the balearic platform, Spain*. *Journal of Sedimentary Reserch*, 67, 364–373.

- Inman D.L. (1952) – *Measures for describing the size distribution of sediments*. Jour. Sed. Petr., 22, 35, 354-365.
- Funedda A., Oggiano G. & Pasci S. (2000) - *The Logudoro basin: a key area for the tertiary tectono-sedimentary evolution of North Sardinia*. Boll.Soc.Geol.It., 119, 31-38.
- Gabel, S. L. (1993) - *Geometry and kinematics of dunes during steady and unsteady flows in the Calamus River, Nebraska, U.S.A.* Sedimentology 40:237-269.
- Gandin A., (1970) - *Dati preliminari sulle microforme di tre sondaggi nel Golfo di Cagliari*. Boll. Soc. Geol. It., 89, 507-512.
- Gandin A. (1979) *Considerazioni ecologiche e stratigrafiche su tre sondaggi nel Golfo di Cagliari*. Giornale di Geologia, serie 2, XLIII, 103-136.
- Gazale V. & Porcheddu A. (1993), - *Guida pratica alla flora e fauna marina della Sardegna*. A.F.S., Nuoro.
- Gostin V.A., Hails J.R., Belperio A.P. (1984 a) - *The sedimentary framework of northern Spencer Gulf, South Australia*. Marine Geology, 61, 111–138.
- Haq B.U. *et alii* (1987) - *Mesozoic-Cenozoic Cycle chart*. Version 3.1°. In *Wilgus C.K. et alii eds. Sea-level changes: an integrated approach*. S.E.P.M. 42.
- Harland W.B., Armstrong R.L., Cox A. V., Craig I. e. Smith A.G. and Smith D.G. (1989) - *A geologic time scale*. Cambridge univ. press.
- Ibba Giampaolo (1994-95) - *Determinazione dei parametri idrogeologici e idrodinamici dell'acquifero compreso tra Assemmini e Capoterra*. Tesi di laurea inedita, Corso di Laurea Sc. Geologiche. Relatore Antonio Pala. Univ. Cagliari, 1-65, stratigrafie sondaggi, carta geologica e idrogeologica.
- I.G.M.I. (1994) – *Carta topografica d'Italia serie 50L Scala 1:50.000 – Fogli: 557 Cagliari; 565 Capoterra; 566 Pula; 567 Villasimius; 571 Teulada*. Istituto Geografico Militare.
- I.G.M.I. (1994) – *Carta Topografica d'Italia serie 25L scala 1:25.000 varie sezioni*. Istituto Geografico Militare.
- I.I.M.I. (1990) – *Carta Nautica 45: da Capo Carbonara a Capo Spartivento scala 1:100.000*. Istituto Idrografico della Marina Italiana – Genova, febbraio 1990 – 2a edizione.

- I.I.M.I. (1999) – *Carta Nautica 299: Litorale di Cagliari. Scala 1:30.000*. Istituto Idrografico della Marina Italiana. Genova, novembre 1999 – 2a edizione.
- Inman D.L. (1952) – *Measures for describing the size distribution of sediments*. Jour. Sed. Petr., 22, 35, 354-365.
- Johnson J.H. (1962) – *The algal genus Lithothamnium and its fossil representatives*. Golden, Colorado, Colorado School of Mines, vol. 57, 1, 1-111.
- Johnson J.H. & ADEY W. H. (1965) – *Studies of Lithophyllum and related algal genera*. Golden, Colorado, Colorado School of Mines, vol. 60, 1, 1-105.
- Lecca L., Carboni S., Scarteddu R., Sechi F., Tilocca G. & Pisano S., (1986) - *Schema stratigrafico della piattaforma continentale occidentale e meridionale della Sardegna*. Mem. Soc. Geol. It. 36, 31-40.
- Lecca L., De Muro S., Cossellu M. e Pau M. (2005) – *I sedimenti terrigeno-carbonatici attuali della piattaforma continentale del Golfo di Cagliari*. Il Quaternario (Italian Journal of Quaternary Sciences) 18(2), 2005, pp.201-221.
- Lecca L., Lonis R., Luxoro S., Melis F., Secchi F., Brotzu P. (1997) - *Oligo Miocene volcanic sequences and rifting stages in Sardinia: a review* - Per. Mineral., 66 7-61.
- Lecca L., Panizza V. e Pisano S. (1998) – *The sedimentary frameworks of Cagliari basin: a Plio-Quaternary underfed rift basin in the southern Sardinia margin*. Il Quaternario (Italian Journal of Quaternary Sciences), 11(2), 1998, pp. 301-318.
- Maxia C. & Pecorini G. (1968) *Il Quaternario della Sardegna. Atti del X congresso intern. Di Studi sardi-Simposio su Quaternario della Sardegna*. 59-69. Fossataro, Cagliari.
- Marini A. and Murru M. (1983) -*Movimenti tettonici in Sardegna fra il Miocene superiore ed il Pleistocene*. «Geogr. Fis. Din. Quatern.», 6, 39-42.
- Martinson D.G., Pisias N.G., Hays J.D., Imbrie J, Moore T.C. & Shackleton N.J. (1987) - *Age dating and the orbital theory of the Ica Ages: development of a high-resolution 0 to 300.000 year chronostratigraphy*. Quat. Res., 27, 1-29.
- Mateu G. (1989) – *La Bahía de Palma de Mallorca (Balears-Espana) y los recientes estudios geosímicos, bionómico-sedimentarios y micropaleontológicos en un litoral de difícil regeneración antropica*. Rev. Cièn. (IEB), 4, 65-81.
- McCave, I. N. (1971) - *Sand waves in the North Sea off the coast of Holland*. Marine Geology 10:199-125

- Metallo A. (1971) – *Correnti marine e temperature delle acque superficiali*. In Pracchi R. & Terrosu-Asole A., *Atlante della Sardegna*. La Zattera editrice Cagliari, 17-19, tavv. 9-10
- Mosetti F. (1977) – *Le acque, il nostro universo*. Utet, Torino, 579 pp.
- Mörner, N.-A., Tooley, M. and Possnert, G. (2004) - *New perspectives for the future of the Maldives*. *Global and Planetary Change* 40: 177-182.
- Oggiano G., Funedda A. & Pasci S. (1995) *Il Bacino di Chilivani-Berchidda: un esempio di struttura transtensiva. Possibili relazioni con la geodinamica Cenozoica del Mediterraneo occidentale*. *Boll.Soc.Geol.It.*, 114, 465-75.
- NEWTON R.S. & STEFANON A. (1982) - *Side-scan sonar and subbottom profiling in the Northern Adriatic Sea*. *Marine Geology*, 46, 279–306.
- Oggiano G., Pasci S., and Funedda A. (1995) - *Il bacino di Chilivani - Berchidda: un esempio di struttura transtensiva. Possibili relazioni con la geodinamica cenozoica del Mediterraneo occidentale*. *Boll.Soc.Geol.It.*, 114, 465 - 475.
- Orrù P., Antonioli F., Lecca C., Panizza V., Pintus M. & Puliga G. (2005) - *Evoluzione olocenica della piana costiera di Cagliari*. *Convegno Nazionale A.I.Geo. Montagne e Pianure recenti sviluppi della ricerca in Geografia fisica e Geomorfologia*, Padova, 15-16-17 febbraio 2005, p. 153-155 Poster 51
- Ottonello G., (1997) - *Principle of geochemistry*. Columbia University press. 894 pp
- Pala A., Pecorini G. & Porcu A. (1976) - *Struttura idrogeologica della Soglia di Siliqua tra la Fossa del Campidano e la Fossa del Cixerri (Sardegna Meridionale)*. *Boll.Soc.Geol.It.*, 95, 705-724.
- Pala, A., Pecorini, G., Porcu, A. and Serra, S., (1982) - *Geologia e idrogeologia del Campidano*. *CNR-PFE-RF 10*: 87-103
- Parentoën M., Gourrion J., Tisseau J., (2003) - *Les états de mer: un état de l'art; le marin, l'océanographe, l'infographiste*. *Actes des 16e journées de l'AFIG*, 129-140, Université de Paris 8, France, 03-05 Décembre.
- Pecorini G. (1966) - *Sull' età "oligocenica" del vulcanismo al bordo orientale della fossa tettonica del Campidano (Sardegna)*. *Acc. Naz. Lincei*, 33, 1058-1065.
- Pecorini G. (1986) – *Considerazioni geomorfologiche intorno a S. Igia (Stagno di S. Gilla, Cagliari)*. In “*S. Igia, Capitale Giudiciale*”, *Ist. Storia Medioevale*, Univ. Cagliari, ETS ed. Pisa, 15-20.

- Pecorini G. & Pomesano Cherchi A. (1969) – *Ricerche geologiche e biostratigrafiche sul Campidano meridionale (Sardegna)*. Mem. Soc. Geol. It., 8, 421-451.
- Pérès J.M. & Picard J. (1964) – *Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée*. Rec. Trav. Sta. Mar. Endoume, Bull., 31, 59–63.
- Piccazzo M., Tedeschi D. & Vannucci G. (1981) – *Analisi di sedimenti marini superficiali della sardegna meridionale*. Quaderni dell’Istituto di Geologia della Università di Genova, 2, 39-60.
- Pinna M. (1971) – *Piovosità e tipi di clima in Sardegna*. In Pracchi R. & Terrosu-Asole A., Atlante della Sardegna. La Zattera editrice Cagliari, 49-57, tav.26.
- Pittau Demelia P & Loi C., (1981) - *Stratigrafia palinologica del Golfo di Cagliari*. Geografia Fis.Dinam.Quatern., 5, 1-6.
- Puddu E. (2006) – *I sedimenti terrigeno-carbonatici della piattaforma continentale del Golfo di Cagliari circostante il Capo S.Elia*. Tesi di laurea inedita – Università di Cagliari.
- Raimondi S., Baldacini P. & Madrau S. (1995) – *Il clima ed il pedoclima dei suoli della Sardegna durante gli anni 1951-80*. In Soc.It.Sc.suolo, Conv. Ruolo della Pedologia, Cagliari 1995, 299-308.
- Rehault J. P., Boillot G. and Mauffret A. (1984) - *The western mediterranean Basin geological evolution*. Mar. Geol. 55, 447-477.
- RIDING R. (2002) – *Structure and composition of organic reefs and carbonate mud mounds: concepts and categories*. Earth-Science Review, 58, 163-231.
- Riedl R. (1991) – *Fauna und Flora des Mitterlmeeres*. Verlag Paul Parey, Hamburg–Berlin, 777 pp.
- Serra M. Simonetta (1983-84) - *Il Quaternario nel sottosuolo di santa Gilla (Cagliari-Elmas-Assemini)*. Tesi di laurea inedita, Corso di Laurea Sc. Geologiche. Relatore Giuseppe Pecorini. Univ. Cagliari, 1-121. Allegati: stratigrafie dei sondaggi e carta geologica.
- Sau A., Lecca L., Lonis R., Secchi F. & Fercia M.L. (2005) - *La seconda fase del Rift Sardo: evoluzione e vulcanismo dei sub-bacini transtensionali di Ardara-Chilivalni e di Bonorva (Sardegna settentrionale)*. Boll.Soc.Geol.It. , 124, 3-20.
- Soulsby, R. (1997) - *Dynamics of marine sands*. London, UK: Thomas Telford.

- Southard, J. B. (1971) - *Presentation of bed configurations in depth-velocity-size diagrams*. Journal of Sedimentary Petrology 41(4):903-915.
- Southard, J. B., and L. A. Boguchwal. (1990) - *Bedform configurations in steady unidirectional water flows: Part 2: Synthesis of flume data*. Journal of Sedimentary Petrology 60(5):658-679.
- Spano C. & Barca S. (2002) – *Ecobiostratigraphic, lithostratigraphic, depositional and sythemic setting of cenozoic units in southern Sardinia (Italy)*. Boll.Soc.Geol.It. 121, 19-34.
- Swanson R.G. (1985) – *Sample Examination Manual*. AAPG, 35 pp..
- Tapponnier P. (1977) - Evolution tectonique du système alpin en Méditerranée: poinçonnement et écrasement rigide-plastique. Bull.Soc.Géol.Fr., 19, 437-460.
- Tilocca G. (1984) - *Geologia della Piattaforma Meridionale Sarda Dal Golfo di Palmas a Capo Pula*. Tesi di Laurea inedita, Univ.Cagliari, 1-120
- Ulzega A., Leone F., Orrù P. (1986) – *Geomorphology of Submerged Late Quaternary Shorelines on the South Sardinian Continental Shelf*. Journal of Coastal Research, SI (1), 73–82.
- Unesco (1977) – *Marine ecosystem modelling in the Mediterranean – Report of the Second Unesco Workshop on Marine Ecosystem Modelling*. UNESCO Reports in Marine Sciences, 1-111.
- J.R. Vanney, (1977) - *Géomorphologie des plates-formes continentales*, DOIN, 300 p.
- van Rijn, L. C. (1984). *Sediment transport: Part III: Bed forms and alluvial roughness*. Journal of Hydraulic Engineering 110(12):1,733-1,754
- Vardabasso S. (1963) - *Die ausseralpine taphrogenese im Kaledonisch-variszisch konsolidierten sardischen vorlande*. Sonderdruck aus der Geologischen Rundschau band, 53, 613-630.
- Ward, J. H. (1963) - *Hierarchical grouping to optimize an objective function*. J. Am. Statist. Assoc. 58, 236-244.
- Yalin, S. M. (1977). Sand Waves. In Chapter 7, *Mechanics of sediment transport*, Second Edition, 209-265. Oxford: Pergamon Press.
- Zarillo, G. A. (1982) - *Stability of bedforms in a tidal environment*. Marine Geology 48:337-351.

