



CARTE PARTICULIÈRE
DE LA
CÔTE MÉRIDIIONALE DE SARDAIGNE

DEPUIS LA TOUR DE PILA JUSQU'AU CAP SAINT-ELLE;
PARTIE OCCIDENTALE DU GOLFE DE CAGLIARI.

Levée en 1842,

par M. Jurien-Lagravière, Capitaine de Corvette, commandant le Brick la Comète,
MM. J. de la Roche, Supérieur Hydrographe de la Marine,
L. Gaussin, Chef Hydrographe,

Ajoutés de MM. A. de Larninat et C. Ferrand, Lieutenant de Vaisseau
et de MM. J. Anse et P. Larriou, Enseigne de Vaisseau.

PUBLIÉE PAR ORDRE DU ROI

Sous le Ministère de M. le Baron DE MACKAU,
Commissaire Général de la Marine.

Au Dépôt-général de la Marine
en 1846.

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra
XX Ciclo

**I SEDIMENTI SUPERFICIALI DELLA PIATTAFORMA INTERNA DEL
GOLFO DI CAGLIARI.
RELAZIONI TRA MOTO ONDOSO, CORRENTI INDOTTE E
PROCESSI DI SEDIMENTAZIONE SU
SISTEMI DI SPIAGGIA CAMPIONE**

AVERTISSEMENT.

Les chiffres de sondes expriment, en mètres, les profondeurs de l'eau.
Les chiffres de sondes sont par conséquent, en mètres, les hauteurs de l'eau.
Les chiffres de sondes sont par conséquent, en mètres, les hauteurs de l'eau.

Le point de sondage est au point de l'ouest de l'île de Sant'Elia, sur la côte occidentale de Cagliari. Les sondes de l'île de Sant'Elia ont été levées par le capitaine de la Marine, M. de la Roche, le 10 août 1842. Les sondes de l'île de Sant'Elia ont été levées par le capitaine de la Marine, M. de la Roche, le 10 août 1842. Les sondes de l'île de Sant'Elia ont été levées par le capitaine de la Marine, M. de la Roche, le 10 août 1842.

Le point de sondage est au point de l'ouest de l'île de Sant'Elia, sur la côte occidentale de Cagliari. Les sondes de l'île de Sant'Elia ont été levées par le capitaine de la Marine, M. de la Roche, le 10 août 1842. Les sondes de l'île de Sant'Elia ont été levées par le capitaine de la Marine, M. de la Roche, le 10 août 1842.

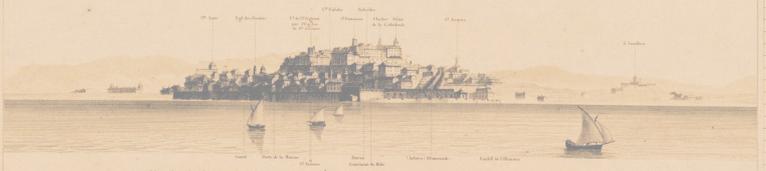
Le point de sondage est au point de l'ouest de l'île de Sant'Elia, sur la côte occidentale de Cagliari. Les sondes de l'île de Sant'Elia ont été levées par le capitaine de la Marine, M. de la Roche, le 10 août 1842. Les sondes de l'île de Sant'Elia ont été levées par le capitaine de la Marine, M. de la Roche, le 10 août 1842.

Le point de sondage est au point de l'ouest de l'île de Sant'Elia, sur la côte occidentale de Cagliari. Les sondes de l'île de Sant'Elia ont été levées par le capitaine de la Marine, M. de la Roche, le 10 août 1842. Les sondes de l'île de Sant'Elia ont été levées par le capitaine de la Marine, M. de la Roche, le 10 août 1842.

Le point de sondage est au point de l'ouest de l'île de Sant'Elia, sur la côte occidentale de Cagliari. Les sondes de l'île de Sant'Elia ont été levées par le capitaine de la Marine, M. de la Roche, le 10 août 1842. Les sondes de l'île de Sant'Elia ont été levées par le capitaine de la Marine, M. de la Roche, le 10 août 1842.

**Tesi di:
Dott. Claudio Kalb**

**Tutor:
Prof. Sandro De Muro
Prof. Luciano Lecca**



Vue de Cagliari prise du point A, à b de matin, au mouillage le plus rapproché des grands bâtimens.

Les chiffres de sondes expriment des Mètres.

Table de réduction des Mètres en Brasses et en Pieds.

Mètres	Brasses	Pieds	Mètres	Brasses	Pieds	Mètres	Brasses	Pieds
1	1 1/2	3	11	20 1/2	23 1/2	21	39 1/2	45 1/2
2	3	6	12	22	24 1/2	22	41	47 1/2
3	4 1/2	9	13	23 1/2	25 1/2	23	42 1/2	49 1/2
4	6	12	14	25	26 1/2	24	44	51 1/2
5	7 1/2	15	15	26 1/2	27 1/2	25	45 1/2	53 1/2
6	9	18	16	28	28 1/2	26	47 1/2	55 1/2
7	10 1/2	21	17	29 1/2	29 1/2	27	49 1/2	57 1/2
8	12	24	18	31	30 1/2	28	51 1/2	59 1/2
9	13 1/2	27	19	32 1/2	31 1/2	29	53 1/2	61 1/2
10	15	30	20	34	32 1/2	30	55 1/2	63 1/2

CAGLIARI, 2008

Longitude Orientale du Méridien de l'Observatoire Royal de Paris.





UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali
Dottorato di ricerca in Scienze della Terra
XX Ciclo

**I SEDIMENTI SUPERFICIALI DELLA PIATTAFORMA
INTERNA DEL GOLFO DI CAGLIARI.
RELAZIONI TRA MOTO ONDOSI, CORRENTI INDOTTE E
PROCESSI DI SEDIMENTAZIONE SU SISTEMI DI SPIAGGIA
CAMPIONE**

Tesi di:

Dott. Claudio Kalb

Tutor:

Prof. Sandro De Muro

Prof. Luciano Lecca

CAGLIARI, 2008

渡

oceano

*Distesa infinita, mare lucente pieno di vita,
estensione turbolenta, in perenne movimento,
libera e sciolta sotto il cielo brillante.
Chi vive sulla terra non comprende la vita del mare.
Chi vive sulla costa conosce i tuoi umori;
ti naviga, ma alla fine è impotente.
Inutili le rotte, alla deriva l'unica realtà:
le paure del marinaio si dissolvono nell'accettazione*

DENG MING-DAO

INDICE

Premessa.....	7
Obiettivi	7
Conoscenze precedenti.....	8
<i>Abstract</i>	9
PARTE I:.....	
I SEDIMENTI SUPERFICIALI DELLA PIATTAFORMA INTERNA DEL GOLFO DI CAGLIARI	13
1.1 Inquadramento geografico	15
1.2 Inquadramento geologico.....	21
1.3 Inquadramento meteomarino	26
1.4 Acquisizione e analisi dei dati	33
1.4.1 Dati da analisi bibliografica	33
1.4.2 Dati di nuova acquisizione.....	43
1.4.3 Posizionamento dati mare	51
1.4.4 Profili ecografici <i>single-beam</i> , <i>multi-beam</i> e <i>side scan sonar</i>	51
1.4.5 Schema batimetrico.....	52
1.4.6 Linea di costa e cartografia di riferimento adottata	54
1.5 Analisi dei campioni	55
1.5.1 Componente terrigena.....	55
1.5.2 Componente bioclastica	56
1.5.3 Preparazione di sezioni sottili	57
1.5.4 Analisi delle sezioni sottili – sabbie.....	58
1.5.5 Preparazione e studio dei campioni per la determinazione delle età radiometriche	59
1.5.6 Analisi delle sezioni sottili – rocce	61
1.5.7 <i>Cluster Analysis</i> - Studio statistico e raggruppamento di dati	62
1.5.8 Scelta della Classificazione per la rappresentazione cartografica	77
1.5.9 Determinazione delle <i>facies</i>	79
1.6 Legenda Carta tessiturale e delle associazioni di <i>facies</i>	85
1.7 Note sulla Prateria di <i>Posidonia oceanica (L) Delile</i>	98
1.8 Conclusioni Parte I.....	100

PARTE II:	
RELAZIONI TRA MOTO ONDOSO, CORRENTI INDOTTE E PROCESSI DI SEDIMENTAZIONE SU SISTEMI DI SPIAGGIA CAMPIONE.....	101
CARTOGRAFIA DI DETTAGLIO AREE CAMPIONE	
2.1 Inquadramento delle aree in studio	103
2.2 <i>Fetch</i> e settori di traversia.....	110
2.3 Descrizione dell'attività di studio	113
2.4 Analisi dei Campioni di spiaggia emersa e sommersa.....	116
2.4.1 <i>Cluster Analysis</i> - Studio statistico e raggruppamento di dati	122
2.5 Obiettivi del rilevamento e metodologia adottata.....	127
2.5.1 Rilievo di spiaggia emersa	132
2.5.2 Rilievo di spiaggia sottomarina.....	133
2.6 Interpretazione dei profili.....	135
2.7 Descrizione rilievi	139
2.8 Conclusioni	152
MODELLAZIONE DI SPIAGGE CAMPIONE MEDIANTE L'APPLICAZIONE DEL SOFTWARE <i>DELFT3D</i>	
3.1 Il sistema dei modelli numerici in utilizzo.....	153
3.2 Analisi preliminari e set-up del modello.....	154
3.3 Applicazione <i>Delft3D</i>	157
3.4 Descrizione risultati del modello – Santa Margherita.....	159
3.5 Descrizione risultati del modello – Solanas	208
3.6 Conclusioni Parte II	259
CONCLUSIONI GENERALI	261
Bibliografia	267
Ringraziamenti	273
Appendice 1 – Archivio fotografico delle sezioni sottili dei campioni	275
Appendice 2 – Grafici dei dati meteo-marini osservati	287

PREMESSA

Le ricerche sui fondali marini e sulle coste del Golfo di Cagliari sono state svolte in passato nell'ambito di progetti di interesse nazionale e internazionale principalmente finanziati dal Consiglio Nazionale delle Ricerche - CNR (anni 1978, 1980 Campagne Placers).

Nuovo impulso alle attività è derivato da recenti progetti:

- "SISTEMA DI CONTROLLO AMBIENTALE E GESTIONE TERRITORIALE DEL GOLFO DI CAGLIARI" Ministero dell'Università e della Ricerca (M.I.U.R.);

- Progetto CAR.G. – Carta Geologica d'Italia 1:50.000 – Rilevamento Foglio 557 Cagliari e il più recente Foglio 566 Pula.

Nell'ambito di queste attività di ricerca si inserisce la presente tesi di dottorato che ha come fine principale l'approfondimento delle conoscenze sedimentologiche sui fondali marini dell'area compresa tra Capo Spartivento e Capo Carbonara e dei meccanismi di apporto, redistribuzione e sedimentazione attuale nella piattaforma interna.

Particolare attenzione è stata posta nello studio dei processi di interazione tra moto ondoso e fondali marini di acqua bassa (*shallow water*) che generano correnti costiere (*long-shore, offshore-inshore, upwelling, sinking* e *rip current*) e controllano i processi di erosione, trasporto e sedimentazione sui sistemi di spiaggia oggetto di studio.

OBIETTIVI

Primo obiettivo della tesi è contribuire a migliorare le conoscenze finalizzate alla realizzazione della cartografia dei sedimenti superficiali in scala 1:50.000 del Golfo di Cagliari, base indispensabile per raggiungere il secondo obiettivo che è quello di "entrare" nei dettagli relativi ai meccanismi delle dinamiche sedimentarie che si attivano sui sistemi di spiaggia per effetto dei diversi eventi meteomarini e comprendere quantitativamente assetto e scenari evolutivi.

Contestualmente si è voluto sperimentare, per la prima volta sui litorali del Golfo di Cagliari, la modellizzazione basata su misure topografiche di alta precisione di spiaggia emersa e batimetriche di spiaggia sommersa e per quantificare i relativi assetti sedimentari nelle diverse stagioni.

Inoltre, utilizzando come modello le due spiagge campione di Santa Margherita di Pula e Solanas (Sinnai), vi volevano studiare le differenti risposte idrodinamiche e morfo-batimetriche della *surf-zone* (zona più dinamica della spiaggia sottomarina) per le quattro principali direzioni di vento comprese nei settori di traversia per gli eventi con intensità di 5, 10, 15 e 25 m/s.

CONOSCENZE PRECEDENTI

I primi lavori e descrizioni dei fondali marini del Golfo di Cagliari risalgono agli anni '60 (Segre, 1969) con il riconoscimento, al di sotto dei sedimenti attuali, di elementi morfologici riconducibili a cicli marini del Pleistocene superiore-Olocene.

In seguito ci furono diversi lavori, discontinui nel tempo, negli anni '70 e '80 (Ferrara e Palmerini, 1974; Picazzo *et alii*, 1981; Ulzega e Hearty, 1986), grazie anche alla disponibilità della nave oceanografica “*Bannock*” del CNR per il progetto “Oceanografia e Fondi Marini” che ha portato alla pubblicazione di diversi nuovi lavori (Carta *et alii*, 1986; Lecca *et alii*, 1998).

Da questa base dati si effettuarono nuove ricerche che portarono alla descrizione di dettagli di paleo-depositi litorali (Ulzega *et alii*, 1986; De Muro e Orrù, 1998).

Altri lavori cartografici presenti nell'area hanno trattato tematiche differenti, quali rischio idrogeologico e la mappatura della prateria di *Posidonia oceanica* (Di Gregorio *et alii*, 1998; Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio – Servizio difesa del mare, 2002)

Di recente la piattaforma del Golfo di Cagliari e i sedimenti olocenici associati sono stati descritti, su larga scala, attraverso lo svolgimento di tesi di laurea inedite promosse da De Muro e Lecca (Cossellu, 2003 e Pau, 2003), che hanno poi portato alla pubblicazione di un lavoro di primo inquadramento dei sedimenti superficiali (Lecca *et alii*, 2005), argomento ulteriormente ripreso dalla tesi di dottorato Cossellu (2007).

Altre tesi di laurea sono state promosse in aree di dettaglio quali Solanas (Kalb, 2002) con la conseguente pubblicazione di una Carta Geo-litologica dell'area (De Muro e Kalb, 2003) e Capo Sant'Elia (Puddu, 2006), anche grazie a nuovi progetti di ricerca finanziati da CAR.G-A.P.A.T., M.I.U.R. e dal più recente progetto della Conservatoria delle Coste della Regione Autonoma della Sardegna.

Altri lavori recenti sull'area del Golfo di Cagliari sono le tesi di dottorato Porcu (2007) sull'evoluzione climatica olocenica e Lai (2008) su studi idrodinamici nel litorale di Cagliari-Quartu S.E.

Da questa base conoscitiva si è partiti per impostare e condurre la presente tesi di dottorato.

ABSTRACT

Coastal and sea floor investigations in the *Gulf of Cagliari* have been performed through national and international projects, financed by CNR (1978, 1980 Placers Campaign).

A new research started within the following projects:

- “*SISTEMA DI CONTROLLO AMBIENTALE E GESTIONE TERRITORIALE DEL GOLFO DI CAGLIARI*” *Ministero dell’Università e della Ricerca (M.I.U.R.)*;
- *Progetto CAR.G. – Carta Geologica d’Italia 1:50.000 – Rilevamento Foglio 557 Cagliari -Foglio 566 Pula.*

The purpose of this Ph.D is to finally contribute to reaching a thorough understanding of the sea bed in the area between *Capo Spartivento* and *Capo Carbonara, Sardinia, Italy*, improving the knowledge of the present accumulation, transport and sedimentation processes on the inner shelf, and the interactions between waves and the inducted currents along the coast.

The first step was to produce a cartography of surface sediments in 1:50,000 scale.

A second accomplishment was the study of two representative sites focusing on sedimentary dynamics and quantifying seasonal accumulation rates, also predicting a possible future evolution of the coastal system.

These objectives were reached by revising acoustic data (Side Scan Sonar, Multi-Beam and Single-Beam) and seismic data (Sub Bottom Profiler e Sparker).

As cartographic bases we used the *Carte Tecniche Regionali*, in 1:10,000 scale, (*CTR, Regione Autonoma della Sardegna, 1998*) revised with the *Ortophotos*, in 1:10,000 scale (*Regione Autonoma della Sardegna, 2006*) and compared with previous *Ortophotos* from 77, ’98, ’02 .

In the sea area we used the Italian navy nautical maps (I.I.M.I.) and new acoustic data obtained during monitoring surveying.

Whole contour lines and depth lines were used to create a 3D profile of the studied area.

New sedimentary samples were collected with a Van Veen sampler (5 litres), 163 samples in the gulf area and further 54 samples were collected onshore and on the shoreline in detailed areas. Afterwards underwater and direct dip (ARA) samples were collected. In addition, 106 precedent samples were examined.

New detailed studies were made using two representative sites.

The first site was the beach of Santa Margherita di Pula, located in the west part of Gulf, the second one was Solanas beach (Sinnai), located in the eastern part. Both sites were included by the *Conservatoria delle Coste RAS* as representative sites in the pilot project “*Progetto pilota di*

Gestione Integrata della fascia costiera nell'ambito dell'Accordo di Programma Quadro (APQ) "Sostenibilità Ambientale" and in Progetto "Sistema di controllo Ambientale e gestione territoriale del Golfo di Cagliari" (M.I.U.R.)".

The map of the *Gulf of Cagliari* was developed in four phases: preliminary, monitoring, data analysis, synthesis and processing.

The preliminary phase consisted in the examination of previous data: sonar data, seismic data, sedimentary data derived from oceanic surveying carried out by the Marine and Coastal Geology researchers of Cagliari University – Earth Science Department over the last 15 years; followed by the digital cartographic base drawing, geo-referred in 1:50,000 scale.

Every sample was analysed (grain size and composition) and classified (Udden-Wentworth scale) and facies association were recognised through an optical microscope.

All cartographic, acoustic and sedimentary data collected, was revised, processed and digitized. Isobaths and all new sampling points collected that show a depth were used to produce a 3D digital model.

The data was added in a single G.I.S. file used to create a *CARTA TESSITURALE E DELLE ASSOCIAZIONI DI FACIES IN SCALA 1:50.000 DEL GOLFO DI CAGLIARI*, that represents the sea bed facies association (12 different types), and is provided with map, legend and index.

Detailed studies to monitor beach systems were seasonally performed, using high precision survey technologies for the first time on Sardinian beaches, according to the methodological standard references of the European Project Interreg IIIA GERER.

In both representative beaches surveyed, data illustrated the system changes in winter and summer, the shore and offshore slope, in shore/off-shore and long-shore sediment transport rate, shorelines progression and retreat, surf-zone dynamics and responses to wave actions during extreme conditions.

In both representative beaches the beach width, depth, height and slope were evaluated by transversal profiles, also identifying seabed structures (bars, troughs, etc), and sediment displacement during winter and summer was determined.

Measurements were carried out by differential Gps system (DGPS), furthermore sea surveys were executed using the *Osservatorio Coste E Ambiente Naturale Sottomarino (O.C.E.A.N.S.)* research boat equipped with digital echo sounder.

Two Maps, "*CARTE MORFO-SEDIMENTOLOGICHE DI SOLANAS E DI SANTA MARGHERITA DI PULA IN SCALA 1:10.000*", were drawn with the aid of all the data analyzed.

A digital model using the Delf3D Software by *WL Delft Hydraulics* was set and tested, generating wave and hydrodynamic models which simulated the responses of the coastal environment to the different impact factors.

The software creates a grid to import sedimentary and high precision bathymetry. Sediment transport values were calculated using wave characteristics comparable to the real ones recorded during the study period.

The Module SWAN dedicated to wave simulation, was applied using wave hindcasting in the study period.

The Module FLOW was then used to simulate bottom sediment dynamics in the submerged beach (surf zone).

The modelled data were then compared with the surveyed data.

Overall, this research has allowed a better understanding and quantified wave actions that modify the coastal sedimentary equilibrium in different seasons, evaluating offshore-inshore transport, long shore induced current directions, sediment transport rate (volume), processes of accumulation and distribution.

Furthermore this work has permitted the definition of:

- Actual exchange processes between shoreface and inner shelf.
- Transport directions
- Slope changing in shore and offshore beach area
- Seasonal shoreline movements
- The evolution trend of the two representative beaches.

Keywords: Sedimentology, Cartography, Beach dynamics, Wave and Hydrodynamic modelling – South Sardinia.

PARTE I:

**I SEDIMENTI SUPERFICIALI DELLA PIATTAFORMA INTERNA DEL
GOLFO DI CAGLIARI**

1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di studio è localizzata nel sud della Sardegna, si estende su tutto il Golfo di Cagliari (Fig.1), comprende la piattaforma continentale prossimale e il tratto di costa sarda compreso tra Capo Spartivento (Teulada) ad Ovest e Capo Carbonara (Villasimius) ad Est. Verso mare l'area è delimitata dalla batimetrica di -50 m l.m.m.

L'area studiata ha un'estensione di circa 700 kmq e ricade nei fogli IGMI in scala 1: 50.000 (serie 50L) 566, 567 e parte dei fogli 557 e 573.



Fig. 1 - Immagine da satellite LANDSAT dell'area in studio.

I corsi d'acqua dell'area sono tutti a regime pressoché torrentizio (Fadda e Pala, 1992). I principali sono:

Riu Foxi di Villasimius: con una superficie del bacino idrografico di 36,4 kmq. L'asta principale misura 9,6 kmq, il reticolo è di tipo dendritico con una densità di drenaggio di 3,72 km/kmq ed un coefficiente di 0,27. Nella piana del Riu Foxi la copertura alluvionale è stimata da 8 a 15 metri ed è sede di una falda freatica.

Riu Solanas: con un bacino idrografico di 34,4 kmq di natura sub-dentritica. La sua frequenza di drenaggio è di 4,7 canali per kmq con un coefficiente di drenaggio di 0,38.

Riu di Geremeas: con un bacino di 61,1 kmq interamente impostato su rocce granitiche che presenta solo nell'area prossima alla foce una copertura alluvionale. L'asta principale misura 21,3 km, la densità di drenaggio è di 4,02 km/kmq con un coefficiente di 0,25 e una frequenza di 7,57 canali per kmq.

Riu Cuba: segna il passaggio tra i corsi d'acqua del Sarrabus e quelli del Campidano essendo il suo bacino compreso tra il versante sud-occidentale del Monte Sette Fratelli e le basse colline di Maracalagonis. Il bacino occupa una superficie di circa 30 kmq ed composto prevalentemente da litologie granitiche ad eccezione della piana di Capitana dove l'alveo incontra i primi affioramenti *miocenici* (Nuraghe Meris). La densità del drenaggio è 3,43 km/kmq con un coefficiente di 0,29.

Riu Su Pau (o Riu Flumini): ha un bacino di 143 kmq che si può suddividere in tre unità geomorfologiche: la prima, altimetricamente più elevata, è rappresentata dalle pendici del Monte Serpeddì e del massiccio dei Sette Fratelli, le litologie presenti sono i graniti ad oriente e a settentrione, la fascia nord-occidentale è occupata da un complesso scistoso-arenaceo di età prevalentemente ordoviciana. Il complesso paleozoico formava un'antica linea di costa lambita dal mare del Miocene, e sono i depositi di questo mare (conglomerati, marne, arenarie) che costituiscono la seconda unità geomorfologica di bassa collina. Nelle litologie mioceniche si modellano i "*cuccurus*" che costituiscono ad occidente il tratto più meridionale dello spartiacque. La terza unità geomorfologica è costituita dalle basse colline in cui si estendono i sedimenti ciottoloso-sabbiosi depositati dai torrenti dopo la regressione marina miocenica.

Rio Foxi: il bacino è adiacente a quello dei Rio Su Pau e occupa una superficie di 39,8 kmq. L'asta principale nasce in un settore localizzato nei rilievi paleozoici a nord di Sinnai, prosegue nelle litologie prevalentemente marnose e marnoso-arenacee del Miocene ed infine attraversa terreni di copertura Quaternaria giungendo al mare con una lunghezza totale di circa 14 km. La densità di drenaggio è di 1,5 km/kmq con un coefficiente di 0,65. Il bacino del Rio Foxi comprende nella sua superficie lo "*Staini de Simbirizzi*", depressione naturale di probabile controllo per faglia utilizzata come invaso per approvvigionamento idrico.

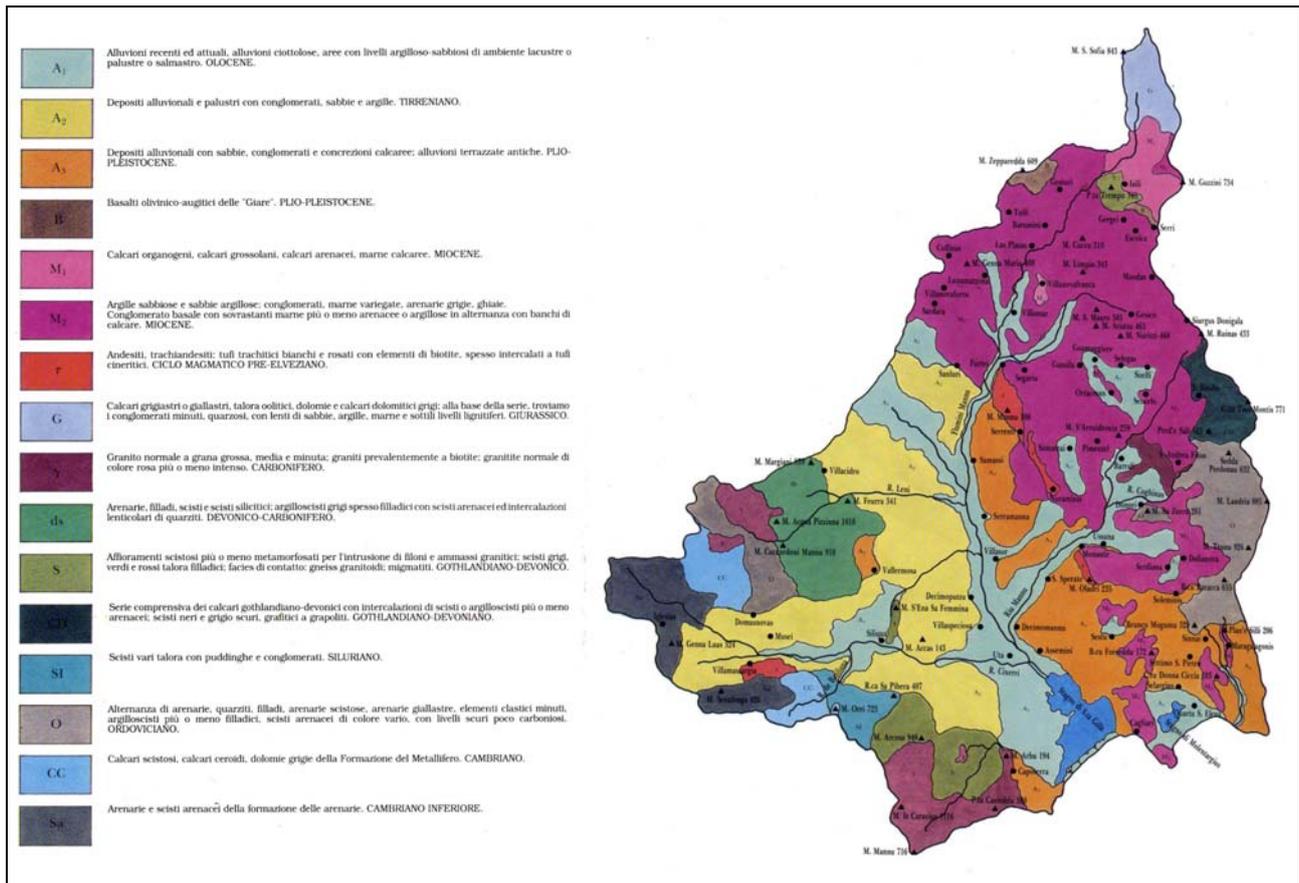


Fig. 3 – Schema litostratigrafico del bacino idrografico del Flumini Mannu (da Fadda e Pala, 1992).

Rio di Santa Lucia: il suo bacino si estende in massima parte sui monti del Sulcis orientale e subordinatamente nella pianura del Campidano in territorio di Capoterra per una superficie di 104,2 kmq. Dei due settori in cui il bacino si può suddividere, il 70% è rappresentato da quello montuoso di cui il 36% è impostato su rocce granitiche, il 33% su scisti e lo 0,7% su calcari. Nel rimanente 30% costituito dalla pianura, prevalgono le alluvioni del Quaternario antico terrazzate e ferretizzate alle quali si sovrappongono, in prossimità della linea di costa, depositi più recenti di provenienza fluvio-lagunare e palustre. Il limite dei due settori è segnato dalla faglia che delimita il *Graben* del Campidano del settore occidentale. Il Rio Santa Lucia nasce ad una quota di circa 575 m s.l.m. e sfocia nella Laguna di Cagliari dopo un percorso di circa 25 km. La densità di drenaggio è 5,05 km/kmq con un coefficiente di 0,20.

Rio San Girolamo: presenta simili caratteristiche idrogeologiche e geomorfologiche del bacino del Rio di Santa Lucia (anche quelle del Rio Pula e del Rio Santa Margherita) con un bacino di 23,9 kmq. Presenta una densità di drenaggio di 3,87 km/kmq con un coefficiente di 0,25.

Rio Pula: il bacino si estende per una superficie di 138,6 kmq. La sua morfologia è condizionata, come per il rio Santa Lucia, dalla faglia prolungamento della Faglia del Campidano occidentale. Questa linea tettonica separa il Paleozoico (graniti e scisti) dal Terziario rappresentato da sedimenti continentali argillosi e arenaci e da vulcaniti. Sempre su queste litologie del Terziario si appoggia la

L'entroterra è caratterizzato da rilievi con copertura di macchia mediterranea, e diversi sistemi di lagune, saline e stagni che, tra l'altro, costituiscono habitat naturali importantissimi. Le aree più importanti sono la Laguna di Santa Gilla e lo stagno di Molentargius a Cagliari, gli stagni di retrospiaggia delle zone di Chia, Santa Margherita e la laguna di Nora.

1.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La piattaforma continentale del Golfo di Cagliari è stata recentemente oggetto di descrizione alla scala dell'intero bacino (Lecca *et alii*, 1998; Lecca *et alii*, 2005; Cossellu, 2007), di studi di dettaglio in aree campione (De Muro e Kalb, 2003), di valutazioni geologico-applicative e di studi cartografici di interesse nazionale con il progetto di CARTografia Geologica dell'APAT (Servizio Geologico d'Italia, 2005).

Il Golfo di Cagliari è ubicato nella parte meridionale del *Rift* Sardo oligo-miocenico all'interno del quale si è sovrimposto il Graben del Campidano (Pecorini, 1966; Pecorini e Cherchi, 1969; Cherchi e Montadert, 1982; Casula *et alii*, 2001; Finetti *et alii*, 2005). Questo golfo si apre verso il margine continentale della Sardegna meridionale dove è attivo un sistema sedimentario sottomarino composto da una piattaforma continentale, una scarpata e da diversi bacini di scarpata che contribuiscono a loro volta alla sedimentazione della piana abissale sardo-algerina (Lecca *et alii*, 1998). Nella parte più interna di tale sistema sedimentario è ubicato il Bacino di Cagliari che rappresenta la prosecuzione del *Rift* Sardo, riattivato durante il Plio-Quaternario contestualmente all'apertura del Tirreno. Questo bacino, controllato nei tempi pliocenico-quadernari dai movimenti dei blocchi tettonici della Sardegna meridionale (Sulcis e Sarrabus) e dai blocchi sottomarini di Su Banghittu e del Monte Ichnusa, è composto da una relativamente ampia piattaforma continentale, da un pendio e da una parte più profonda fino a circa $-800\div 1000$ m (Fig. 5).

Schematicamente si può riassumere la genesi del Golfo in base agli eventi tettonici terziari e quadernari:

Oligocene sup.-Aquitano Burdigaliano (circa 28-16 MA): contesto distensivo relativo all'apertura del bacino balearico. Strutturazione del *Rift* Sardo con messa in posto di vulcaniti lungo un sistema di faglie dirette secondo uno sviluppo circa N-S.

Miocene superiore-Pliocene (circa 14-2 MA): apertura del Tirreno meridionale. Una nuova fase di ingressione marina legata ai fenomeni di *rifting* depone i sedimenti del terzo ciclo miocenico che vanno a formare gli odierni promontori carbonatici della città di Cagliari.

Pliocene-Pleistocene medio (circa 1,8-0,12 MA): apertura del *Graben* del Campidano lungo la direttrice NNW-SSE, e approfondimento graduale fino al Tirreniano. Viene colmato dai sedimenti clastici grossolani della Formazione di Samassi costituiti da rimaneggiamento di depositi miocenici e formazioni paleozoiche. Il *Graben* del Campidano congiunge il Golfo di Cagliari con quello di Oristano.

Pliocene medio-Olocene (circa 0,12 MA-attuale): le strutture del *Rift* sardo e del *Graben* del Campidano persistono ma non evidenziano significativi movimenti e pertanto se ne deduce una fase di relativa stabilità tettonica.

Nella regione emersa antistante il Golfo possono essere individuate due parti strutturalmente omogenee che proseguono nella infrastruttura della piattaforma continentale. La parte orientale comprende i promontori calcarei di Cagliari e funge da *horst* orientale relativo al *Graben* del Campidano, a est del quale si erge il più antico *horst* del Rift Sardo (*horst* del Sarrabus).

La parte occidentale è costituita 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.

Quest'area è stata interessata da una significativa attività tettonica a cui si sono correlati fenomeni di subsidenza che nella parte occidentale del bacino costituisce un vero e proprio *Graben* con una coltre sedimentaria di oltre 600 metri. Allo sprofondamento plio-pleistocenico del Campidano corrisponde un sollevamento delle aree limitrofe, come testimonia l'energico ringiovanimento di rilievo (circa 400 metri) che interessa il basamento paleozoico compreso tra il Campidano e il margine orientale dell'isola (Pecorini e Pomesano-Cherchi, 1969; Pala *et Alii*, 1982; Cherchi e Murru, 1985).

Da un punto di vista geologico è quindi possibile dividere l'area del Golfo secondo tre settori:

- Il **Sarrabus**: la regione costiera è costituita quasi esclusivamente dal complesso plutonico tardo ercinico (Carbonifero superiore-Permiano) del basamento sardo. Sul basamento sono presenti limitati affioramenti conglomeratici fluviali e costieri dell'Eocene medio e del Miocene inferiore.

Subordinatamente si hanno inoltre depositi pleistocenici e olocenici rappresentati da sedimenti alluvionali, colluviali e litorali, costituiti da ghiaie, sabbie, limi e argille sabbiose e qualche deposito conglomeratico fluviale costiero dell'Eocene medio-Miocene inferiore.

Dal punto di vista compositivo il batolite è granitoide, variante da termini super-acidi a termini intermedi con presenza di intrusioni basiche rappresentanti una modesta percentuale degli affioramenti.

Nei pressi di Solanas, lungo il corso dell'omonimo Riu Solanas, si individuano granodioriti monzogranitiche inequigranulari e monzograniti equigranulari, nella zona attorno all'agglomerato di Solanas affiorano anche tonaliti (Carmignani *et alii*, 2001a; AAVV, 2004) in un affioramento costiero di piccole dimensioni.

Nell'entroterra sono presenti vasti affioramenti di leucograniti equigranulari e granodioriti tonalitiche affiorano dal promontorio di Torre de su Fenugu, lungo gran parte della costa, verso NE, e in una vasta area dell'entroterra.

Nell'area di Capo Carbonara ritroviamo in affioramento litologie appartenenti a Granodioriti monzogranitiche inequigranulari, monzograniti equigranulari e granodioriti tonalitiche.

Il complesso filoniano è caratterizzato da una composizione prevalentemente basaltica ad affinità calcalcalina, ma si ritrovano anche filoni di porfidi granitici e ammassi di micrograniti e filoni aplitici e pegmatitici. La messa in posto dei dicchi segue prevalentemente direzioni NW–SE a NNW–SSE relative alle direzioni di anisotropia meccanica del basamento della Sardegna sud orientale.

- Il **Sulcis**: fa parte della “zona esterna” con riferimento alla zonazione metamorfica e alla messa in posto delle falde tettoniche relative all’Orogenesi Ercinica. Tali falde sono costituite da formazioni scistoso–metamorfiche con prevalenti argilloscisti, metarenarie, metacalcari, metasiltiti, spesso fossilifere, che documentano la sedimentazione nel margine continentale nord-gondwaniano. Tra l’Ordoviciano superiore e il Carbonifero inferiore si depongono in alternanza formazioni continentali e marine seguendo i cicli eustatici: le formazioni di Monte Orri, Portixeddu, Domusnovas e Rio San Marco tra l’Ordoviciano superiore e il Devoniano (trasgressione caradociana), e le formazioni di Genna Muxerru, Flumini Maggiore e Mason Porcus nel Siluriano-Devoniano (trasgressione siluriana). Fanno seguito i depositi sinorogenici del *Flysch* ercinico (Formazione di Pala Manna).

Nel Sulcis sud-occidentale buona parte del basamento è costituito prevalentemente dai granitoidi tardo ercinici (leucograniti equigranulari).

Nei dintorni di Capoterra sono presenti le formazioni dei cicli trasgressivi-regressivi dell’Ordoviciano superiore-Carbonifero inferiore che costituiscono parte del bacino idrografico del Riu S.Lucia.

Nell’area di Capo Spartivento si osserva l’affioramento di granodioriti monzogranitiche equigranulari appartenenti al complesso plutonico del Carbonifero superiore-Permiano e sulla falesia si ritrovano gli ortogneiss granodioritici (*Ortogneiss di Capo Spartivento auct.*) dell’Ordoviciano medio.

Nei pressi di Sarroch sono presenti le effusioni andesitiche del ciclo vulcanico calcalcalino oligo–miocenico. La fascia costiera è caratterizzata da depositi quaternari costituiti da conglomerati, sabbie e argille in terrazzi e conoidi alluvionali e depositi recenti di spiaggia.

- La zona di **Cagliari**: nelle colline e nei promontori della città affiora la parte alta della serie miocenica costituita dalla successione trasgressiva-regressiva tortoniano-messiniana. Ad una fase trasgressiva di età tortoniana, in cui vengono depositi sedimenti calcarei e marnosi di piattaforma esterna, fa seguito una fase regressiva con sviluppo di piattaforme carbonatiche biocostruite. La ben nota successione dei Calcari di Cagliari è costituita dai seguenti termini:

- I calcari marnoso-arenacei della Pietra Cantone.

- Le biocalcareni marnose del Tramezzario, termine intermedio con batimetria di sedimentazione intorno ai 40m.

- Le facies bioermali di bassa profondità della Pietra Forte, con discordanze intraformazionali, breccie e paleosuoli a testimonianza della forte instabilità tettonica del periodo.

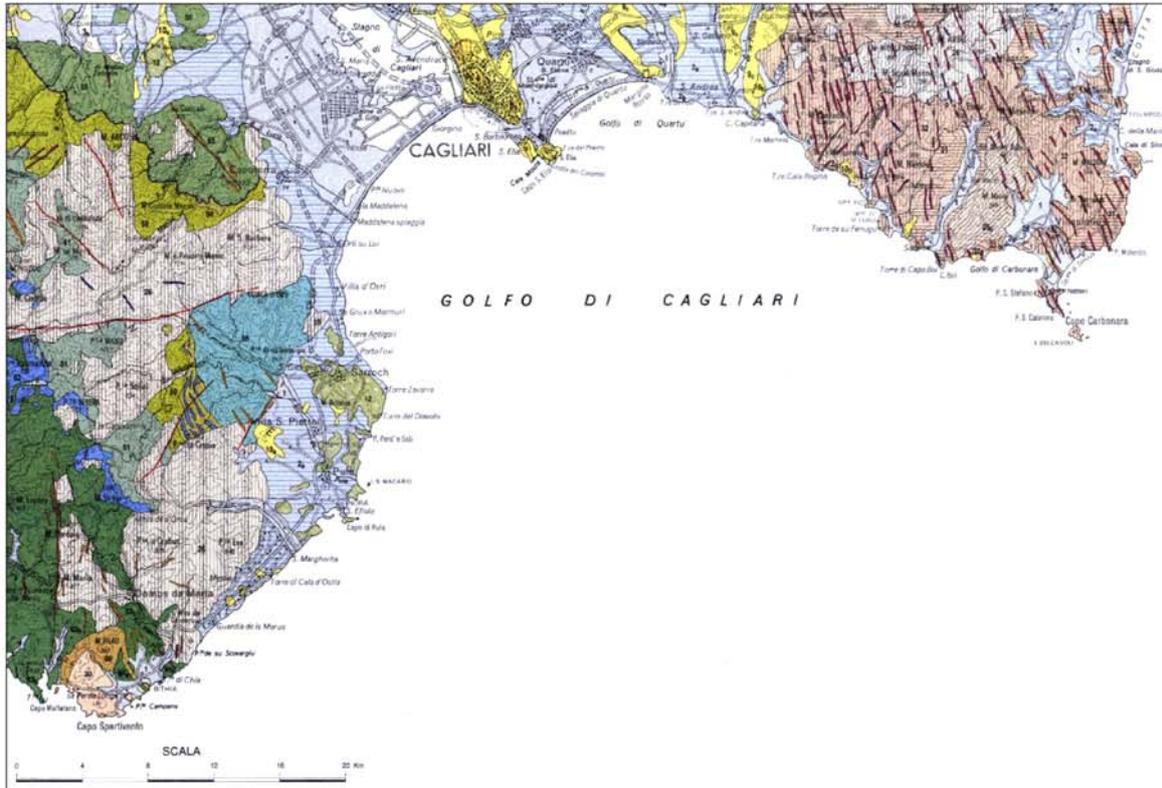
Nei dintorni di Cagliari la parte meridionale del Campidano è sede di accumulo di depositi più o meno recenti dal Pliocene fino all'Olocene (Marini, 1976). Il *Graben* del Campidano è colmato dai sedimenti clastici grossolani della Formazione di Samassi costituiti dal rimaneggiamento di depositi miocenici e delle formazioni paleozoiche. Lungo costa il quaternario è rappresentato dalle Alluvioni Antiche, affioramenti della “Panchina Tirreniana” *auct.* (depositi arenacei talora riccamente fossiliferi in microfaune e molluschi) e depositi di spiaggia recenti.

A riguardo della Panchina Tirreniana, che come noto costituisce la testimonianza dell'ultimo mare interglaciale che ha preceduto l'attuale (circa 130-120 mila anni fa) durante il quale il livello del mare ha raggiunto circa +6m, si sottolinea la presenza nell'insenatura di Calamosca, ubicata a sud di Cagliari, della sezione tipica di Is Mesas dove Issel (1914) istituì il “piano tirrenico”.

Affioramenti correlabili con il Tirreniano sono diffusamente presenti nei dintorni di Cagliari e nelle lagune adiacenti (Is Arenas di Quartu S.E., Sa Illetta di Santa Gilla). Altri affioramenti minori si osservano, al di sopra di varie litologie, lungo le coste rocciose, più o meno alte, del Golfo (Nora, Porto Columbu-Perd'e Sali, Foxi, Villasimius).

I sedimenti tirreniani in Sardegna sono stati ritrovati anche per qualche chilometro nell'entroterra nelle piane costiere del Sinis, di Oristano, della foce del Flumendosa, dove spesso passano lateralmente a faune salmastre (*Cardium edule*, *Tapes diana*, *Ostrea edulis*) o lacustri con *Planorbis* (Siniscola e nel Turritano: Federici *et alii*, 1987) e ai depositi alluvionali del Riss-Würm. Ai depositi marini del Tirreniano segue una fase regressiva rappresentata da sedimenti eolici con intercalati paleosuoli ricchi in resti di cervidi ed altri mammiferi in genere riferiti al Würm (Ulzega e Ozer, 1982). Lo studio delle malacofaune ha evidenziato numerosi fossili riconducibili al piano batimetrico infralitorale (Spano, 1980).

Alla successiva risalita del mare post-glaciale – Olocene (circa 20 ky–attuale) sono associate modeste successioni di trasgressione e di alto eustatico costituite da fanghi lagunari nelle zone di retrospiaggia attuali sormontate da sabbie di spiaggia attuale.



**DEPOSITI QUATERNARI
QUATERNARY DEPOSITS**

1 Chiese, sabbie, limi e argille sabbiose dei depositi alluvionali, coluviali, eolici e litorali, travertini 1. Obbene.

2₁, 2₂, 2₃, 2₄ Arenarie eoliche con Cervidi (*Megaceros verticornis*, *Dama dama* e *Proboscidea* (*Elephas melleus*) (Arenarie urmiane Auct.) (Nauria, Iglesiasite, etc.) 2₁, Conglomerati, arenarie e biocalcaremiti di spiaggia (Panchina Auct.), con Molluschi (*Mytilus senegalensis*, *Spondylus gasteropus*, *Strophia bubonius*, *Pecten ferrugineus*, *Corus testudinarius*) e Celeriterati (*Cleodora conspecta*) 2₂, *Pristiocypris* sup., Conglomerati, sabbie, argille più o meno compatte, in terrazzi e conoidi alluvionali (Alluvioni antiche Auct.) 2₃, 2₄ *Pristiocypris* - *Pristiocypris*.

**Successione marina e depositi continentali del Miocene superiore
Upper Miocene marine succession and continental deposits**

8₁ Calcari e arenarie marnose di piattaforma, con Molluschi (*Giantopecten latissimus*, *G. abinus*, *Fibellipecten caritatus*, etc.) (Pietra Cantone, Tramezzano, Pietra Forte di Cagliari, formazione dei Calcari di Cagliari Auct.) 8₁, *Tortoniano* - *Messiniano inf.*

**Successione marina e depositi continentali del Miocene inf.-medio
Lower-Middle Miocene marine succession and continental deposits**

9₁ Marni e marni arenacee epibatali, con Foraminiferi planctonici delle zone N 8 - N 11 / N 12, Molluschi pelagici (*Vagnetta austriaca*, *Che dasteano*, *C. caratana*, *C. pucheranii*), Molluschi bentonici (*Abra longicaulis*, *Fovea cordata*), Coralli Bianchi (formazione di Fungaro Auct.) (Campidano, Cogas, Logudoro, Marmilla) 9₁, *Langhiano medio-sup.* - *Serravalliano inf.*

**Depositi continentali e successione marina Post Eocene medio - Miocene inf.
Post Middle Eocene - Lower Miocene continental and marine deposits**

10₁ Formazione del Cixerri - Conglomerati, arenarie e silti argilose rossastre, continentali, poggianti sopra calcari e argille parafili con *Carofite* e *Palmionofiti* del Luboziano (Iglesiente: Isca Aiu, etc.) 10₁, *Post Eocene medio* - *Oligocene*.

**COMPLESSO INTRUSIVO
INTRUSIVE COMPLEX**

**Complesso filoniano del Carbonifero sup. - Permiano
Upper Carboniferous - Permian dyke complex**

23 Principali filoni di porfidi granitici e ammassi di micrograniti, principali filoni aplici e pegmatitici (Sarrabus, Ogliastra, Gallura, etc.) 23.
24 Principali filoni di quarzo (Sulcis, etc.) 24.
25 Principali corpi filoniani a composizione prevalentemente basaltica, ad affinità calcicalcina e subordinatamente shoshonitica (Barone, etc.) 25.

**Complesso plutonico del Carbonifero sup. - Permiano
Upper Carboniferous - Permian plutonic complex**

26 Leucograniti equigranulari (Gallura: Limbara; Sarrabus: Rio Picozza, San Vito; Sulcis), etc. 26.
Leucograniti a Giti (Barone: Piu Seppia), etc. 27.

28₁, 28₂ Monograniti equigranulari (Gociano: Buddao, Bonarrene, Gallura: Costa Verde), etc. 28₁, Monograniti inequigranulari (Gallura: Cavargus, Arzachena; Barbagia: Oia), etc. 28₂, Sienti sodiche (Sarrabus: Villanovi) 29.

30 Granodiori, monogranitiche equigranulari (Margine: Biscione, Gallura: S. Anero; Barbagia: Gao), etc. 30.
Granodiori, monogranitiche inequigranulari (Gallura: Moe; Barbagia: Oseki), etc. 31.
Granodiori tonalitiche (Barbagia: Meroasa; Ogliastra: Vilagrande; Gociano: Beneset), etc. 32.

33₁, 33₂ Tonaliti (Gociano: Burgas, Serru d'Ossu; Mandrolisai: Orueri), etc. 33₁, Gabbi e masse gabbro-tonalitiche (Gallura: P.ta Fagone, Borgogades; Gociano: Orida; Sarrabus: Solana), etc. 33₂.

**Successione pre-Ordoviciano medio
Pre-Middle Ordovician sequence**

55 Arenarie di S. Vito e Formazione di Solanas - Metarenarie micacee e quarziti alternate a metapeliti e rari metaconglomerati, con piste, impronte di *Meduse* e *Acritarchi* (*Vaccinaphora tenuosa*, *Leptophradia kumani*, *Murchisonium tenostolium*, *Acanthodiacrodium complanatum*) (Sarrabus: Br. Lacco, Rio Caraxa, S. Vito; Sarcidano: Lacon, Villanovale; Gerri: Br. Mareusa, Quira; Rio S. Gorge; Arburese, etc.), nella parte alta metapeliti viola, nere e verdastre, quarziti e metaconglomerati quarziti 55, *Cambriano medio* - *Ordoviciano inferiore*.

**Successione dell'Ordoviciano medio - Carbonifero inf.
Middle Ordovician - Lower Carboniferous succession**

56 Alternanza di quarziti, metarenarie, metapeliti e metasiliti, metaconglomerati e brecci, olivitoli e olivitoli della successione siluro-devoniana (*Diurn*) (formazione di Pala Marina Auct.) (Sulcis) 56, *Carbonifero inf.*

58 Metapeliti scure carbonifere (Scisti a Graptoliti, formazione di Genna Muxeru Auct.), nella parte inferiore, quarziti nere (Lidi Auct.) con Graptoliti delle zone a *Murchisonia prestrenensis* - *Parakidograptus acuminatus* (Iglesiente: Funnimaggiore, M.te Linas, M.te Cortoghena Becchi, Genna Quatrosia; Sulcis: Capoterra) 58, *Siluriano inf.*

59 Metasiliti e metarenarie con intercalazioni di metavulcaniti basiche e metafili, con Brizioi, Brachiopodi (*Nicollia actonae*, *Dolerorthis maxima*, *Pavonites profana*, etc.), Tentacoli litorali (*Conulites*), Graptoliti (*Lycopograptus* cf. *arvensis*, etc.), *Orinoco*, *Trilobiti* (*Dalmanella tenuicosta*, *Arthroparchoa anala*) (formazione di M.te Orri, formazione di Forteddu, formazione di Domusnovas, formazione di Rio San Marco Auct.), metaconglomerati con olivitoli di calcari e dolomie cambriani, metasiliti e metarenarie rosso-violacee di piana da alluvionale a costiera (Pudding, formazione di M.te Argentu Auct.) (Iglesiente: Postevolu, Suggiu, Funnimaggiore, P.ta S'Argiola, P.ta S. Amadori, Meson Porcu, H. Cammanna, Caput Aquas, etc.) 59, *Carbonio-Mullali*.

**Complesso magmatico dell'Ordoviciano
Ordovician magmatic complex**

60 Ortoressi granodioritici (Ortoressi di Capo Sparvituro Auct.) 60, *Ordoviciano medio*.

**Successione pre-Ordoviciano medio
Pre-Middle Ordovician sequence**

61 Formazione di Cabitza - Argillosisti, metarenarie, metacalcari nodulari e metasiliti con rare lenti calcaree, con *Trilobiti* (*Solenopleurites* cf. *riberoi*, *Paradoxides mediterraneus*, *Corynoechus* sp., *Conosporites* cf. *brevivittata*, *Jucella* cf. *granitii*, *Ballesia* cf. *levyi*, *Micrograptus* sp.), *Graptoliti* bentonitici (*Rhabdopora tubuliformis*), Foraminiferi bentonitici (*Hemiphaerusa* cf. *caecilicornis*?), Spongiani, *Carpodi*, *Hyolithi*, *Brachiopodi*, *Incertae sedis* (*Chancellosia marconiana*, *C. sandrae*), *Alighe* (*Ginartea problematica*), *Echinodermi*, *Acritarchi*, (Scisti di Cabitza, Calceocisti, formazione di Campo Pisano Auct.) (Iglesiente: Cabitza, M.te S. Giovanni, Nodda, Campo Piano, Gonnas, Villanovale) 61, *Cambriano inf.* - *Ordoviciano inf.*

63₁, 63₂ Filati e metarenarie, talora con intercalazioni di metaconglomerati e di marni spesso dolomitici (formazione di Bina Auct.), metavulcaniti basiche (Sulcis) 63₁, 7 *PreCambriano* - *Cambriano inf.*, Metacisti ad Andalusite (Scisti di M. Settilbas Auct.) (Sulcis) 63₂, 7 *PreCambriano*.

Fig. 5 - Particolare della Carta Geologica della Sardegna (Carmignani et alii 2001b).

1.3 INQUADRAMENTO METEOMARINO

La conoscenza del clima meteomarinico locale, cioè della distribuzione di frequenza della velocità e direzione del vento, è necessaria per la corretta ricostruzione del modello d'onda da utilizzare come generatore dei moti idrodinamici per il trasporto dei sedimenti.

Normalmente le statistiche sul regime meteomarinico sono ricavate dalle registrazioni di stazioni meteorologiche costiere prossime al sito oggetto dello studio.

Nel caso del Golfo di Cagliari si dispone dei dati registrati dalle stazioni della Rete Mareografica Nazionale (RMN - APAT) delle stazioni di Cagliari (N39° 12' 35", E09° 06' 53") e di Carloforte (N39° 08' 36", E08° 18' 28") e dati dell'Istituto Idrografico della Marina Militare Italiana, riferiti alle stazioni di Capo Sperone (N38° 58' 00", E8° 25' 00"), Capo Sant'Elia (N39° 11' 00", E9° 09' 00") e Capo Carbonara (N39° 06' 00", E9° 31' 00").

Le informazioni sul regime dell'area possono desumersi dalle statistiche delle osservazioni pluriennali della direzione e della velocità del vento registrate dalle stazioni (Fig. 6).

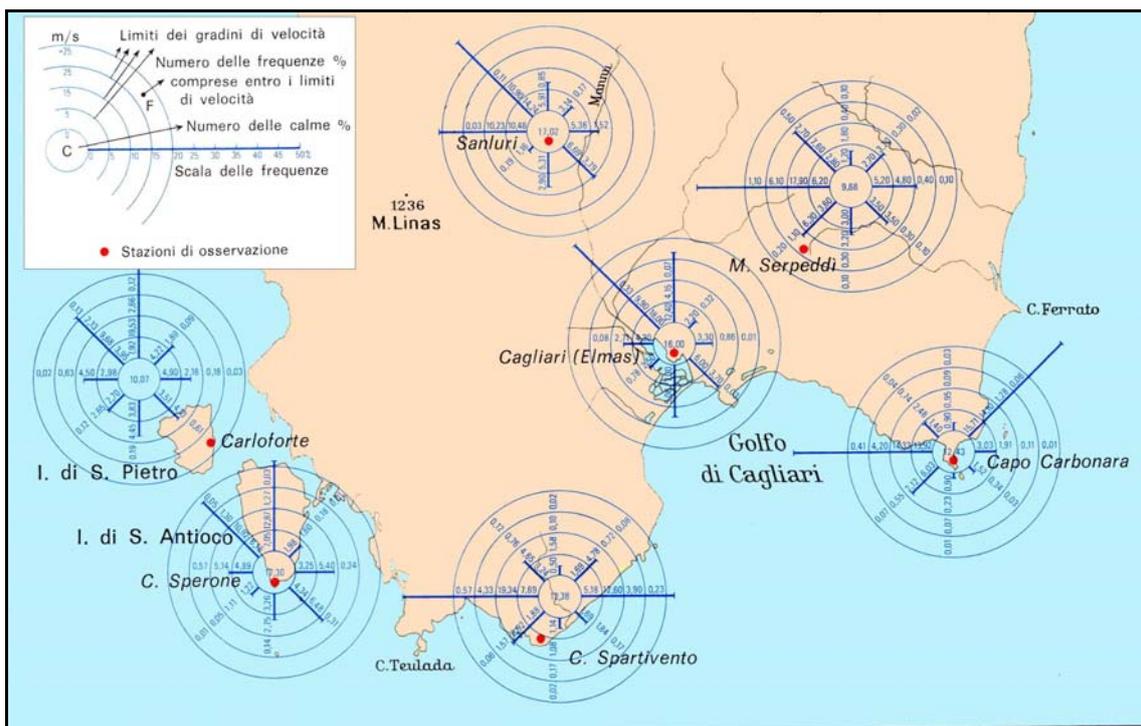


Fig. 6 - Intensità e frequenze dei venti. In ogni stazione, il numero scritto nel cerchio centrale rappresenta la frequenza media relativa, per 100 osservazioni dei venti e delle calme (vel. < 2 m/s). Sulle semirette corrispondenti ad ognuna delle direzioni di una rosa di 8 settori, sono stati riportati dei segmenti proporzionali rispettivamente alla frequenza media relativa, per 100 osservazioni. Le lunghezze sono calcolate a partire del bordo della circonferenza che limita il cerchio delle calme. I numeri riportati fra i cerchi delimitanti le velocità di 5, 15, 25 e 35 m/s rappresentano le frequenze percentuali corrispondenti in ognuna delle otto direzioni scelte, entro i limiti di velocità. Dall'Atlante di Sardegna (Pracchi e Terrosu, 1980), fonte Aeronautica Militare 1940-1965 modificato.

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.7).

Allo stesso tempo la stazione di Carloforte rileva sempre una predominanza del vento di Maestrale ma con angolo più orientato a nord (330-345°N), mentre è poco significativo il vento da S-SE (Fig.8).

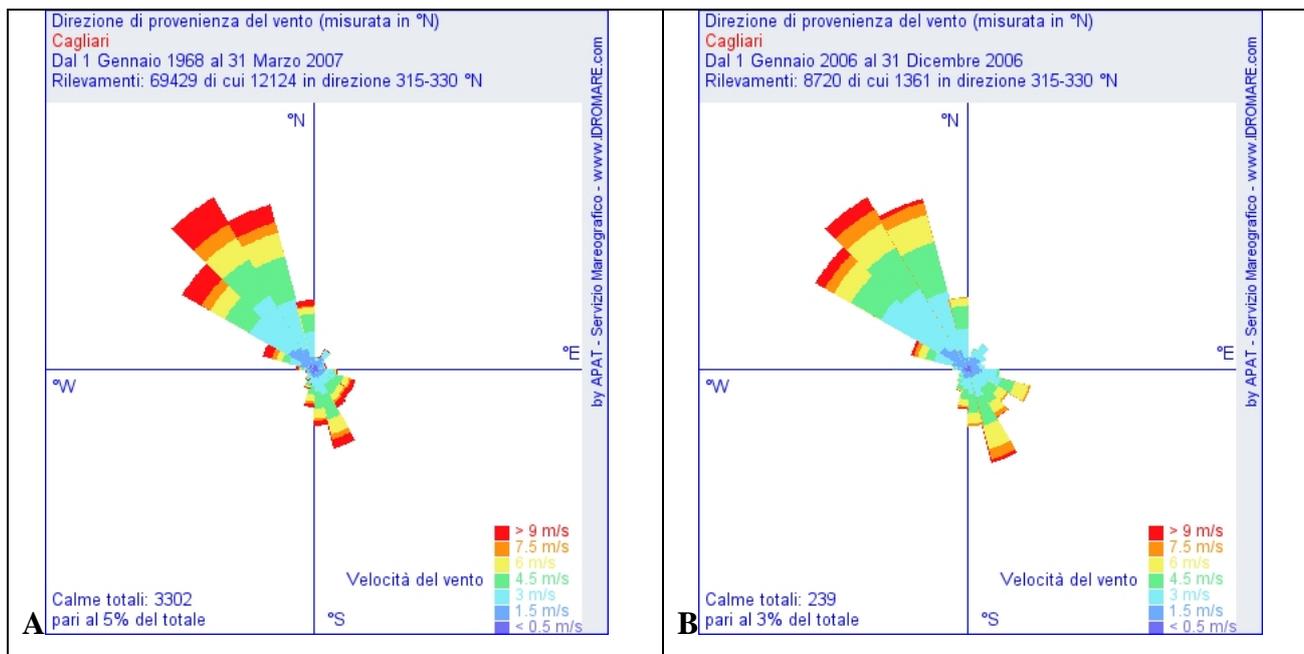


Fig. 7 – Stazione di Cagliari. Distribuzione direzionale della velocità del vento – A. dati riferiti ad un periodo di osservazione dal 1/01/1968 al 31/03/2007. B. Dati riferiti all’anno 2006.

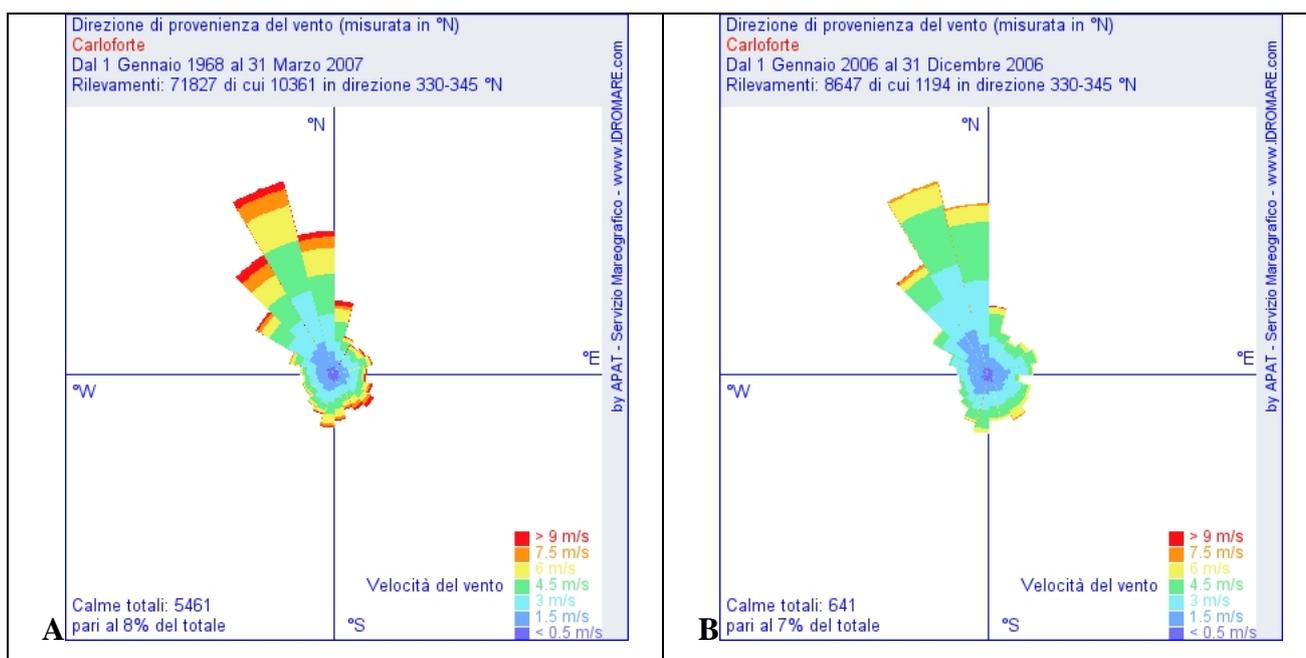


Fig. 8 - Stazione di Carloforte. Distribuzione direzionale della velocità del vento – A. dati riferiti ad un periodo di osservazione dal 1/01/1968 al 31/03/2007 - B. Dati riferiti all’anno 2006.

Il Maestrale 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 sul Golfo con intensità e frequenza notevoli durante tutto l'anno generando onde che, per quanto riguarda Solanas, attivano meccanismi di trasporto nonostante un *fetch* pari a circa 5 nm. Meno influente risulta l'effetto sul sistema di spiaggia di Santa Margherita.

Lo Scirocco è il secondo vento in ordine di importanza che si registra statisticamente sull'area. Questo vento, in periodo prevalentemente estivo-autunnale, produce importanti mareggiate lungo le coste meridionali della Sardegna che interessano direttamente le due spiagge campione.

Nonostante le statistiche evidenzino la predominanza delle burrasche di vento (forza 7-12) da NordOvest si osserva che, ai fini delle dinamiche sedimentarie, l'importanza di questo vento nel Golfo è naturalmente subordinata a quella dello Scirocco per effetto dell'esposizione a Sud del Golfo.

Lo Scirocco ovviamente dispone di superfici più ampie (canale tunisino) che permettono quindi la formazione di onde di dimensioni maggiori con importanti mareggiate (mare 6-8) provenienti da SudEst (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, 2002).

Si evidenzia comunque che il Maestrale produce moto ondoso all'interno del Golfo, sia tramite effetti diretti (aree più esposte da Foxi a Villasimius) sia per l'attivarsi di processi di rifrazione delle onde attorno al Capo Spartivento (Figg. 4 e 5).

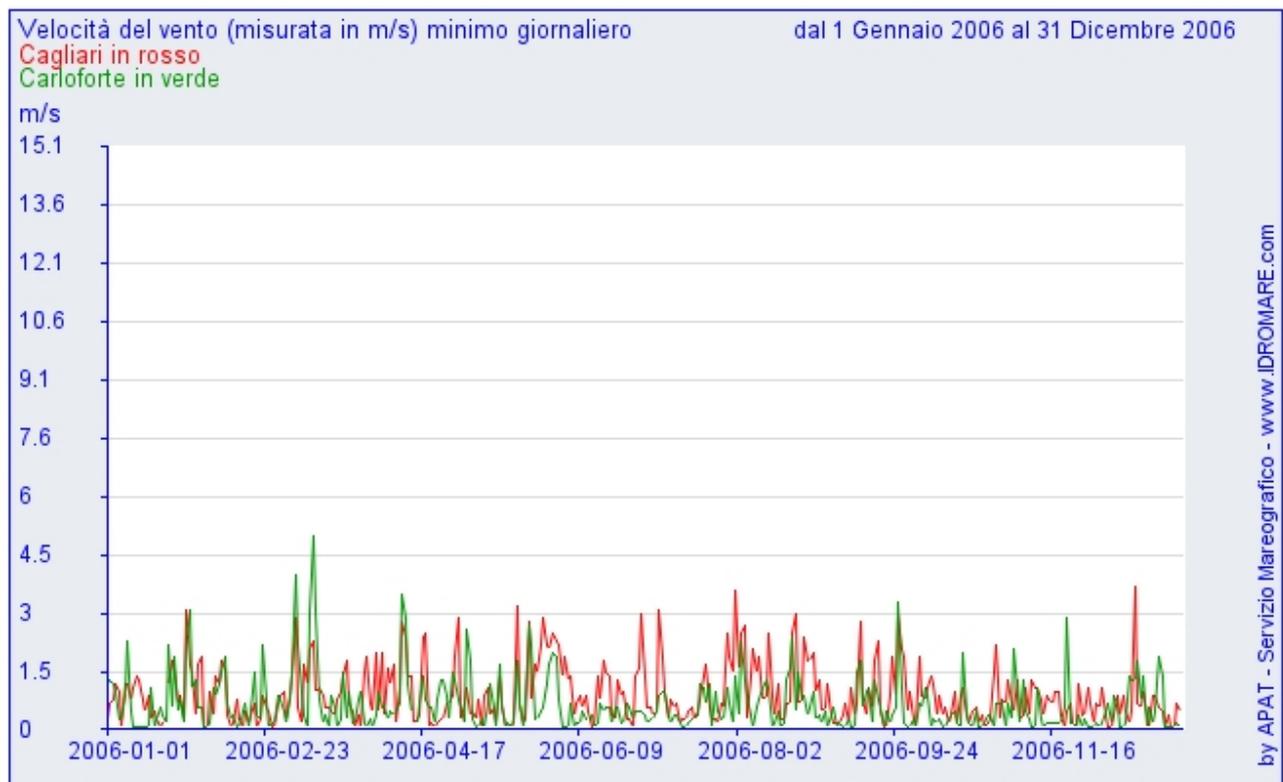
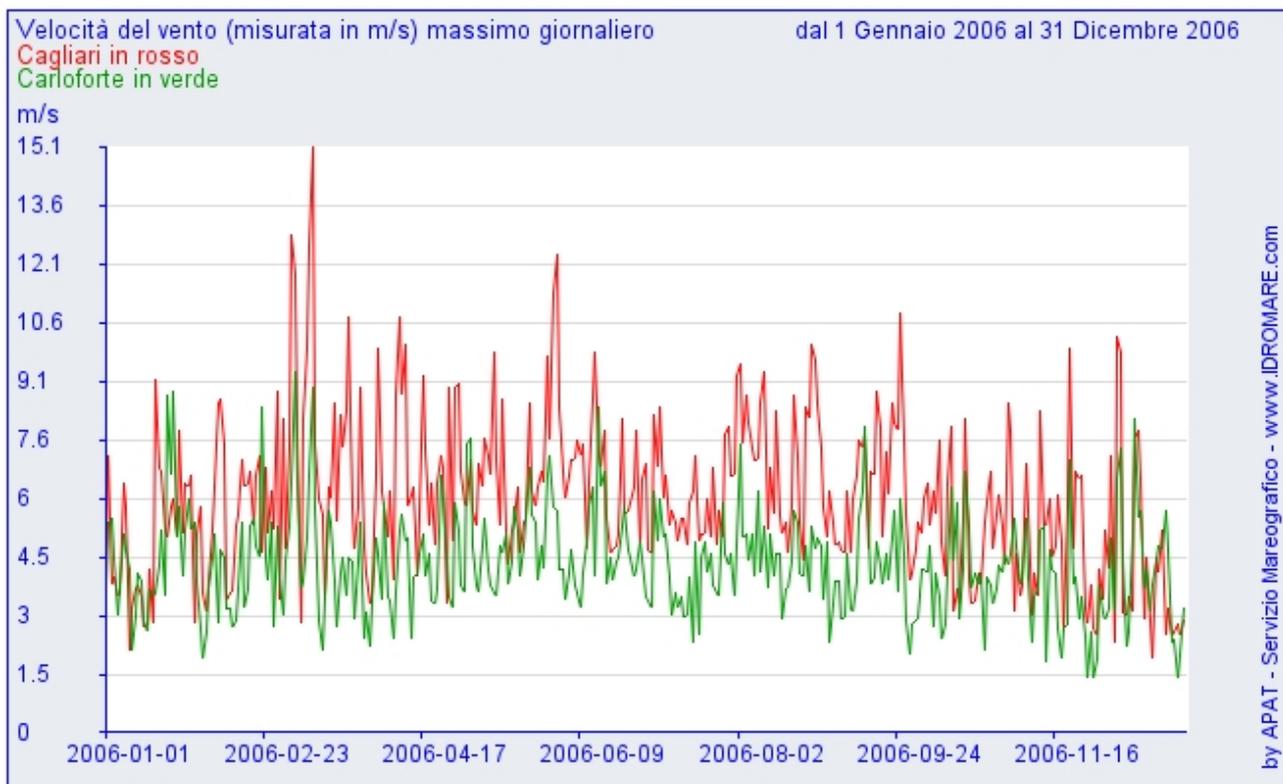


Fig. 4 e 5 - Grafici cartesiani per i parametri Velocità del Vento Massimo giornaliero e Velocità del Vento Minimo Giornaliero. Questi grafici descrivono l'andamento del parametro (misurato in m/s) nell'anno 2006. Il grafico si riferisce ai sensori presente nelle stazioni di Cagliari e di Carloforte. Sulle ascisse ci sono i momenti delle rilevazioni, mentre sulle ordinate i valori misurati dalla stazione.

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.9).

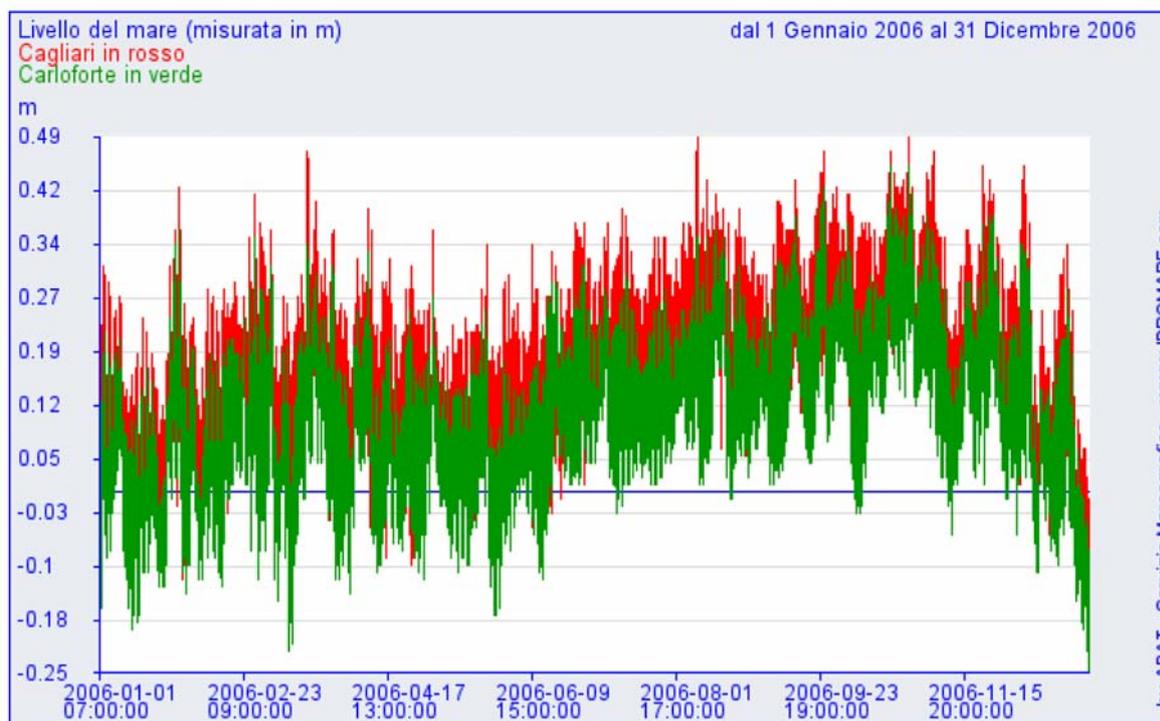


Fig. 9 - Grafico cartesiano per il livello del mare (LIV). Questo grafico descrive l'andamento del parametro Livello del mare (misurato in m) nell'anno 2006. Il grafico si riferisce al sensore presente nella stazione di Cagliari e nella stazione di Carloforte. Sulle ascisse ci sono i momenti delle rilevazioni, mentre sulle ordinate i valori misurati dalla stazione.

FONTE DI DATI METEOMARINI A DISPOSIZIONE

Per definire anche quantitativamente il regime ondoso (ossia la distribuzione di frequenza delle onde in altezza, periodo e direzione) è necessario raccogliere ed elaborare tutti i dati disponibili. In ogni caso l'analisi del moto ondoso va basata su dati rilevati o ricostruiti per un periodo di tempo sufficientemente lungo da un punto di vista statistico.

Le possibili fonti di dati sono costituite da:

- A. osservazioni a vista dalle navi al largo (fonte dati KNMI oppure UKMO);
- B. osservazioni a vista da stazioni costiere (fonte dati M.M.);
- C. misure strumentali dirette (le migliori se esistenti, fonte dati R.O.N.).
- D. ricostruzione indiretta con modelli matematici in funzione di serie storiche dei dati di vento registrate da stazioni costiere;
- E. ricostruzione indiretta con modelli matematici in base alle serie storiche delle misure meteorologiche satellitari;
- F. misure dirette satellitari.

Nel caso in esame sono disponibili diverse fonti di dati:

- a) i dati ondosi forniti dal UKMO(UK Meteorological Office) Bracknell nell' Area Sud (Tabella 1);
- b) i dati acquisiti dalla boa ondometrica della Rete Ondometrica Nazionale (R.O.N.) posizionata nel Golfo di Cagliari dal 1 luglio 2001 al 30 dicembre 2003;
- e) i dati acquisiti da satellite dal METOMER fra il 1991 ed il 1996 (Tabella 2).

Occorre peraltro osservare che le statistiche basate sulle osservazioni visuali delle onde sia a riva che al largo sono di affidabilità limitata e forniscono indicazioni per lo più qualitative, non solo per l'approssimazione delle stime a vista, ma anche per la scarsa omogeneità spaziale e temporale delle rilevazioni.

AREA SUD (38.0 - 39.0 °N, 8.5 - 10.0° E)								
(23167 dati osservati da navi 1949-88 - fonte UKMO Bracknell)								
CLASSI D'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)								
DIR (°N)	0 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	3.0 - 4.0	4.0 - 5.0	5.0 - 6.0	>6.0	Totale
75 - 105	7,18	2,83	0,76	0,17	0,05	0,03	0,00	11,03
105 - 135	4,58	2,49	0,64	0,24	0,04	0,02	0,01	8,02
135 - 165	2,71	1,07	0,27	0,07				4,12
165 - 195	1,20	0,34	0,07	0,00		0,00		1,61
195 - 225	2,05	0,57	0,15	0,05	0,00			2,82
225 - 255	3,15	1,65	0,51	0,19	0,06	0,02	0,00	5,59
255 - 285	7,30	5,32	2,39	0,85	0,34	0,11	0,10	16,41
Totale	28,17	14,27	4,79	1,57	0,50	0,19	0,11	49,60
Tot. cum.	28,17	42,44	47,23	48,80	49,30	49,49	49,60	

NOTA:
 Le classi delle direzioni sono costituite da intervalli chiusi a destra.
 Le classi di altezza d'onda, a meno dell'ultima, sono costituite da intervalli chiusi a destra.
 Si indica con 0.00 una percentuale inferiore a 0.005.

Tabella 1 – Percentuali di occorrenza dai settori di traversia, dati UKMO Bracknell con i periodi di rilevamento per i valori a largo di mare (dati osservati).

AREA SUD (38.0 - 39.0 °N, 8.5 - 10.0° E)

(5154 dati da satelliti 1991-96 - fonte METEOMER)

DIR (°N)	CLASSI D'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)							Totale
	0.25 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	3.0 - 4.0	4.0 - 5.0	5.0 - 6.0	>6.0	
90 - 120	1,86	4,17	1,69	0,56	0,49	0,12		8,89
120 - 150	2,62	2,35	1,01	0,78	0,47	0,10		7,33
150 - 180	2,06	0,66	0,06	0,02				2,80
180 - 210	1,30	0,04						1,34
210 - 240	1,92	0,39	0,04					2,35
240 - 270	1,36	3,05	2,02	0,68	0,29	0,10	0,12	7,62
Totale	11,12	10,66	4,82	2,04	1,25	0,32	0,12	30,33
Tot. cum.	11,12	21,78	26,60	28,64	29,89	30,21	30,33	

FREQUENZE TOTALI%	
Traversia:	30 (10% con Hs>2.0 m)
Calme (Hs≤0.25 m):	21
Fuori traversia:	49
Totale:	100

Tabella 2 - Percentuali di occorrenza dai settori di traversia, dati da satelliti 1991-96, fonte METEOMER.

1.4 ACQUISIZIONE E ANALISI DEI DATI

Come detto, nel Golfo di Cagliari sono stati effettuati in passato numerosi studi su tematismi diversi e a scala diversa. Tutti i dati bibliografici precedenti sono stati analizzati, omogeneizzati, re-interpretati e integrati con nuovi rilevamenti.

1.4.1 DATI DA ANALISI BIBLIOGRAFICA

1 - Campagne Oceanografiche PLACERS: “Oceanografia e fondi marini – Placers-CNR” (anni 70'-80'). Sono stati consultati i dati d'archivio e studiate 360 miglia nautiche di profili ecografici e sismici: *Placers 80/1* (profili 9 e 11) e *Placers 78/1* (profilo 11) acquisiti dalla Università di Cagliari (Lecca *et alii*, 1998). Si tratta di linee *Sparker (500-1000 J)* ed ecografiche (3.5 Khz), profili sismici *sub-bottom profiler (SBP)* e *Side Scan Sonar (SSS – Fig. 10)* analogico *Teledyne*.

Inoltre sono state predisposte nuove carte delle rotte per le campagne *placers 80/1* e *placers 78/1*, georeferenziate in conformità con il restante *data-set* (Fig. 11).

Attraverso questa base dati è stata impostata la prima zonazione morfo-strutturale dell'areale indagato.

Le carte delle rotte originali in cartaceo (scala 1:50.000, sistema di coordinate *Loran C*) sono state acquisite e georeferenziate secondo il *datum* ED50, uniformandole al sistema utilizzato per lo studio.

Le Campagne *Placers* vennero eseguite a bordo della Nave Oceanografica *Bannock* del C.N.R. (Figura a lato), un ex rimorchiatore oceanico di salvataggio della Marina militare USA, ceduto nel 1962 all'Italia e trasformato in nave oceanografica. Il posizionamento utilizzato nel periodo di attività di tale nave si avvaleva di metodi Radar e *Loran C*.



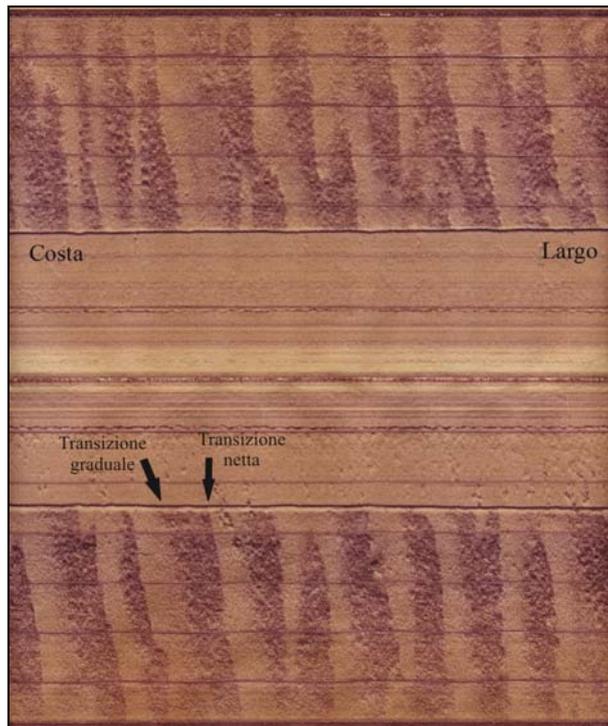


Fig. 10 - Esempio di strisciata SSS Campagna Placers. Interpretazione da Cossellu (2007).

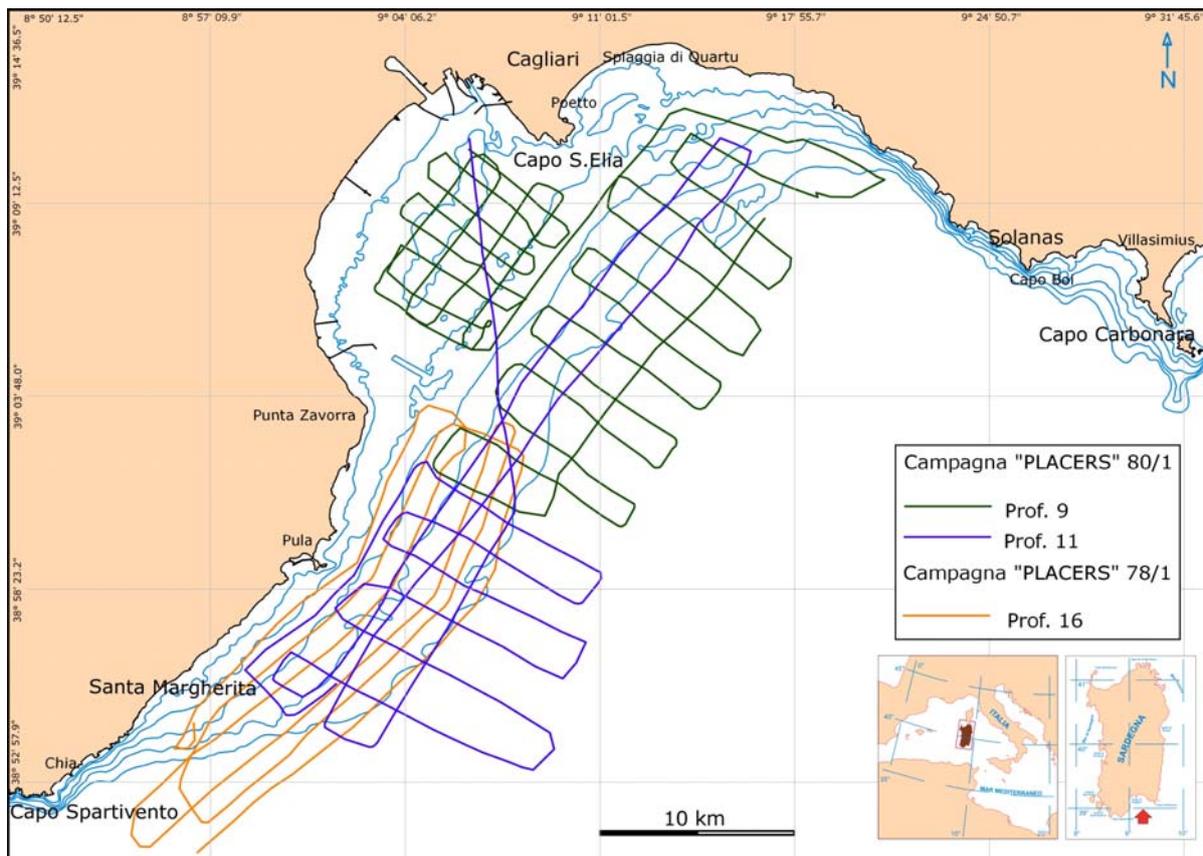


Fig. 11 - Posizionamento rotte Campagne Placers

2 - Campagna Golfo di Cagliari 2001/02. Questa campagna è stata svolta per l'acquisizione di profili ecografici Side Scan Sonar, Multi-Beam e campionature sedimentologiche marine prospicienti il settore costiero di Solanas-Torre delle Stelle.

Le missioni sono state eseguite mediante imbarcazioni del Corpo Forestale e di Vigilanza Ambientale della Regione Autonoma della Sardegna (C.F.V.A. – R.A.S.) – BLON Cagliari, grazie ad una convenzione stipulata tra il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Cagliari e il Corpo Forestale per uno studio sul Golfo degli Angeli (De Muro, 2001). Durante la campagna sono state acquisite 18 miglia nautiche di profili Multibeam echosounder e 12,5 miglia nautiche di profili Side Scan Sonar e prelevati 18 campioni in battigia e 32 campioni nella spiaggia sottomarina (Figg. 12 e 13).

Durante la campagna è stata utilizzata la sottoelencata strumentazione:

- *Multibeam Echosounder Reson SEABAT 9001*, costituito da un'unità di acquisizione e da un trasduttore con le seguenti caratteristiche:

- frequenza 455 kHz;
- 90 beams;
- apertura 180°;
- beam angle 1,5°;
- *range* di funzionamento da 10 a 200 m di profondità;
- sensore di moto della *TSS modello DMS-05*
- Side Scan Sonar, composto da:
 - unità di registrazione analogica EG&G model 260;
 - trasduttore *Tow Fish EG&G Model 272*.

Girobussola satellitare: *FURUNO Satellite compass model SC60* per la georeferenziazione dei dati acquisiti.

Per i campionamenti sedimentologici si è utilizzata una Benna Van Veen da 5 litri di capienza e per il posizionamento il GPS *Garmin GPS48*.

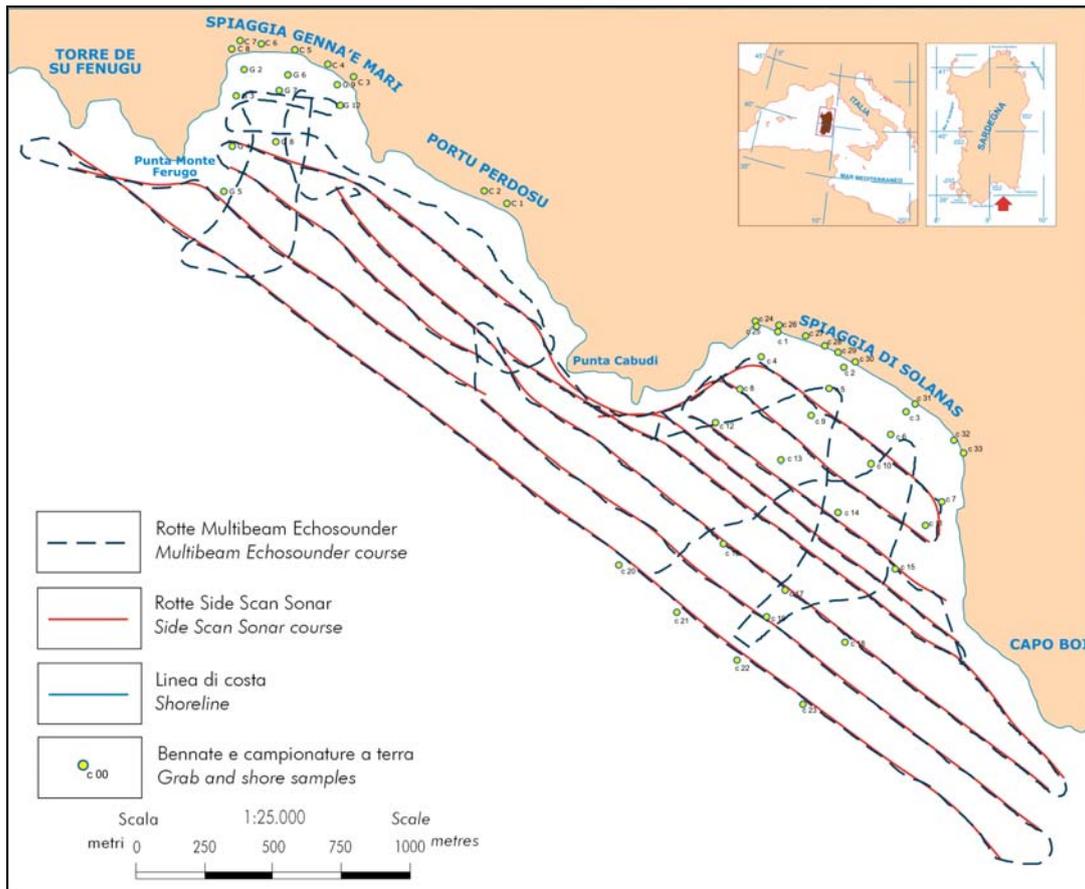


Fig. 12 - Posizionamento dei rilievi Campagna 2 “Golfo di Cagliari 2001/02”

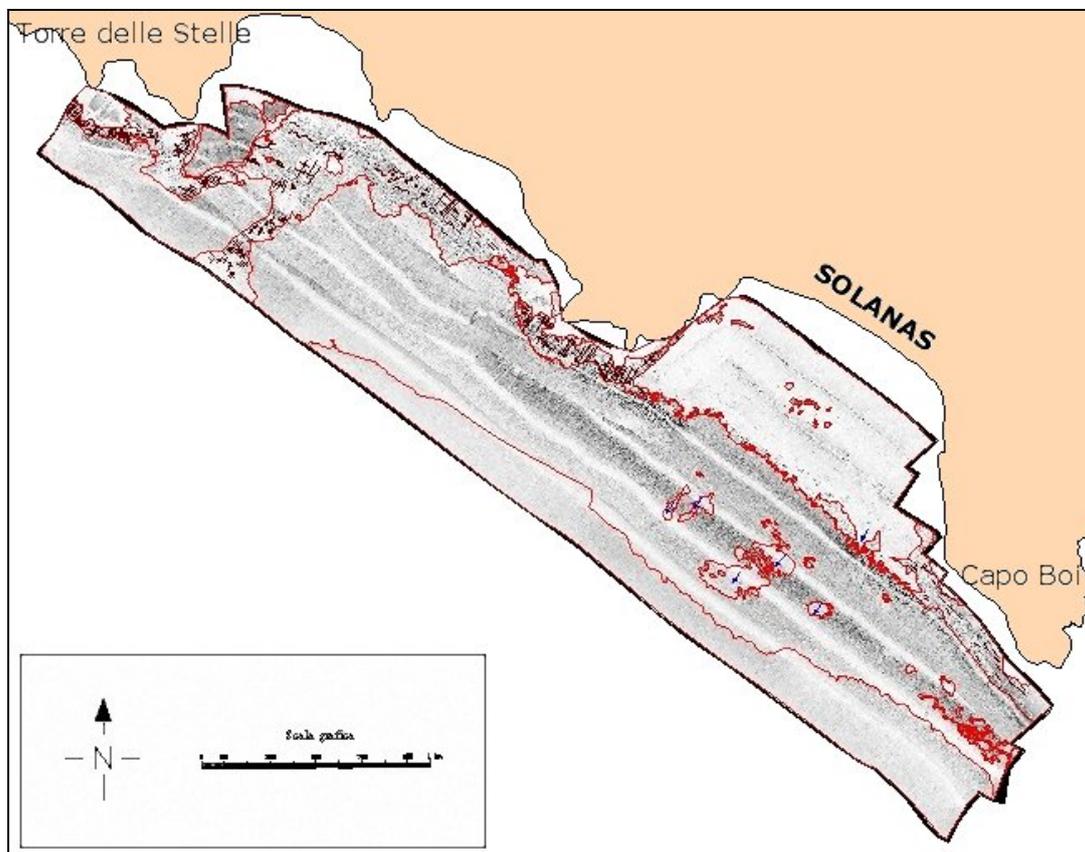


Fig. 13 – Fotomosaico SSS da Campagna “Golfo di Cagliari 2001/02”. Interpretazione da Kalb (2002).

3 - Campagna Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio - Servizio difesa del mare 2002 – Progetto “Mappatura delle praterie di *Posidonia oceanica* lungo le coste della Sardegna e delle piccole isole circostanti”.

I dati di questo studio, consultati omogeneizzati, integrati con le nuove acquisizioni e re-interpretati, consistono in una copertura Side Scan Sonar in scala 1:50.000 realizzata al fine di identificare i limiti, inferiore e superiore, della prateria di *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Questi dati provengono da indagini ecografiche condotte con l’utilizzo dell’imbarcazione della M/N oceanografica "Tool Beat". Sul mezzo era stato installato un sistema integrato per l’acquisizione dei dati batimorfologici costituito dalla seguente strumentazione:

- Sistema di posizionamento satellitare GPS differenziale (stazioni di terra e di bordo);
- Sistema di navigazione ed acquisizione dati;
- Sistema batimetrico single-beam *Honeywell Elac Laz 4700*;
- Sistema batimetrico multi-beam *Reason Seabat 9001*;
- Sensore di moto *TSS DMS05*;
- Sistema Side Scan Sonar *Edgetech Mod. 260 TD*;
- Stazione digitale *ISIS Triton-Elics*;
- Girobussola;
- Sonda *CTD Sea-Bird 911-Plus* (solo per operazioni di calibrazione).

Per il nostro lavoro sono stati consultati ed interpretati i sonogrammi mosaicati relativi al Golfo di Cagliari per una copertura totale di circa 300 nmq (554 kmq) (Fig. 14).

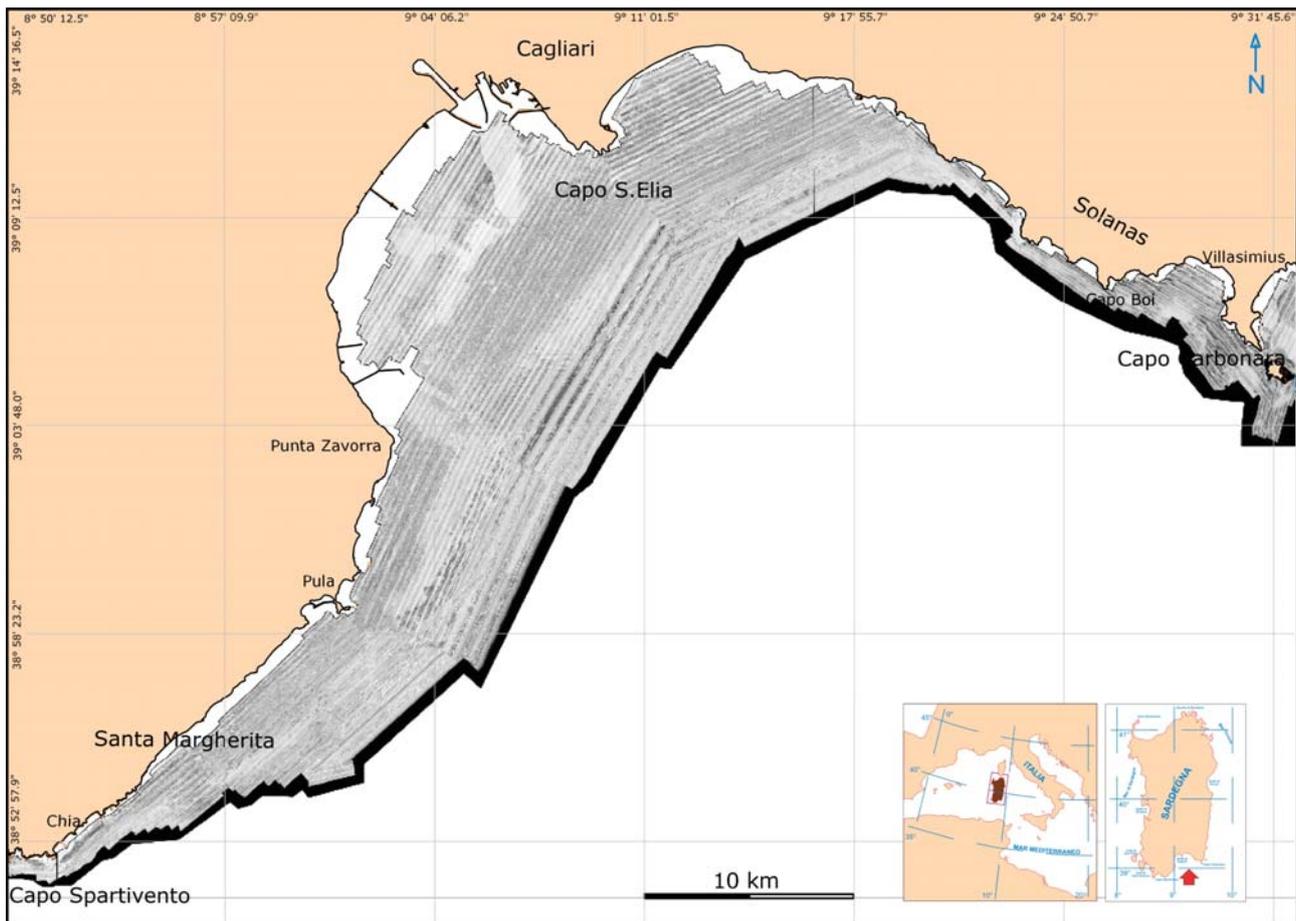


Fig. 14 - Posizione del Mosaico SSS utilizzato dalla Campagna 3 “Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio 2002”.

4 - Campagna Golfo di Cagliari 2002/03. Le ricerche sono state svolte principalmente per

l’acquisizione di nuovi profili ecografici e nuovi dati sedimentologici.

Le missioni sono state effettuate nel periodo compreso tra dicembre 2002 e settembre 2003 per un totale di 22 uscite giornaliere, utilizzando imbarcazioni del C.F.V.A.- R.A.S.

Sono stati impiegati la motovedetta di 9,50 m e il gommone tipo *Zodiac*, sui quali è stato montato un ecografo *single-beam* modello *Royal RF-350A*. Il rilievo è stato effettuato ad una velocità costante di circa 4 nodi con una frequenza di segnale di 200 KHz.

Per il campionamento sedimentologico si è utilizzata una Benna Van Veen da 5 litri. Il posizionamento è stato effettuato mediante il GPS *Garmin GPSmap 60c*. In questa campagna sono stati acquisiti 9 profili ecografici integrativi, eseguiti fino alla profondità di -130 m, per un totale di 63,3 miglia nautiche (Fig. 15) e prelevati 33 campioni di battigia e 48 di spiaggia sottomarina (Tabella 3).

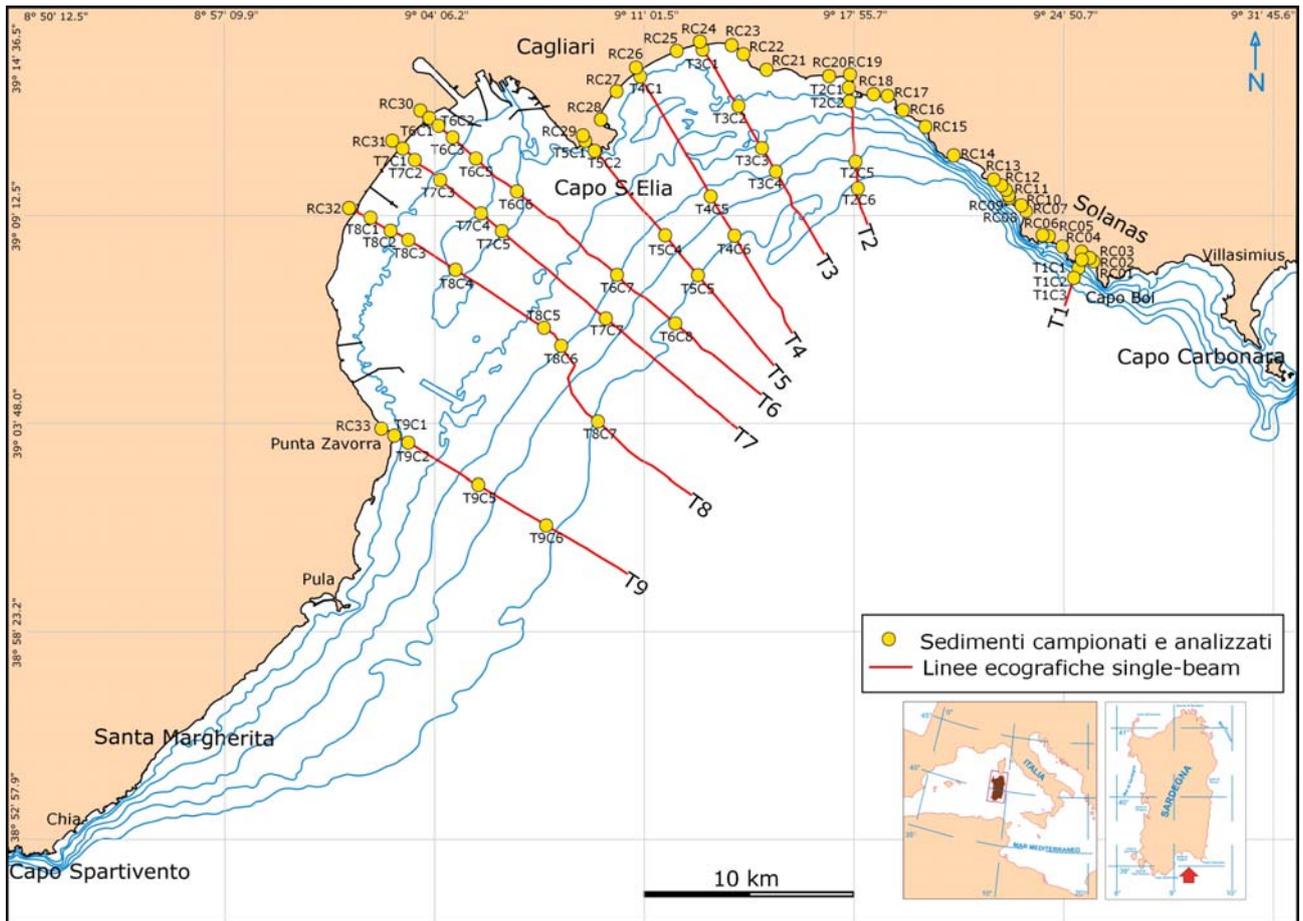


Fig. 15 - Posizionamento rilievi Campagna 4 “Golfo di Cagliari 2002/03”.

	CAMPIONE	PROF. (m)	CLASSI % PESO - UNITA Φ							$\sigma\Phi$	COMPONENTE TERRIGENA					COMP. BIOC.
			< -1	-1 + 0	0 + 1	1 + 2	2 + 3	3 + 4	> 4		Quarzo	Feldsp.	Minori	Litoc.	TOTALE	
BATTIGIA	RC1	-	50%	31%	9%	9%	0%	0%	0%	0,80	53%	43%	0%	4%	100%	0%
	RC2	-	25%	66%	9%	0%	0%	0%	0%	0,55	49%	47%	0%	3%	100%	0%
	RC3	-	38%	50%	11%	0%	0%	0%	0%	0,60	53%	40%	0%	7%	100%	0%
	RC4	-	38%	44%	6%	4%	7%	0%	0%	0,70	46%	44%	0%	5%	96%	4%
	RC5	-	0%	3%	22%	60%	14%	0%	0%	0,65	53%	33%	2%	4%	92%	8%
	RC6	-	0%	0%	6%	59%	34%	0%	0%	0,60	56%	32%	3%	3%	91%	9%
	RC7	-	0%	0%	0%	2%	85%	12%	0%	0,35	64%	21%	6%	1%	93%	7%
	RC8	-	23%	49%	5%	7%	15%	1%	0%	1,55	48%	42%	1%	6%	98%	2%
	RC9	-	5%	40%	30%	18%	7%	0%	0%	1,05	53%	39%	0%	7%	99%	1%
	RC10	-	2%	31%	42%	21%	4%	0%	0%	0,90	51%	39%	0%	10%	100%	0%
	RC11	-	17%	60%	16%	5%	1%	0%	0%	0,60	46%	42%	0%	12%	100%	0%
	RC12	-	19%	68%	6%	3%	5%	1%	0%	0,50	50%	39%	0%	10%	100%	0%
	RC13	-	3%	58%	35%	3%	1%	0%	0%	0,70	50%	42%	0%	8%	100%	0%
	RC14	-	26%	30%	9%	7%	23%	4%	0%	1,85	39%	31%	1%	25%	96%	4%
	RC15	-	23%	28%	10%	8%	26%	4%	0%	1,85	40%	34%	1%	22%	97%	3%
	RC16	-	3%	13%	55%	27%	1%	0%	0%	0,65	50%	39%	0%	11%	100%	0%
	RC17	-	1%	3%	3%	24%	68%	1%	0%	0,55	57%	33%	2%	3%	95%	5%
	RC18	-	0%	1%	36%	61%	2%	0%	0%	0,60	55%	36%	0%	9%	100%	0%
	RC19	-	0%	3%	8%	25%	61%	2%	0%	0,70	62%	30%	1%	5%	99%	1%
	RC20	-	1%	5%	3%	8%	82%	2%	0%	0,40	62%	32%	3%	3%	100%	0%
	RC21	-	3%	4%	7%	64%	22%	0%	0%	0,60	50%	28%	0%	20%	98%	2%
	RC22	-	0%	0%	0%	21%	77%	2%	0%	0,45	53%	35%	1%	4%	93%	7%
	RC23	-	0%	0%	4%	18%	61%	17%	0%	0,60	59%	28%	3%	4%	92%	8%
	RC24	-	0%	1%	3%	30%	56%	8%	0%	0,65	64%	30%	2%	3%	98%	2%
	RC25	-	0%	0%	5%	56%	39%	0%	0%	0,60	61%	29%	0%	7%	98%	2%
	RC26	-	1%	2%	6%	18%	72%	1%	0%	0,55	53%	16%	2%	2%	73%	27%
	RC27	-	1%	5%	67%	22%	6%	0%	0%	0,60	13%	7%	0%	3%	29%	77%
	RC28	-	5%	8%	33%	27%	25%	2%	0%	1,15	19%	7%	0%	2%	29%	71%
	RC29	-	6%	20%	60%	10%	3%	0%	0%	0,65	12%	5%	1%	80%	99%	1%
	RC30	-	0%	4%	35%	33%	27%	1%	0%	1,00	44%	33%	1%	9%	87%	13%
	RC31	-	1%	0%	0%	2%	81%	15%	0%	0,40	50%	28%	5%	2%	85%	15%
	RC32	-	15%	34%	35%	9%	6%	0%	0%	1,00	39%	49%	1%	3%	92%	8%
	RC33	-	43%	37%	20%	0%	0%	0%	0%	0,75	1%	0%	0%	85%	86%	14%
PIATTAFORMA	T1C1	7,0	0%	0%	1%	28%	65%	4%	0%	0,60	55%	38%	4%	2%	100%	0%
	T1C2	10,0	0%	3%	56%	40%	0%	0%	0,60	56%	39%	1%	4%	100%	0%	
	T1C3	40,0	8%	42%	33%	13%	3%	1%	0%	0,90	1%	1%	0%	0%	3%	97%
	T2C1	3,5	0%	0%	1%	6%	57%	33%	3%	0,65	64%	28%	3%	3%	98%	2%
	T2C2	5,5	1%	1%	1%	6%	58%	26%	7%	0,60	67%	21%	4%	2%	94%	6%
	T2C5	39,2	13%	42%	34%	9%	1%	0%	0%	0,85	1%	1%	0%	0%	3%	97%
	T2C6	50,5	14%	33%	34%	13%	5%	1%	0%	1,05	1%	1%	0%	0%	2%	98%
	T3C1	1,0	0%	0%	4%	48%	41%	7%	0%	0,70	70%	27%	1%	2%	99%	1%
	T3C2	14,2	35%	56%	8%	0%	0%	0%	0%	0,55	44%	19%	0%	36%	99%	1%
	T3C3	21,8	25%	31%	20%	12%	8%	4%	1%	1,40	2%	1%	0%	1%	4%	96%
	T3C4	33,0	3%	9%	18%	30%	22%	15%	3%	1,40	18%	9%	1%	3%	31%	69%
	T3C5	52,4	13%	20%	20%	20%	19%	8%	1%	1,70	0%	0%	0%	0%	0%	100%
	T4C1	6,0	0%	0%	0%	1%	40%	56%	3%	0,65	67%	27%	2%	1%	97%	3%
	T4C5	35,0	9%	33%	35%	16%	5%	2%	0%	1,05	15%	11%	0%	4%	30%	70%
	T4C6	51,0	5%	16%	43%	28%	7%	2%	0%	0,95	18%	7%	0%	2%	27%	73%
	T5C1	1,6	0%	0%	1%	31%	50%	15%	3%	0,70	36%	0%	51%	0%	87%	13%
	T5C2	4,3	0%	0%	3%	88%	8%	0%	0%	0,35	45%	5%	43%	0%	93%	7%
	T5C4	33,5	4%	13%	23%	31%	24%	5%	0%	1,30	32%	8%	0%	3%	43%	57%
	T5C5	48,3	19%	46%	25%	8%	2%	1%	0%	0,90	0%	0%	0%	0%	0%	100%
	T6C1	2	0%	0%	0%	0%	69%	29%	1%	0,50	51%	13%	2%	3%	69%	31%
	T6C2	4	0%	0%	0%	1%	17%	55%	27%	0,70	39%	29%	1%	3%	72%	28%
	T6C3	8	30%	16%	16%	16%	13%	7%	1%	1,85	12%	3%	0%	0%	15% *	79%
	T6C5	12,5	25%	20%	15%	0%	31%	7%	2%	2,00	17%	5%	0%	2%	26%	74%
	T6C6	23,2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0,30	20%	10%	0%	5%	35% *	30%
	T6C7	29	3%	18%	19%	23%	25%	9%	2%	1,50	18%	13%	0%	11%	43%	57%
	T6C8	50,1	14%	48%	27%	7%	3%	2%	0%	0,90	3%	0%	0%	0%	3%	97%
	T7C1	2,1	0%	0%	0%	0%	35%	60%	4%	0,65	62%	6%	6%	3%	77%	23%
	T7C2	5,3	0%	0%	0%	0%	3%	69%	27%	0,55	61%	7%	3%	3%	75% *	9%
	T7C3	11,9	68%	10%	6%	5%	4%	5%	2%	1,20	4%	2%	0%	1%	7% *	86%
	T7C4	17	12%	7%	11%	46%	20%	4%	1%	1,35	30%	11%	0%	4%	45% *	31%
T7C5	24,4	0%	0%	0%	19%	61%	16%	4%	0,60	34%	10%	2%	21%	67% *	29%	
T7C7	36,6	22%	43%	20%	9%	4%	2%	1%	1,00	30%	9%	0%	17%	56%	44%	
T7C8	50,7	10%	32%	29%	17%	9%	3%	0%	1,25	0%	0%	0%	0%	0%	100%	
T8C1	1	2%	4%	8%	25%	50%	10%	1%	0,85	34%	21%	0%	0%	66%	44%	
T8C2	10,5	1%	4%	6%	10%	9%	22%	48%	1,55	48%	23%	2%	3%	76%	24%	
T8C3	15	0%	0%	0%	0%	9%	30%	60%	0,70	41%	20%	5%	6%	71%	29%	
T8C4	23	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0,30	20%	10%	0%	5%	35% *	30%	
T8C5	25	5%	10%	22%	31%	27%	4%	0%	1,25	32%	19%	0%	4%	55% *	37%	
T8C6	32	7%	31%	27%	16%	15%	4%	1%	1,45	26%	22%	0%	18%	66%	33%	
T8C7	50	12%	40%	28%	11%	6%	3%	1%	1,10	2%	0%	0%	0%	2%	98%	
T9C1	1,9	20%	29%	34%	15%	1%	0%	0%	1,05	3%	6%	0%	28%	38%	62%	
T9C2	6,5	32%	46%	15%	8%	0%	0%	0%	0,80	4%	6%	0%	43%	53%	47%	
T9C5	37	7%	38%	43%	7%	3%	2%	1%	0,85	38%	17%	0%	13%	68%	32%	
T9C6	51	5%	36%	38%	14%	5%	1%	0%	0,95	2%	1%	0%	0%	3%	97%	

Tabella 3 – Campioni e analisi (granulometrie, cernita e composizione) Campagna 4 “Golfo di Cagliari 2002/03” (Pau, 2003; Cossellu, 2003).

5 - Campagna Golfo di Cagliari 2004/05. L'attività è stata principalmente rivolta per all'acquisizione di nuovi rilievi ecografici e sedimentologici. Anche questa campagna si è svolta mediante l'ausilio di mezzi del C.F.V.A. – R.A.S. con la medesima strumentazione. Sono state effettuate 15 missioni giornaliere in un periodo compreso tra maggio 2004 e settembre 2005 e sono stati acquisiti 9 profili ecografici per una copertura di 49,5 miglia nautiche (Fig.16) e prelevati 58 campioni tra battigia e spiaggia sottomarina (Tabella 4).

Durante questa campagna è stato eseguito un rilievo MB e SSS di taratura costituito dai transetti S1 e S2 per una copertura di 9 miglia nautiche (Fig.16).

Sono stati utilizzati i seguenti strumenti:

- Multibeam RESON Seabat 8125 con la seguente configurazione:
 - frequenza di 455 kHz ;
 - risoluzione massima di 6 mm (accuratezza concorde con le normative IHO (*International Hydrographic Organization*) e *U.S. Army Corps of Engineers*);
 - ricezione 240 *beams* (fasci) separati ognuno di 0,5° per una apertura totale (*swath coverage*) di 120° che permette di acquisire una porzione di fondale pari a 3,5 volte la profondità fino a 60m di distanza dal fondo;
- Side Scan Sonar KLEIN 3000 configurato con:
 - doppia frequenza simultanea di 100 e 500 kHz;
 - software di acquisizione Sonar Pro ed ISIS;
- Sistema di posizionamento GPS con modalità RTK *Trimble 5700 Total Station*;
- Sistema di girobussola e sensori di moto integrato *IXEA OCTANS 1000*.

PIANO DI POSIZIONAMENTO DEI CAMPIONI					Classi % peso - unità Φ								Composizione				
Campione	Data	Prof. (m)	Latitudine	Longitudine	< -2	< -1	-1 ÷ 0	0 ÷ 1	1 ÷ 2	2 ÷ 3	3 ÷ 4	> 4	Quarzo	Feldspati	Minori	Litoclasti	Bioclasti
SW01	29/06/2004	47	N39 05,668	E9 09,329	18,5%	43,7%	22,6%	9,9%	3,9%	1,1%	0,2%	19,1%	13,7%	0,0%	7,9%	59,4%	
SW02	29/06/2004	47	N39 06,036	E9 09,747	28,7%	49,1%	15,4%	4,8%	1,3%	0,5%	0,1%	23,2%	12,8%	0,0%	11,4%	52,6%	
SW03	29/06/2004	43	N39 06,390	E9 10,139	7,7%	28,9%	46,4%	11,6%	4,4%	0,9%	0,1%	18,9%	7,0%	0,0%	4,9%	69,1%	
SW04	29/06/2004	48	N39 05,343	E9 09,817	22,7%	24,7%	19,9%	18,3%	10,5%	3,4%	0,4%	6,6%	5,7%	0,0%	3,4%	84,3%	
SW05	29/06/2004	50	N39 05,665	E9 10,271	0,3%	6,0%	34,2%	42,1%	13,9%	3,2%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	
SW06	29/06/2004	53	N39 06,020	E9 10,687	18,6%	54,9%	15,3%	5,7%	3,9%	1,3%	0,2%	7,2%	3,5%	0,1%	6,6%	82,6%	
SW07	29/06/2004	52	N39 04,998	E9 10,357	8,3%	39,8%	32,1%	12,0%	4,5%	2,6%	0,5%	4,3%	2,6%	0,0%	2,6%	89,8%	
SW08	29/06/2004	50	N39 05,327	E9 10,816	1,0%	15,6%	56,0%	21,9%	4,6%	0,9%	0,1%	1,7%	1,2%	0,0%	0,4%	96,7%	
SW09	29/06/2004	43	N39 05,636	E9 11,276	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	29/06/2004	45	N39 04,728	E9 10,795	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	26/09/2004	50	N39 05,045	E9 11,272	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	23/07/2004	62,3	N39 03,897	E9 12,015	13,7%	24,0%	27,5%	20,1%	9,9%	3,5%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	99,6%	
SW17	23/07/2004	62,6	N39 04,279	E9 12,435	5,7%	12,0%	26,5%	31,6%	17,9%	5,6%	0,7%	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%	98,2%	
SW18	23/07/2004	57,9	N39 04,596	E9 12,839	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	23/07/2004	73,7	N39 03,530	E9 12,597	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	23/07/2004	75,0	N39 03,868	E9 13,032	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	23/07/2004	80	N39 04,207	E9 13,441	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	23/07/2004	96	N39 03,138	E9 13,212	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	23/07/2004	98	N39 03,491	E9 13,618	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	23/07/2004	102	N39 03,840	E9 13,995	2,2%	7,5%	11,1%	22,2%	43,8%	12,4%	0,6%	4,3%	0,0%	2,5%	0,0%	92,4%	
E01	15/06/2005	47	N39 09,257	E9 15,051	23,2%	35,6%	28,1%	10,7%	2,0%	0,4%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	
E02	15/06/2005	47	N39 09,548	E9 15,514	19,0%	54,1%	19,7%	4,4%	1,6%	0,8%	0,4%	1,5%	1,1%	0,0%	0,0%	97,4%	
E03	15/06/2005	43	N39 09,749	E9 15,932	10,8%	25,8%	35,8%	19,2%	7,1%	1,1%	0,3%	5,9%	5,7%	0,0%	0,0%	88,4%	
E04	15/06/2005	48	N39 08,924	E9 15,313	6,3%	29,4%	38,8%	19,3%	5,1%	1,0%	0,1%	1,5%	2,1%	0,0%	0,0%	91,2%	
E06	15/06/2005	53	N39 09,388	E9 16,225	14,4%	26,0%	22,6%	17,5%	11,4%	6,9%	1,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	
E07	15/06/2005	52	N39 08,601	E9 15,568	5,5%	28,7%	30,4%	21,3%	10,0%	3,4%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	
E08	15/06/2005	50	N39 08,852	E9 16,035	5,5%	28,7%	30,4%	21,3%	10,0%	3,4%	0,7%	2,2%	1,9%	0,3%	0,2%	95,5%	
E09	14/07/2005	42,8	N39 09,069	E9 16,459	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	14/07/2005	45	N39 08,240	E9 15,867	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	14/07/2005	50,5	N39 08,508	E9 16,290	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	14/07/2005	51,5	N39 08,725	E9 16,692	48,9%	23,1%	17,1%	7,3%	2,3%	0,9%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	99,9%	

Tabella 4 - campioni e analisi (granulometrie, cernita e composizione) Campagna Golfo di Cagliari 2004/05 (Lecca et alii, 2005; Puddu, 2006).

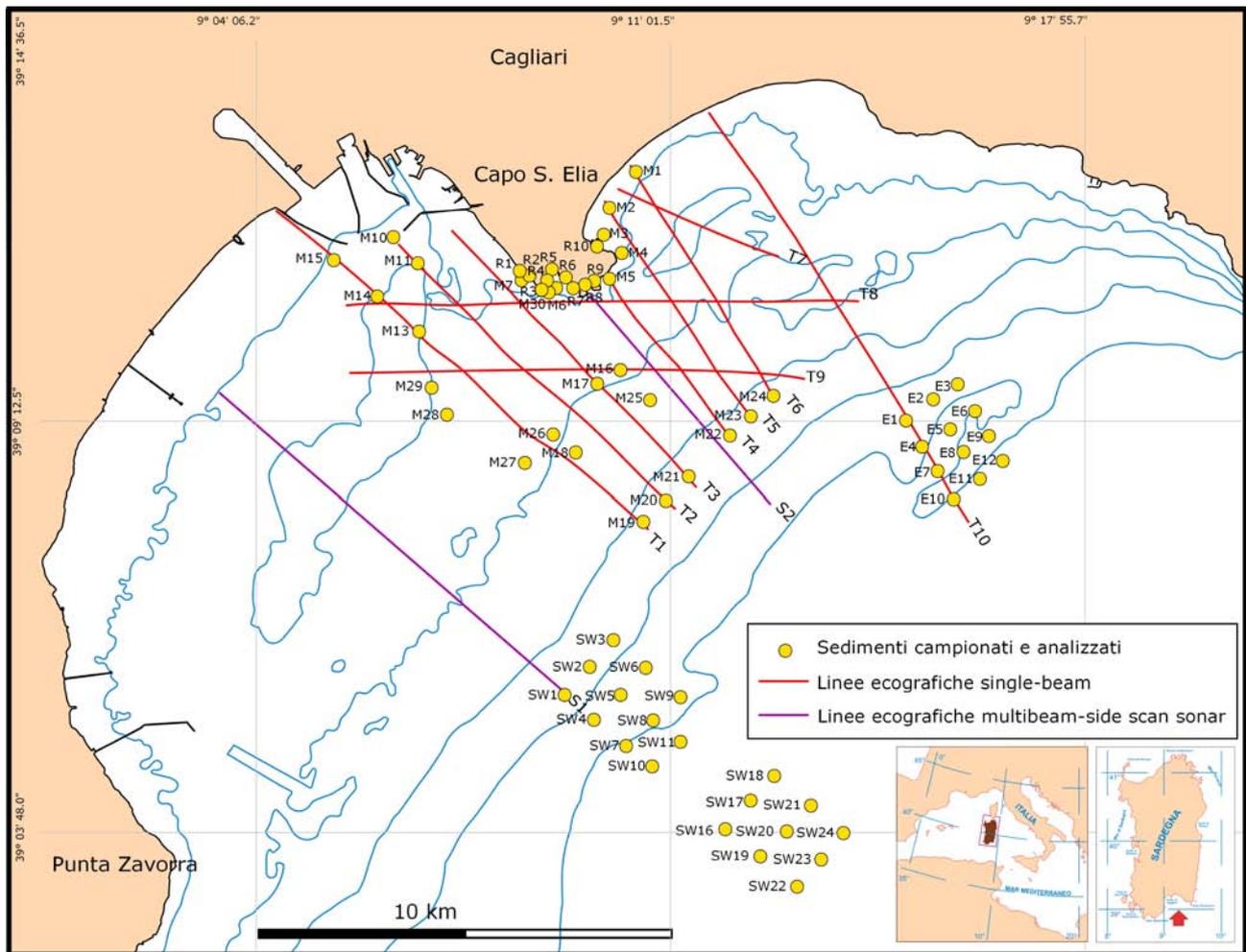


Fig. 16 – Posizione rilievi Campagna 5 “Golfo di Cagliari 2004/05”.

1.4.2 DATI DI NUOVA ACQUISIZIONE

6 - Campagna Golfo di Cagliari 2006. Le ricerche avevano come obiettivo nuovi campionamenti sedimentologici.

La campagna si è svolta mediante l'ausilio della motovedetta della Guardia Costiera di Cagliari (CP2100 *Nelson* dei cantieri *Tenkara*) corredata di GPS ed ecoscandaglio di bordo. Sono state effettuate un totale di 13 missioni giornaliere nel periodo compreso tra maggio e ottobre 2006. Durante la campagna sono stati prelevati 88 campioni di sedimento a diverse profondità (Fig.17). Il campionamento è stato effettuato mediante Benna Van Veen da 5 litri previo allestimento di una piccola gru adattata all'imbarcazione, il posizionamento è stato effettuato con GPS *Garmin GPSmap 60c*.

Il piano di campionamento della campagna è stato predisposto sulla base di dati bibliografici e sulla base dell'analisi e rielaborazione del fotomosaico SSS fornito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio – Servizio difesa del mare (2002) e realizzato nell'ambito del progetto “Mappatura delle praterie di Posidonia oceanica lungo le coste della Sardegna e delle piccole isole circostanti” (cfr. “Campagna Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, 2002”).

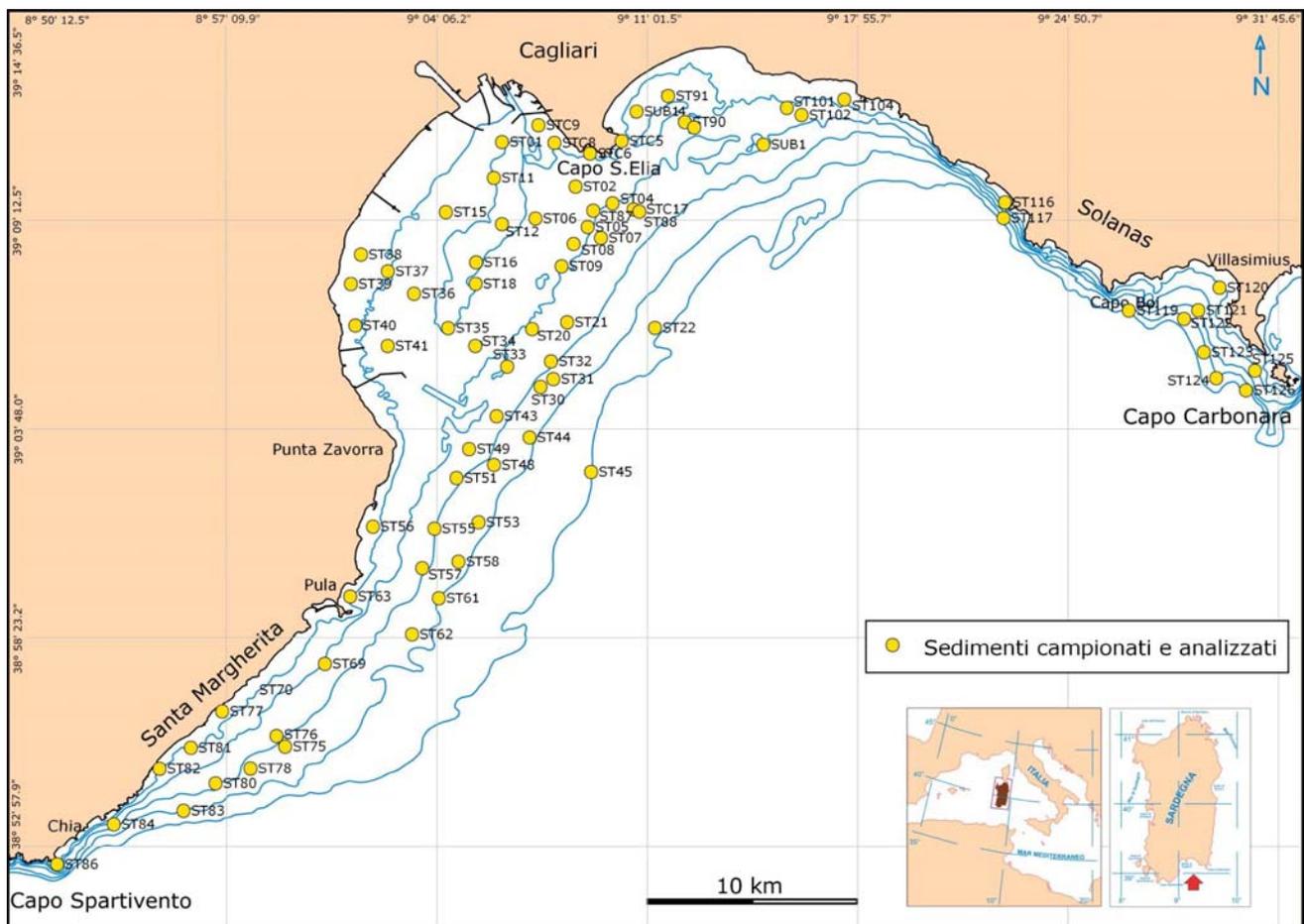


Fig. 17 - Stazioni di campionamento Campagna 6 “Golfo di Cagliari 2006”

7 - Campagna Santa Margherita di Pula 1#. L'attività era mirata al campionamento sedimentologico di dettaglio dell'area.

Questo campionamento si è svolto in due diverse fasi: a mare e in battigia, rispettivamente nei giorni 21/06/2006 e 11/07/2006 e ha portato alla raccolta di 21 campioni di cui 9 in battigia e 12 nella spiaggia sottomarina (Fig.18).

L'analisi sedimentologica: tessiturale e di *facies*, e la sua interpretazione ha permesso la realizzazione di una Carta morfo-sedimentologica preliminare dei fondali marini antistanti la spiaggia di Santa Margherita di Pula.

La campagna a mare si è svolta mediante l'ausilio della motovedetta della Guardia Costiera di Cagliari (CP2100). I prelievi sono stati eseguiti con una benna Van Veen da 5 litri. Il posizionamento dei campioni, sia a mare che in battigia, è stato registrato con GPS *Garmin GPSmap 60c*.

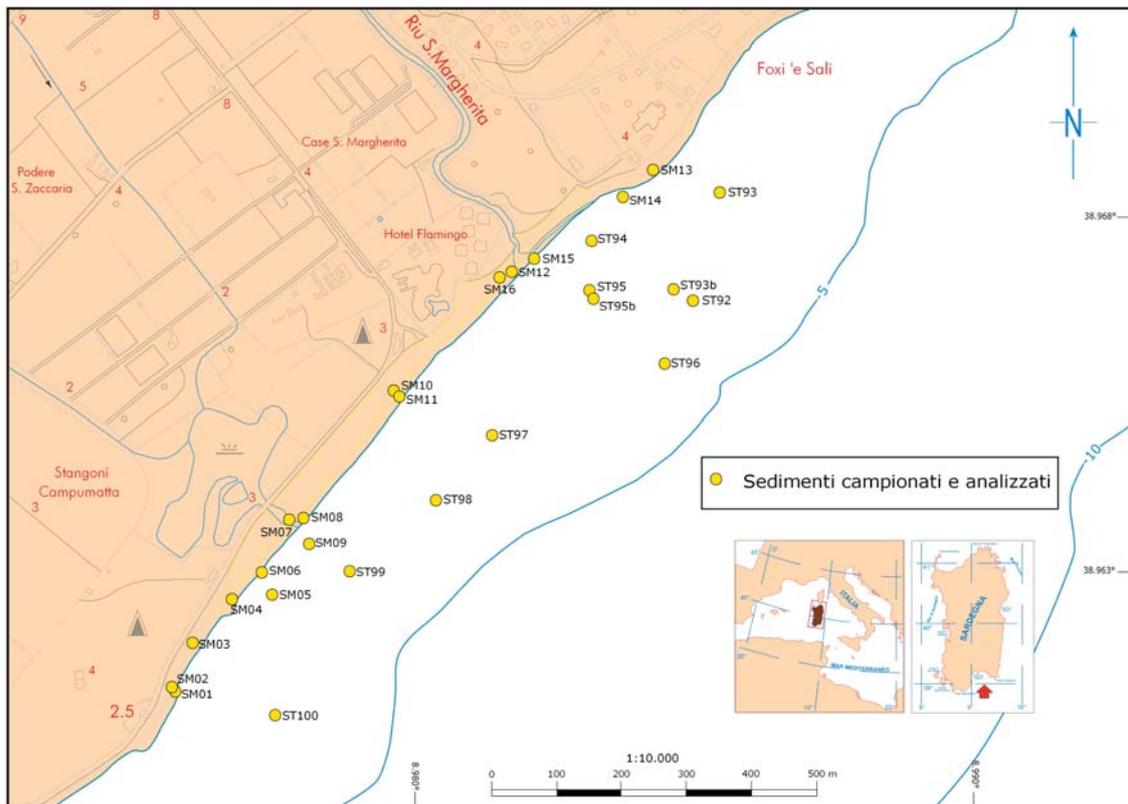


Fig. 18 – Posizionamento campionature Campagna 7 “Santa Margherita di Pula 1#”.

8 - Campagna Santa Margherita di Pula 2#. Le ricerche avevano come obiettivo il rilievo morfo-batimetrico del settore emerso e sottomarino della spiaggia campione di Santa Margherita. I dati raccolti sono stati utilizzati per la stesura della carta sedimentologica e la modellizzazione della spiaggia stessa.

Per tale campagna, svoltasi per il completamento dello studio dell'areale il giorno 20/12/2006, è stato utilizzato il mezzo nautico dell'Osservatorio Coste E Ambiente Naturale Sottomarino (O.C.E.A.N.S.) dell'Università di Cagliari, appositamente attrezzato per rilievi ecografici e sedimentologici in mare (gommone *Novamarine RH580* con motore *Evinrude E-Tec 90CV*).

Nell'imbarcazione da ricerca sono state installate le sotto elencate attrezzature:

- ecografo *single-beam* a doppia frequenza *Reson Navisound 215*, con frequenze di emissione a 200 e a 33 KHz;
- *DGPS Omnistar 8300HP* (GPS differenziale);
- software di navigazione *Reson PDS2000*.

Mediante il software di navigazione PDS2000 si interfacciano l'ecografo *single-beam* e il DGPS. Questo permette di osservare durante l'acquisizione, in tempo reale, i dati batimetrici e di posizione. Il GPS differenziale Omnistar 8300HP viene poi utilizzato per la costruzione dei DTM (*Digital Terrain Model*) di spiaggia emersa al fine di ottenere un rilievo terra-mare di spiaggia completo, dalle dune fino al limite di chiusura della spiaggia sottomarina.

I dati registrati vengono successivamente processati, filtrati e riportati in carta mediante l'utilizzo di software CAD.

Sono state registrate 12,5 miglia nautiche di profili *single-beam* e 19 transetti trasversali lungo il profilo di spiaggia (Fig.19).

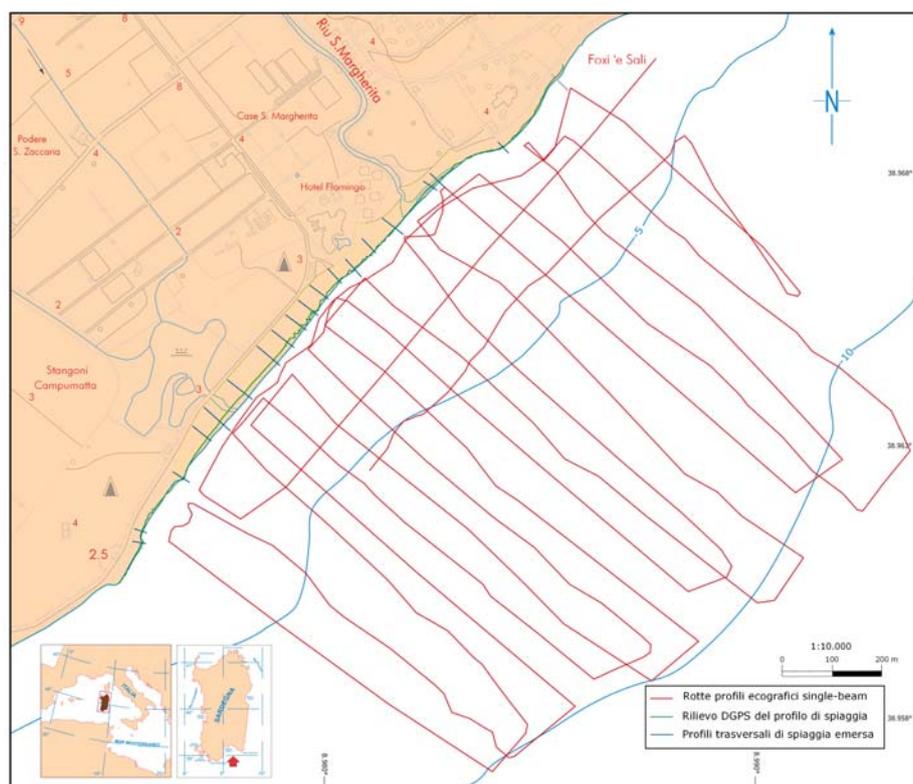


Fig. 19 - Rotte ecografiche e rilievi Campagna 8 “Santa Margherita di Pula 2#”.

9 – Campagna “Solanas ‘07”. Le attività avevano come obiettivo il rilievo morfo-batimetrico della spiaggia emersa e sottomarina di Solanas per la stesura della carta sedimentologica in scala 1:10.000 e per la modellizzazione della spiaggia stessa. Inoltre in questa campagna è stato completato il campionamento sedimentologico nell’area di Capo Carbonara, effettuato per il completamento della Carta Sedimentologica del Golfo di Cagliari in scala 1:50.000.

Per tale campagna, svoltasi il giorno 18/06/2007, è stato utilizzato il mezzo nautico dell’Osservatorio Coste E Ambiente Naturale Sottomarino (O.C.E.A.N.S.) dell’Università di Cagliari.

Per il rilievo a terra si è utilizzato il GPS differenziale Omnistar 8300HP.

I dati registrati sono stati processati e riportati in carta mediante l’utilizzo di software CAD.

Sono stati raccolte 7,6 NM di profili *single-beam* digitali nell’area di Solanas, due profili ecografici, V1 e V2, rispettivamente lunghi 0,8 NM in direzione 223° e 0,6 NM in direzione 315°, nell’area di Villasimius. Sempre nell’area di Villasimius sono stati prelevati 8 campioni di sedimento di spiaggia sottomarina.

Su Solanas è stato poi eseguito il rilievo della linea di riva reale della spiaggia, 26 transetti trasversali lungo il profilo di spiaggia e prelevati 14 campioni di sedimento (Fig. 20).

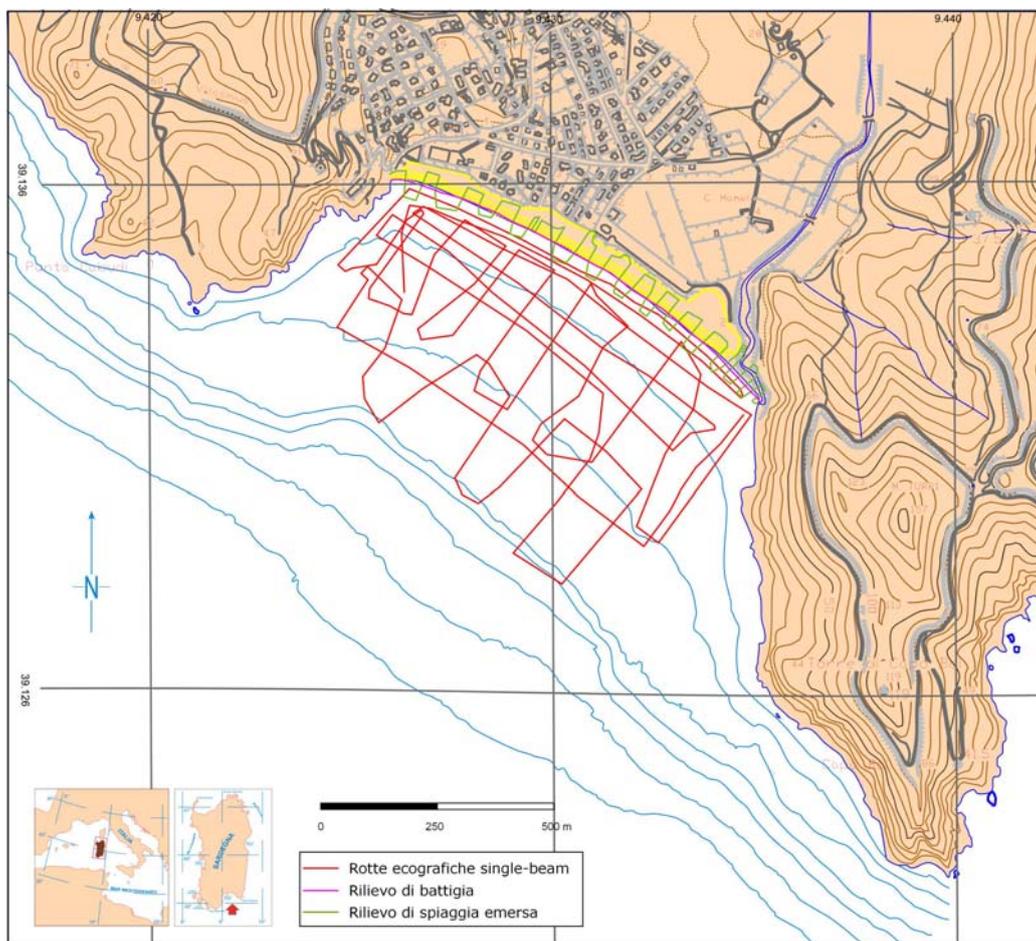


Fig. 20 - Rotte ecografiche e transetti di spiaggia emersa Campagna 9 "Solanas 2007".

10 – CAMPAGNA “SANTA MARGHERITA 2007”. La campagna aveva l’obiettivo di eseguire il rilievo morfo-batimetrico del settore emerso e sommerso della spiaggia di Santa Margherita di Pula per il completamento della carta sedimentologica (scala 1:10.000) e la modellizzazione della spiaggia stessa. Inoltre si prefiggeva il campionamento sedimentologico nell’area di Chia (Domus de Maria) per la stesura finale della Carta Sedimentologica del Golfo di Cagliari (scala 1:50.000).

La nuova campagna di acquisizione si è svolta in data 5/07/2007 e ha coinvolto due squadre di rilevamento per effettuare contemporaneamente il rilievo a mare e il rilievo di spiaggia emersa.

Nell’area di Santa Margherita di Pula sono stati raccolti dati morfo-batimetrici per la spiaggia sottomarina (totale di 9,4 NM percorse) (Fig. 21) e di tipo topografico-sedimentologico (16 transetti e 20 campioni distribuiti tra cresta-duna e battigia) (Fig.22).

Sono stati inoltre prelevati 5 campioni nella spiaggia sottomarina di Sa Colonia (Chia – Domus de Maria).

Per tale campagna è stato utilizzato il mezzo nautico dell’Osservatorio Coste E Ambiente Naturale Sottomarino (O.C.E.A.N.S.) dell’Università di Cagliari, appositamente attrezzato e modificato con supporti e strutture progettate per rilievi ecografici e sedimentologici in mare.

Per il rilievo a terra si è utilizzato il GPS differenziale Omnistar 8300HP.

I nuovi dati acquisiti in questa campagna uniti con quelli delle precedenti campagne di dettaglio sull’area costituiscono una banca dati di 41 campioni di sedimento di cui 9 in battigia, 12 nella spiaggia sottomarina e 20 distribuiti sulle strutture superficiali di spiaggia emersa, 21,9 miglia nautiche di profili *single-beam*, il rilievo della linea di riva reale nei due diversi assetti Invernale/Estivo; 35 transetti trasversali lungo il profilo di spiaggia sempre nei due diversi assetti Invernale/Estivo (Fig. 21).

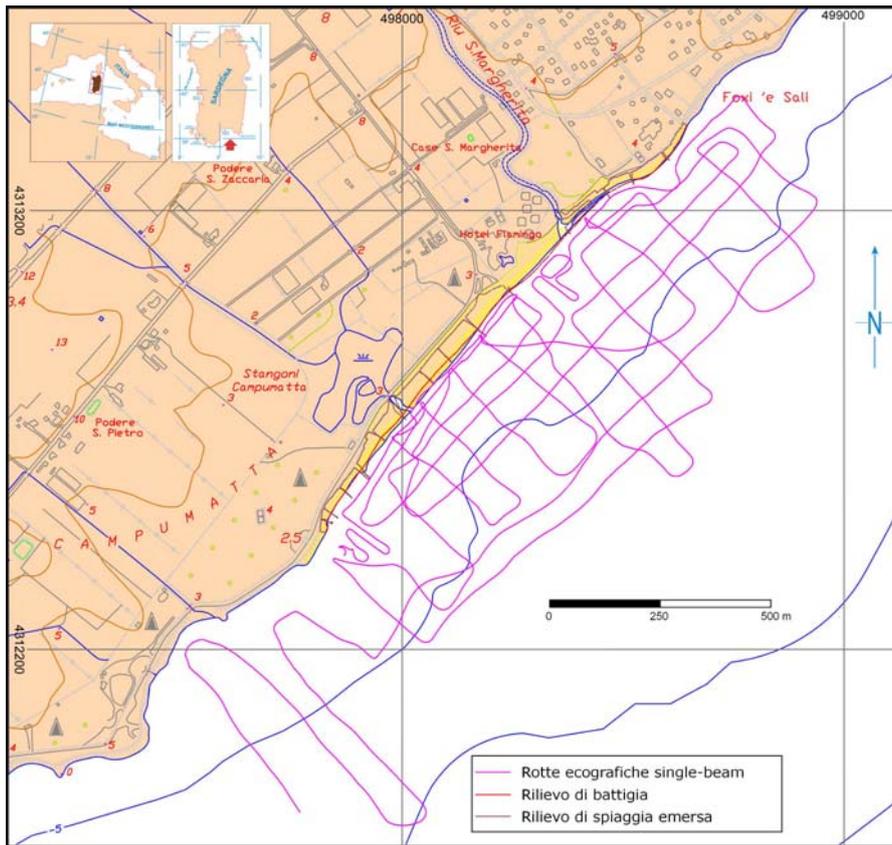


Fig. 21 - Rotte ecografiche e rilievi di spiaggia emersa Campagna “Santa Margherita 2007”

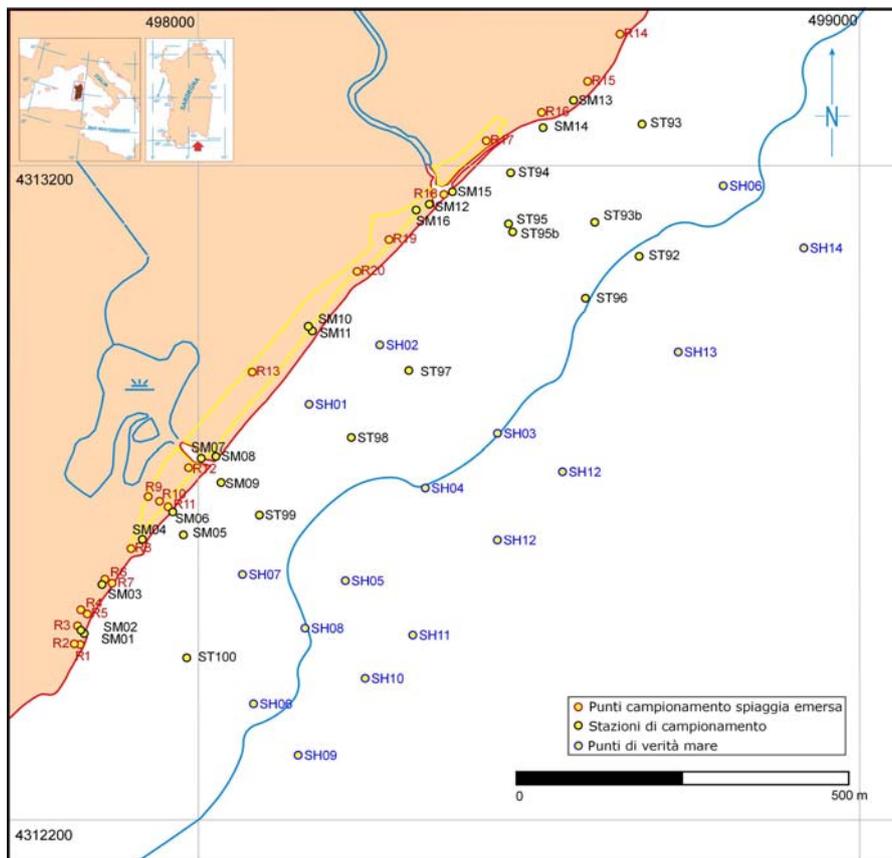


Fig. 22- Posizione dei punti di campionamento sedimentologico in spiaggia emersa e sottomarina e punti di verità mare.

11 - CAMPAGNA “CAGLIARI SUB 2006/2007”. Le ricerche avevano come obiettivo la campionatura diretta di affioramenti rocciosi (Fig 23). La campagna di rilevamento subacqueo si è svolta con ARA (autorespiratori ad aria) a diverse profondità tra i -12 e -35 m (Figg. 24 e 25).

Sono stati utilizzati i sotto elencati mezzi navali:

- mezzo nautico dell’Osservatorio Coste E Ambiente Naturale Sottomarino (O.C.E.A.N.S.) dell’Università di Cagliari, allestito per il rilevamento subacqueo;

- gommone *Arimar X-Cellence 760 EFB* della ditta “*Big Blue s.a.s.*” noleggiato per le attività di campionamento subacqueo.

La scelta delle stazioni di campionamento è stata effettuata sulla base della revisione e studio di dati precedentemente acquisiti e non pubblicati sul Golfo di Cagliari (Tesi di laurea inedite: Kalb, 2002; Pau, 2003; Cossellu, 2003; Puddu, 2006; Tesi dottorato Cossellu, 2007 realizzate nell’ambito dei progetti di ricerca citati precedentemente e attivi nell’area di studio).

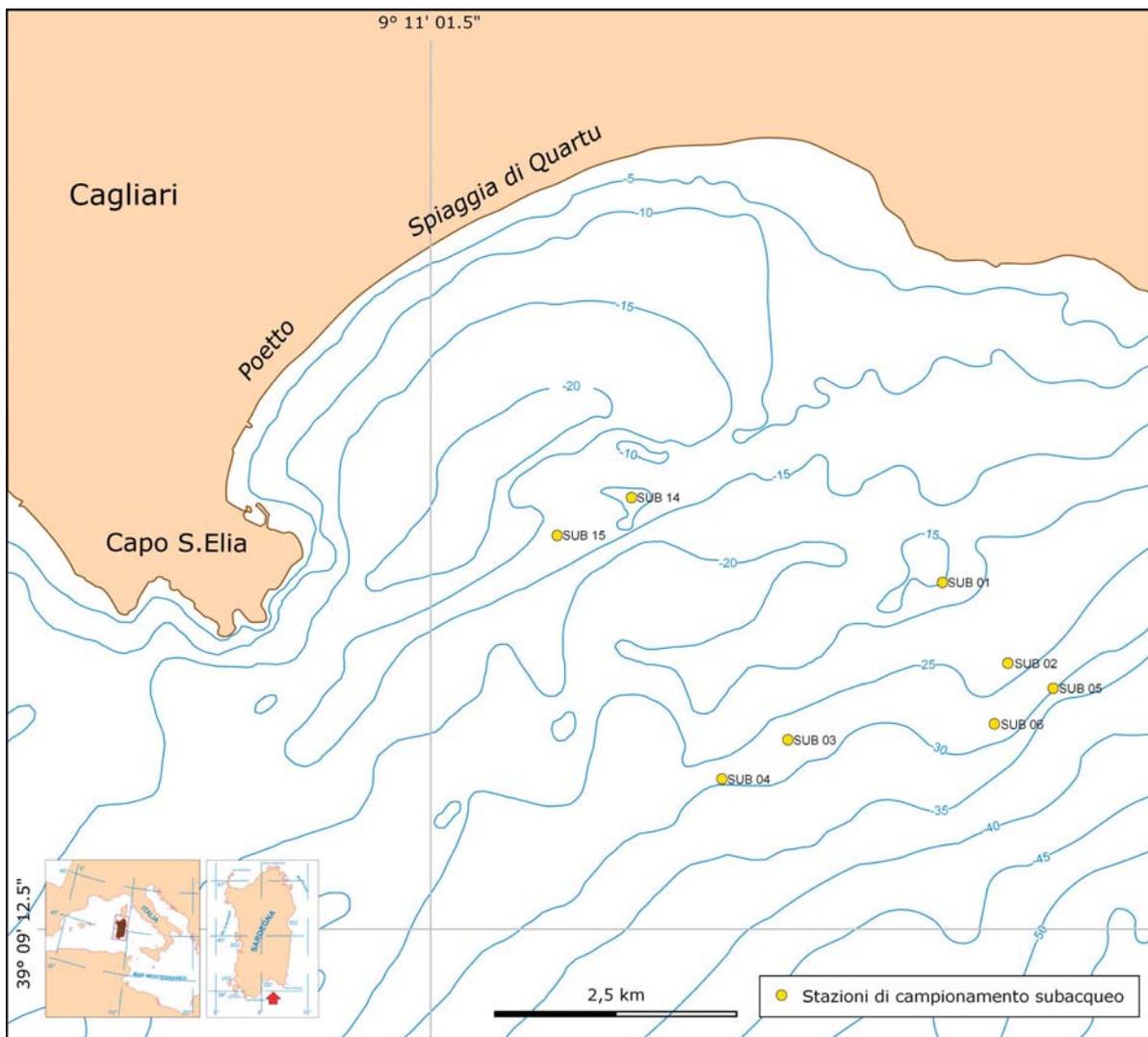


Fig. 23 – posizione dei campionamenti subacquei campagna “Cagliari Sub 2006/2007”.

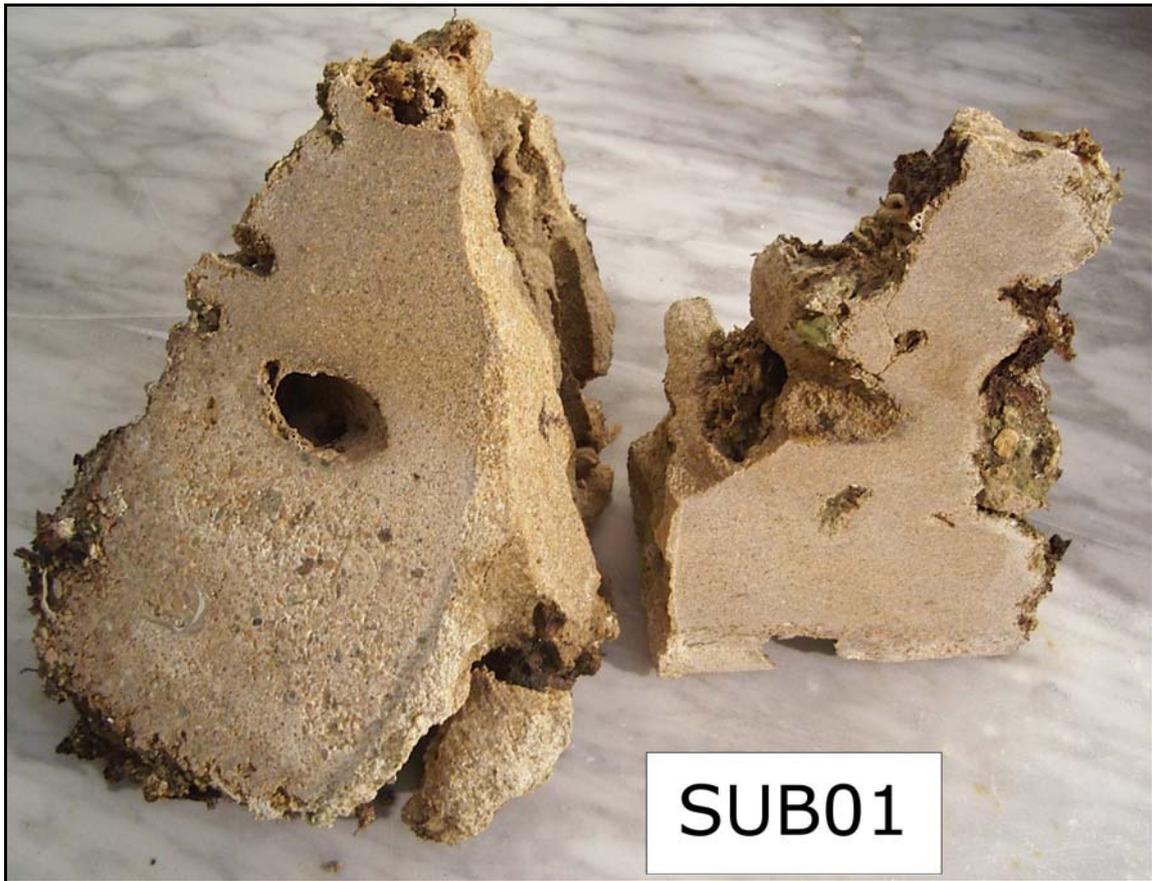


Fig. 24 – Vista in sezione del campione di roccia SUB01.



Fig. 25 – Vista in sezione del campione di roccia SUB14.

1.4.3 POSIZIONAMENTO DATI MARE

La determinazione della posizione delle imbarcazioni è stata sempre 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.

Per le carte di dettaglio di Santa Margherita di Pula e di Solanas si sono, in un secondo momento, convertiti i dati nel sistema UTM (*datum* WGS84), utilizzato dal software di modellizzazione adottato per lo studio.

1.4.4 PROFILI ECOGRAFICI SINGLE-BEAM, MULTI-BEAM E SIDE SCAN SONAR.

Le campagne di rilevamento 2005, 2006, 2007 sono state eseguite con la finalità di integrare e omogeneizzare i dati di profondità e morfologici per la ricostruzione della carta batimetrica. L'obiettivo primario era inoltre l'identificazione dei maggiori elementi morfo-strutturali e l'ubicazione delle nuove campionature dei sedimenti.

Il *data-set* acquisito da studi precedenti è costituito da 18 profili *single-beam* (200 kHz). Nove profili sono sviluppati perpendicolarmente alla linea di costa fino alla profondità di circa -130 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 *multi-beam/side scan sonar* sono stati eseguiti in corrispondenza di Capo S.Elia e della spiaggia de La Maddalena.

I profili ortogonali alla costa permettono la descrizione dei limiti zonalii individuabili in relazione all'aumento di profondità e di delineare le principali morfostrutture che si sviluppano in modo generalmente parallelo all'andamento batimetrico.

Il mosaico georeferenziato *side scan sonar* acquisito dal 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, 2002), interessa un areale della piattaforma esteso dalla batimetrica dei -5 m fino a -50 m di profondità circa e che, nel nostro caso, si estende in tutta l'area del Golfo da Capo Spartivento a Capo Carbonara.

L'interpretazione dei sonogrammi ha permesso di realizzare una prima zonazione della distribuzione dei sedimenti superficiali e di riconoscere, quindi, le aree di sviluppo della prateria di Posidonia, le aree a sedimento e gli affioramenti rocciosi, tenendo presente i limiti della scala di acquisizione degli stessi sonogrammi.

I profili ecografici single-beam 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 delle diverse campagne oceanografiche con analisi sovrapposta dei dati che ha permesso di caratterizzare gli aspetti fondamentali dei vari ambienti deposizionali. Nei settori costieri (tra terra e mare) l’individuazione delle zone di campionamento e la mappatura della posidonia sono state effettuate tramite l’osservazione di ortofoto di voli differenti (anni 1998, 2002 e 2006), che consentono l’individuazione di zone a sedimento mobile rispetto a quelle con copertura vegetale o rocciosa.

I campionamenti e le analisi dei sedimenti hanno infine permesso di identificare la distribuzione tessiturale e di facies, definendo le diverse tipologie di sedimento associate a ciascun ambiente individuato.

1.4.5 SCHEMA BATIMETRICO

Sulla base delle registrazioni ecografiche di nuova acquisizione e del *data-set* disponibile presso il laboratorio di Geologia Marina del Dipartimento di Scienza della Terra dell’Università di Cagliari, è stata elaborata una carta batimetrica della piattaforma con isobate intervallate ogni 5 m sino alla profondità di -900.

Tutti i dati bibliografici sono stati fatti convergere in un unico file CAD georeferenziato e quotato comprendente quindi dati di:

- cartografia nautica dell’I.I.M.I. su differenti scale (I.I.M.I., 1990 e 1999);
- cartografia I.G.M. in scala 1:25.000 e 1:50.000 (I.G.M.I., 1994a e 1994b);
- diversi lavori sulle aree interne del Golfo (Tilocca, 1984; Lecca *et alii*, 1998 e 2005; Kalb, 2002; Puddu, 2006).

La base cartografica è stata acquisita direttamente in formato digitale nella Proiezione UTM – Fusso 32, *European Datum 1950* (ED50) (Figg. 26 e 27).

Su questa base è stata riportata la ricostruzione delle rotte realizzata tramite l’unione dei *fix* registrati in fase di navigazione e i punti di campionamento dei quali si conoscono le coordinate x,y,z. Questi nuovi dati hanno permesso di verificare e affinare i dati bibliografici, funzionando come sistema di taratura dello schema batimetrico.

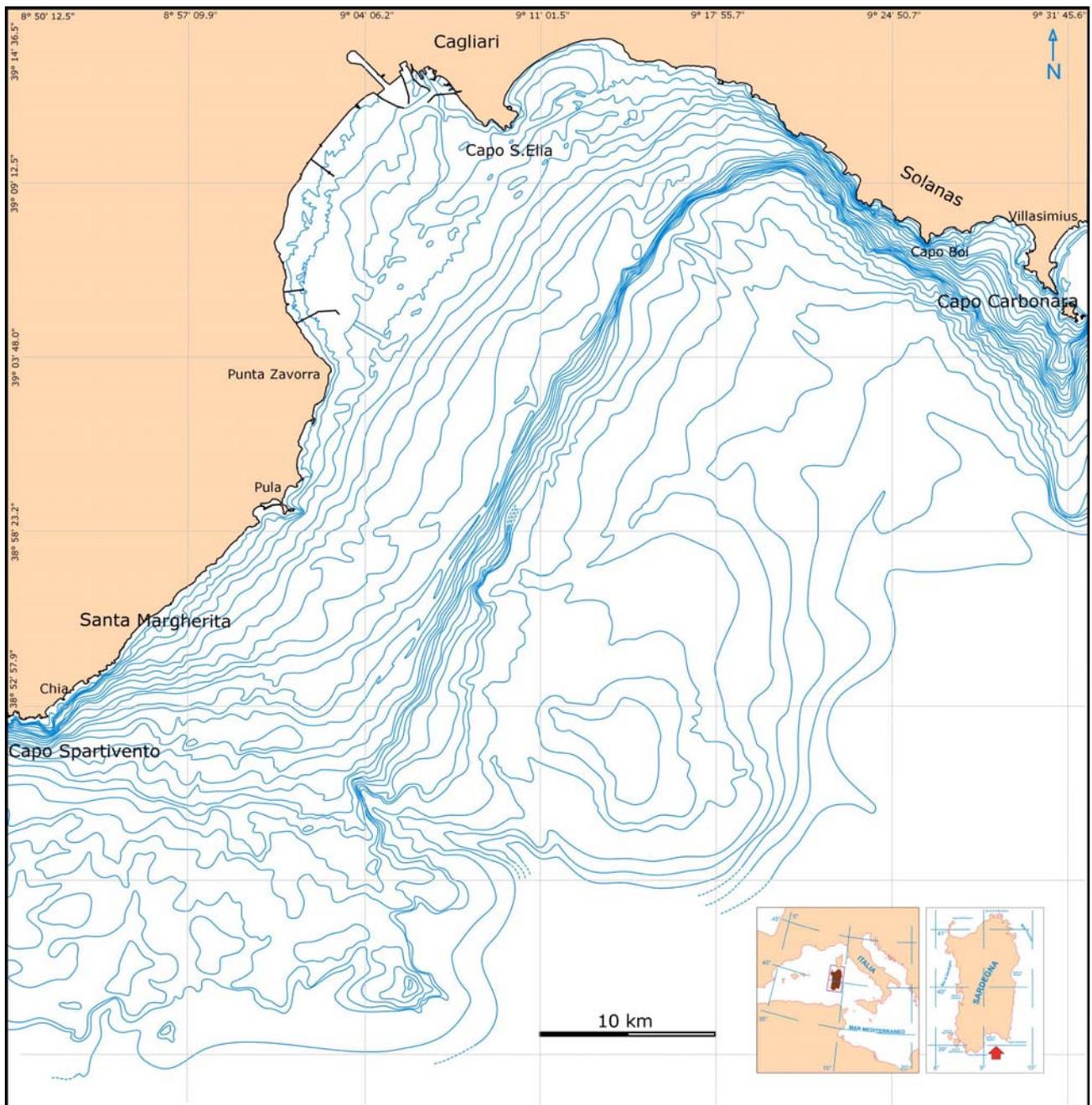


Fig. 26 - Schema batimetrico del Golfo di Cagliari con isobate equidistanti 5 metri .

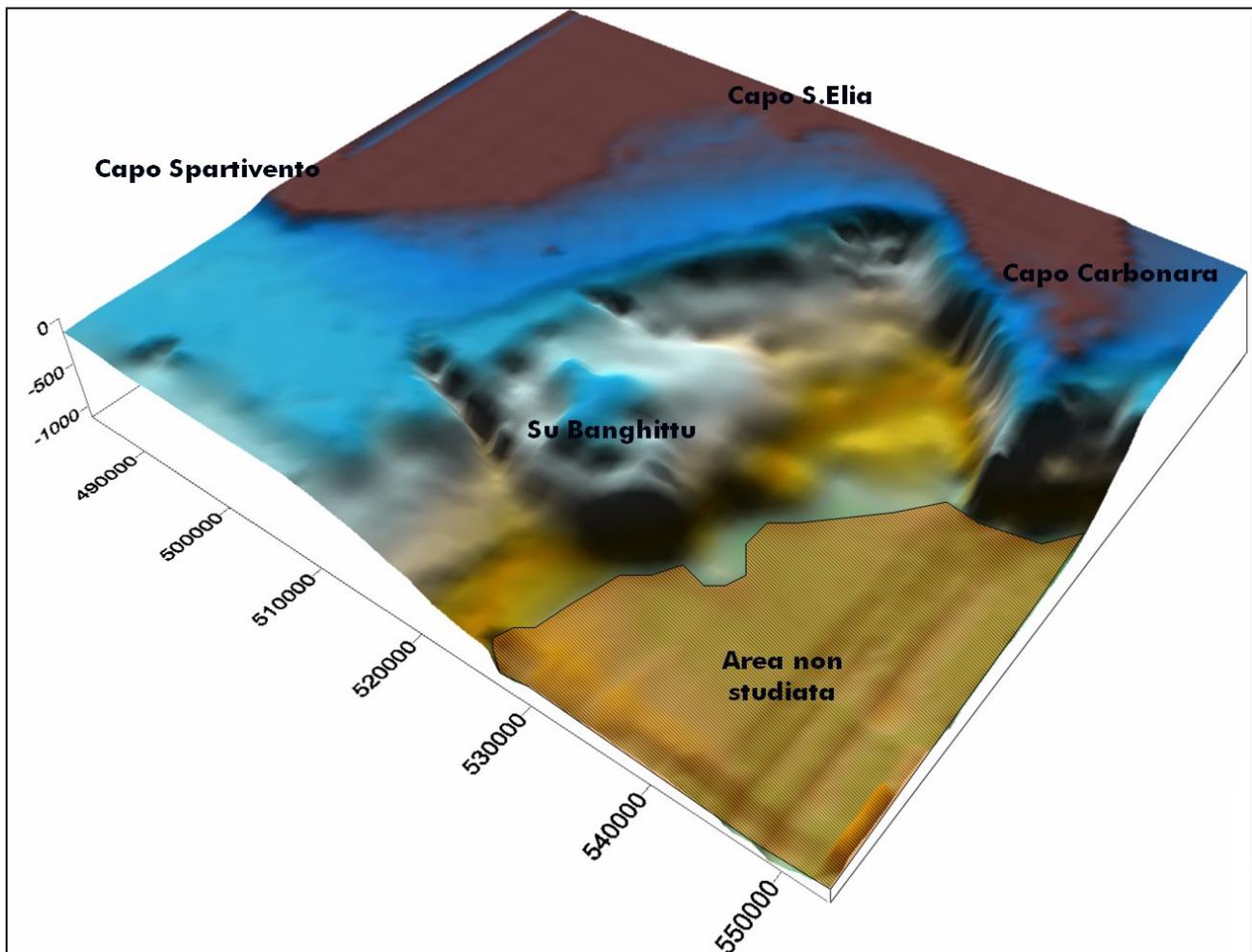


Fig. 27 - Blocco-diagramma ricavato dall'interpolazione delle curve batimetriche con i punti di campionamento mediante l'algoritmo "Kriging" del software Surfer.

1.4.6 LINEA DI COSTA E CARTOGRAFIA DI RIFERIMENTO ADOTTATA

La linea di costa adottata per la carta del Golfo di Cagliari è stata inizialmente ricavata dal 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 (2002).

Tale linea di costa era disegnata su foto aeree del 2000 in scala 1:50.000.

Successivamente, a seguito dei nostri rilievi ed interpretazioni, si è preferito modificare la linea di costa sulla base di Ortofoto georeferenziate in formato *ecw* dell'anno 2006 in scala 1:10.000 della Regione Autonoma della Sardegna. Oltre alla precisione di posizionamento fornita dal dato digitale, queste foto rappresentano anche l'attuale linea di costa del Golfo ed evidenziano le varie infrastrutture di origine antropica (porti, moli, barriere ecc.) presenti attualmente nell'area.

1.5 ANALISI DEI CAMPIONI

Seguendo le consuete metodologie dell'analisi granulometrica, i campioni prelevati sono stati lavati accuratamente in acqua dolce al fine di evitare cristallizzazioni saline e quindi la formazione di aggregati falsanti i risultati tessiturali. Al lavaggio è seguita l'asciugatura in stufe con temperatura tarata sulla tipologia di sedimento (es. i sedimenti fangosi sono stati essiccati ad una temperatura di circa 20°C per evitare la cementazione del materiale fine).

In riferimento allo standard ASTM *International* (*American Society for Testing and Materials*) i campioni sono stati suddivisi in 7 classi con intervalli interi di unità Φ tra 4000 e 63 μ m (Classificazione Udden-Wentworth):

- ghiaia ($> 2000 \mu\text{m}$);
- sabbia molto grossa (2000 \div 1000 μm);
- sabbia grossa (1000 \div 500 μm);
- sabbia media (500 \div 250 μm);
- sabbia fine (250 \div 125 μm);
- sabbia molto fine (125 \div 63 μm);
- silt e fanghi ($< 63 \mu\text{m}$).

Per lo studio composizionale è adottato in questa fase un metodo semi-quantitativo, eseguendo il riconoscimento delle diverse componenti al microscopio binoculare e valutando le percentuali mediante comparatori areali per stima visiva (Bacelle e Bosellini, 1965; Swanson, 1985).

Le varie famiglie di granuli sono state distinte sulla base dei caratteri morfologici, del colore e del comportamento all'attacco HCl diluito. Allo scopo di valutare l'importanza delle diverse componenti, le stime areali sono state moltiplicate per il peso di ciascuna frazione e infine normalizzate sul campione totale. Questo metodo consente la suddivisione dei sedimenti campionati in tre principali gruppi di facies: silicoclastiche, miste e bioclastiche.

Inoltre, per ogni facies classificata, si sono effettuate delle analisi diffrattometriche per individuare le componenti litiche del sedimento e capirne la provenienza e analisi calcimetriche per valutare la componente carbonatica (Cossellu, 2007).

1.5.1 COMPONENTE TERRIGENA

Sono state distinte le seguenti componenti terrigene: quarzo, feldspati *s.l.*, miche *s.l.*, litoclasti (sedimentati, metamorfici e magmatici), bioclasti, minerali accessori. In generale il criterio di riconoscimento per il quarzo è basato sul suo aspetto vitreo, il feldspato *s.l.*, spesso 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. Il riconoscimento del litico si basa sull'evidenza della morfostruttura, del colore e della polimineralogia. La finalità dello studio è rivolta alla valutazione dei rapporti tra la totale componente terrigena e quella carbonatico-bioclastica (Picazzo *et alii*, 1981) oltre alla definizione e zonazione delle *facies* (Lecca *et alii*, 2005).

1.5.2 COMPONENTE BIOCLASTICA

La componente bioclastica, distinguibile in base alla struttura scheletrica confrontata con la fauna descritta nel Mediterraneo e nella piattaforma sarda (D'Angelo e Gargiullo, 1978; Riedl, 1991; Boudouresque *et alii*, 1992), risulta costituita dai seguenti organismi: molluschi (bivalvi e gasteropodi in frammenti e gusci interi), talli di alghe rosse, 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, talvolta, la presenza di *fecal pellets* in alcuni campioni della depressione interna occidentale.

In questa piattaforma, come in tutto il Mediterraneo, gran parte della produzione bioclastica deve essere associata all'ecosistema della *Posidonia oceanica* (L.) Delile 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 (UNESCO, 1977).

Tra le alghe rosse possono essere distinte le alghe calcificate, dirette produttrici di bioclasti, 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 Corallinacee, come noto provviste di tallo (*hypothallium* e *perithallium*) calcificato (Adey e 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 e Adey, 1965; Boudouresque *et alii*, 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*, non fissate sul fondo rispetto alle forme incrostanti e a quelle globose (Johnson, 1962).

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.

1.5.3 PREPARAZIONE DI SEZIONI SOTTILI

Sono state analizzate due tipologie di sezioni sottili: le prime ottenute da sabbie distribuite sottocosta nell'area del Golfo di Cagliari (cfr. Campagna Golfo di Cagliari 2006), le seconde da rocce, prevalentemente arenarie e conglomerati, prelevate in immersione subacquea (cfr. Cagliari Sub 2006/2007).

Le sezioni sottili delle sabbie sono state preparate presso il laboratorio "Servizi per la Geologia" di M. Sbrana, Piombino (LI); mentre le sezioni dei campioni litificati sono state eseguite presso il

“Laboratorio sezioni sottili” del Dipartimento di Scienze della Terra dell’Università degli studi di Cagliari.

I campioni litificati sono stati sottoposti ad un particolare trattamento in preparazione all’analisi microscopica. Il taglio è stato effettuato seguendo un orientamento tale da permettere di vedere i fossili presenti ed i minerali, riducendo così il campione ad una fettina dello spessore di 1,0 +/- 0,5 cm. A seguito dell’individuazione di fossili o minerali presenti, si effettua la sagomatura necessaria affinché il campione possa essere incollato sul vetrino porta oggetto precedentemente predisposto, mediante l’utilizzo di resina epossidica (*Epoxy Pack 301*), formata da resina e catalizzatore-indurente in proporzione 12:4, utilizzata anche per inglobare il campione.

I campioni vengono sottoposti a lavaggio ad ultrasuoni al fine di eliminare tutte le impurità e poi messi ad asciugare in una piastra elettrica a 220° per eliminare eventuale umidità.

Segue il processo di levigatura della sezione: con smerigli a grana differente:

- smeriglio (Carburo di silicio) a grani di 180-200 *mesh* (*mesh*, in un setaccio indica il numero di fili per pollice, maggiore il numero di fili, minori sono le dimensioni dei granuli che ci passano attraverso) per mezzo di mole automatiche rotanti, attraverso la quale sono eliminate le imperfezioni determinate dalla lama della taglierina; in questo modo la superficie del campione, oltre a subire una prima levigatura viene altresì appianata/livellata;
- levigatrice a corona diamantata per la riduzione della sezione fino allo spessore di 80/100 µm;
- smeriglio (Carburo di silicio) a grani di 500/800 *mesh*
- smeriglio (Carburo di silicio) a grani di 1000/1200 *mesh*, fino al raggiungimento dello spessore 35/40 µm, in queste ultime due fasi di levigatura la sezione viene osservata frequentemente al microscopio.

1.5.4 ANALISI DELLE SEZIONI SOTTILI – SABBIE

Le sezioni sottili (Fig. 28) sono state studiate al microscopio da mineralogia a luce polarizzata, tecnica più comunemente impiegata ed economica per analizzare tali campioni. L’analisi consente la determinazione qualitativa delle fasi minerali il riconoscimento composizionale.

Le analisi sono state eseguite presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell’Università di Cagliari dal Prof. M. Franceschelli e il Dott. G. Cruciani.

Queste esami, eseguiti statisticamente su una selezione di campioni, ha confermato le precedenti analisi composizionali (Tabella 5).

	Quarzo	Feldspati	Bioclasti	Litici	Miche	Altri minerali	NOTE
ST44	10%	10%	65%	15%	-	-	Tra i litici roccia carbonatica e roccia metamorfica. K-Feldspati essoluzioni peritiche, plagioclasio scarso. Fossili di gasteropodi e bivalvi.
ST77	55%	20%	10%	15%	ms <1%	-	Tra i litici roccia ignea effusiva, roccia metamorfica. Presenza di muscovite (<1%). Presenza di K-feldspati peritici e plagioclasti geminati. Bivalvi.
ST56	60%	25%	10%	5%	<1%	<1%	Presenza di fillosilicati (clorite), biotite, muscovite, fossili di gasteropodi e bivalvi, carbonato (altri minerali).
ST63	65%	15%	20%	<1%	<1%	-	Presenza di biotite.
ST86	50%	20%	25%	5%	-	-	Frammenti di litici metamorfici (gneiss). K-feldspato, plagioclasio, bioclasti.
ST120	60%	23%	10%	-	5%	2%	Presenza di biotite, clorite.
ST92	65%	25%	3%	5%	2%	-	K-feldspati scarsi, plagioclasti alterati, bioclasti scarsi (fossili), litici metamorfici.
ST116	55%	30%	5%	10%	<1%	-	Litici (metamorfiche), k-feldspato e plagioclasio, biotite.
ST-C6	40%	20%	30%	10%	<1%	<1%	muscovite in tracce, carbonato (<1%), litici metamorfici a grana fine, feldspati Plagioclasio.
C24	30%	34%	-	35%	bt tracce	1%	Clasti di roccia granitica con mirmekiti e plagioclasio con zonatura concentrica (cuore anortitico e bordo albitico); K-feldspato con peritici e geminazione tipica del microclino (stato strutturale di bassa temperatura del K-fs). Clasti con contatto tra roccia filoniana e roccia incassante. Clasti con anfibolo, clorite e plagioclasio: biotite - Tra altri minerali: anfibolo (1%), clorite, minerali opachi.
SM13	55%	42%	1%	2%	tracce	tracce	K-feldspati peritici (30%), plagioclasti (20%). Clasti granitici alterati e clasti di probabili rocce vulcaniche. Mirmekiti a grana media e a grana fine. Biotite e muscovite in tracce. Minerali opachi in tracce.

Tabella 5 - Schema riassuntivo delle analisi al microscopio.

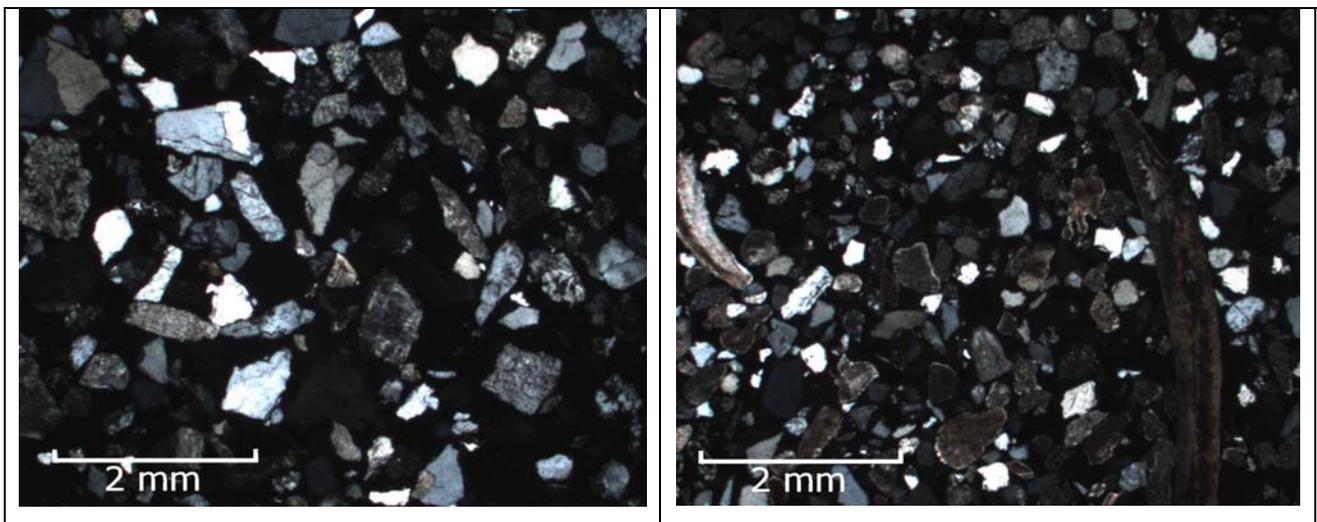


Fig. 28 – Fotografie dei campioni ST116 e ST-C6 (vedi Appendice 1 per le altre foto).

1.5.5 PREPARAZIONE E STUDIO DEI CAMPIONI PER LA DETERMINAZIONE DELLE ETÀ RADIOMETRICHE

I campioni (Fig. 29) indicati in Tabella 6 sono in fase di datazione con il metodo del radiocarbonio mediante la tecnica della spettrometria di massa ad alta risoluzione (AMS), presso il *Centro di Datazione e Diagnostica* (CE.DA.D) dell'Università di Lecce.

Nome campione	Codice CeDaD	Coordinate di prelievo	Profondità (m)
SUB01	LTL2600A	N 39 11,244 – E 9 14,929	-20
SUB02	LTL2601A	N 39 10,682 – E 9 15,302	-26,7
SUB05	LTL2602A	N 39 10,537 – E 9 15,625	-28,3
SUB14	LTL2603A	N 39 11,700 – E 9 12,617	-10
SUB15	LTL2604A	N 39 11,420 – E 9 12,017	-15,2

Tabella 6 - Elenco del materiale analizzato e relativo codice identificativo.

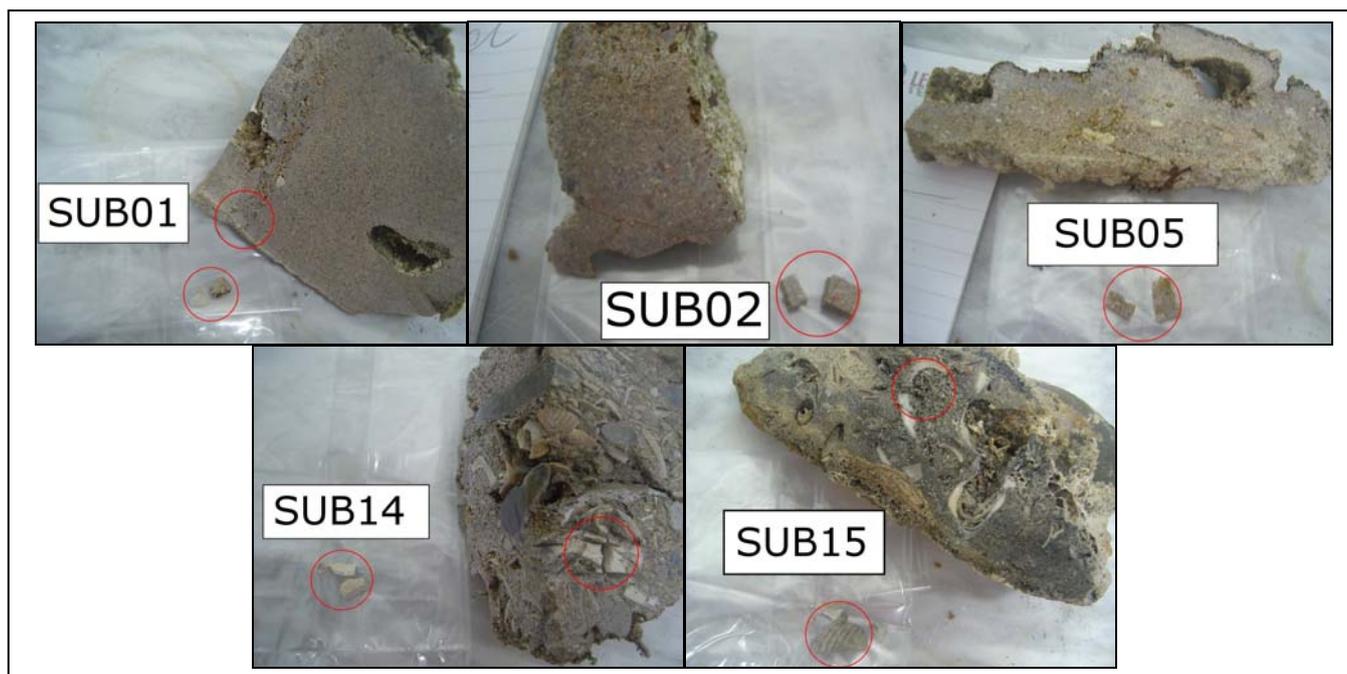


Fig. 29 – Fotografie dei campioni. Cerchiati in rosso i particolari dei sub-campioni in fase d’analisi: materiale conchigliifero per i Campioni SUB01, SUB14 e SUB15; materiale compattato per analisi sui cementi per i campioni SUB02 e SUB05.

Il trattamento dei campioni in questa fase prevede l’individuazione dei macrocontaminanti presenti mediante osservazione al microscopio ottico e la loro rimozione meccanica.

Successivamente ogni campione dovrà essere sottoposto al trattamento chimico di rimozione delle contaminazioni, sottoponendo il materiale selezionato ad attacchi chimici alternati acido-alcalino-acido.

Il materiale estratto verrà successivamente convertito in anidride carbonica, e quindi in grafite mediante riduzione. Per tale operazione si utilizza H^2 come elemento riducente e polvere di ferro come catalizzatore.

L’analisi prevede che la concentrazione di radiocarbonio venga quindi determinata confrontando i valori misurati delle correnti di ^{12}C e ^{13}C , e i conteggi di ^{14}C con i valori ottenuti da campioni standard di Saccarosio C6 forniti dalla IAEA.

La datazione convenzionale al radiocarbonio verrà poi corretta per gli effetti di frazionamento isotopico sia mediante la misura del termine $\delta^{13}C$ effettuata direttamente con l’acceleratore, sia per il fondo della misura, si utilizzano campioni di concentrazione nota di Acido Ossalico, forniti dalla NIST (*National Institute of Standard and Technology*), come controllo della qualità dei risultati.

Inoltre, per la determinazione dell’errore sperimentale nella data al radiocarbonio, si tiene conto sia dello scattering dei dati intorno al valore medio, sia dell’errore statistico derivante dal conteggio del ^{14}C .

I parametri utilizzati dal CeDaD per la datazione convenzionale al radiocarbonio non calibrata (Stuiver e Polach, 1977) sono:

- uso del tempo di dimezzamento di *Libby* (5568 anni) rispetto al valore corretto di 5730 anni;
- anno 1950 come anno di riferimento.
- utilizzo diretto o indiretto dell'acido ossalico come standard di riferimento.

1.5.6 ANALISI DELLE SEZIONI SOTTILI – ROCCE

Le sezioni sottili dei sedimenti litificati sono state analizzate al microscopio da mineralogia a luce polarizzata al fine di identificare i minerali presenti e la tipologia dei litoclasti principali.

Le analisi sono state eseguite presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Cagliari.

I risultati sono riportati nella tabella sottostante (Tabella xx).

	Quarzo	Feldspati	Bioclasti	Litici	Miche	Altri minerali	cemento	NOTE
SUB01	15%	25%	10%	20%	-	-	30%	K-feldspato, plagioclasio, clasti di roccia metamorfica orientati, frammenti di meta-arenarie.
SUB02	35%	30%	-	15%	<i>bt tracce</i>	-	20%	Campione con grana variabile, k-feldspato con perititi, plagioclasio +/- alterato, strutture mirmekitiche, biotite in tracce, litoclasti granitoidi più o meno alterati. Alcuni clasti sono equigranulari (granitoidi) mentre altri sono disequigranulari (gneissici?).
SUB05	30%	30%	10%	15%	<i>tracce</i>	-	15%	Muscovite e biotite in tracce, clasti metamorfici (metarenaria e metaconglomerati) e granitoidi.
SUB06	30%	25%	10%	15%	<i>bt tracce</i>	-	20%	Bioclasti e fossili, litoclasti (conglomerati), bioclasti (foraminifero) e altri a grana microcristallina; Biotite in tracce nella matrice, muscovite dentro i clasti. K-feldspati perititici.
SUB14	15%	15%	35%	20%	<i>tracce</i>	<i>tracce</i>	15%	Litoclasti arrotondati alterati a grana fine di tipo granitoidi e clasti di tipo effusivo con fenocristalli di quarzo con golfi di riassorbimento e biotite. Minerali di alterazione (epidoto e clorite).
SUB15	15%	10%	20%	10%	-	-	45%	Litici alterati (rocce magmatiche e metamorfiche), k-feldspato, plagioclasio geminato, Cemento carbonatico-argilloso(?).

Tabella 7 - Schema riassuntivo delle analisi al microscopio.

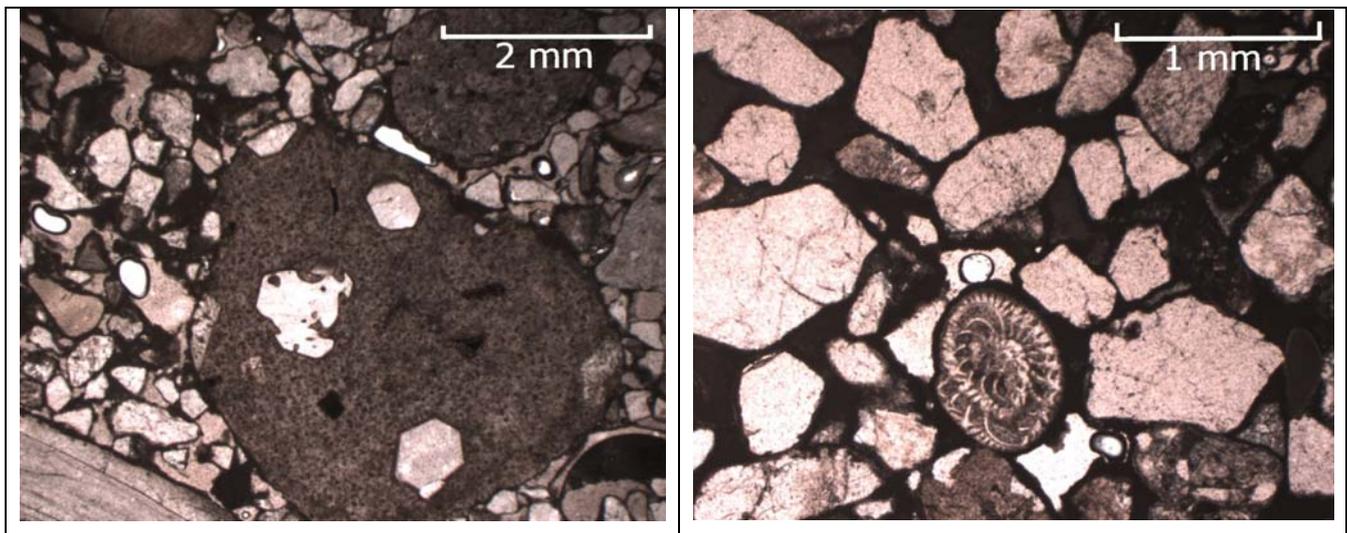


Fig. 30 - Fotografie dei campioni SUB14 e SUB06 (vedi Appendice 1 per le altre foto).

1.5.7 CLUSTER ANALISYS - STUDIO STATISTICO E RAGGRUPPAMENTO DI DATI

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.

Per il calcolo di *cluster analysis* si è utilizzato il software applicativo di Microsoft Excel “*Cluster*” (*ProDomoSua Copyright® F. Cinquegrani*).

Il modello utilizzato è quello Gerarchico e il dendrogramma è basato sulla distanza euclidea 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 8 classi granulometriche, da 6 valori che rappresentano le percentuali composizionali di quarzo, feldspati, miche, minerali accessori, litoclasti e bioclasti, e infine dalla profondità di prelievo di ogni campione (vedi Tabella 8).

Campione	Prof. (m)	Classi % peso - unità phi								Composizione					
		< -2	<-1	-1 ÷ 0	0 ÷ 1	1 ÷ 2	2 ÷ 3	3 ÷ 4	> 4	Quarzo	Feldspati	Miche	Min. acc.	Litoclasti	Bioclasti
ST01	18,7	0,00%	0,00%	0,00%	0,37%	1,98%	3,66%	6,10%	87,88%	14%	0%	11%	61%	0%	13%
ST04	20,4	0,00%	2,44%	31,64%	53,49%	11,66%	0,44%	0,09%	0,06%	44%	19%	0%	0%	26%	11%
ST06	15,01	0,00%	0,81%	29,98%	59,11%	9,80%	0,22%	0,03%	0,03%	53%	26%	0%	0%	20%	2%
ST07	22,4	1,58%	11,10%	46,96%	36,26%	4,02%	0,03%	0,03%	0%	36%	31%	0%	0%	29%	3%
ST09	21,4	0,00%	0,09%	2,24%	18,34%	67,71%	11,39%	0,19%	0,04%	59%	21%	0%	0%	19%	2%
ST11	17,1	0,00%	7,97%	8,89%	8,29%	14,15%	44,25%	14,77%	1,94%	21%	6%	0%	0%	3%	69%
ST12	22,4	0,00%	16,43%	11,29%	8,06%	6,56%	23,31%	32,36%	2,17%	18%	4%	4%	3%	18%	53%
ST15	17,3	0,00%	74,12%	9,72%	5,69%	4,01%	2,80%	2,55%	0,78%	1%	1%	0%	0%	4%	94%
ST16	25,7	0,00%	5,84%	2,99%	5,82%	19,98%	10,85%	8,14%	46,57%	34%	0%	4%	11%	0%	6%
ST18	19,4	0,00%	0,46%	0,62%	1,03%	11,95%	68,75%	15,38%	4,72%	80%	14%	0%	0%	3%	6%
ST21	27,7	0,00%	52,25%	37,85%	7,76%	1,11%	0,38%	0,17%	0,30%	2%	1%	0%	0%	0%	97%
ST22	47,8	0,00%	16,98%	50,53%	25,83%	4,39%	1,04%	0,76%	0,40%	21%	18%	0%	0%	13%	48%
ST30	33,7	0,00%	12,26%	6,01%	5,41%	9,42%	44,68%	19,76%	2,50%	43%	13%	2%	0%	17%	25%
ST31	34,2	0,00%	10,36%	7,06%	8,80%	16,61%	45,39%	9,90%	1,77%	35%	12%	0%	0%	29%	23%
ST32	33,5	0,00%	8,20%	19,01%	18,27%	16,72%	30,60%	6,51%	0,57%	20%	8%	1%	0%	4%	68%
ST33	25,3	0,00%	5,04%	2,86%	5,70%	29,25%	50,35%	6,81%	0,34%	16%	4%	0%	0%	1%	80%
ST36	17,5	63,35%	18,55%	7,93%	3,81%	2,41%	2,54%	0,75%	0,18%	3%	0%	0%	0%	0%	97%
ST39	7,4	0,00%	4,19%	8,22%	12,90%	32,74%	28,29%	11,52%	1,62%	19%	0%	1%	2%	0%	78%
ST40	10,7	0,00%	0,04%	0,13%	0,54%	2,80%	5,20%	8,37%	82,88%	28%	0%	18%	36%	0%	15%
ST43b	27,5	0,00%	4,73%	3,96%	4,72%	19,61%	59,83%	6,76%	0,30%	51%	31%	0%	1%	3%	15%
ST44	39,2	0,00%	1,97%	3,61%	18,06%	31,20%	34,88%	9,27%	0,54%	17%	10%	0%	0%	9%	64%
ST45	50,8	0,00%	0,05%	0,50%	3,64%	68,04%	27,60%	0,12%	0,02%	1%	0%	0%	0%	3%	96%
ST48	36,7	0,00%	4,19%	8,22%	12,90%	32,74%	28,29%	11,52%	1,62%	32%	2%	0%	0%	0%	65%
ST49	26	0,00%	5,71%	12,98%	15,37%	28,35%	31,80%	5,19%	0,59%	11%	2%	0%	0%	3%	84%
ST53	40	0,00%	15,17%	39,00%	29,99%	8,70%	4,11%	2,46%	0,61%	28%	26%	0%	0%	18%	26%
ST55	29,8	0,00%	1,85%	7,68%	31,51%	23,38%	24,86%	10,44%	1,00%	31%	19%	0%	0%	7%	43%
ST56	8,9	0,00%	0,02%	0,08%	0,15%	0,50%	29,08%	64,58%	5,73%	80%	6%	3%	10%	0%	0%
ST57	28,7	0,00%	12,48%	48,60%	25,39%	8,97%	3,18%	1,09%	0,32%	6%	7%	0%	0%	24%	62%
ST58	39,2	0,00%	14,07%	50,01%	28,35%	5,00%	1,52%	0,68%	0,30%	5%	3%	0%	0%	1%	91%
ST61	39,4	0,00%	15,72%	16,40%	16,58%	23,46%	15,60%	10,97%	1,05%	2%	1%	0%	0%	1%	96%
ST62	40,6	0,00%	0,64%	2,48%	27,75%	50,99%	15,41%	2,46%	0,25%	8%	2%	0%	0%	0%	90%
ST63	10	0,00%	0,03%	0,08%	0,11%	5,05%	61,22%	31,73%	1,70%	45%	0%	1%	6%	2%	46%
ST75	32,8	0,00%	11,14%	36,93%	26,47%	13,08%	8,27%	3,58%	0,31%	0%	0%	0%	0%	1%	99%
ST77	6,6	0,00%	0,11%	0,78%	47,18%	51,78%	0,16%	0,02%	0,00%	55%	22%	0%	0%	14%	6%
ST78	32	0,00%	11,40%	35,57%	29,49%	15,34%	6,46%	1,79%	0,21%	1%	1%	0%	0%	0%	98%
ST80	29	0,00%	9,98%	16,84%	20,28%	26,01%	17,56%	8,16%	0,89%	1%	1%	0%	0%	0%	98%
ST82	10,3	0,00%	0,01%	0,11%	0,36%	38,00%	53,98%	7,31%	0,22%	57%	38%	0%	2%	1%	2%
ST83	42	0,00%	2,99%	3,27%	5,33%	8,25%	67,54%	11,47%	0,21%	44%	26%	0%	0%	0%	30%
ST84	7	0,00%	0,05%	0,47%	2,86%	49,50%	42,93%	4,09%	0,13%	67%	27%	0%	3%	3%	0%
ST86	14,8	0,00%	0,06%	0,62%	2,87%	70,76%	25,45%	0,11%	0,00%	46%	30%	0%	0%	3%	21%
ST90	12,5	0,00%	6,30%	6,13%	7,58%	40,66%	35,53%	3,50%	0,30%	42%	27%	0%	0%	6%	25%
ST91	18,5	0,00%	1,55%	3,74%	7,56%	25,52%	43,82%	13,58%	4,05%	35%	1%	0%	0%	0%	64%
ST92	6,3	0,00%	0,01%	0,04%	2,60%	92,98%	4,19%	0,10%	0,01%	55%	39%	0%	5%	0%	0%
ST93b	4,8	0,00%	0,01%	0,04%	2,98%	94,34%	2,62%	0,01%	0,01%	50%	45%	0%	5%	0%	0%
ST94	2,5	0,00%	0,04%	0,16%	1,33%	83,62%	12,77%	1,36%	0,35%	58%	33%	0%	2%	0%	6%
ST95b	4,0	0,00%	0,21%	0,50%	2,56%	89,67%	6,96%	0,04%	0,01%	68%	26%	0%	1%	0%	5%
ST96	6,0	0,00%	0,00%	0,05%	1,42%	89,73%	8,65%	0,13%	0,03%	60%	30%	0%	0%	5%	5%
ST98	5,6	0,00%	2,43%	0,18%	1,46%	67,49%	26,35%	2,07%	0,01%	57%	37%	0%	0%	5%	1%
ST99	4,0	0,00%	0,01%	0,01%	0,01%	69,52%	29,14%	1,15%	0,02%	53%	38%	1%	0%	5%	2%
ST100	4,2	0,00%	0,01%	0,16%	0,64%	64,86%	32,05%	2,21%	0,03%	68%	25%	0%	7%	0%	0%
ST104	7,7	0,00%	5,85%	9,51%	26,80%	39,45%	16,86%	1,40%	0,04%	33%	0%	0%	4%	4%	59%
ST116	8	0,00%	1,02%	12,36%	32,81%	46,82%	6,33%	0,56%	0,06%	46%	38%	0%	2%	10%	4%
ST117	6,2	0,00%	0,14%	19,37%	63,99%	16,01%	0,27%	0,08%	0,01%	53%	37%	0%	0%	10%	0%
ST119	53	0,00%	5,20%	26,72%	26,78%	24,06%	10,98%	4,67%	0,89%	1%	0%	1%	5%	9%	84%
ST120	11,5	0,00%	0,27%	0,21%	0,32%	0,80%	51,07%	46,62%	0,28%	49%	0%	12%	5%	0%	33%
ST121	32	0,00%	0,30%	0,26%	0,16%	3,02%	54,93%	38,51%	2,75%	63%	0%	9%	4%	0%	23%
ST122	45	0,00%	1,84%	14,98%	18,16%	15,44%	17,78%	27,41%	4,26%	10%	0%	2%	7%	11%	69%
ST123	44	0,00%	6,77%	25,98%	23,27%	18,92%	11,31%	10,81%	2,94%	3%	0%	1%	1%	17%	78%
ST125	43	0,00%	0,65%	0,72%	0,77%	16,43%	61,50%	18,59%	1,10%	42%	0%	11%	1%	0%	46%
STC5	9,5	0,00%	0,48%	2,77%	38,77%	55,87%	1,86%	0,12%	0,06%	45%	23%	0%	0%	0%	32%
STC6	8,6	0,00%	0,67%	1,73%	9,07%	63,38%	21,74%	2,52%	0,21%	52%	7%	0%	0%	11%	28%
SUB01	20	0,00%	3,49%	5,72%	33,31%	51,33%	1,73%	0,23%	0,04%	61%	13%	0%	0%	3%	18%
SUB02	26,7	0,00%	1,98%	8,08%	45,53%	34,38%	8,26%	1,54%	0,18%	14%	1%	0%	0%	7%	78%
SUB04	28,2	0,00%	21,84%	37,21%	26,80%	13,47%	0,34%	0,08%	0,02%	12%	0%	0%	0%	36%	52%
SUB05	28,3	0,00%	8,86%	21,19%	28,27%	25,86%	11,84%	3,11%	0,86%	2%	0%	0%	0%	0%	98%
SUB06	30,4	0,00%	2,54%	8,66%	32,47%	43,30%	12,58%	0,38%	0,24%	4%	0%	0%	3%	0%	93%
SUB14	10	0,00%	22,62%	28,36%	31,44%	16,67%	0,61%	0,04%	0,01%	35%	11%	0%	4%	10%	40%
SUB15	15,2	0,00%	21,43%	34,60%	27,84%	15,12%	1,06%	0,07%	0,01%	49%	10%	0%	4%	31%	6%
CH01	8,8	0,00%	0,00%	0,05%	0,49%	32,40%	61,92%	4,83%	0,11%	81%	13%	0%	2%	3%	1%
CH02	9	0,00%	0,06%	0,27%	0,95%	28,74%	54,52%	14,89%	0,68%	79%	13%	1%	2%	3%	3%
CH03	12	0,00%	0,00%	0,12%	0,80%	36,70%	57,71%	4,34%	0,01%	81%	12%	1%	1%	3%	2%
CH04	16	0,00%	0,01%	0,06%	0,27%	14,43%	72,34%	12,12%	0,71%	83%	7%	1%	1%	3%	5%
CH05	14,5	0,00%	0,00%	0,16%	1,09%	32,58%	61,12%	4,84%	0,03%	80%	14%	0%	2%	3%	2%

Tabella 8 - Campioni utilizzati per la cluster analysis. la tabella mostra i dati in percentuale relativi alla tessitura e alla composizione dei campioni e la profondità di prelievo.

Precedenti analisi di questo tipo (Cossellu, 2007) hanno portato alla scelta di separare la componente tessiturale della componente compositiva dei campioni. Ogni campione è stato perciò rappresentato in due diversi dendrogrammi: il primo mette in relazione tessitura e profondità della stazione di campionamento per un totale di 9 valori, il secondo mette in relazione la composizione e la profondità per un totale di 8 valori, utilizzati dal *software* per il calcolo statistico. Viene di seguito presentato il dendrogramma delle nuove campionature che associa la granulometria con la profondità (Fig.31).

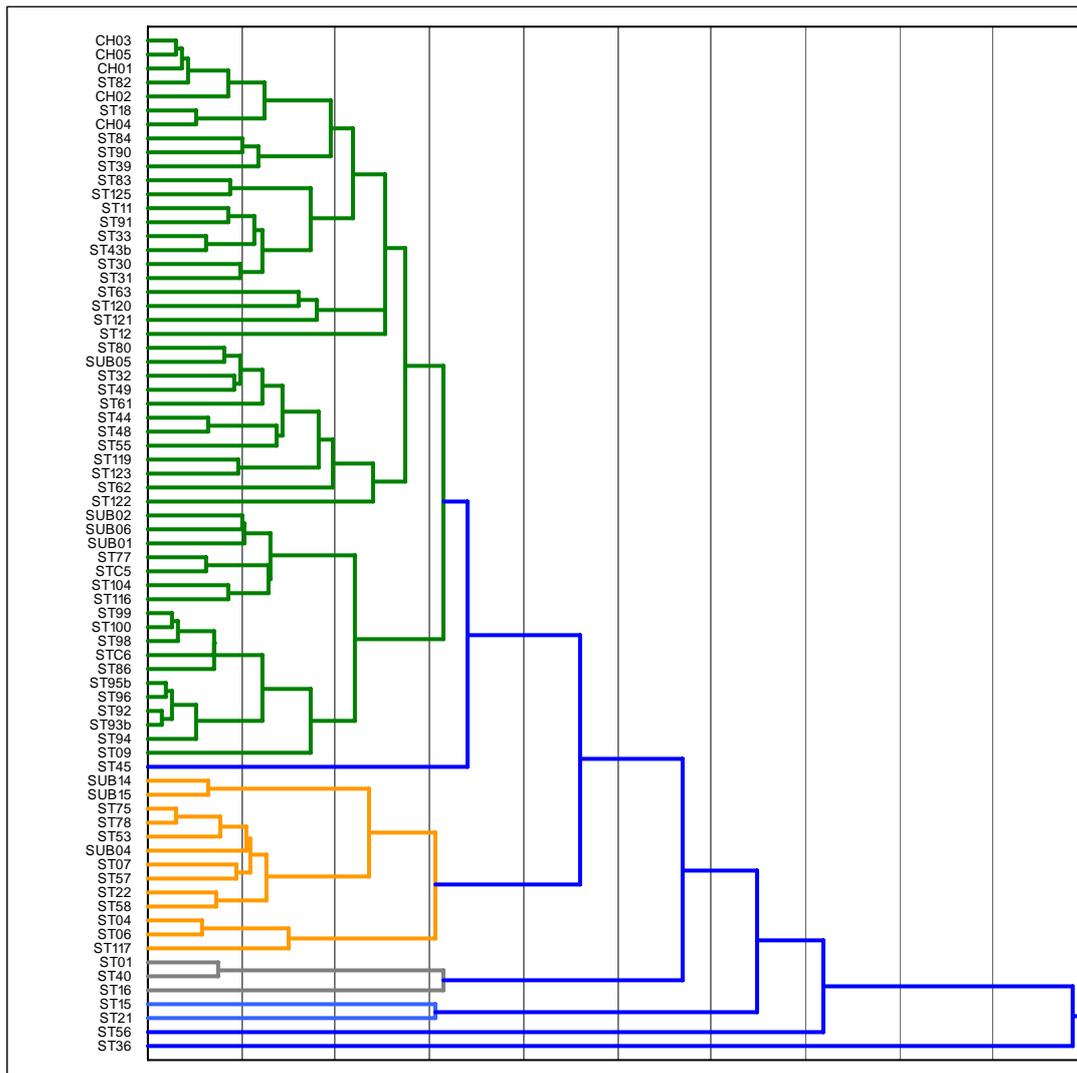


Fig. 31 - Dendrogramma delle campionature, basato sulle caratteristiche granulometriche e la profondità delle stazioni di campionamento. In ascissa: distanza di fusione tra i campioni.

Il dendrogramma evidenzia 7 raggruppamenti costituiti da:

Gruppo A (52 elementi): prevalenza di percentuali di sabbie medie ($1 \div 2 \Phi$);

Gruppo B (3 elementi): prevalenza di componente pelitica ($> 4 \Phi$; ST01, ST16, ST40);

Gruppo C (13 elementi): prevalenza di sabbia molto grossa ($-1 \div 0 \Phi$) e sabbie grosse ($0 \div 1 \Phi$);

Gruppo D (2 elementi): campioni ST15 e ST21 a componente ghiaiosa;

Gruppo E (1 elemento): campione ST36, componente > 4 mm al 63,35%;

Gruppo F (1 elemento): campione ST45, sabbia media (1 ÷ 2 Φ) prelevata a -50,8m;

Gruppo G (1 elemento): campione ST56, sabbia molto fine (3 ÷ 4 Φ) prelevata a -8,9m.

Mettendo in relazione profondità e percentuale della sabbia media Φ si osserva la tendenza ad una relazione di tipo esponenziale dove all'aumentare della prima diminuisce la quantità di sabbia media. Si noti l'eccezione del campione ST45 classificato come sabbia media, ma prelevato ad una profondità di -50,8 (Fig. 32).

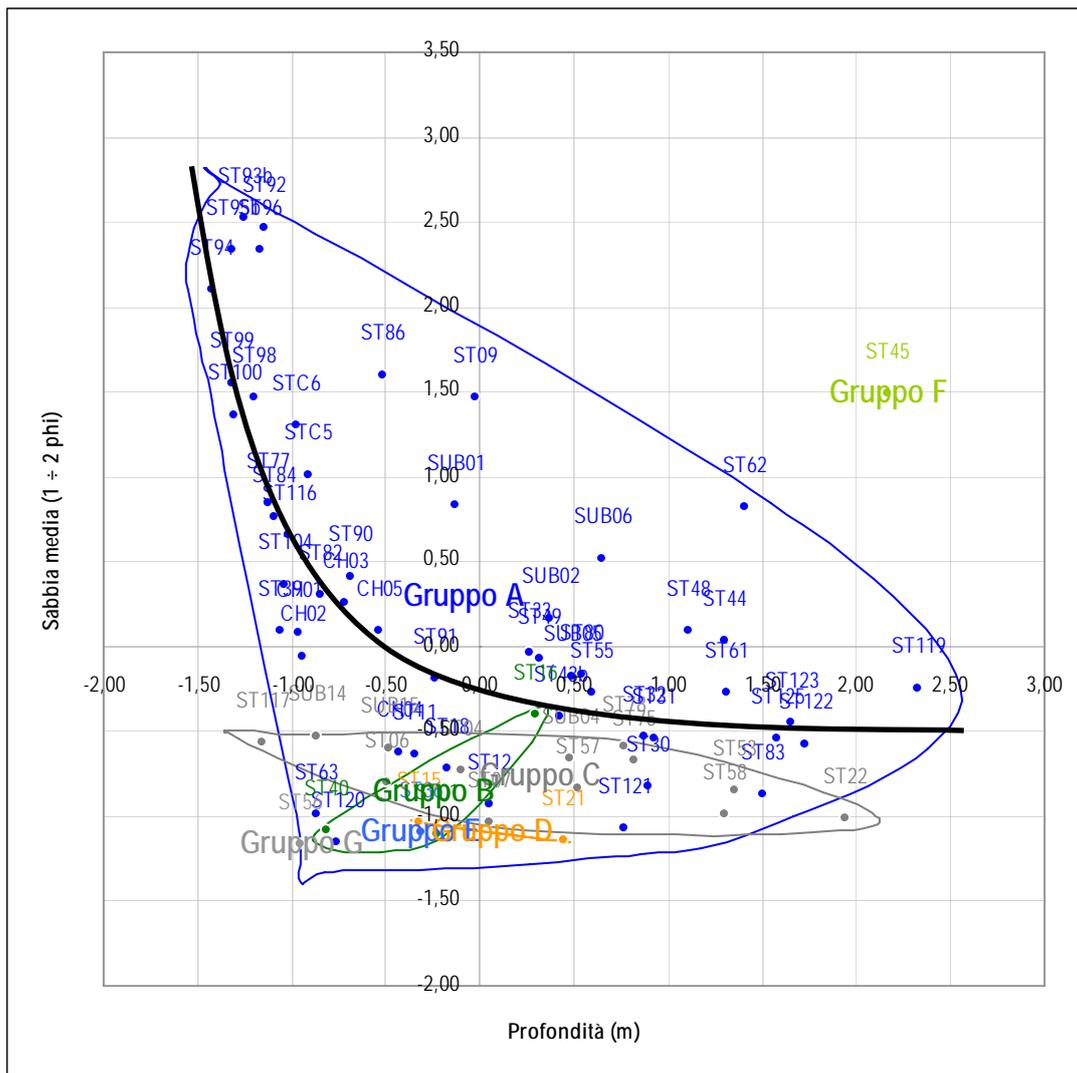


Fig. 32 – Rappresentazione areale della relazione tra Sabbia Media e Profondità.

Mettendo in relazione le profondità con la percentuale delle ghiaie ($<-1 \Phi$) si evidenziano i due campioni ST15 e ST21 classificati tessituralmente (classificazione Udden-Wentworth) come ghiaie (Fig 33).

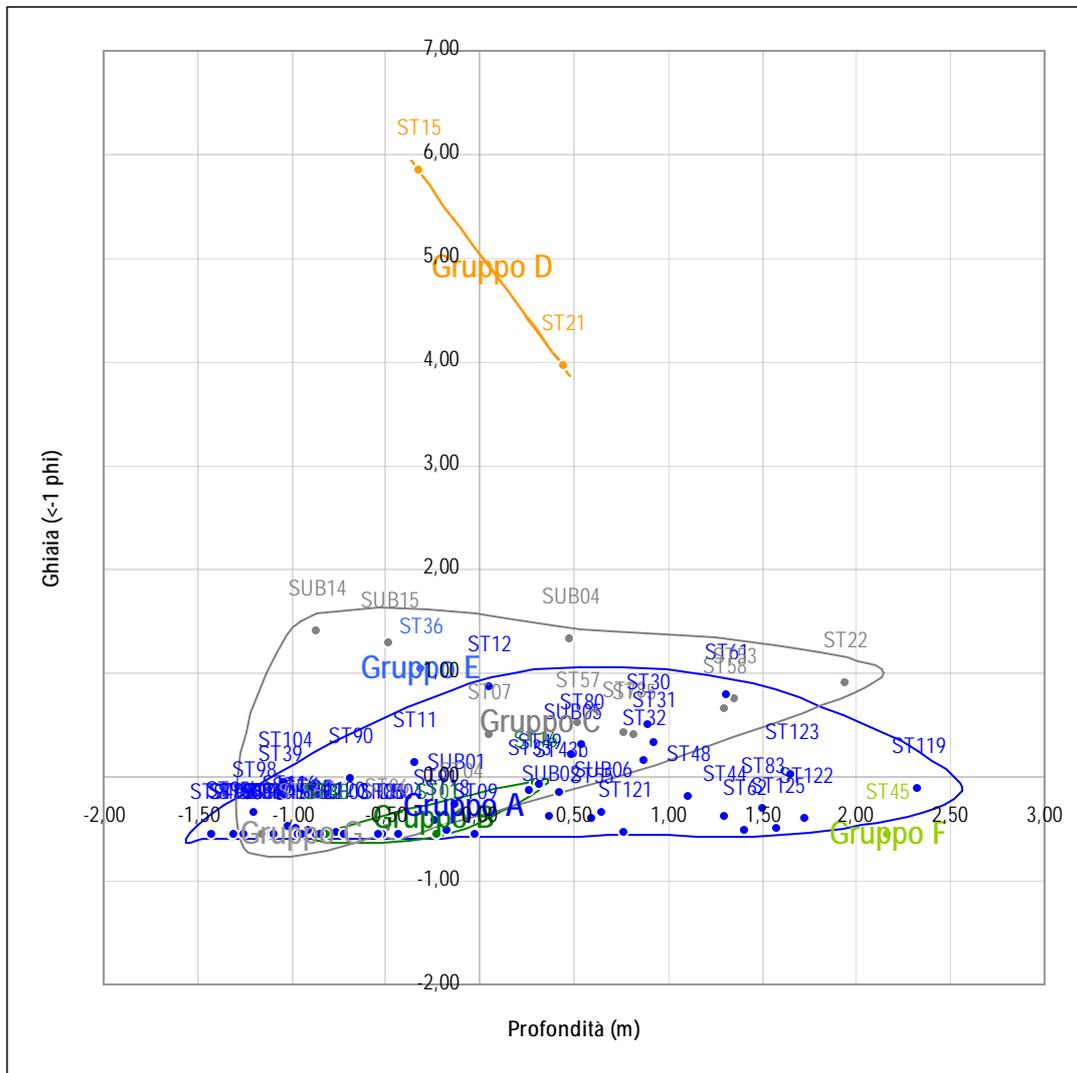


Fig. 33 – Rappresentazione areale della relazione tra Ghiaia e Profondità.

Osservando la relazione tra profondità e la percentuale delle sabbie molto grosse (-1 ÷ 0 Φ) si osservano due grandi raggruppamenti in cui fa da discriminante la tessitura. I campioni ST15 e ST21, appartenenti allo stesso raggruppamento, risultano separati nei due areali. Questo si può spiegare perché il campione ST21 è discriminato dalla percentuale della componente di sabbia molto grossa del 37,85% (Fig. 34).

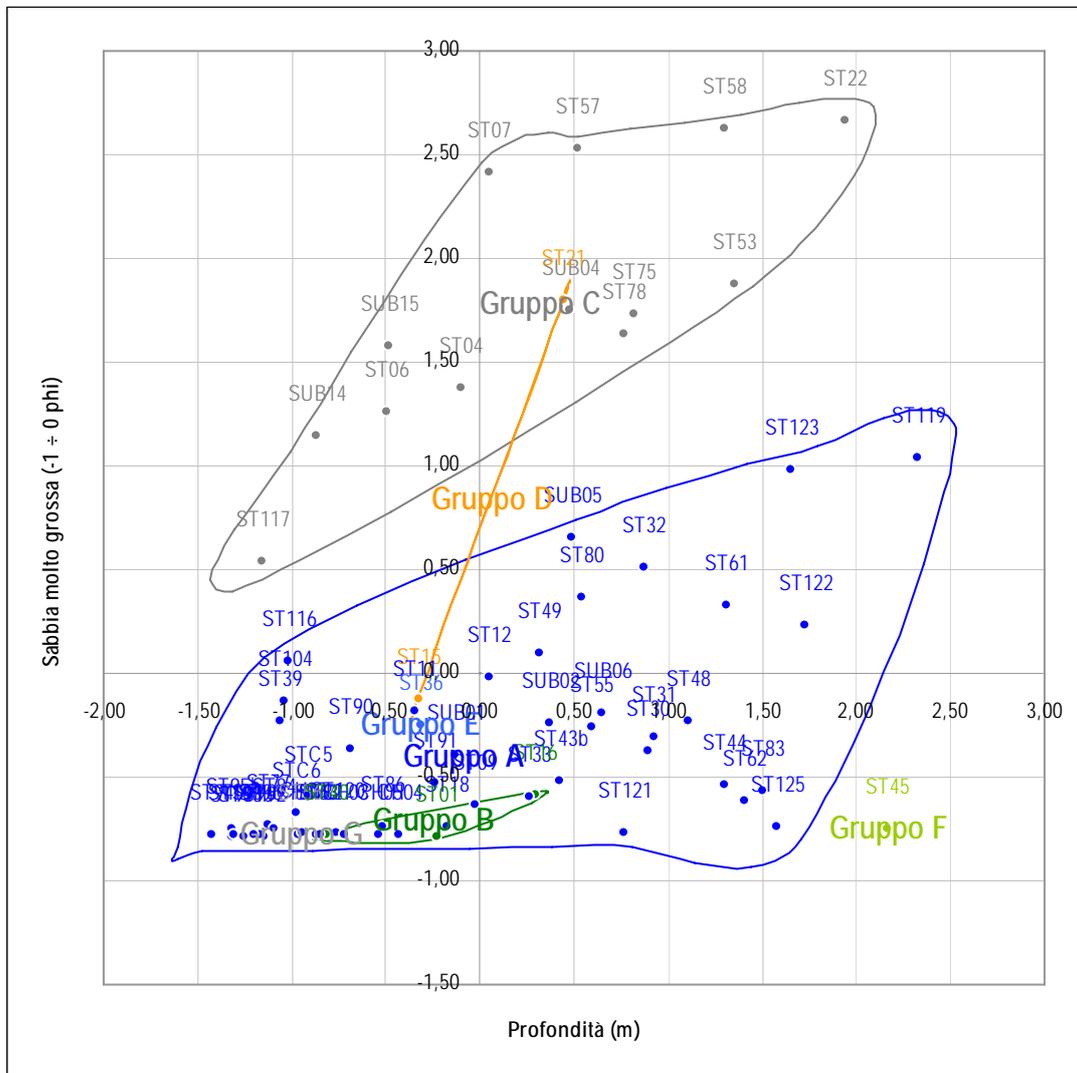


Fig. 34 – Rappresentazione areale della relazione tra Sabbia molto grossa e Profondità.

Nella relazione tra profondità e fanghi (>4 Φ) si osserva un gruppo di campioni fangosi (ST40, ST16, ST01) il cui fattore discriminante è la tessitura (Fig. 35).

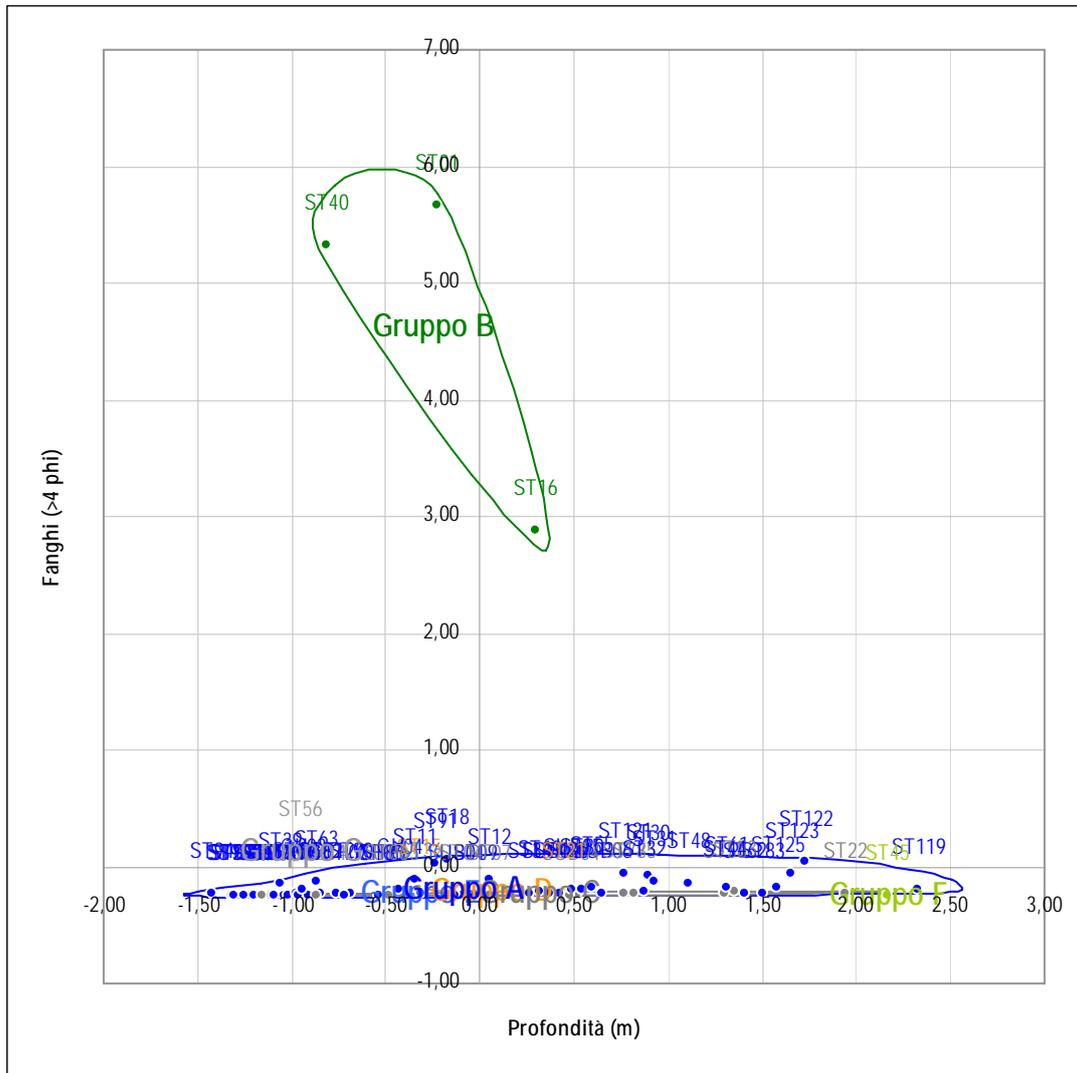


Fig. 35 - Rappresentazione areale della relazione tra Fanghi e Profondità.

Per quanto riguarda l'associazione profondità e composizione dei campioni si sono ottenuti 5 raggruppamenti. Di seguito viene presentato il relativo dendrogramma (Fig.36).

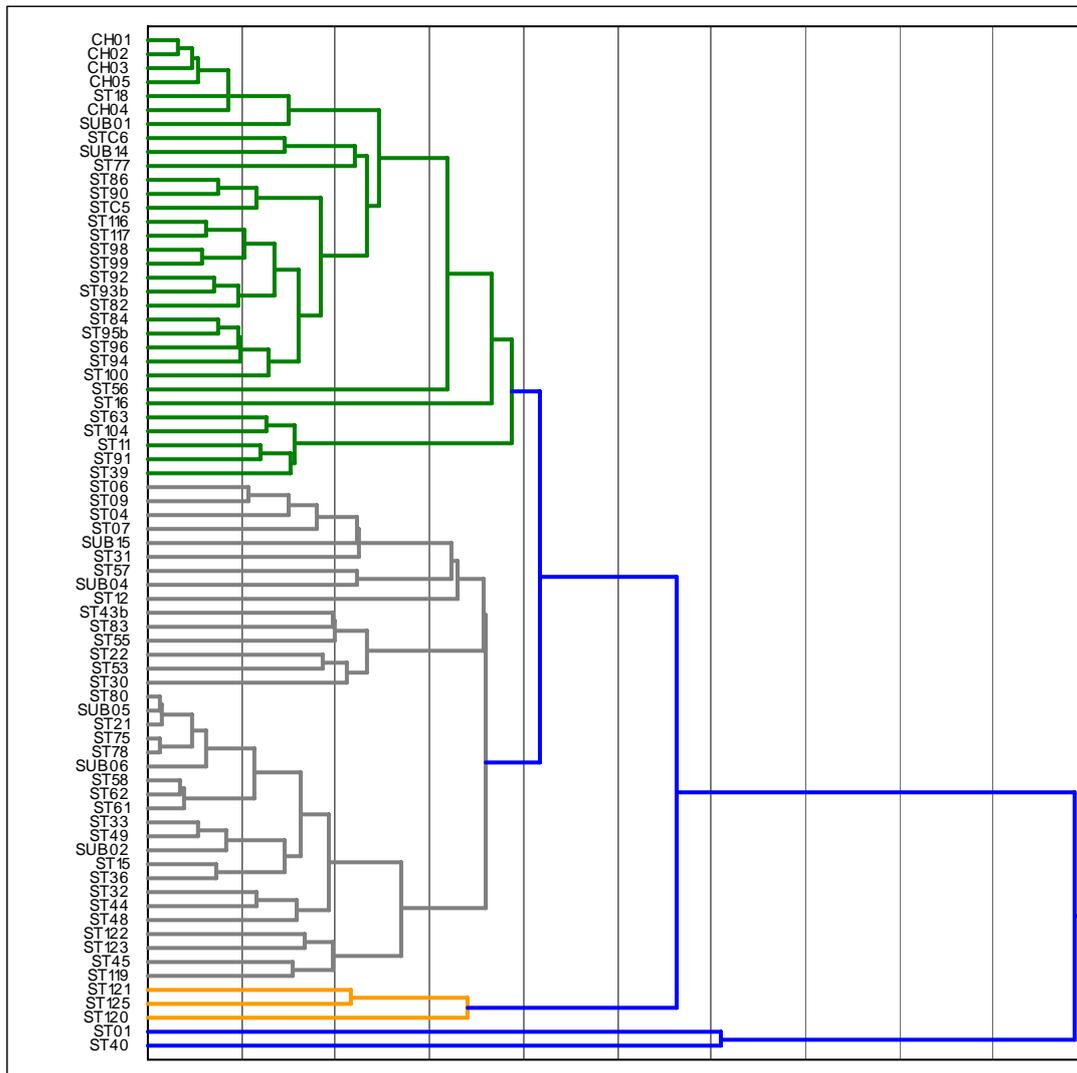


Fig. 36 - Dendrogramma delle campionature, basato sulle caratteristiche composizionali e la profondità delle stazioni di campionamento. In ascissa: distanza di fusione tra i campioni.

I gruppi sono costituiti da:

Gruppo A (32 elementi): campioni prevalentemente quarzosi tendenti ad ubicarsi a profondità minori;

Gruppo B (36 elementi): campioni nei quali si può evidenziare la tendenza all'aumento della componente bioclastica all'aumentare della profondità;

Gruppo C (3 elementi): campioni con tendenza ad arricchirsi con minerali micacei (circa 10%);

Gruppo D (1 elemento): campione ST01 con le seguenti caratteristiche: miche circa 10%, minerali accessori circa 60%, profondità di prelievo -18 m (depressione di Santa Gilla);

Gruppo E (1 elemento): campione ST40 con le seguenti caratteristiche: miche 10%, minerali accessori 36%, profondità di prelievo -10 m.

Mettendo in relazione la percentuale di quarzo e la profondità si osserva una tendenza inversamente proporzionale: all'aumentare della profondità diminuisce la presenza di quarzo (Fig.37).

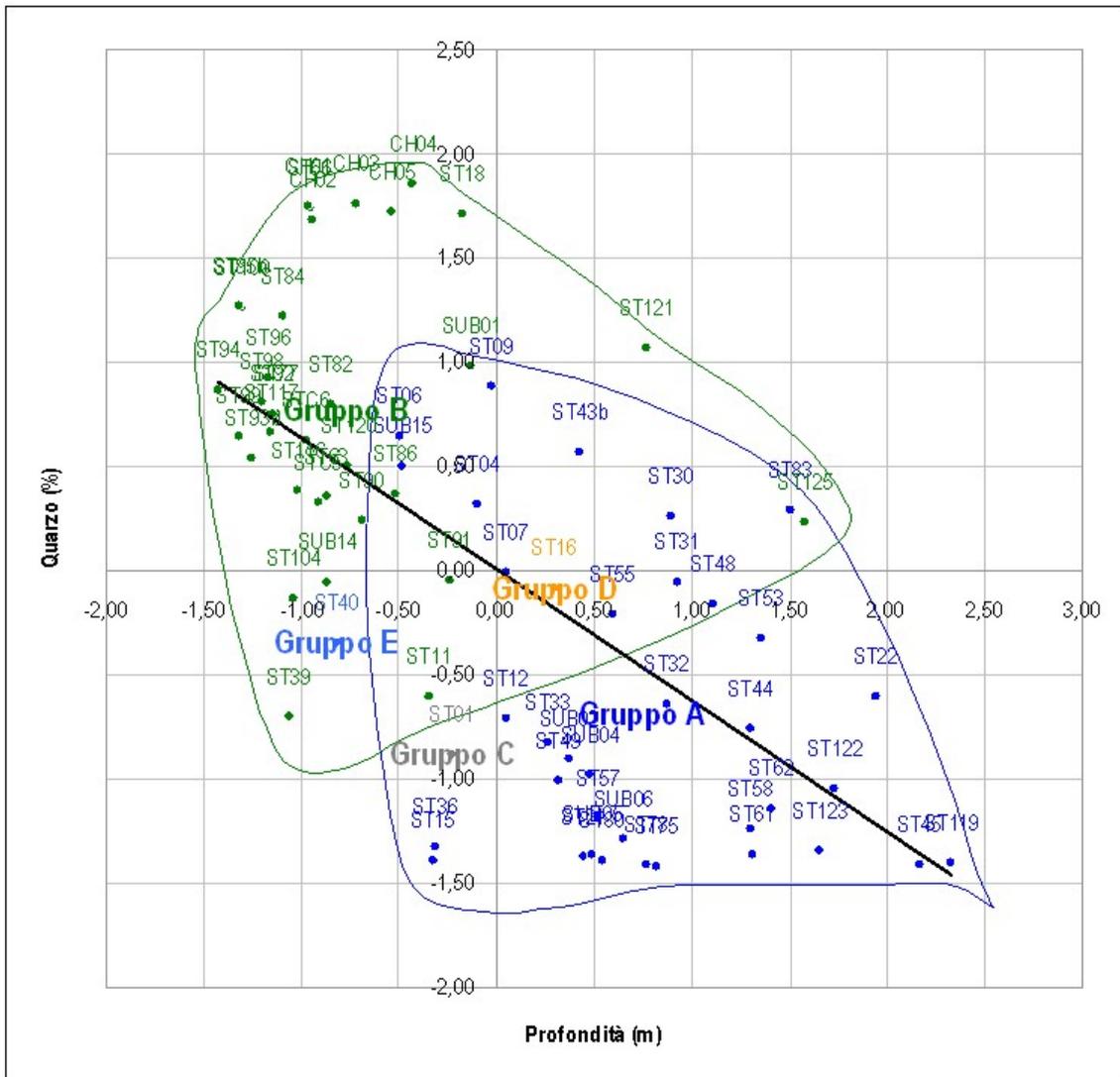


Fig. 37 – Rappresentazione areale della relazione tra percentuale di quarzo e profondità.

Mettendo in relazione la percentuale dei feldspati e la profondità si osserva una tendenza esponenziale dove i gruppi più evidenti sono A e B: il primo tende ad essere mediamente più ricco di feldspati mentre il secondo è meno ricco di feldspati e tendente a profondità maggiori (Fig.38).

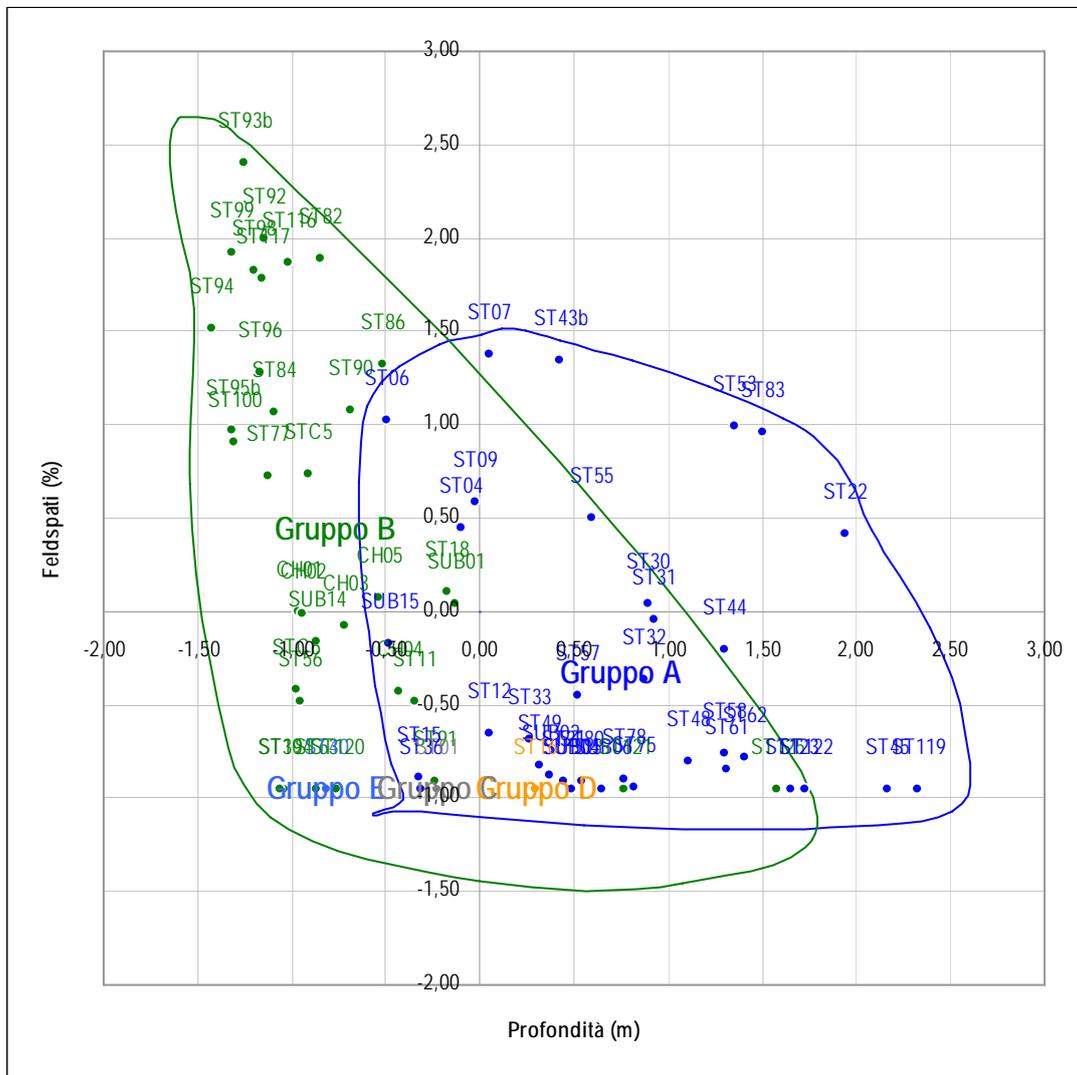


Fig. 38 - Rappresentazione areale della relazione tra percentuale di feldspati e profondità.

Osservando la relazione tra percentuale di miche e profondità si evidenzia il campione ST40 (18% di miche) rappresentante il Gruppo E, isolato, e i Gruppi D (ST01) e C (ST120, ST121, ST125) con una componente del 10% (Fig. 39). Gli altri gruppi presentano un scarsa quantità di componente micacea. In questi gruppi la profondità non risulta essere discriminante. Si osserva invece che i Gruppi A e B risultano divisi dalla profondità di prelievo.

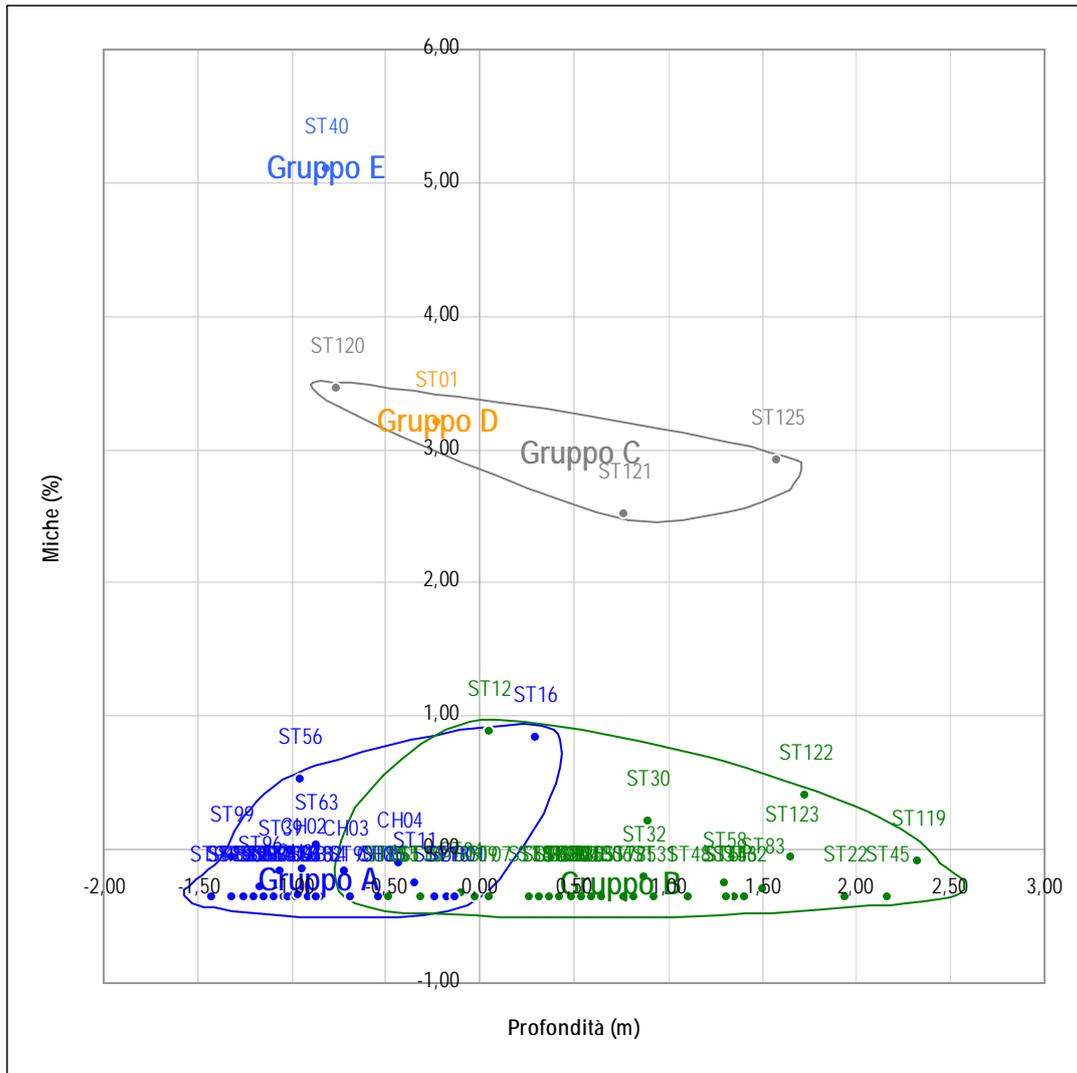


Fig. 39 - Rappresentazione areale della relazione tra percentuale di miche e profondità.

La relazione tra profondità e percentuale dei minerali accessori delinea la netta separazione dei campioni i campioni ST01 (Gruppo D) e ST40 (Gruppo E). Si tratta di sedimenti ricchi di minerali accessori. I restanti gruppi, poveri di minerali accessori, rimangono raggruppati e distribuiti sull'asse delle profondità (Fig. 40).

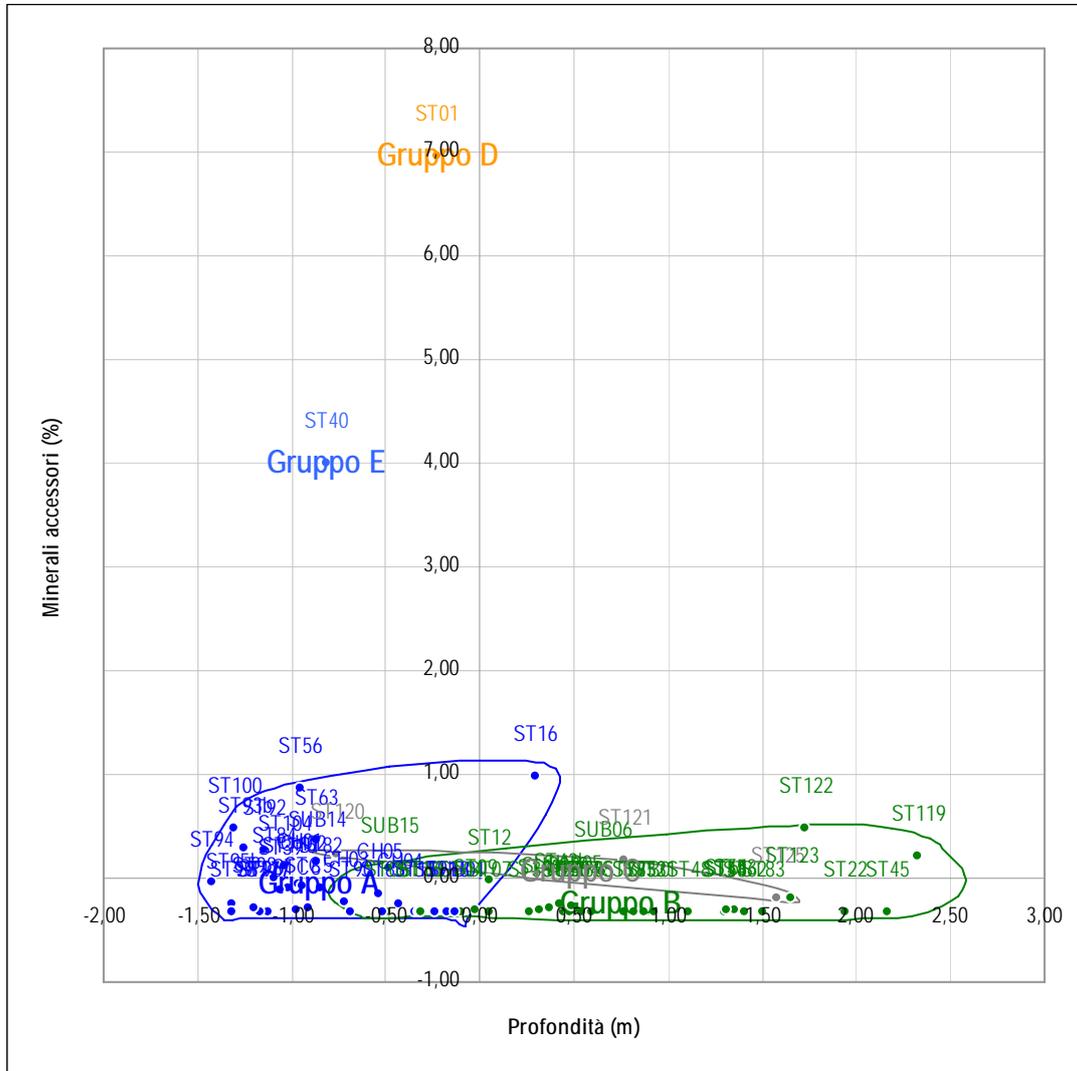


Fig. 40 - Rappresentazione areale della relazione tra percentuale di minerali accessori e profondità.

La relazione tra profondità e percentuale dei litoclasti non evidenzia particolari discriminanti (Fig. 41).

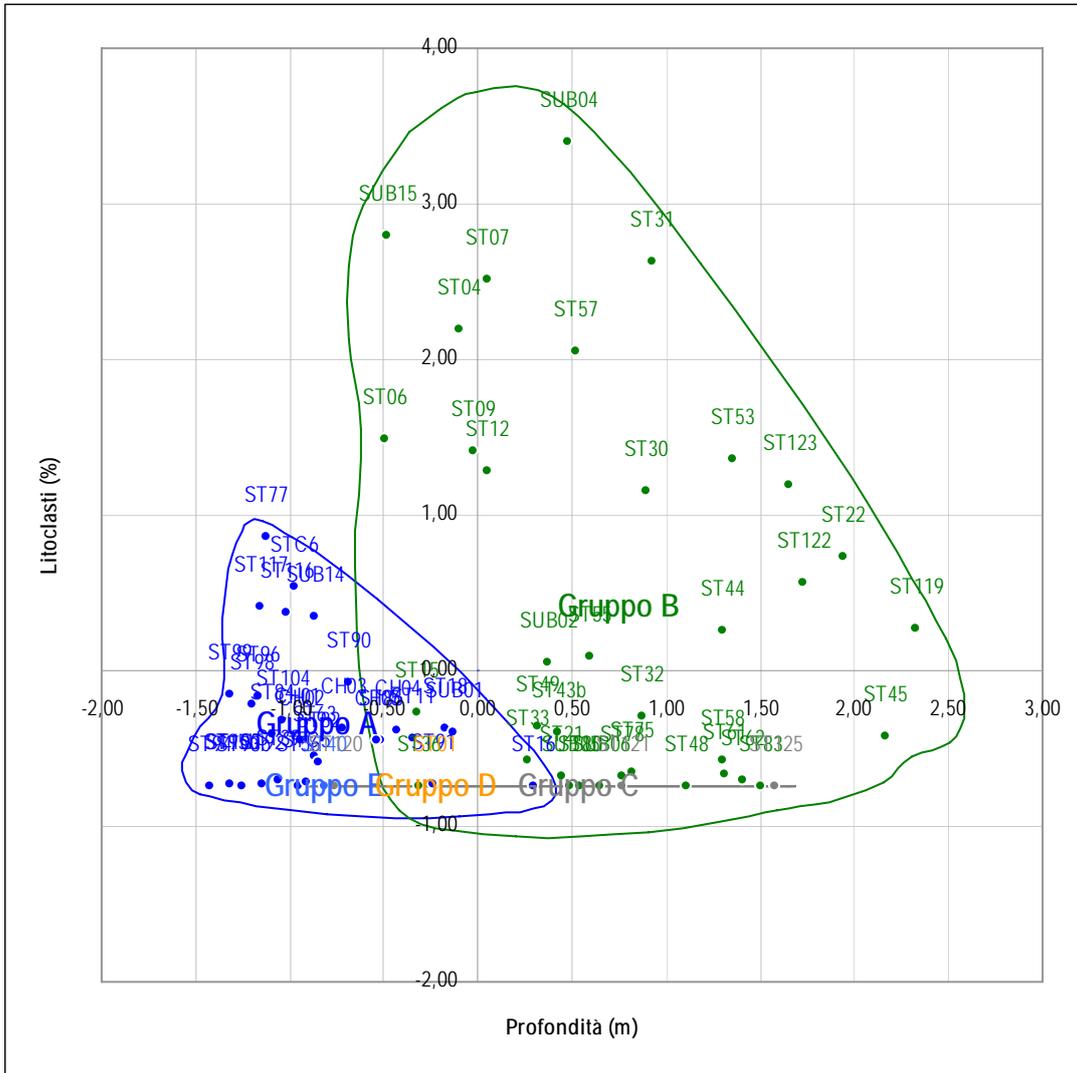


Fig. 41 - Rappresentazione areale della relazione tra percentuale di litoclasti e profondità.

La relazione tra profondità e percentuale di componente bioclastica evidenzia una tendenza lineare direttamente proporzionale dove all'aumentare della profondità aumenta la componente bioclastica (Fig. 42).

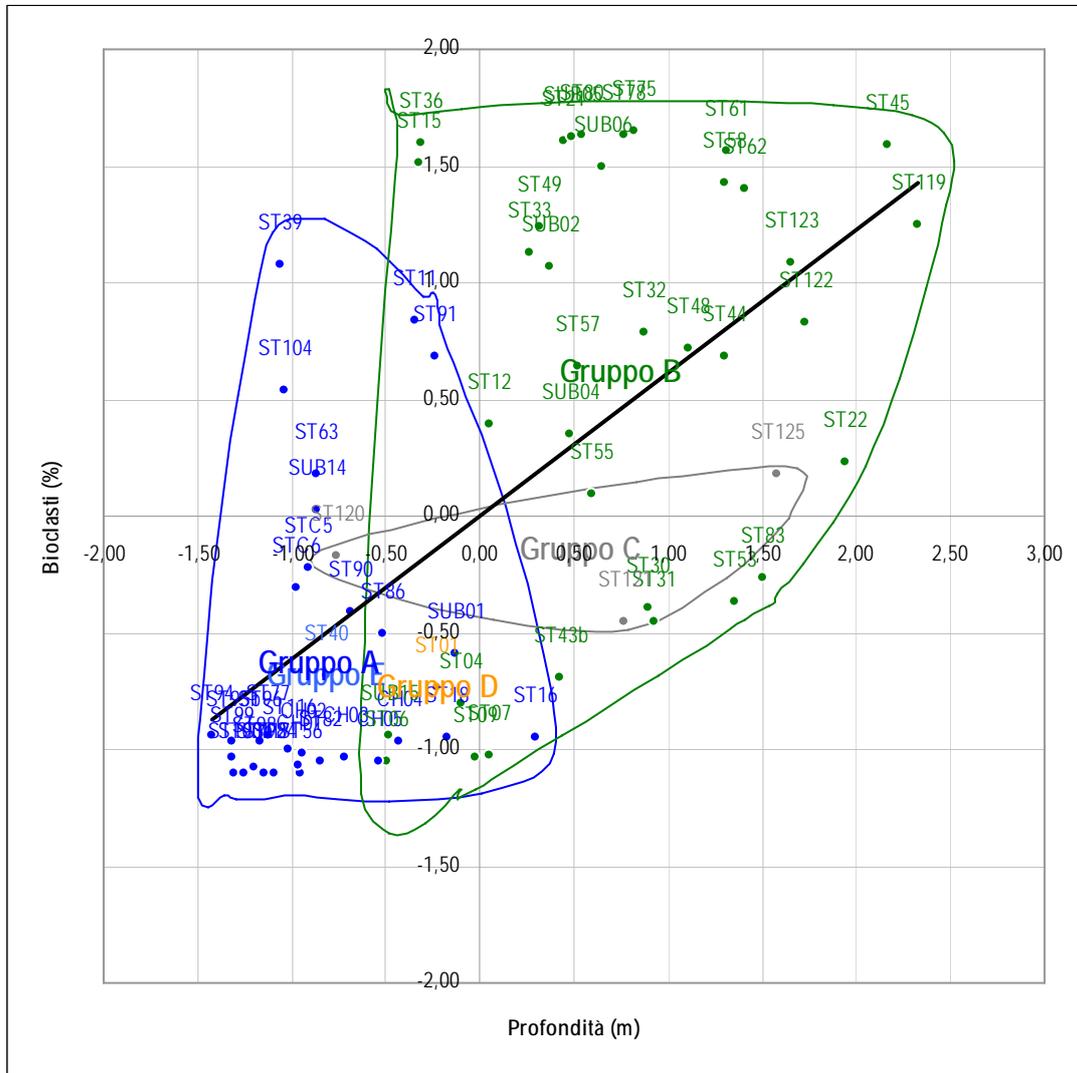


Fig. 42 - Rappresentazione areale della relazione tra percentuale di bioclasti e profondità.

Mettendo a confronto la percentuale di materiale bioclastico e la percentuale di quarzo si osserva una tendenza lineare inversamente proporzionale dove al diminuire del quarzo aumenta la percentuale di bioclasti (Fig.43).

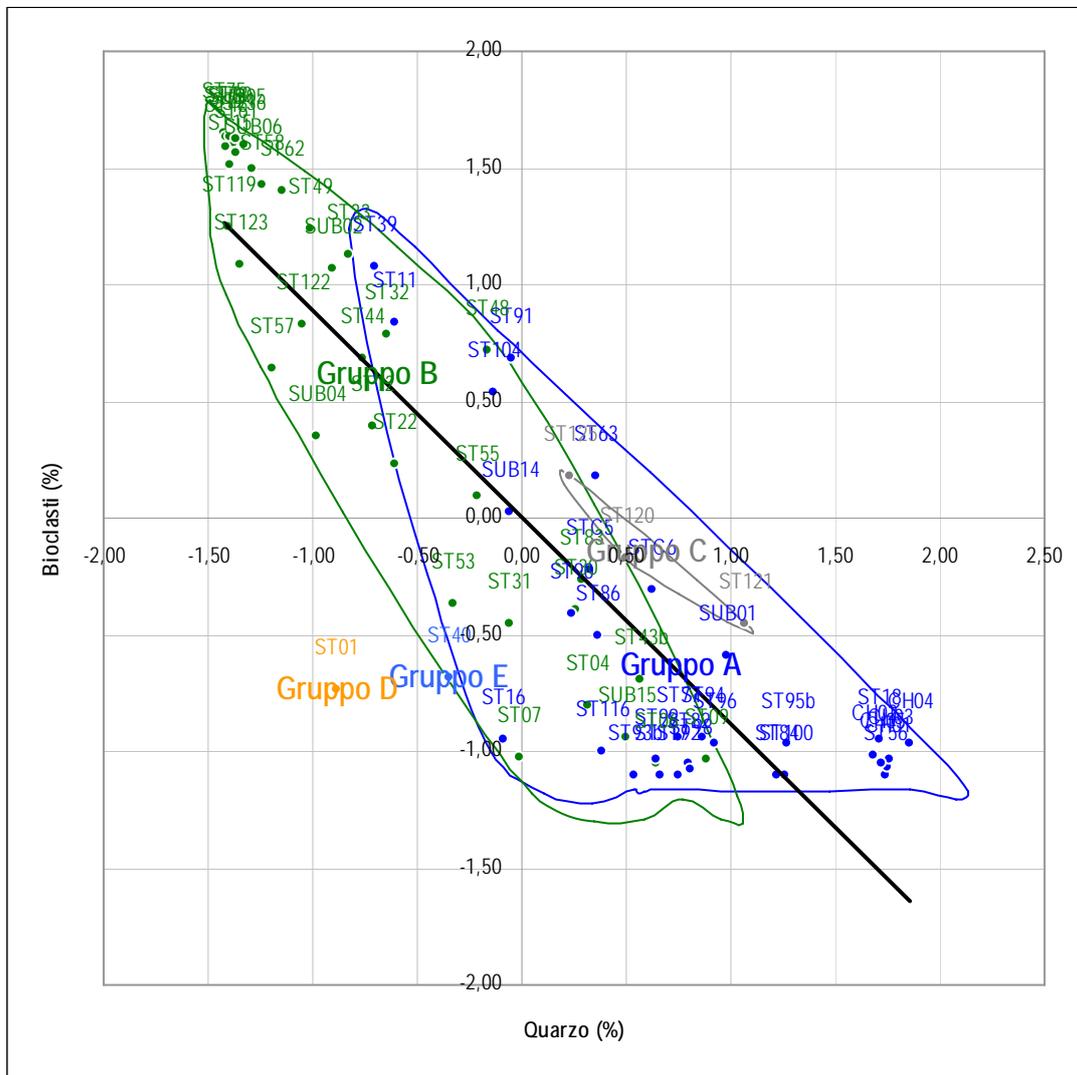


Fig. 43 - Rappresentazione areale della relazione tra percentuale di bioclasti e profondità.

1.5.8 SCELTA DELLA CLASSIFICAZIONE PER LA RAPPRESENTAZIONE CARTOGRAFICA

Dopo le analisi granulometriche basate sulla classificazione di Udden-Wentworth si è provato a rappresentare l'area di studio con altri sistemi di classificazione tessiturale, quali Nota (1958) e Folk (1965). In entrambi i casi si sono utilizzate delle classificazioni modificate tarate sugli strumenti di laboratorio da noi utilizzati.

Nel caso della classificazione di Nota il taglio sulle "peliti" è stato considerato a $63\mu\text{m}$ al posto dei $50\mu\text{m}$ della classificazione originaria, mentre per la classificazione di Folk si è abbassato il limite inferiore della classe "ghiaia" dall'80% al 70% al fine di dare una separazione tra i sedimenti "ghiaia-sostenuti" da sedimenti sempre grossolani, ma nei quali i clasti di ghiaia non sono fisicamente a contatto tra loro. Inoltre il limite inferiore delle classi fini pure (S e M) e dei loro termini di mescolamento (sM e mS) è stato abbassato da 99 a 95% al fine di evitare che percentuali troppo scarse della componente $> 2000\mu\text{m}$ costringessero ad aggettivare come "ghiaioso" ciò che agli effetti sedimentologici è una sabbia o una pelite pura, per la presenza occasionale di uno o due organismi marini di tagli media (Cabras, 2002).

L'analisi dei campioni ha evidenziato, per un fattore legato alla scala di lavoro e alla densità di campionamento, scarsa efficacia della rappresentazione cartografica basata sulla classificazione di Nota. Infatti la maggioranza dei campioni è risultata ricadere nel raggruppamento delle "sabbie" non fornendo quindi una variabilità tessiturale adatta ad essere rappresentata.

La classificazione di Folk (Fig. 44) invece ha prodotto una maggior rappresentabilità cartografica delle tessiture anche se, allo stato attuale, il dato viene semplicemente presentato come propedeutico all'approccio di caratterizzazione delle dinamiche attuali di spiaggia sottomarina.

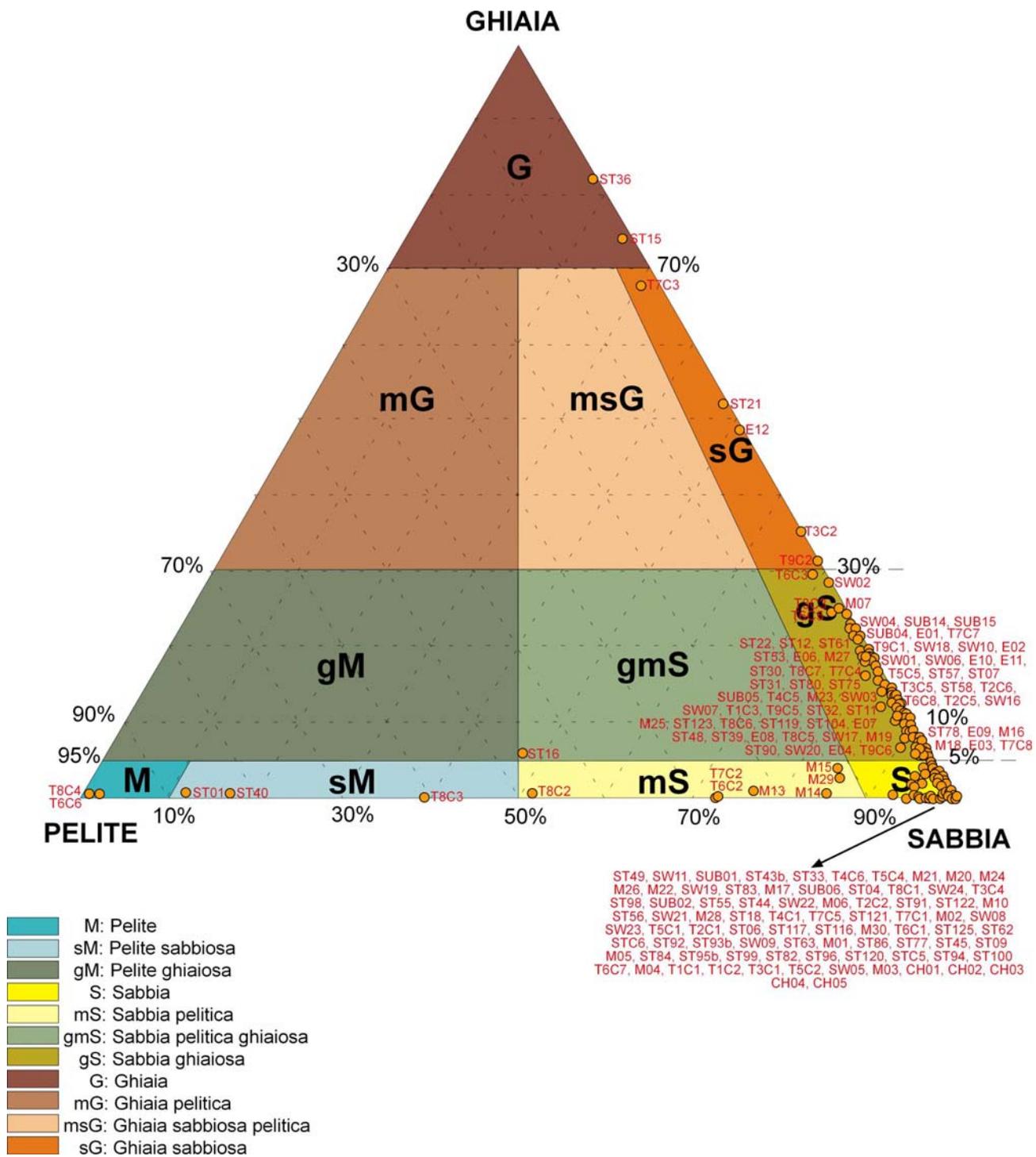


Fig. 44 - Diagramma triangolare della classificazione tessiturale dei campioni secondo Folk (1965) modificata.

RAPPRESENTAZIONE TESSITURALE DEI SEDIMENTI SECONDO LA CLASSIFICAZIONE DI FOLK



- G - Ghiaia
- sG - Ghiaia sabbiosa
- gS - Sabbia ghiaiosa
- S - Sabbia
- gmS - Sabbia pelitico-ghiaiosa
- mS - Sabbia pelitica
- sM - Pelite sabbiosa
- M - Pelite
- Prateria di Posidonia oceanica discontinua
- Prateria di Posidonia oceanica continua
- Area ad elevate influenza antropica
- Campione non analizzabile
- Area non studiata
- Batimetria con equidistanza 10 m
- Linea di costa

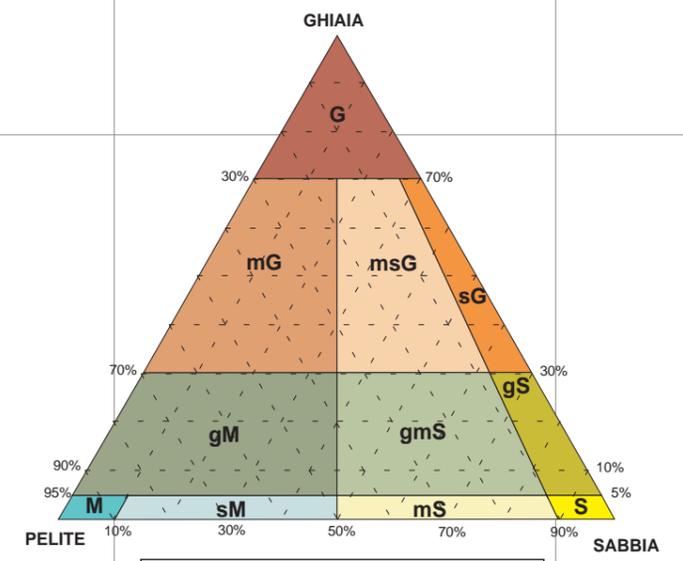
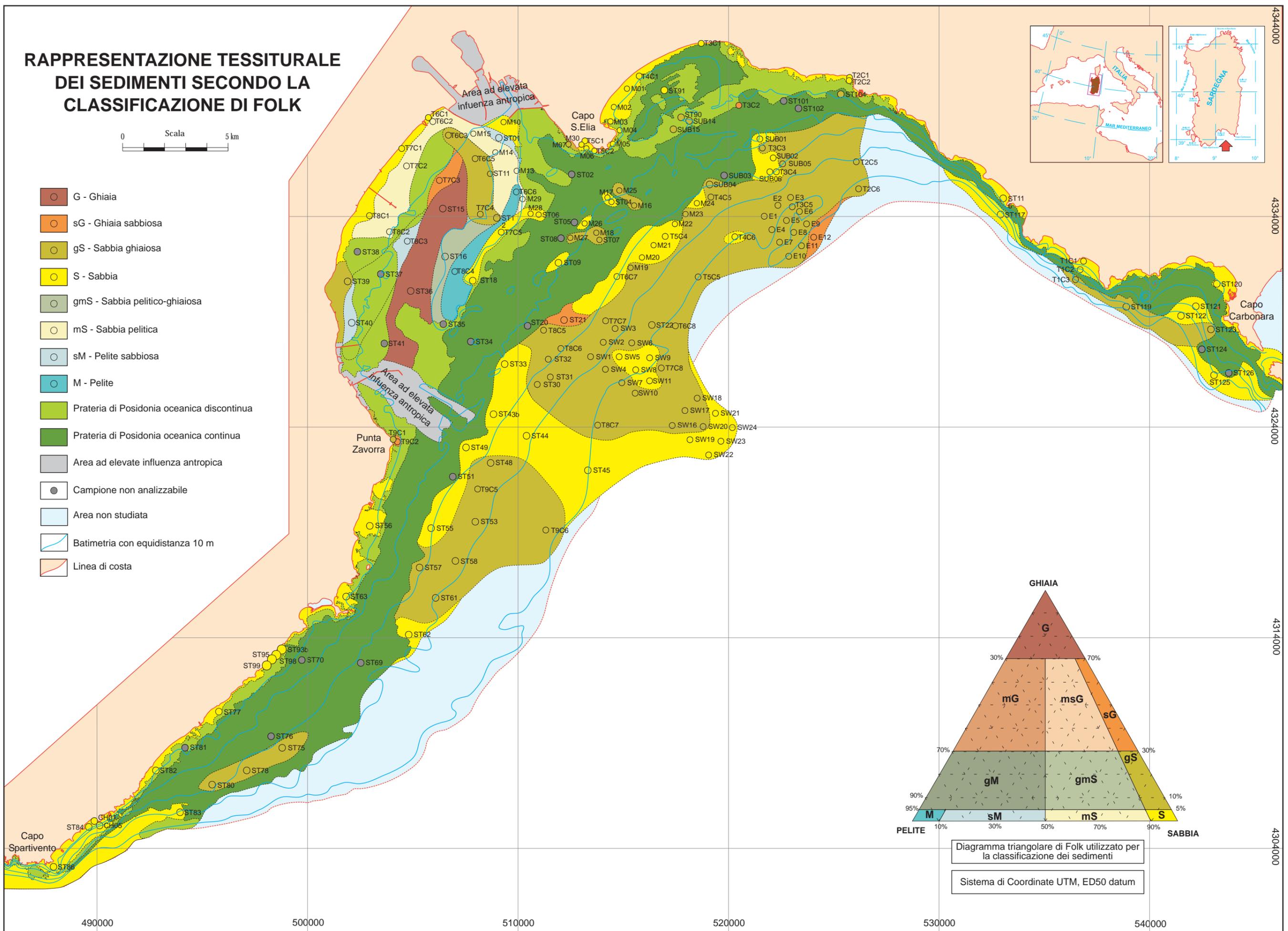
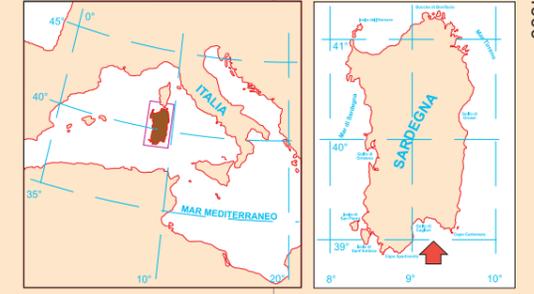


Diagramma triangolare di Folk utilizzato per la classificazione dei sedimenti
Sistema di Coordinate UTM, ED50 datum

490000 500000 510000 520000 530000 540000

4344000
4334000
4324000
4314000
4304000

1.5.9 DETERMINAZIONE DELLE FACIES

I risultati delle analisi dimensionali e composizionali dei sedimenti hanno portato all'individuazione, basata sullo schema proposto da Lecca *et alii*, 2005, di 7 gruppi di facies deposizionali. Queste associazione costituisce il sistema dei sedimenti attuali presenti nei fondali delle attuale piattaforma prossimale (Tabella 9).

1. Gruppo delle facies silicoclastiche prossimali di *shoreface*

In questo gruppo vengono comprese le *facies* di *foreshore* e di *shoreface*, cioè dalla battigia al limite d'azione delle onde di bel tempo, presenti nel Golfo di Quartu e nella sua prosecuzione fino alla piattaforma del Sarrabus a Est e nel tratto antistante la costa da Capo Pula sino a Capo Spartivento a Ovest.

Dal punto di vista granulometrico i sedimenti hanno generalmente una moda compresa negli intervalli delle ghiaie (*granule-pebble*), delle sabbie molto grosse e delle sabbie grosse che, nelle spiagge più protette, o per selezione eolica, possono arrivare alle sabbie fini/molto fini.

La composizione del sedimento è quasi esclusivamente terrigena (quarzoso-arcosica).

Nella componente bioclastica predominano i frammenti di molluschi, mentre la scarsa componente fine viene allontanata verso settori più distali.

I campioni analizzati, appartenenti al settore della costa orientale, hanno una composizione mineralogica che deriva direttamente dal substrato granitoide ampiamente affiorante nell'*horst* del Sarrabus. Nella spiaggia del Golfo di Quartu invece i sedimenti provengono dalle arenarie e marne mioceniche che affiorano a est di Cagliari, quindi derivano anch'essi dal basamento metamorfico e granitoide del Sarrabus ma attraverso i 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 mode 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, caratterizzate da abbondanti miche e minerali femici derivati probabilmente dall'alterazione di rocce basiche, oltre che da una componente bioclastica che, in alcuni campioni, può arrivare fino al 10%.

Il limite batimetrico inferiore attribuito a questo gruppo di *facies* è stato individuato, mediante l'interpretazione dei sonogrammi *Single-Beam* e *Side Scan Sonar*, e si basa principalmente sulla presenza della prateria continua di *Posidonia oceanica* (L.) Delile che segna l'inizio degli areali ove prevale la sedimentazione bioclastica.

2. Gruppo delle facies quarzoso-bioclastiche dello *shoreface* di S. Gilla.

Nel *foreshore-shoreface* del settore occidentale del Golfo sono presenti sabbie quarzose fini e molto fini, indice di un ambiente di spiaggia a bassa energia. Infatti, questa parte del Golfo, oltre a essere protetta dal contorno della costa, si avvale dell'attenuazione delle tempeste dei quadranti meridionali operata dal banco a Posidonia della media piattaforma. Grazie a tale bassa energia, a pochi metri di profondità, lo *shoreface* è stabilizzato da una prateria di basse fanerogame (*Cimodocea nodosa*, *Posidonia oceanica*) e alghe verdi (*Caulerpa prolifera*, *Codium fragile* e *Codium bursa*) che precede internamente la prima fascia a Posidonia. La composizione dei sedimenti è prevalentemente terrigena. Il quarzo, proveniente dagli apporti fluviali del *Graben* del Campidano, rappresenta il 50%, mentre 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. I bioclasti sono in prevalenza gusci di molluschi (lamellibranchi e gasteropodi), talvolta sub-attuali calcitizzati e sepolti da sabbie siltose nerastre. Si ritrovano inoltre radioli e frammenti di gusci di echinidi irregolari, briozoi, foraminiferi e, nelle frazioni di diametro minore, rare spicole di spugne silicee. Sempre in relazione con la bassa energia, nei campioni più distali di tale gruppo di facies è spesso presente una componente organica costituita da frammenti di foglie di Posidonia. A questa facies si può associare anche l'areale antistante la spiaggia del Poetto e in generale le aree più protette del Golfo.

3. Gruppo delle facies litico-bioclastiche di Punta Zavorra

Nei pressi di Punta Zavorra, sino all'area di Capo Pula, si osservano facies poligeniche con componente litoclastica e bioclastica. Il fondo marino si presenta in prevalenza roccioso (andesiti) e i sedimenti si accumulano all'interno di concavità erosionali che si alternano a *matte* 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 per opera di vermi.

4. Gruppo delle facies calcilitiche di Capo S. Elia

Attorno al Capo S. Elia e soprattutto all'interno dell'insenatura di Cala Mosca 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 di media latitudine a lithotamnium, assieme a calcari marnosi e in subordinate areniti quarzoso-feldspatiche debolmente cementate (Leone *et alii*, 1992). Questa componente litica subisce un rapido calo spostandosi verso il largo con l'instaurarsi del banco di Posidonia, presente già a poca distanza dalla riva. La componente terrigena è in parte quarzosa con granuli di dimensioni minori rispetto a quelli calcilitici.

La componente calcilitica si sovrappone con tessiture più grosse (ghiaie) rispetto al materiale silicoclastico composto da sabbie più o meno grosse secondo la classica transizione costa-largo.

La componente bioclastica è decisamente subordinata in battigia (circa 1% del totale) ma acquista maggiore importanza a qualche metro di profondità (circa 10%). Tale componente è costituita da molluschi (compresi vermetidi), briozoi, radioli di echinidi, foraminiferi bentonici e ostracodi. La materia organica, come frammenti di fanerogame ed alghe di bassa profondità, è talvolta presente in quantità importante.

5. Gruppo delle facies fangose a lamellibranchi dello shoreface distale antistante S. Gilla e della depressione della piattaforma interna

La depressione interna rispetto al banco principale della prateria di Posidonia oceanica è un ambiente a bassa energia, dove si depongono in prevalenza fanghi. Le granulometrie hanno un andamento irregolare e in alcuni casi sono marcatamente bimodali o polimodali. Questo carattere è dovuto alla presenza di gusci provenienti da infauna e fauna bentonica che colonizzano il fondale fangoso. I sedimenti, sabbie fini e molto fini quarzose, oltre ai gusci di lamellibranchi presentano una componente organica di frammenti di Posidonia ed una componente bioclastica nella sabbia fine.

Si ritrovano infine materiali di origine antropica, probabili scarti di combustione di navi a vapore che stazionavano in rada. Questa zona del Golfo di Cagliari anche ai nostri giorni è infatti interessata da ancoraggi di navi commerciali. A tal proposito si segnala in questo gruppo di facies così come nello *shoreface* di S.Gilla la presenza di rari granuli aggregati da bitume.

Per facies più fangose tutto il materiale passa al vaglio dei 63 µm. Questi fanghi danno una discreta effervescenza all'HCl e la parte carbonatica è stata valutata mediante calcimetria intorno al 20%. Al microscopio è visibile, dopo un attacco con HCl, molta materia organica, particelle siltose di vario aspetto e una componente argillosa terrigena. Infatti questa zona del golfo è soggetta all'accumulo

dei sedimenti più fini trasportati dagli eventi di piena del Rio Mannu e del Cixerri, le cui torbide, si è constatato, raggiungono quasi tutta la parte occidentale della piattaforma.

Il materiale bioclastico è costituito per lo più da grossi lamellibranchi come mitilidi, petinidi e cardidi e subordinati gasteropodi. La parte restante è costituita da foraminiferi, briozoi, radioli di echinidi, rari noduli algali e numerosi *fecal pellet*. Questi ultimi hanno dimensioni variabili tra 500÷125 µm e sono costituiti da fango terrigeno-carbonatico e materia organica.

I sedimenti mostrano, al momento del prelievo (la benna ha campionato fino a circa 20 cm sotto la superficie del fondo), una tipica struttura costituita da una fitta alternanza di lamine millimetriche di sabbia molto fine e argille nere. Inoltre la parte interna di alcuni bioclasti si presenta annerita a causa del seppellimento nel fango. Questi elementi documentano che tale facies laminata è attribuibile all'alternanza di fanghi di bel tempo, ricche di materia organica, con lamine sabbiose di tempesta, e che in essa si instaurano precocemente condizioni riducenti subito al di sotto del *bentic boundary layer*.

6. Gruppo delle facies miste bioclastico-terrigene

Sedimenti misti bioclastico-terrigeni sono presenti in piattaforma intermedia nel banco principale a Posidonia e nel pendio esterno al banco. L'ambiente deposizionale di questo gruppo di facies corrisponde, secondo criteri idrodinamici, all'areale compreso tra il limite d'azione delle onde di bel tempo e il limite delle onde di tempesta sul fondo marino (*offshore* superiore). I sedimenti sono mediocrementemente classati, talvolta bimodali, prevalentemente distribuiti nelle classi delle sabbie grosse e molto grosse (2000÷500 µm), con una discreta coda fine. Generalmente il bioclastico prevale sul terrigeno con percentuali del 60-70%, ma talvolta è subordinato con valori del 30-40%. La componente bioclastica è dominata dai molluschi, mentre nella parte distale assumono maggiore rilevanza i frammenti di alghe rosse. Inoltre risulta importante la presenza di briozoi, tra i quali sono stati riconosciuti *Cellepora pumicosa* e *Lichenopora radiata*, e di numerosi foraminiferi bentonici di dimensioni fino a 1000 µm. È da notare la presenza di *Miniacina miniacea*, un foraminifero di colore rosso che vive sulle radici e rizomi esposti della Posidonia. In quantità subordinata si rinvengono radioli o frammenti di gusci di echinidi, alcuni piccoli crostacei e rari coralli aermatipici.

La componente silicoclastica rinvenuta nella parte prossimale del banco è generalmente rappresentata da sabbie medie e fini, mentre nella parte esterna del banco e del pendio si rinvengono sabbie molto grosse debolmente ghiaiose costituite da quarzo, feldspati, litoclasti metamorfici e arenarie cementate, oltre a una subordinata coda fine quarzosa. L'origine di tale componente silicoclastica nella parte prossimale del banco (zona in cui la prateria di Posidonia si raccorda

direttamente allo *shoreface*) può essere ricondotta alla attuale sedimentazione di sabbie di *shoreface* mobilizzate da eventi di tempesta. Diversamente, nelle parti separate dalle depressioni, nel banco a Posidonia e nel pendio fino a -50 m circa, la componente silicoclastica deve essere attribuita alla ri-deposizione di sedimenti relitti presenti in questa parte di piattaforma. Questi sedimenti, sulla base del grado di elaborazione e della presenza di granuli di arenarie cementate senza matrice possono essere attribuiti a paleo *sand sheet* di spiaggia, e per la presenza di granuli cementati da matrice arrossata, a paleo depositi continentali (arenarie fluviali o falde alluvionale-colluviali). L'analisi dei diversi profili ecografici eseguiti mostra che il banco costituisce una struttura continua trasversale a tutto il Golfo, pur presentando areali a diversa tipologia.

7. Gruppo delle facies ad alghe rosse e foraminiferi

Queste facies compaiono nella parte più esterna del pendio del banco a Posidonia, cioè lungo la fascia delle *sand wave*, e sui fondali pianeggianti fino alla transizione verso la piattaforma esterna. Il sedimento è costituito da una componente indigena ad alghe rosse e foraminiferi, e da sedimenti alloctoni provenienti dal *fore slope* del banco.

La composizione è quasi esclusivamente bioclastica, ma verso terra si osserva una transizione graduale con le facies miste. Tra tutti i campioni prelevati si osserva una moderata uniformità, gli intervalli più rappresentati sono quelli delle sabbie grosse e molto grosse (da 2000 a 500 µm) benché il sedimento risulti distribuito in un intervallo tra le ghiaie e i fanghi. L'importante presenza di una coda di sabbia molto fine-fango carbonatico documenta l'ambiente distale a bassa energia.

La componente predominante è costituita da grossi frammenti algali prevalentemente ramificati (*Lithophyllum racemus*) e altre forme indeterminate *loose branched* (*sensu* Johnson, 1962 e Johnson e Adey, 1965) di pochi millimetri. Seguono per importanza i foraminiferi, frammenti di molluschi, di echinidi e, in subordine, briozoi. La fauna bentonica si sviluppa probabilmente su zone in rilievo e in substrati semi stabili dove le alghe rosse si rinvencono regolarmente vive e lasciano supporre un ampio areale di distribuzione.

	GRUPPI DI FACIES	AMBIENTE E PROCESSI DOMINANTI	GRANULOMETRIA	COMPOSIZIONE	STAZIONE DI CAMPIONAMENTO
FORESHORE - SHOREFACE	SILICOCLASTICHE PROSSIMALI (QUARZOSO - FELDSPATICHE) 0-14m	Foreshore e shoreface superiore del settore orientale del golfo esposto al moto ondoso e alle correnti da esso indotte che selezionano e rimaneggiano i sedimenti.	Sabbie ghiaiose molto grosse-grosse che passano a sabbie fini-molto fini nella parte occidentale (Poetto pre ripascimento). Le granulometrie maggiori si riscontrano in battigia e in prossimità della costa. I sedimenti a terra sono da bene a discretamente classati (0,35 ϕ \leq 0,80) salvo rare eccezioni. I campioni in mare sono discretamente classati.	Facies silicoclastiche SILICOCLASTICO: quarzo, feldspati (dalla alterazione dei graniti), litoclasti del basamento ercinico. BIOCLASTICO: limitato a piccole conchiglie di gasteropodi e a frammenti di gusci di bivalvi.	ST63, ST77, ST82, ST84, ST86, ST92, ST93b, ST94, ST95b, ST96, ST98, ST99, ST100, ST116, ST117, ST120.
	QUARZOSO-BIOCLASTICHE DI S.GILLA 0-6 m	Foreshore e shoreface superiore del settore occidentale del golfo protetto dalle massime intensità del moto ondoso. Le condizioni di scarso idrodinamismo favoriscono la presenza di infauna e fauna bentonica che producono un importante volume di bioclasti. La bassa intensità del moto ondoso induce limitato trasporto e scarsa selezione.	Sabbie quarzose fini e molto fini si dipanano in condizioni di moto ondoso di bassa energia. Moda compresa tra le sabbie fini e molto fini (250-63 μ m). Le sabbie sono da discretamente a mediocemente classate.	Facies miste, silicoclastiche e in subordine carbonatiche SILICOCLASTICO: quarzo a spigoli vivi (50% o più), feldspati e litoclasti. BIOCLASTICO: circa 15-20%; molluschi e in subordine: foraminiferi, echinidi irregolari (radioli e frammenti di gusci), briozoi, spicole di spugne silicee.	ST56
	LITICO-BIOCLASTICHE DI PUNTA ZAVORRA 0-6,5 m	Base di falesie wave dominated. Coperture sedimentarie discontinue si dipanano su fondali rocciosi alla base delle falesie delle andefiti oligo-mioceniche di P.ta Zavorra soggette a forte moto ondoso. Il substrato è colonizzato irregolarmente da matite isolate di Posidonia oceanica; i sedimenti si accumulano all'interno di piccole depressioni erosionali. Organismi agglutnanti e incrostanti generano incrostazioni e aggregati di frammenti litici, radioli e altri bioclasti.	Sabbie grosse o molto grosse con discreta componente ghiaiosa. Da discretamente a mediocemente classate (0,75 ϕ \leq 1,05)	Facies miste, litoclastico-bioclastiche SILICOCLASTICO: litoclasti andesitici quarzo e feldspati a elevato grado di arrotondamento. BIOCLASTICO: piccoli gasteropodi, lamelibranchi; componente subordinata radioli e frammenti di echinidi, frammenti algali, briozoi, piccoli crostacei.	ST56
	CALCLITICHE DI CAPO S. ELIA 0-5 m	Base di falesie wave dominated. Sedimenti discontinui del foreshore e shoreface della piccola spiaggia di Cala Mosca alla base delle falesie delle colline calcaree di Capo S. Elia, caratterizzati dalla presenza di abbondanti clasti calcarei. Le condizioni idrodinamiche all'interno della baia sono protette mentre altrove l'energia del moto ondoso è elevata. Rapido decremento della componente calcitica verso il largo per l'azione schermante della Posidonia.	Sedimenti a moda compresa nelle sabbie medie e fini da bene a discretamente classati (0,35 ϕ \leq 0,70). Componente silicoclastica dominante negli intervalli delle classi fini e molto fini. Componente calcitica espressa nelle frazioni delle sabbie medie e fini.	Facies calcitico-silicoclastico-carbonatiche CALCLITICO: clasti di calcari miocenici SILICOCLASTICO: quarzo e feldspati. BIOCLASTICO: molluschi, foraminiferi bentonici, briozoi, radioli di echinidi.	STC5, STC6
DEPRESSIONE INTERNA	FANGOSE A LAMELLIBRANCHI 8-27 m	Shoreface inferiore antistante la laguna di S. Gilla e depressione della piattaforma interna, caratterizzato da alternanza deposizionale di fanghi di bel tempo e lamine sabbiose di tempesta. I sedimenti della depressione presentano una laminazione piano-parallela costituita da una fitta alternanza di lamine millimetriche di sabbia molto fine e livelli argillosi ad alto contenuto in materia organica. Fenomeni di costipazione del sedimento e fermentazione anaerobica. Basse energie idrodinamiche per profondità inferiori alla base del moto ondoso di bel tempo e di tempesta.	Curve granulometriche ad andamento irregolare, in alcuni casi marcatamente bimodali o polimodali, corrispondenti a sedimenti pocchimedio-mente classati. I campioni completamente fangosi risultano cerniti. Le frazioni a diametro maggiore sono rappresentate da frammenti di gusci di organismi bentonici. Le frazioni fini sono quarzose con subordinata componente bioclastica.	Facies miste silicoclastico-carbonatiche SILICOCLASTICO: quarzo a spigoli vivi e feldspati. BIOCLASTICO: bivalvi e gasteropodi. Frazione organica: residui di Posidonia in concentrazioni importanti nelle frazioni fini. Granuli di origine antropica: scarti da navi a vapore e rari aggregati bituminosi.	ST01, ST11, ST12, ST15, ST16, ST36, ST37, ST38, ST39, ST40, ST41
BANCO A POSIDONIA	MISTE BIOCLASTICO-TERRIGENE 15-40 m	Banco di media piattaforma. Fascia a produzione carbonatica con presenza di sedimenti terrigeni nelli e di subordinati apporti terrigeni attuali. Transizione tra la prateria a canali e quella continua controllata dall'idrodinamismo del moto ondoso di tempesta. Controllo della sedimentazione da parte dei fattori biologici: produzione di sedimento calcareo e intrappolamento nei rizomi e radici delle posidonie dei sedimenti calcarei e terrigeni. I campionamenti con benna non sempre sono possibili per l'integrità della prateria.	Curve granulometriche ad aspetto irregolare, talvolta bimodali. La componente terrigena rinvenuta nelle frazioni più grosse è relitta. Sedimenti nel complesso mediocemente o poco classati (0,85 ϕ \leq 1,50) con abbondante sil carbonatico (non è da escludersi un leggero incremento di tale frazione dovuto a frantumazione meccanica in fase di setacciatura).	Facies miste silicoclastico-carbonatiche BIOCLASTICO: molluschi (varie specie di lamelibranchi e piccoli gasteropodi), briozoi, foraminiferi bentonici e svariate specie di organismi della biocenosi a Posidonia. SILICOCLASTICO: quarzo e feldspati in grossi individui e nelle frazioni fini, arenaria cementata, frammenti litoclastici del basamento metamorfico. Il terrigeno diminuisce nel pendio inferiore.	ST02, ST04, ST05, ST06, ST07, ST08, ST09, ST18, ST20, ST33, ST34, ST35, ST49, ST57, ST69, ST70, ST75, ST76, ST78, ST80, ST81, ST83, ST87, ST88, ST90, ST91, ST101, ST102, ST104, ST121, ST125, STC8, STC9, STC17, SUB1
PENDIO ESTERNO (FASCIA SAND MIXES)	AD ALGHE ROSSE E FORAMINIFERI 40-50 m	Piattaforma intermedia distale ed esterna. Areele situato oltre il limite esterno della prateria, in una fascia che si estende dalla batimetria iniziale di circa 45m. Produttività organica limitata ad aree non stabili e discontinue. Rimaneggiamento operato dal moto ondoso di tempesta; ambiente idrodinamico nel complesso a scarsa capacità selettiva (abbondante materiale a granulometria fine). Evidenze sui granuli, di episodi di alteri seppellimenti e successive mobilitazioni. Sul paleo cordone si sviluppano dei calcari organogeni prevalentemente ad alghe rosse a costituire localmente dei pinacoli. La fine della componente algale e la presenza di sedimenti più fini a matrice fangosa delimita verso il largo la transizione alla successiva zona di facies.	Le classi più rappresentate sono quelle delle sabbie grosse e molto grosse (da 2000 a 500 μ m) benché il sedimento resti distribuito in un ampio spettro (tra +1,9 e 2,9). Presenza di abbondante frazione fine carbonatica. Classatura mediore (0,90 ϕ \leq 1,25).	Facies carbonatiche. Associazione formata da una componente indigena costituita in prevalenza da alghe rosse calcaree, e da componenti provenienti dalla parte più elevata del banco a Posidonia. BIOCLASTICO: alghe rosse calcaree ramificate e incrostanti, molluschi, foraminiferi bentonici, frammenti di echinidi, briozoi. Piccole percentuali di terrigeno relitto, non tale da caratterizzare delle facies miste.	ST21, ST22, ST30, ST31 ST32, ST43, ST44, ST45, ST48, ST51, ST53, ST55, ST58, ST61, ST62, ST122, ST123, ST124, ST126
PIATTAFORMA ESTERNA					

Tabella 9 – Sintesi degli ambienti e delle facies deposizionali della piattaforma di Cagliari, con evidenziate le stazioni di campionamento (da Lecca *et alii*, 2005 modificato).

1.6 LEGENDA CARTA TESSITURALE E DELLE ASSOCIAZIONI DI FACIES

Dopo varie ipotesi di rappresentazione cartografica si è scelto di realizzare una legenda che tenesse conto in primo luogo della composizione dei sedimenti, mettendola in relazione con la tessitura e le strutture sedimentarie presenti (es. strutture a *sand waves*).

L'analisi e la determinazione delle *facies* sono state associate quindi alla distribuzione tessiturale al fine di realizzare una zonazione dei sedimenti che tenesse conto contemporaneamente della natura dei sedimenti, dalla loro tipologia e degli ambienti deposizionali ad essi legati. Questo ha permesso di realizzare una legenda specifica identificando 12 tipologie principali di fondali marini.

1. Sabbie medie e fini di spiaggia sottomarina, talvolta colonizzate da vegetazione discontinua, a composizione prevalentemente silicoclastica; Facies silicoclastiche di *shore-face* (Fig.45).



Fig. 45 – Distribuzione dei sedimenti nell'area.

Questo termine comprende le *facies* 1 e 2 (*cfr. paragrafo 1.5.9*) e si trova generalmente sotto costa in settori confinati tra il limite superiore della prateria di Posidonia e la linea di battigia. I sedimenti che lo caratterizzano sono rappresentati prevalentemente da sabbie da grosse a medie. La composizione è prevalentemente silicoclastica (Fig. 46).

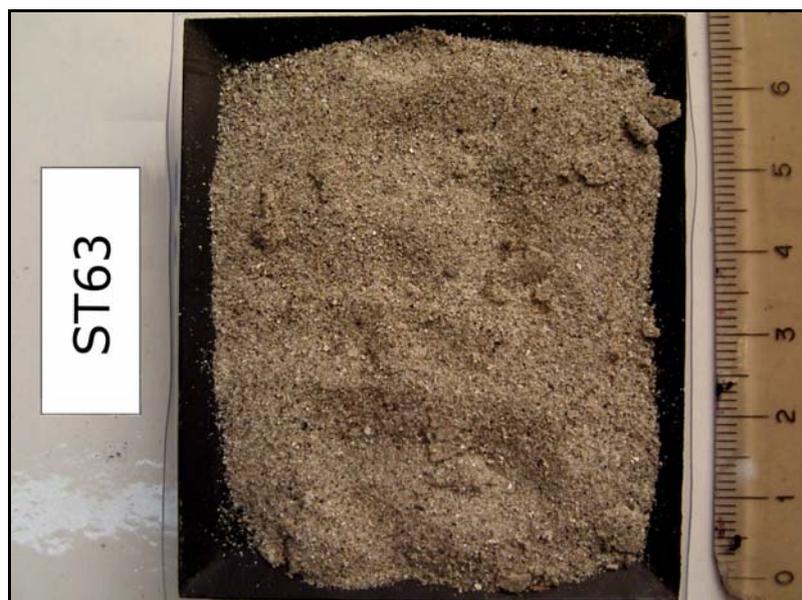


Fig. 46 – Campione ST63 – *facies* 1: sabbia fine silicoclastica.

2. Ghiaie e Sabbie di *shore-face* con componente litica andesitica; Facies litico-bioclastiche di Punta Zavorra (Fig. 47).



Fig. 47 – Distribuzione dei sedimenti nell'area.

Questo termine comprende i sedimenti della *facies 3* (cfr. *paragrafo 1.5.9*) ed è localizzata nell'area circostante Punta Zavorra. I sedimenti sono tipicamente di *shoreface*, rappresentati da sabbie silicoclastico in cui sono presenti frammenti litici andesitici (Fig.48).

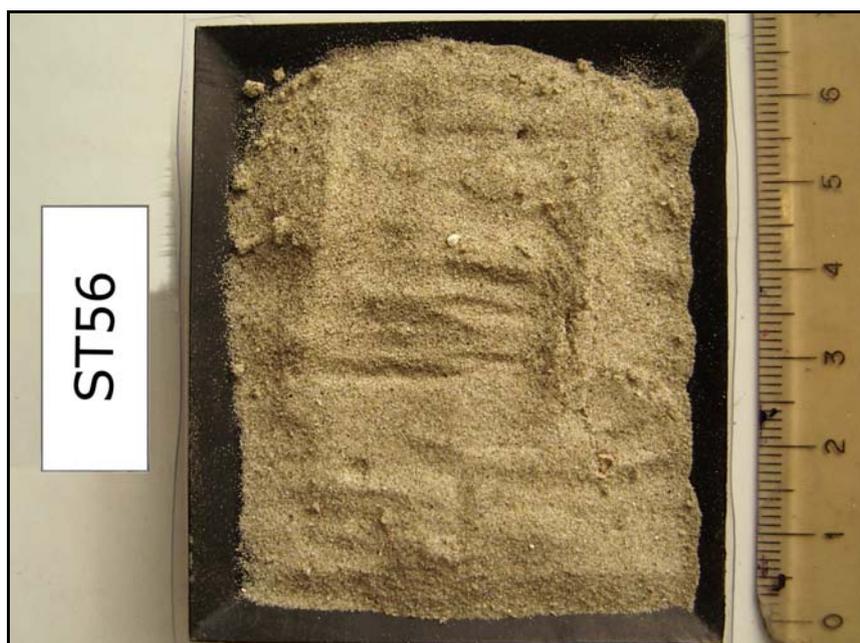


Fig. 48 – Campione ST56 – *facies 3*: sabbia molto fine di *shoreface* con componente andesitica.

3. Fanghi e Sabbie fini del pendio e della depressione della piattaforma interna; Facies fangoso-sabbiose a lamellibranchi (Fig. 49).



Fig. 49 – Distribuzione dei sedimenti nell'area.

Questo termine comprende i sedimenti della *facies 5* ed è localizzato nel pendio della depressione interna di fronte alla laguna di Santa Gilla. Le tessiture sono caratterizzate da sabbie fini e fanghi. La componente ghiaiosa è caratterizzata da frammenti di gusci di bivalvi e gasteropodi (Fig. 50).



Fig. 50 – Campione ST11 – *facies 5*: Sabbia fine-argillosa, con presenza di coralli, bivalvi e detriti antropici.

4. Limi organici della depressione della piattaforma interna; Facies a fanghi siltosi organico-carbonatici (Fig. 51).



Fig. 51 – Distribuzione dei sedimenti nell’area.

Questo termine appartiene, a livello compositivo, alla *facies* 5 ed in particolare si ritrovano fanghi organici e sabbie fini (Fig. 52).

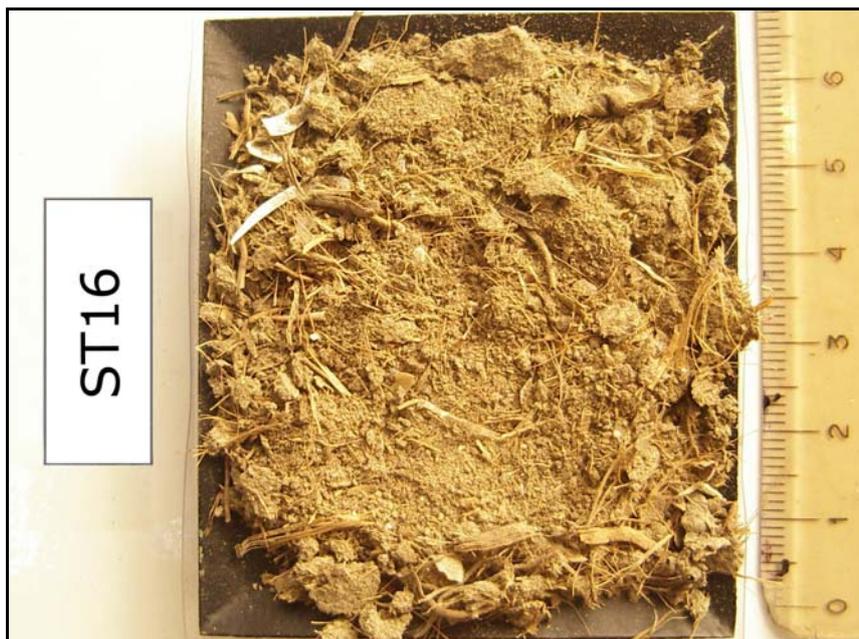


Fig. 52 - Campione ST16 – *facies* 5: fanghi e sabbie.

5. Sabbie e Sabbie ghiaiose terrigene a componente calcititica; Facies calcititiche di Capo S.Elia (Fig. 53).

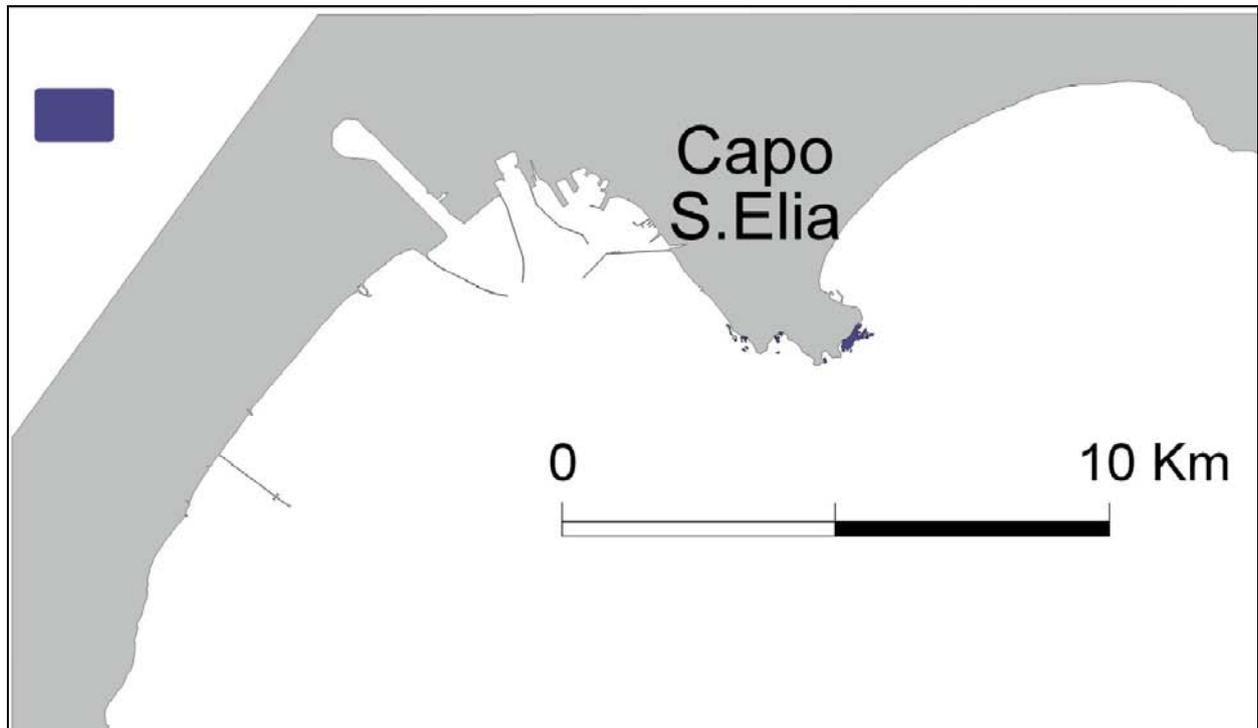


Fig. 53 – Distribuzione dei sedimenti nell'area.

Questo termine rappresenta i sedimenti associati alla *facies* 4. Tessituralmente è caratterizzato da sedimenti dell'ordine delle sabbie medie e grosse con presenza di litoclasti calcarei derivanti dalla falesia di Capo S. Elia (Fig.54).



Fig. 54 - Campione STC6: sabbie medie a componente mista

6. Ghiaie, Sabbie e Fanghi con copertura discontinua di *Posidonia oceanica* e altre Fanerogame marine; Facies miste bioclastico-terrigene associate alla Prateria discontinua (presenza di *intramatte*) (Fig.55).

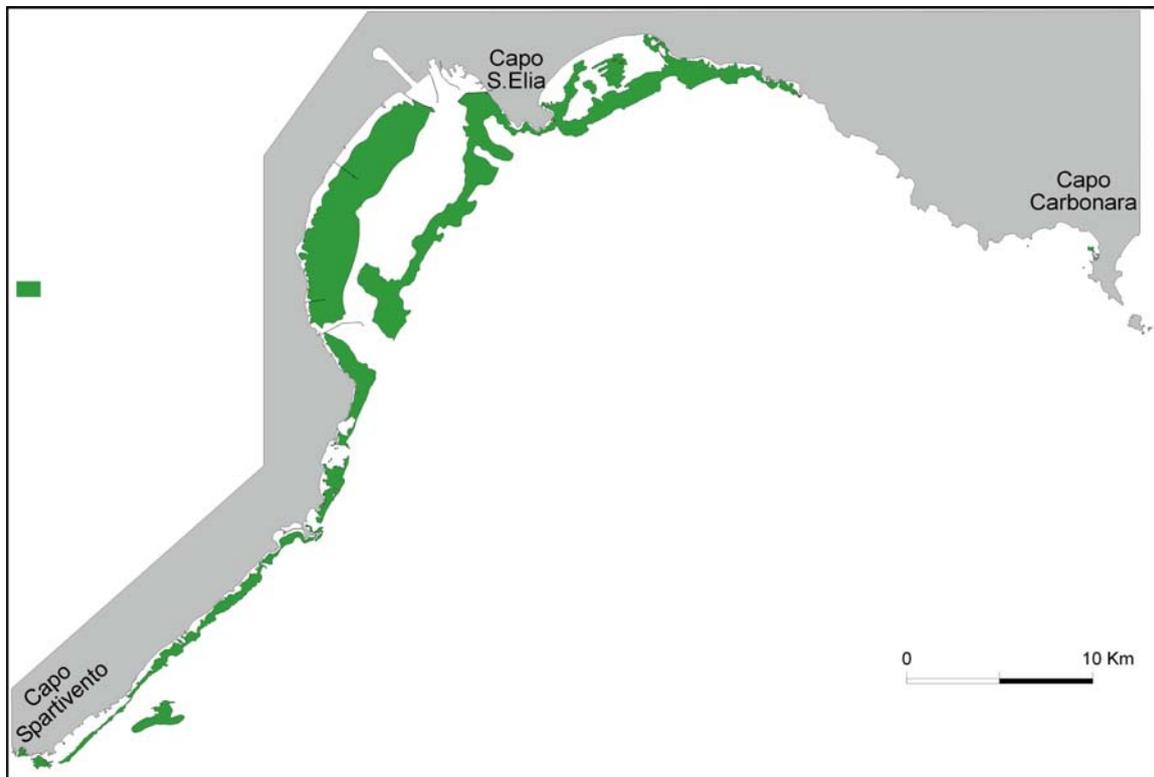


Fig. 55 – Distribuzione dei sedimenti nell’area.

Questo termine è rappresentativo di un areale caratterizzato da prateria di *Posidonia* degradata e/o discontinua. Il sedimento è di tipo misto bioclastico-terrigeno dove gli elementi bioclastici sono direttamente associati all’ecosistema prateria (Fig.56).



Fig. 56 - Campione ST83: sabbia fine di intramatte a componente mista ad alghe rosse e sedimento terrigeno relitto.

7. Prateria di Posidonia oceanica prevalentemente continua; Facies miste bioclastico-terrigene associate alla Prateria continua (Fig. 57).

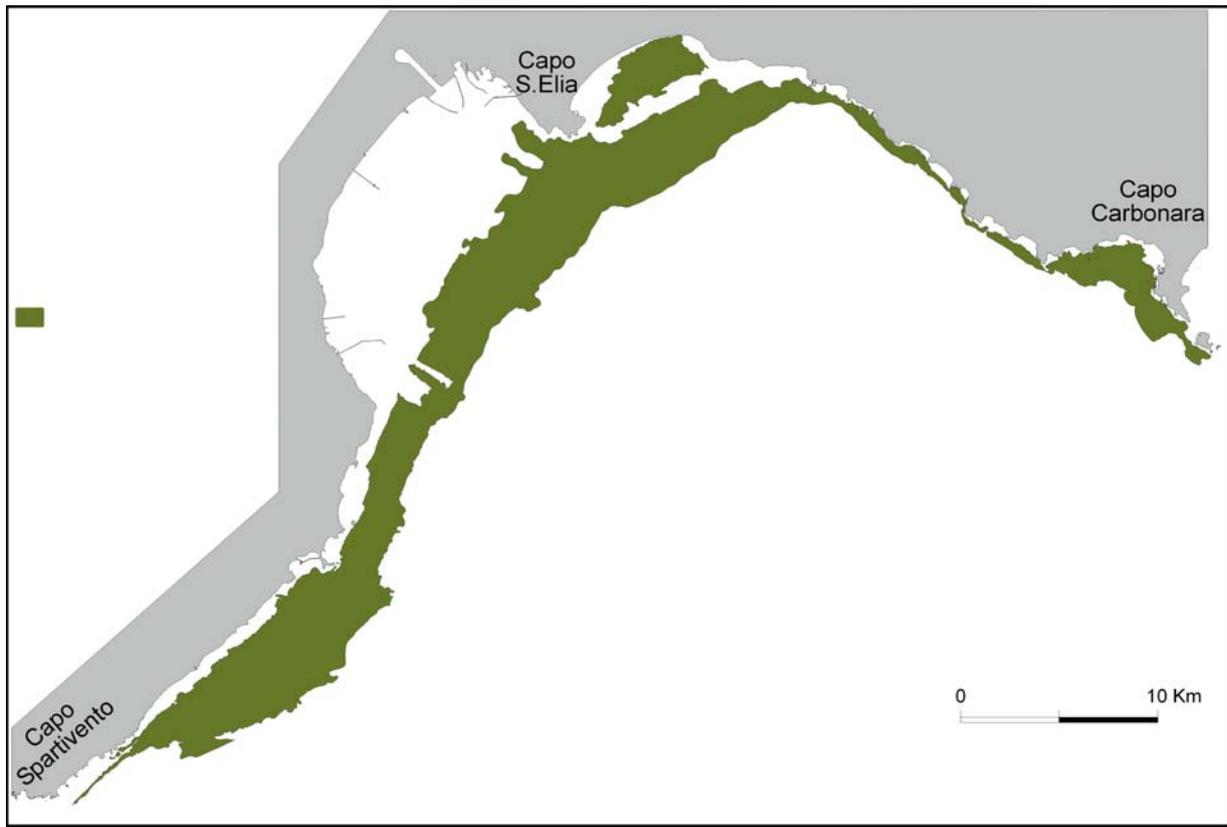


Fig. 57 – Distribuzione dei sedimenti nell’area.

Fondali caratterizzati da prateria di Posidonia continua interrotta solo da alcune zone *intramatte*. Il sedimento è prevalentemente bioclastico prodotto all’interno della prateria stessa (Fig.58).



Fig. 58 - Campione ST78: sabbia grossa bioclastica di intramatte a molluschi e briozoi

8. Ghiaie, Sabbie e Fanghi con vegetazione discontinua della transizione esterna del banco a Posidonia. Facies miste bioclastico-terrigene a lamellibranchi, briozoi e foraminiferi (Fig. 59).

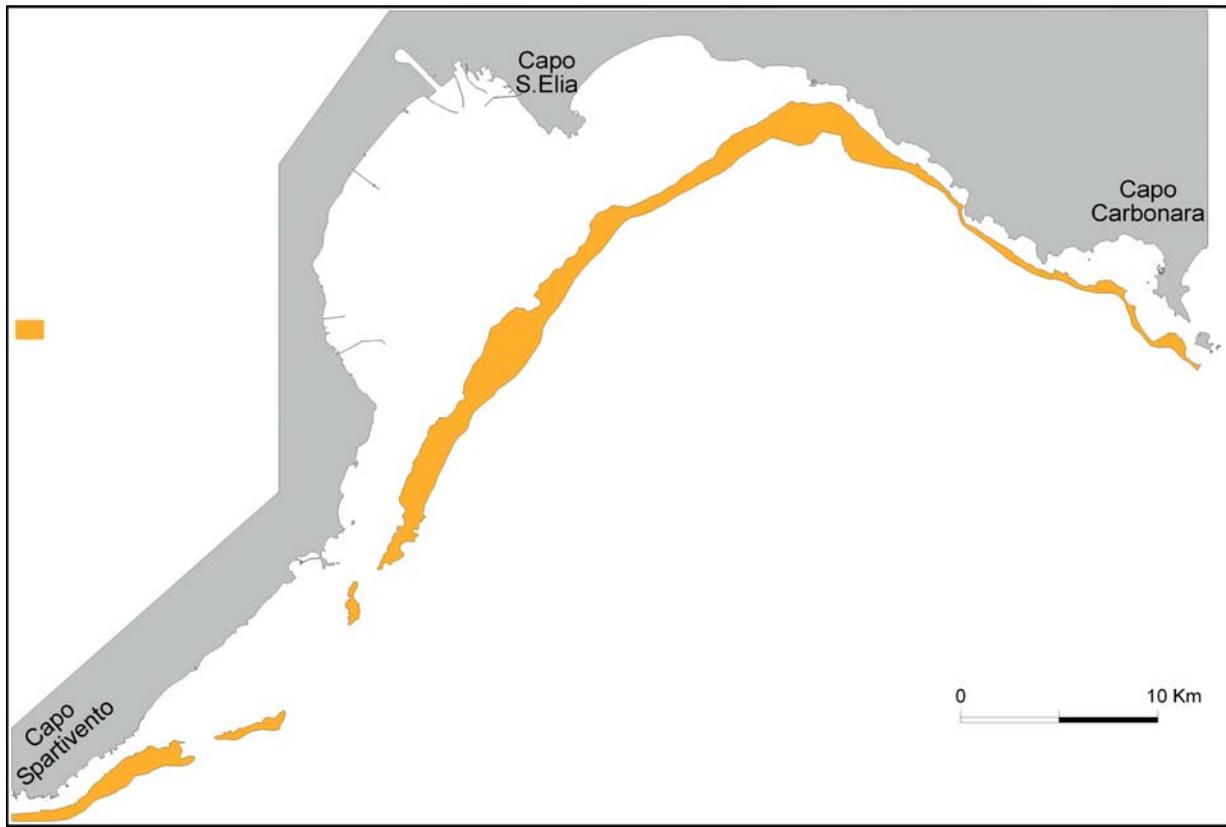


Fig. 59 – Distribuzione dei sedimenti nell'area.

Questo termine comprende i sedimenti della *facies* 6. Questi sedimenti sono caratterizzati tessituralmente da ghiaie bioclastiche e sedimenti sabbiosi, medi e grossolani, di natura terrigena (Fig. 60).



Fig. 60 - Campione ST32 – *facies* 6: sabbia medio-fine bioclastica a molluschi ed alghe rosse.

9. Sabbie ghiaiose mal classate con strutture a Sand waves; Facies bioclastico-terrigene ad alghe rosse e foraminiferi (Fig. 61).

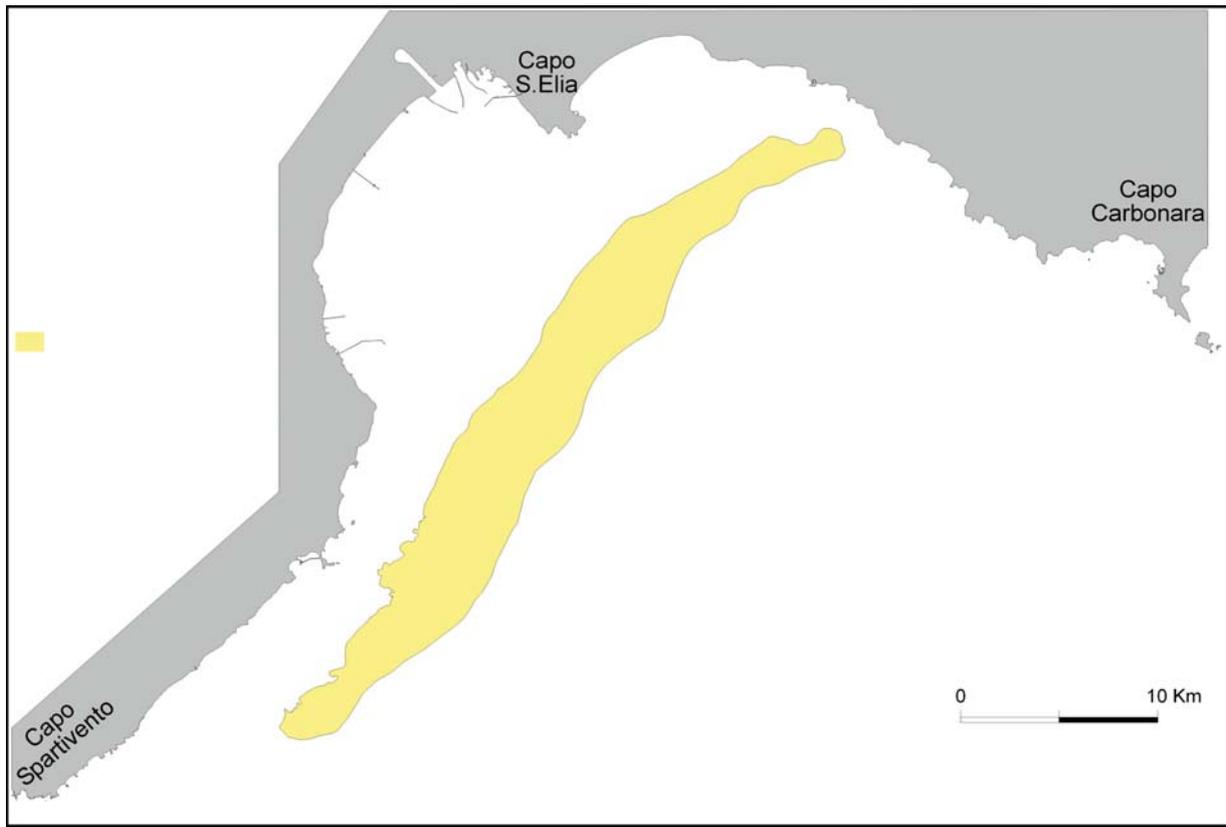


Fig. 61 – Distribuzione dei sedimenti nell’area.

I sedimenti sono caratterizzati da ghiaie bioclastiche con presenza di sabbie di natura terrigena relitta. L’areale, racchiuso tra le profondità tra i 35 e i 45 metri, è caratterizzato da macrostrutture a *sandwaves* (Fig. 62).



Fig. 62 - Campione ST22: sabbia molto grossa bioclastico-terrigeno relitta a frammenti algali e granuli terrigeni ricoperti da patine opache. Assenza di biocenosi attuale nel substrato.

10. Ghiaie, Sabbie e Fanghi distali indifferenziati; Facies sabbioso fini-fangose a lamellibranchi e foraminiferi (Fig. 63).

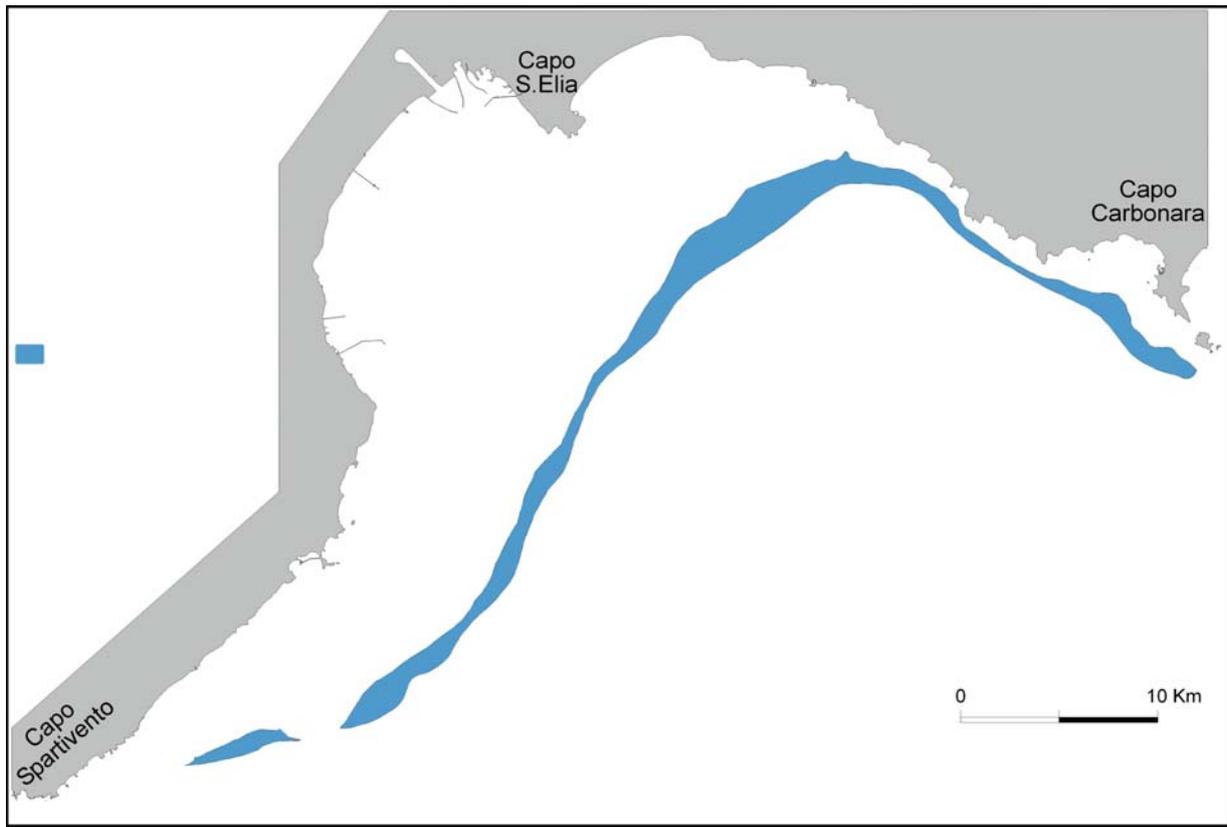


Fig. 63 – Distribuzione dei sedimenti nell'area.

Questo termine rappresenta i sedimenti distali della piattaforma, localizzati a profondità superiori ai -40/-45 metri. I sedimenti sono rappresentati da sabbie e fanghi con la presenza di materiale ghiaioso di natura bioclastica (Fig. 64).



Fig. 64 - Campione E 09, Campagna Golfo di Cagliari 2004/05

11. Roccia in posto, ghiaie e ciottoli di falesia indifferenziati (Fig.65).



Fig. 65 – Distribuzione dei sedimenti nell'area.

12. Area ad influenza antropica. Fondali degradati e/o modificati da interventi antropici:

a. da dragaggi e/o opere di infrastrutturazione portuale;

b. ancoraggi e/o traffico marittimo;

c. ri-sospensione di sedimentazione di ghiaie, sabbie e silt con materiali da ripascimento (Fig.

66).



Fig. 66 – Distribuzione dei sedimenti nell'area.

Questo termine è stato utilizzato in zone limitrofe ai moli o ai porti e in zone in cui si sono evidenziati dei dragaggi o interventi antropici che hanno modificato la struttura originale del sistema deposizionale.

1.7 NOTE SULLA PRATERIA DI *POSIDONIA OCEANICA* (L.) DELILE

La sedimentazione bioclastica della piattaforma del Golfo di Cagliari è legata alla produttività dell'ecosistema sottomarino. Questa è influenzata dai vari parametri ambientali come temperatura, correnti, profondità, torbidità e salinità delle acque che determinano le peculiari associazioni biocenotiche dell'ecosistema.

Le condizioni ambientali attuali del Mediterraneo sono intermedie tra quelle dei mari tropicali e quelle dei mari freddi delle alte latitudini (Fornos *et alii*, 1991) e determinano associazioni intermedie tra la tropicale *chlorozoan*, a coralli ermatipici (*zooxantellati*) e alghe verdi, e la *molechfor* caratteristica di aree temperate fredde (Carannante *et alii*, 1988 e 1994).

Più specificatamente nel Mediterraneo sono presenti congiuntamente tre *biofacies*:

- *Rhodalgae*, caratterizzata da alghe rosse incrostanti, l'associazione prevalente;
- *Brioalgae*, a briozoi e alghe rosse;
- *Molechfor*, a molluschi, echinidi e foraminiferi.

Le associazioni biologiche del Mediterraneo sono strettamente dipendenti dalla presenza della specie endemica *Posidonia oceanica* (L.) Delile che si sviluppa formando vere e proprie praterie con associata una specifica entità biocenotica.

La *Posidonia oceanica* è una pianta evoluta, simile alle graminacee terrestri, facente parte della famiglia delle Fanerogame.

Sviluppa un apparato radicale a rizomi in parte infossato nel sedimento e si presenta con verdi foglie nastriformi, larghe circa 1 cm e lunghe in media tra 80 e 100 cm unite in fasci di 6-7 foglie nell'estremità del rizoma (Gazale e Porcheddu, 1993).

Cresce formando estese praterie, colonizzando soprattutto i fondi sabbiosi a cui aderisce sviluppando il robusto apparato radicale a rizomi.

Vive normalmente tra -1 e -30 metri circa di profondità, arrivando ai -40 m solo in acque particolarmente limpide, in quanto strettamente condizionata dalla presenza della luce.

Può vivere entro un discreto campo di temperature (da 10°C a 28°C circa), mentre è poco tollerante nei confronti delle variazioni di salinità, per cui è assente alle foci dei fiumi e nelle lagune salmastre costiere.

Il tipo di fondo più colonizzato da questa pianta è quello sabbioso al quale si somma il sedimento bioclastico prodotto dalle specie associate all'ecosistema della posidonia. Talvolta si può sviluppare anche su un substrato roccioso parzialmente coperto da sedimenti mobili.

La struttura che si viene a formare risulta compatta e resistente e viene chiamata, con termine francese, "matte".

In condizioni di media energia la crescita della pianta si arresta sotto la superficie e anche un piccolo corpo solido deposto sulla *matte* può determinare un'erosione andando a formare pozzi o canali *intramattes* (Pérès e Picard, 1964). In condizioni di alta energia la crescita si arresta più rapidamente.

I rizomi restano vivi nei primi 30-40 cm e tendono a conservarsi nei sedimenti anche per lungo tempo. A Cagliari ed in alcune piane costiere della Sardegna sono segnalati fanghi torbosi bruno-nerastri a posidonie e zoostere sub-fossili attribuibili alla trasgressione Versiliana (Marini, 1976; Maxia e Pecorini, 1968)

L'importanza delle Fanerogame marine, piante superiori ben distinte dalle alghe, in particolare della Posidonia, è riconosciuta come fondamentale nell'economia degli ecosistemi marini costieri, per un insieme di motivi.

Importanti da un punto di vista dello studio sedimentologico sono:

- fissazione dei fondali, così come avviene per la terraferma sui versanti forniti di un adeguato manto vegetale;
- associata produttività bioclastica e talvolta confinamento di sedimenti silicoclastici entro il limite superiore della prateria
- protezione delle spiagge dall'erosione, grazie alla riduzione dell'idrodinamismo operata dallo strato fogliare e dallo smorzamento del moto ondoso a riva, dovuto all'accumularsi lungo la battigia di foglie morte (*Banquette*).

La rarefazione e la scomparsa delle praterie sono dovute a molteplici cause, tra cui si può citare:

- l'erosione meccanica dovuta agli attrezzi per la pesca a strascico, con effetti distruttivi;
- il raschiamento provocato dalle ancore delle imbarcazioni da diporto;
- la costruzione di opere costiere (porti, terrapieni ecc.); ciò può provocare anche la scomparsa totale delle praterie a causa sia dell'azione diretta di scavo e ricoprimento, sia della torbidità che impedisce la penetrazione della luce e soffoca la praterie con la deposizione di materiale argilloso;
- l'inquinamento che agisce in vari modi sulle praterie prossime agli scarichi, alterandole con la presenza di sostanze chimiche o con l'alta torbidità dell'acqua nelle aree eutrofiche.

1.8 CONCLUSIONI PARTE I

Attraverso questa tesi di dottorato è stato rimesso in ordine il data set delle campagne di rilevamento svolte nell'area a partire dagli anni '80. I dati sono stati analizzati, omogeneizzati, re-interpretati e integrati con nuovi rilevamenti nell'area di studio.

Questo ha permesso di ottenere una visione aggiornata basata su nuove analisi composizionali, tessiturali e statistiche, ed una rappresentazione planimetrica delle conoscenze sui sedimenti superficiali del Golfo di Cagliari, sintetizzata nella "CARTA TESSITURALE E DELLE ASSOCIAZIONI DI FACIES DEI SEDIMENTI SUPERFICIALI DELLA PIATTAFORMA INTERNA DEL GOLFO DI CAGLIARI" in scala 1:50.000 (Allegato 1).

La carta fornisce una zonazione della piattaforma interna principalmente basata su 12 termini di legenda.

In parallelo si sono attivati studi basati sull'osservazione e analisi delle condizioni meteomarine che hanno permesso, rapportandoli con lo schema batimetrico e sedimentologico, di ricostruire l'andamento del moto ondoso sull'area del Golfo di Cagliari.

Il prodotto della prima parte della tesi di dottorato è indispensabile e propedeutico alla seconda parte della ricerca finalizzata allo studio delle relazioni tra moto ondoso, correnti indotte e processi di sedimentazione sui sistemi di spiaggia campione e loro modellizzazione.

PARTE II:

**RELAZIONI TRA MOTO ONDOSO, CORRENTI INDOTTE E PROCESSI DI
SEDIMENTAZIONE SU SISTEMI DI SPIAGGIA CAMPIONE**

CARTOGRAFIA DI DETTAGLIO AREE CAMPIONE

2.1 INQUADRAMENTO DELLE AREE IN STUDIO



Fig. 67 - Localizzazione delle spiagge campione nel Golfo di Cagliari.

A - SANTA MARGHERITA DI PULA

Da un punto di vista geografico la spiaggia di Santa Margherita di Pula si trova nel settore occidentale del golfo di Cagliari, nella regione del Sulcis, nel Sud Ovest della Sardegna.

La spiaggia risulta esposta a Sud Est, ampia 1300 metri, con un settore di traversia di 144° (164°E , 216°W).

Da un punto di vista degli input sedimentari la spiaggia è alimentata dal Rio Palaceris (Rio Santa Margherita), fiume stagionale il cui bacino idrografico ha una superficie di circa $27,7 \text{ km}^2$ con uno spartiacque lungo $29,7 \text{ km}$. Il bacino preso in esame presenta un drenaggio molto sviluppato la cui asta più lunga è di 13 km (Fadda, 1997).

La spiaggia è poco esposta ma soggetta a moto ondoso molto intenso e con flusso netto di energia modesto e diretto verso Nord (RAS, 1987).

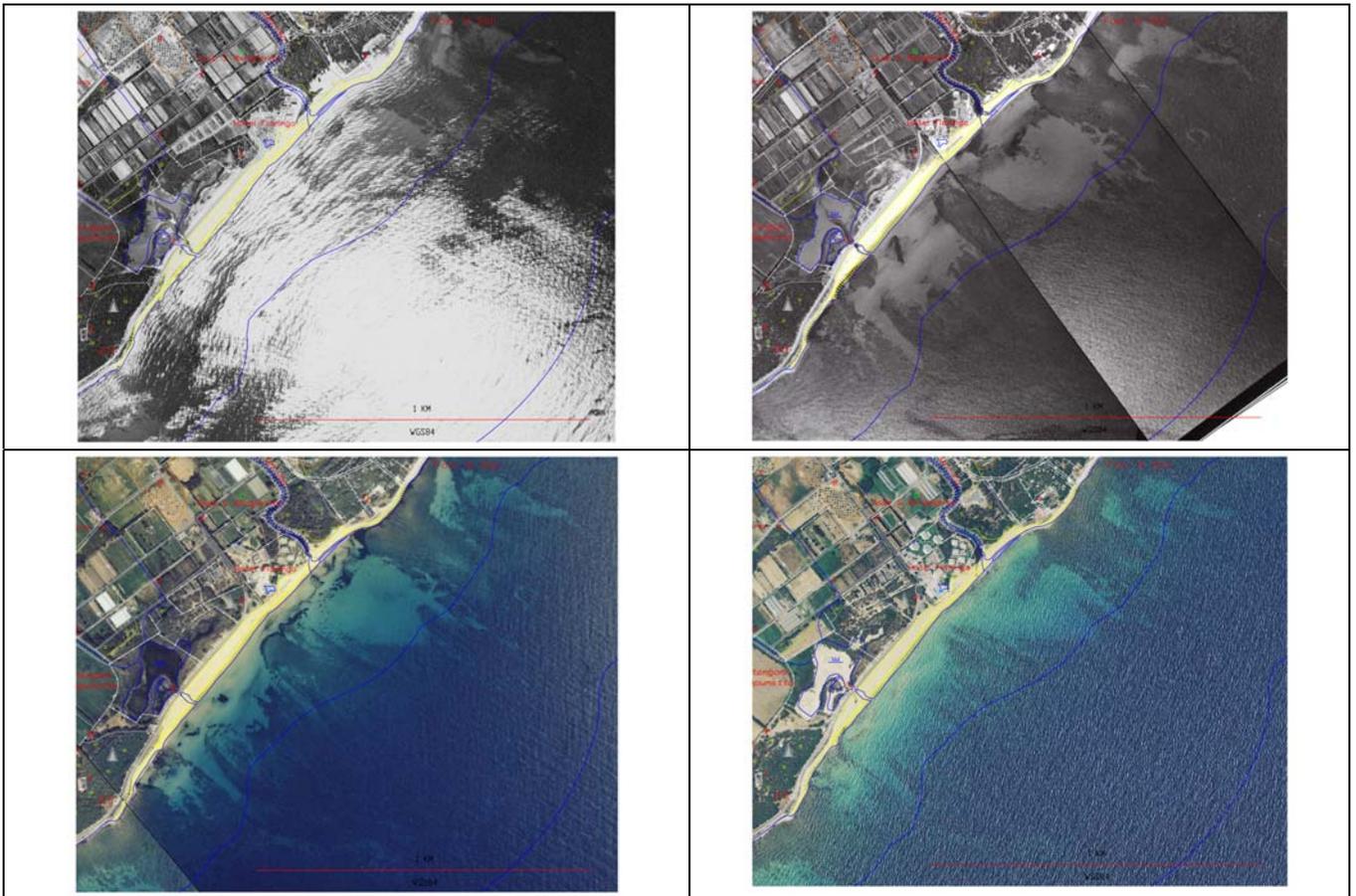


Fig. 68 – Fotografie aeree (1968, 1977, 2002, 2006) posizionate sulla linea di costa della CTR.

GEOLOGIA DELL'AREA – SANTA MARGHERITA

L'analisi della Carta Geologica in scala 1:300.000 (Carmignani *et alii*, 2001 – Fig. 69) permette di individuare, in affioramento, litotipi granitici rappresentati da leucograniti equigranulari. Questi appartengono al compresso plutonico del Carbonifero superiore-Permiano e sono legati principalmente al ciclo magmatico ercinico.

La loro composizione è caratterizzate prevalentemente da quarzo, K-feldspato, plagioclasio, biotite e anfibolo a struttura olocristallina.

Le tessiture sono debolmente orientate o quasi isotrope. Il *trend* generale delle intrusioni è generalmente discordante rispetto a quello delle rocce incassanti e la direzione dominante varia da N-S a NE-SW (Ghezzi e Orsini, 1982).

I depositi terziari sono costituiti principalmente da prodotti appartenenti al ciclo vulcanico calcalcalino oligo-miceno e da depositi continentali e successioni marine Post Eocene medio-Miocene inferiore.

I prodotti vulcanici sono costituiti da andesiti e breccie andesitiche (“Serie andesitica” *Auct.*) con composizione da basica ad intermedia.

Le lave si presentano alternate con piroclastiti, rappresentate da breccie e conglomerati vulcanici ad elementi di varie dimensioni, e talvolta tagliate da filoni dacitici (Massoli-Novelli, 1965).

Le vulcaniti si presentano in piccoli lembi isolati la cui porzione più estesa arealmente è ubicata in località Punta d'Agumu, appaiono per lo più in giacitura massiva e talora alterate in superficie.

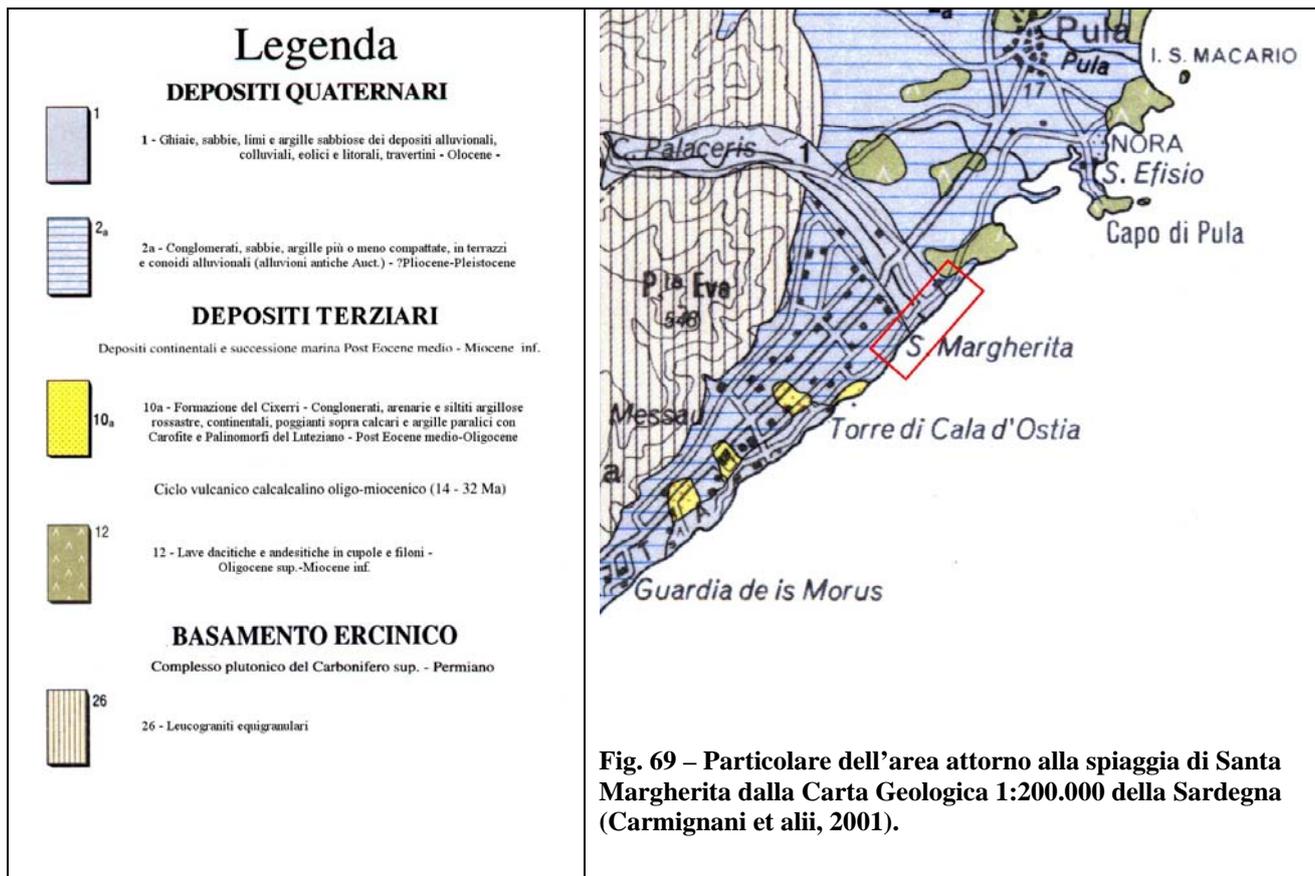
I depositi continentali sono costituiti da arenarie e argille della Formazione del Cixerri (Pecorini e Pomesano Cherchi, 1969), dell'Eocene-Oligocene, che affiora in modo discontinuo sotto i conglomerati quaternari costieri.

Questa formazione è costituita prevalentemente da arenarie quarzoso-feldspatiche, generalmente ben stratificate, con frequenti intercalazioni di potenti lenti di conglomerati e marne, ed argille siltose spesso contenenti concrezioni ferruginose. I livelli conglomeratici, più frequenti nella parte alta della formazione e generalmente mal classati, sono poligenici, eterometrici, e il diametro dei clasti arriva a 30 cm (Barca e Palmerini, 1973). Eccezionalmente sono presenti elementi anche di dimensioni molto maggiori, come accade verso la costa occidentale del Sulcis. I clasti sono di norma ben arrotondati e derivano da formazioni paleozoiche, mesozoiche e dell'Eocene inferiore. L'ambiente deposizionale è continentale e di tipo fluvio-lacustre, identificabile in un vasto sistema di piana alluvionale. Sono subordinatamente rappresentate anche *facies* relative ad un clima temperato-caldo e umido (Barca e Palmerini, 1973).

Il Quaternario antico è rappresentato principalmente dalle "Alluvioni antiche" *Auct.* del Pliocene-Pleistocene.

Si tratta prevalentemente di sedimenti fluviali di conoide e di piana alluvionale, rappresentati da conglomerati, ghiaie e sabbie più o meno costipate, spesso con abbondante matrice siltoso-argillosa arrossata e variamente ferrettizzate.

L'Olocene è rappresentato soprattutto dai depositi ghiaioso-sabbiosi di fondovalle e delle piane alluvionali, dalle sabbie e ghiaie delle spiagge, dalle sabbie eoliche di retrospiaggia, talora con formazioni dunari e da depositi limoso-argillosi delle lagune e stagni costieri (Carmignani *et alii*, 2001).



B – SOLANAS (SINNAI)

Da un punto di vista geografico la spiaggia di Solanas si trova nel settore orientale del Golfo di Cagliari, nella regione del Sarrabus, nel SE della Sardegna.

La spiaggia risulta esposta a SW, ampia 950 m, con settore di traversia di 126° (150°SE, 273°W), protetta a Sud dal promontorio di Capo Boi e a Nord dal promontorio di Punta Cabudi.

Per quanto riguarda gli input sedimentari, la spiaggia è principalmente alimentata dal Rio Solanas, corso d’acqua a regime stagionale il cui bacino idrografico ha una superficie di circa 34 kmq. Le rocce affioranti nel bacino sono per il 90% appartenenti al ciclo magmatico ercinico e per il 10% costituiti da depositi alluvionali.

La spiaggia risulta soggetta a moto ondoso talvolta molto intenso, con flusso netto di energia modesto diretto da SE verso NW. Nonostante il sensibile flusso la spiaggia è in condizioni di soddisfacente equilibrio in quanto ben difesa dai promontori (RAS, 1987).

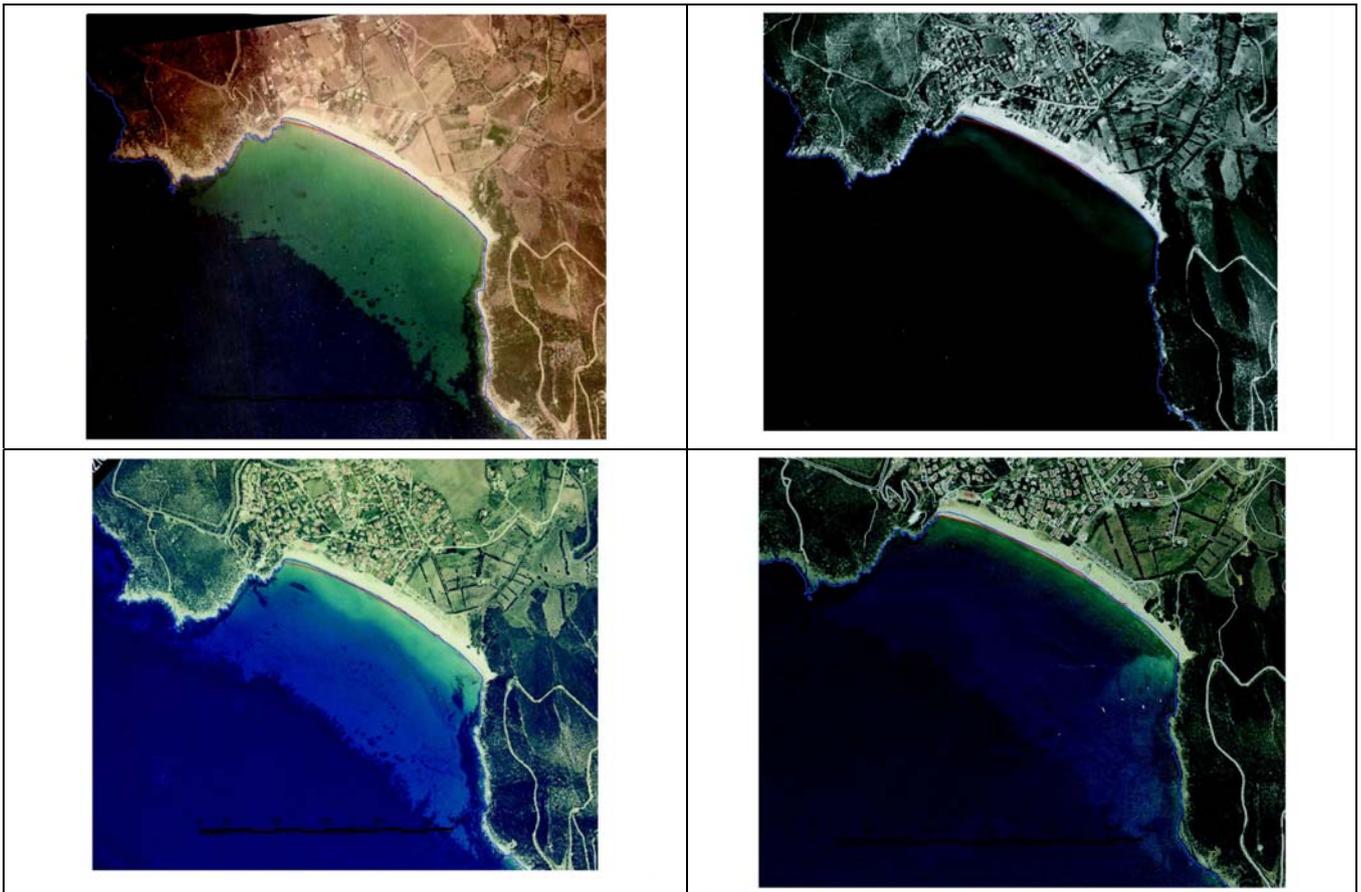


Fig. 70– Fotografie aeree (1977, 1987, 2002, 2006) posizionate sulla linea di costa della CTR.

GEOLOGIA DELL'AREA - SOLANAS

Dal punto di vista geologico il settore studiato è caratterizzato da graniti prevalentemente porfirici rosei (feldspati), graniti normali e anfiboliti. Mentre la copertura quaternaria (Catalisano *et alii*, 1943), situata lungo la valle del Rio Solanas, è costituita prevalentemente da depositi continentali (sabbie stratificate, terrazzi e ciottoli, alluvioni recenti e depositi eluviali).

L'analisi della Carta Geologica in scala 1:300.000 (Carmignani *et alii*, 2001 – Fig. 71) permette di individuare, in affioramento, litologie appartenenti a: granodioriti monzogranitiche inequigranulari, monzograniti equigranulari e granodioriti tonalitiche; nella zona attorno all'agglomerato di Solanas affiorano anche tonaliti. Lungo il Rio Solanas sono distribuite le granodioriti monzogranitiche inequigranulari caratterizzate da grana da media a medio-fine.

I Monzograniti equigranulari affiorano nell'entroterra dietro il promontorio di Capo Boi. Sono caratteristici per il colore grigio perlaceo, una discreta omogeneità cromatica e granulometrica interrotta da sporadici fenocristalli eudrali di K-feldspato bianco. Rispetto alle monzograniti inequigranulari, quelli equigranulari si caratterizzano per il basso contenuto di biotite, in proporzioni modali non superiori al 5%. Talvolta è presente come minerale accessorio il granato, in cristalli millimetrici (Orsini, 1980). Insieme ai monzograniti si ritrovano anche dei piccoli *stock* di

sieniti sodiche che si sviluppano in direzione E-W all'interno delle granodioriti del Sarrabus (Brotzu *et alii*, 1978).

Le tonaliti, affioranti nei pressi di Solanas, costituiscono singole intrusioni oppure porzioni di intrusioni composite zonate, e spesso anche corpi isolati all'interno di intrusioni granodioritiche o monzogranitiche. Microscopicamente hanno tessitura tendenzialmente isotropa, a grana media, inequigranulare con rari individui di K-feldspato di dimensione fino ad 1 cm. La biotite è in proporzioni modali di circa 20-25% associata con rari anfiboli. Il quarzo, a carattere interstiziale, è stimato non superiore al 15% (D'Amico, 1960; Negretti, 1966; Ghezzi *et alii*, 1973; Cocirca e Micron, 1989).

Nella zona si evidenzia inoltre la presenza di un complesso filoniano che segue preferenzialmente le direzioni di fratturazione NW-SE e NNW-SSE, tipica del Sarrabus meridionale. Sono stati evidenziati inoltre corpi filoniani a composizione prevalentemente basaltica ad affinità calcalcalina, filoni di porfidi granitici e ammassi di micrograniti e filoni aplitici e pegmatitici. Queste litologie caratterizzano anche gli affioramenti nell'area marina.

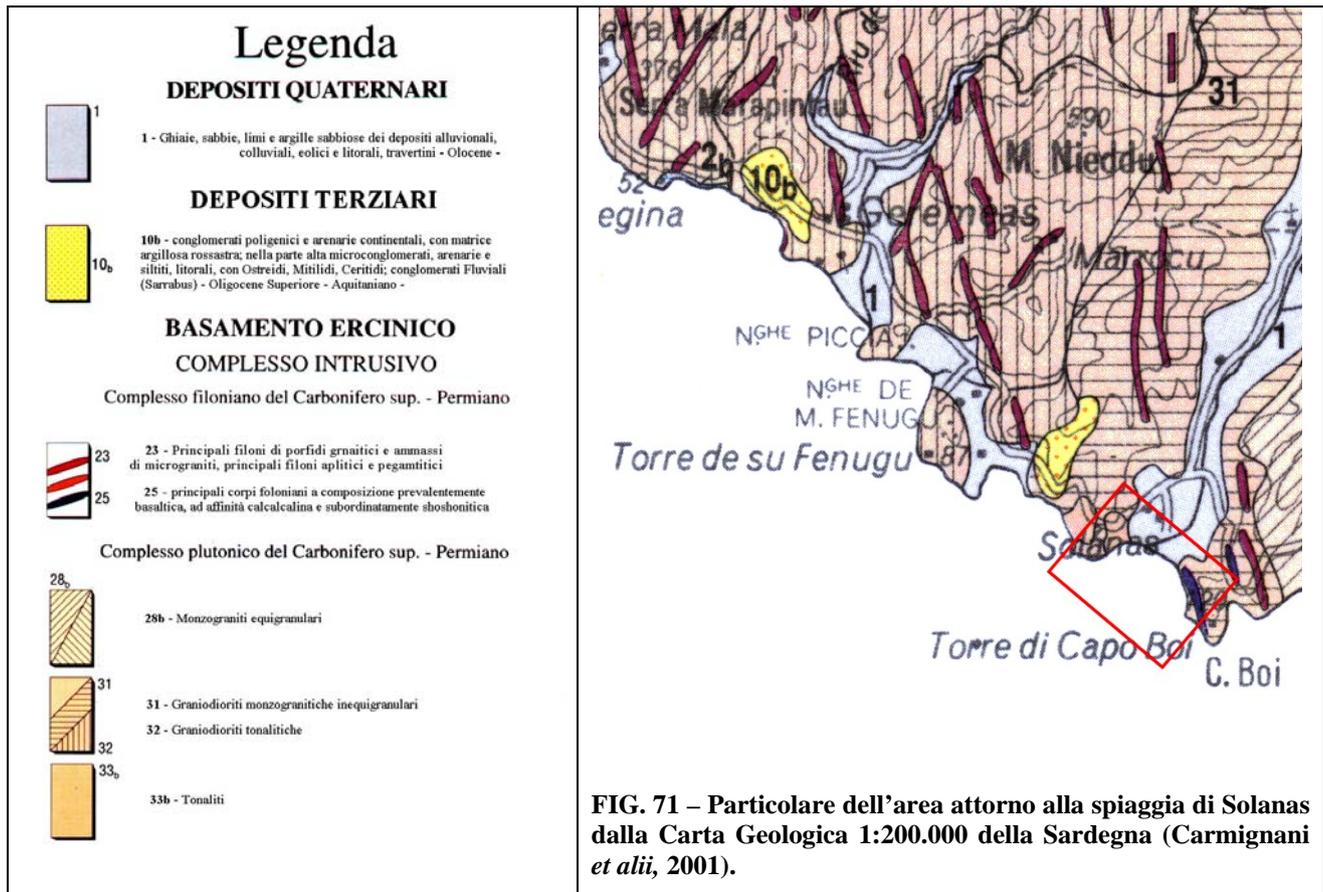
I corpi filoniani a composizione basica sia alcalini che calcalcalini, sono generalmente alterati, con una struttura sub-afirica o debolmente porfirica con fenocristalli di plagioclasio, anfibolo, clinopirosseno e olivina; la massa di fondo ha tessitura intersertale o sub-ofitica.

I filoni di porfidi granitici, microgranitici, aplitici e pegmatitici presentano tessitura isotropa, talvolta porfirica con fenocristalli di feldspato alcalino potassico, quarzo e più raramente biotite e muscovite dispersi in una massa di fondo granofirica. Si tratta prevalentemente di termini a composizione leucogranitica, spesso intimamente associata alle grandi intrusioni tardive delle quali rappresentano le fasi di cristallizzazione tardiva ipoabissale (Ghezzi e Orsini, 1982).

La struttura dell'ammasso roccioso è quindi controllata dall'intensa fratturazione primaria e secondaria oltre che dall'attraversamento di corpi filoniani sia acidi che basici. Questi si comportano come efficaci discontinuità per l'infiltrazione nel sottosuolo delle acque meteoriche, tendendo a drenare verso i fondovalle e i bassopiani costieri dove contribuiscono alla alimentazione delle falde contenute nelle colmate detritico alluvionali (AAVV, 2004).

Inoltre, per quanto riguarda il Terziario, affiorano conglomerati fluviali dell'Oligocene Superiore - Aquitaniano (Cherchi *et alii*, 1978).

I depositi quaternari sono caratterizzati da ghiaie, sabbie, limi e argille sabbiose dei depositi alluvionali, colluviali, eolici e litorali risalenti all'Olocene (valle del Rio Solanas), e da conglomerati poligenici e arenarie continentali, con matrice argillosa rossastra (Carmignani *et alii*, 2001).



2.2 FETCH E SETTORI DI TRAVERSIA

Per “*fetch*” si intende la lunghezza della porzione di mare sulla quale può avvenire la generazione del moto ondoso ad opera dell’azione esercitata dal vento. In bacini semichiusi di estensione limitata si accetta che l’individuazione dei *fetch* possa essere eseguita facendo ricorso al concetto di “*fetch geografico*”, che indica la distanza geografica tra il punto di interesse e la terra più vicina in relazione ad una prefissata direzione. I *fetch* geografici maggiori (distanza della costa sopravvento più vicina) si registrano per Solanas nella direzione tra 150° e 160° a Est, per venti tra Scirocco e Ostro con distanze di circa 280 km e nella direzione tra 270° e 240° a Ovest, per venti di Ponente con estensione di circa 480 km (Tabella 10). Per quanto riguarda Santa Margherita i *fetch* maggiori si misurano nella direzione 209° a SudSudOvest, per venti di Libeccio con lunghezze di circa 250 km e nella direzione 70° a NordEst, per venti di grecale con lunghezze di circa 530 km (Tabella 11).

La limitata estensione delle perturbazioni cicloniche nel Mediterraneo suggerisce di contenere comunque i massimi *fetch* a 500 km. L’analisi dei *fetch* consente di individuare i settori principali e secondari di traversia del punto di riferimento.

Per la determinazione dei parametri di base H_s e T_p , si può utilizzare, in mancanza di dati strumentali rilevati, come nel caso del Golfo di Cagliari, il modello semplificato di Sverdrup e Munk (1947) successivamente rielaborato da Bretshneider (1952) da cui il nome SMB. Tale metodo è stato ulteriormente elaborato alla luce di nuovi rilievi del moto ondoso e delle relative stime spettrali, ed oggi è comunemente noto con il nome di SPM84 (*Shore Protection Manual*, 1984). Successivamente il modello è stato rivisto da Hurdle e Stive (1989).

Tale metodo fornisce, assegnati *fetch*, durata e velocità del vento, il periodo di picco T_p l’altezza significativa spettrale H_{m0} .

In acque profonde H_{m0} coincide con l’altezza significativa H_s ottenuta facendo la media della terza parte più alta delle onde, che quindi è un parametro statistico, mentre in acque basse H_{m0} è più piccola di H_s . H_{m0} è un parametro a fondamento energetico mentre H_s è un parametro statistico.

L’area del *fetch* può essere definita semplicemente come la regione nella quale la velocità del vento si mantiene costante.

SPIAGGIA DI SOLANAS				
	Stazione meteo di riferimento: <i>Cagliari-Elmas, Capo Carbonara</i>			
	CLIMATOLOGIA DEL MOTO ONDOSO			
	Altezza d'onda: $H_{media}=0,07$ $H_s=1,49$ (m)			
	Periodo: $T_{medio}=0,25$ $T_p=5,19$ (s)			
	Direzione prevalente: 183° N			
Energia media annua del moto ondoso Intensità 2.233.000 (tm/m) Direzione (E): 185° N				
Flusso globale di Energia del moto ondoso lungo spiaggia: 18,81 (kg m/s/m/anno)				
TRASPORTO EOLICO: poco influente agli effetti dell'equilibrio della spiaggia.				
CORRENTI COSTIERE: Mese di Agosto - intensità: 0,1-0,3 nodi; direzione: SE-NW Mese di Febbraio - intensità: 0,3-0,55 nodi; direzione SE-NW				
DATI CLIMATICI				
MESE	GENNAIO	APRILE	LUGLIO	OTTOBRE
Temp.aria (°C)	11	14	25	20
Temp. Acqua (°C)	14	15	23	21
Umidità relativa (%)	74	76	67	73
MESE	GIUGNO	LUGLIO	AGOSTO	SETTEMBRE
Indice di soleg.(%)	74	80	82	71
Ind. Scharlau mod. (C°)	-2	-2	0	-3
Brezza estiva - intensità 12 nodi; direzione SSW				

Tabella 10 – Dati meteomarini Solanas (da RAS, 1987 modificati).

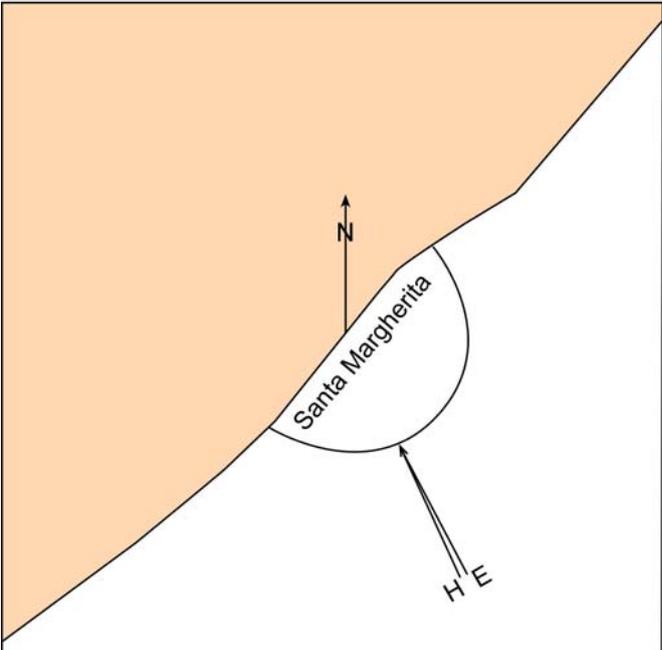
SPIAGGIA DI SANTA MARGHERITA DI PULA				
		Stazione meteo di riferimento: <i>Cagliari-Elmas, Capo Spartivento</i>		
		CLIMATOLOGIA DEL MOTO ONDOSO		
		Altezza d'onda: $H_{media}=0,10$ $H_s=1,52$ (m) Periodo: $T_{medio}=0,37$ $T_p=5,20$ (s) Direzione prevalente: 154° N		
		Energia media annua del moto ondoso Intensità 3.725.000 (tm/m) Direzione (E): 153° N		
		Flusso di Energia del moto ondoso lungo spiaggia: 19,44 (kg m/s/m/anno)		
TRASPORTO EOLICO: poco influente agli effetti dell'equilibrio della spiaggia.				
CORRENTI COSTIERE:				
Mese di Agosto - intensità: 0,55-0,75 nodi; direzione: SW-NE				
Mese di Febbraio - intensità: 0,3-0,55 nodi; direzione NE-SW				
DATI CLIMATICI				
MESE	GENNAIO	APRILE	LUGLIO	OTTOBRE
Temp.aria (°C)	10	12	23	18
Temp. Acqua (°C)	14	15	23	21
Umidità relativa (%)	75	79	73	74
MESE	GIUGNO	LUGLIO	AGOSTO	SETTEMBRE
Indice di soleg.(%)	71	81	80	72
Ind. Scharlau mod. (C°)	-1	0	+1	0
Brezza estiva - intensità 4 nodi; direzione SE				

Tabella 11 – Dati meteomarini Santa Margherita (da RAS, 1987 modificati)

2.3 DESCRIZIONE DELL'ATTIVITA' DI STUDIO

Le attività di studio si sono svolte attraverso le seguenti fasi: consultazione dati bibliografici ed eventuale rielaborazione; acquisizione nuovi dati ecografici e sedimentologici; preparazione dei dati per modelli tridimensionali.

Per la realizzazione della base cartografica a terra (scala 1:10.000) è stata utilizzata la Carta Tecnica Regionale (Regione Autonoma della Sardegna, 1998), sezione 567060 Solanas, rielaborata ed integrata dall'analisi di foto aeree, ortofoto e immagini da satellite riferite agli anni '77, '87, '92, '99, '02 e '06.

Per l'area marina sono state utilizzate le carte nautiche della Marina Militare (I.I.M.I., 1990) integrate con rilievi Side Scan Sonar provenienti da due diverse campagne di acquisizione: Golfo di Cagliari 2001 (De Muro, 2001), finalizzata allo studio dei fondali e delle coste del Golfo degli Angeli, e "Mappatura delle praterie di Posidonia oceanica lungo le coste della Sardegna e delle piccole isole circostanti" (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, 2002). Inoltre, per la copertura batimetrica dell'area, oltre ai dati di nuova acquisizione, è stato utilizzato un rilievo Multibeam (Kalb, 2002) integrato da dati batimetrici provenienti dalla bibliografia (De Muro e Kalb, 2003; Lecca *et alii*, 1998; Lecca *et alii*, 2005; Puddu, 2006; Tilocca, 1984).

I dati provenienti dalla campagna del 2001 sono rappresentati da 18 miglia nautiche di profili Multibeam echosounder e 12,5 miglia nautiche di profili Side Scan Sonar.

Tutte le curve di livello, isoipse e isobate, sono state riquotate e omogeneizzate al fine di ottenere una copertura tridimensionale.

Questa fase ha permesso di realizzare due carte morfo-sedimentologiche preliminari dei fondali marini antistanti la spiaggia.

Successivamente la carta è stata integrata da un rilievo sedimentologico, con un dettaglio adatto alla scala di lavoro, che ha permesso di realizzare una zonazione dei sedimenti e della roccia affiorante evidenziando:

- beach-rock (Solanas);
- superfici di abrasione (Santa Margherita);
- roccia in posto;
- ghiaia (> 2000 μm);
- sabbia molto grossa (2000 ÷ 1000 μm);
- sabbia grossa (1000 ÷ 500 μm);
- sabbia media (500 ÷ 250 μm);
- sabbia fine (250 ÷ 125 μm);
- sedimento bioclastico;

- prateria di *Posidonia oceanica* (L.) Delile;
- substrato roccioso colonizzato in modo discontinuo da alghe e fanerogame;
- principali zone intramatte.

La zonazione è basata sulla classificazione di Udden-Wentworth (Ricci Lucchi, 1980) (Figg.8 e 9). Integrando i dati cartografici acquisiti con i dati dei nuovi rilievi si è realizzato un modello digitale con base sedimentologica.

I dati vengono visualizzati mediante due bloccodiagrammi tridimensionali (Figg.72 e 73).

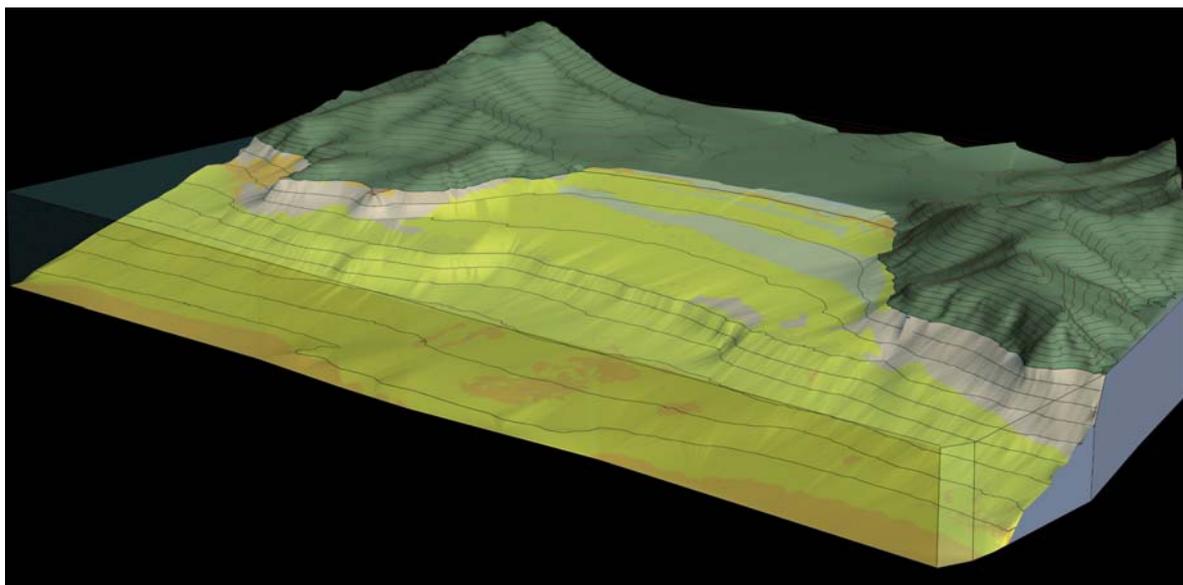


Fig. 72 - Bloccodiagramma della spiaggia di Solanas.

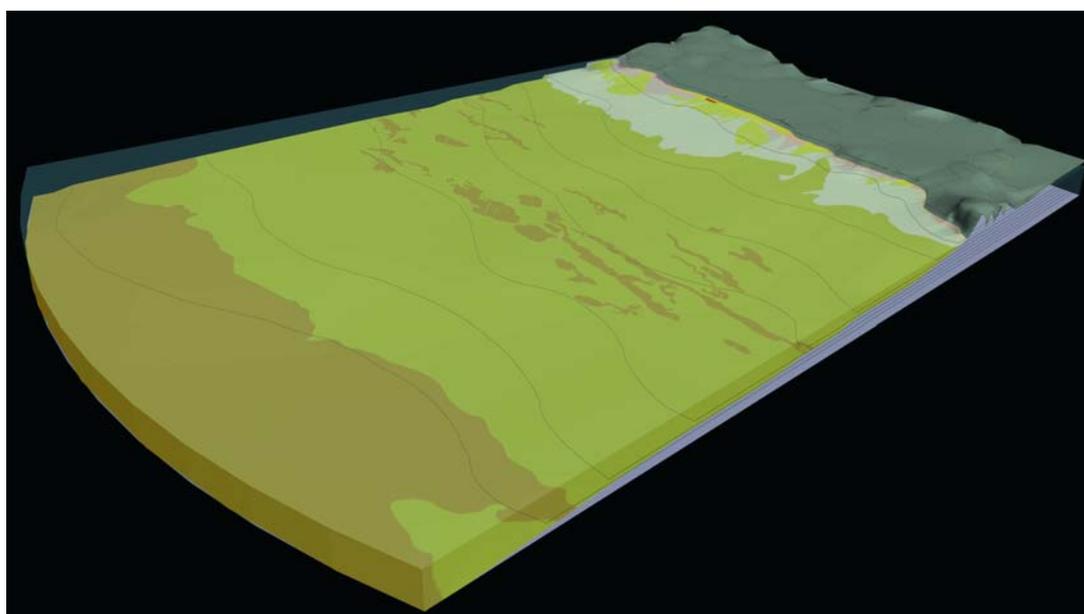


Fig. 73 - Bloccodiagramma della spiaggia di Santa Margherita.

Attraverso lo studio aerofotogrammetrico è stato possibile confrontare le ortofoto georeferenziate in scala 10.000 (Regione Autonoma della Sardegna) degli anni '98, '03 e '06 per valutare i movimenti della linea di costa.

Le misure sono state eseguite su transetti e possono essere suscettibili di errori non maggiori di 50 cm.

I risultati osservati sono riportati nelle tabelle 12 e 13 sottostanti.

SANTA MARGHERITA	1998 (m)	2003 (m)	2006 (m)
<i>Sezione 1</i>	36	35,50	31
<i>Sezione 2</i>	50	51,50	52,50
<i>Sezione 3</i>	47,50	45	49
<i>Sezione 4</i>	48,50	50	49
<i>Sezione 5</i>	30	30	31
<i>Sezione 6</i>	46	47	48
<i>Sezione 7</i>	25	28	29



SOLANAS	1998 (m)	2003 (m)	2006 (m)
<i>Sezione 1</i>	45	44	57
<i>Sezione 2</i>	49,50	45	51
<i>Sezione 3</i>	66	58	63
<i>Sezione 4</i>	65	67	70,50
<i>Sezione 5</i>	90	93,50	91,50
<i>Sezione 6</i>	40	48,50	50,50

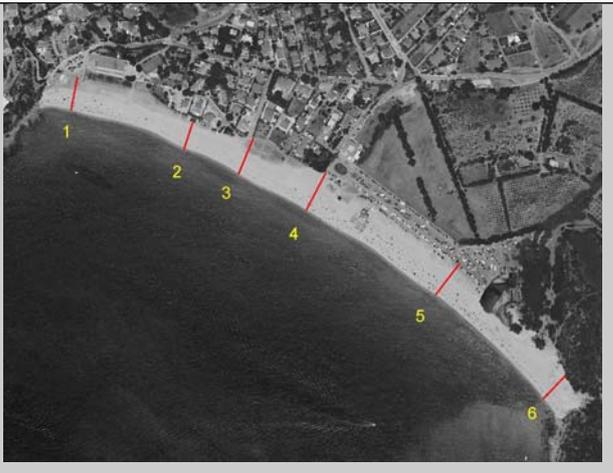


Tabelle 12 e 13 – Misure comparative effettuate su ortofoto georeferenziate al fine di valutare lo spostamento della linea di costa.

2.4 ANALISI DEI CAMPIONI DI SPIAGGIA EMERSA E SOMMERSA

Per le analisi dei campioni si è utilizzata la stessa metodologia descritta nel paragrafo 1.5 per la cartografia in scala 1:50.000.

Sono stati analizzati 39 campioni per la spiaggia di Solanas distribuiti in: 10 campioni di battigia, 15 nella spiaggia sottomarina e 14 sulle strutture di spiaggia emersa.

Nella spiaggia di Santa Margherita sono stati analizzati 41 campioni, distribuiti in: 9 campioni di battigia, 12 di spiaggia sottomarina e 20 sulle strutture di spiaggia emersa.

Le analisi tessiture evidenziano, per la spiaggia di Santa Margherita (Fig. 74), una prevalenza di granulometria intorno alle sabbie medie (68,89%) e in generale una tendenza alle sabbie grosse, mentre si osserva una quasi totale assenza fanghi (0,02%).

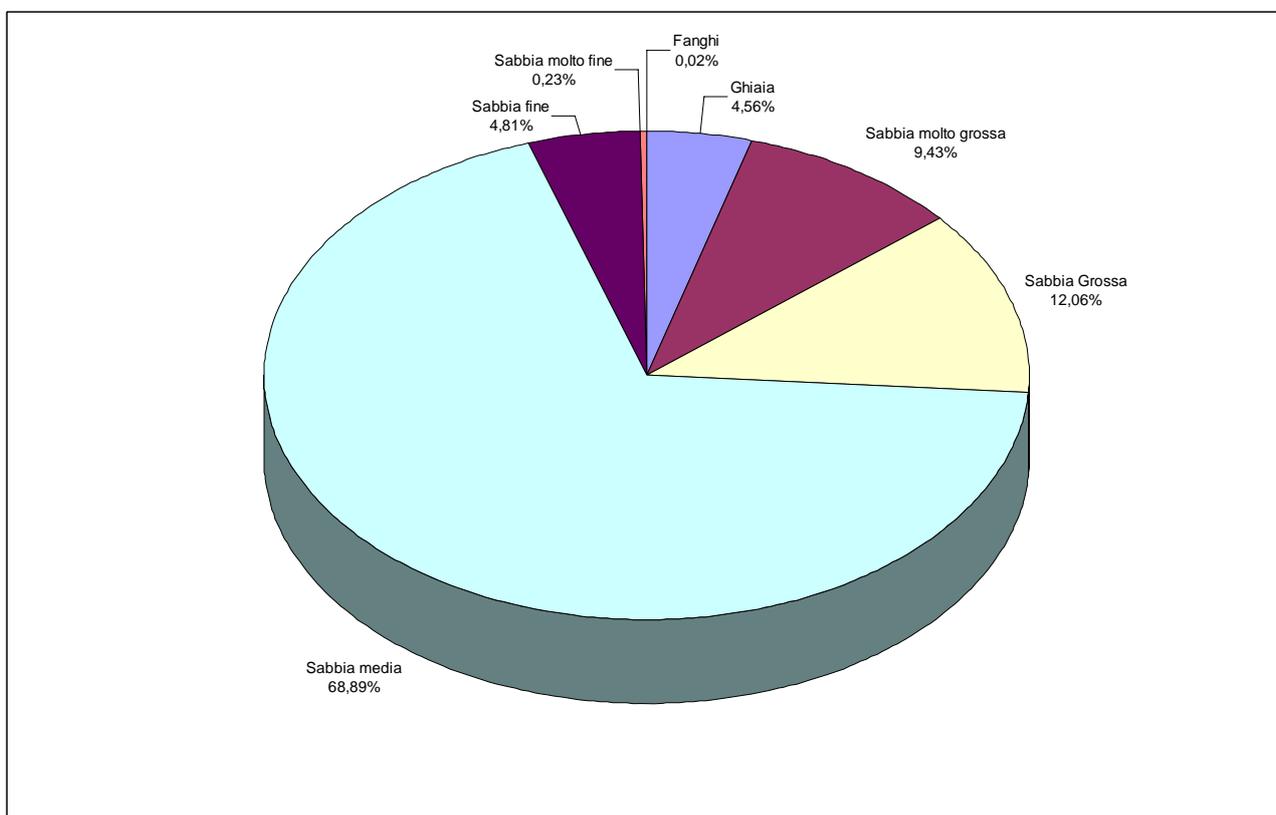


FIG. 74 - Grafico della distribuzione tessiturale media della spiaggia di Santa Margherita di Pula.

La spiaggia di Solanas mostra una maggiore variabilità tessiturale (Fig. 75) con percentuali simili di Sabbia molto grossa (23,56%), Sabbia grossa (26,12%) e Sabbia media (28,15%). Si hanno poi percentuali simili di Sabbia fine (4,81%) e Ghiaia (4,86%). Anche in questa spiaggia si osserva una bassissima presenza di Fanghi (0,02%).

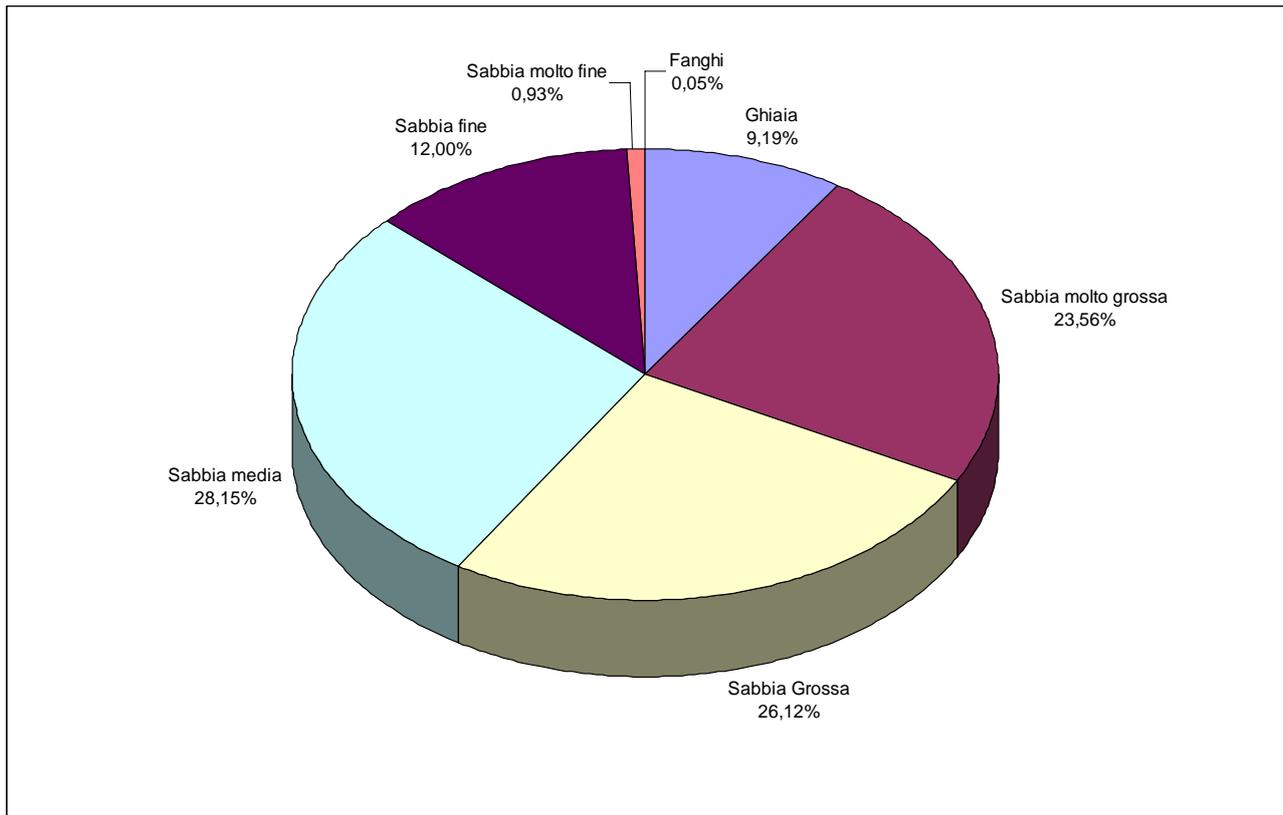


FIG. 75 - Grafico della distribuzione tessiturale media della spiaggia di Solanas.

Adottando la classificazione tessiturale di Folk i campioni di Santa Margherita si possono suddividere in 3 classi granulometriche (Fig. 76): Sabbie (**S**), Sabbie ghiaiose (**gS**) e Ghiaie sabbiose (**sG**). La maggior parte dei campioni ricade nel termine delle Sabbie (25 campioni), 8 campioni nel termine delle Sabbie ghiaiose e il solo campioni R17 nel termine delle Ghiaie sabbiose.

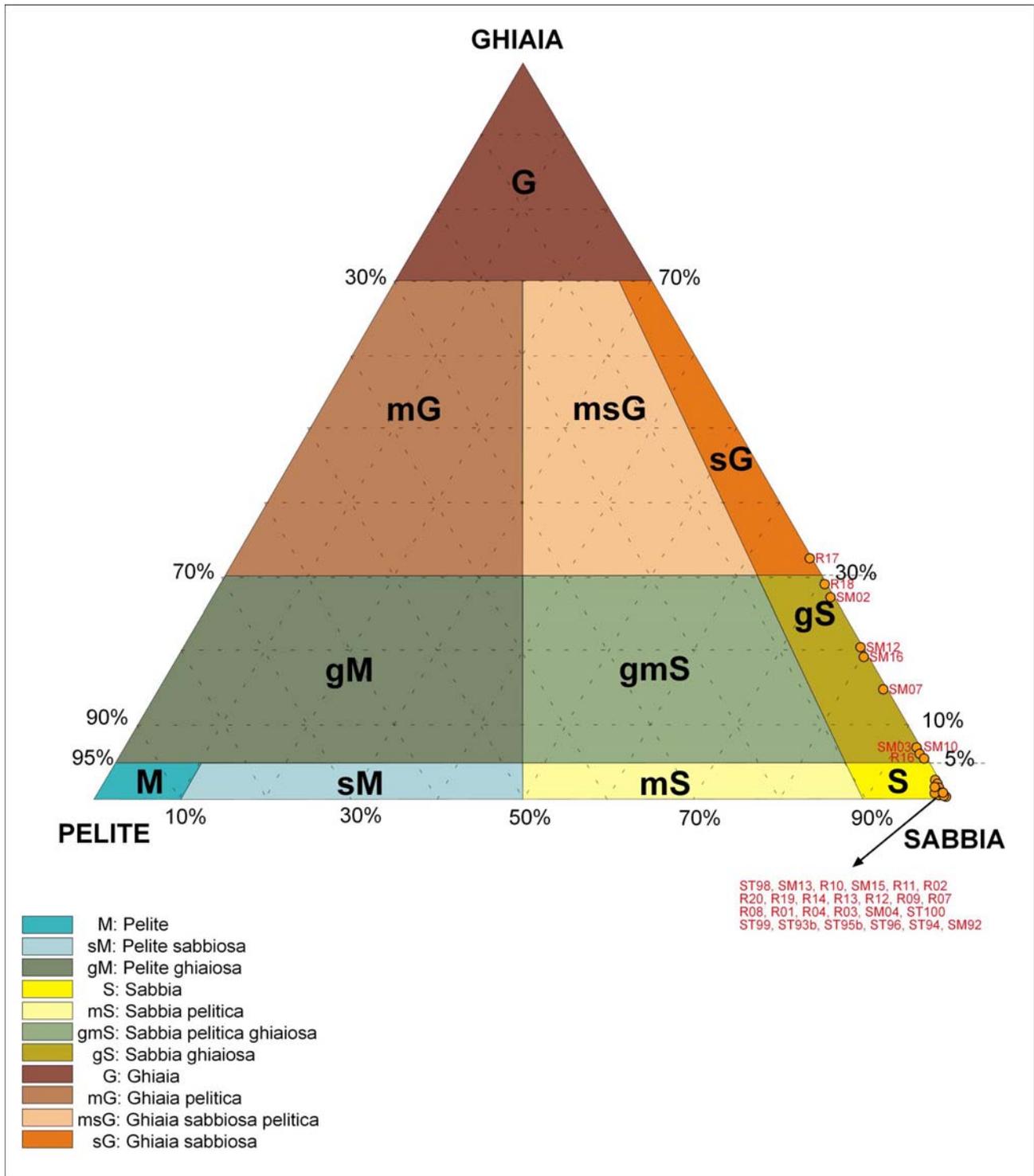


Fig. 76 - Diagramma triangolare della classificazione tessiturale dei campioni secondo Folk (1965) modificata per la spiaggia di Santa Margherita di Pula.

Per la spiaggia di Solanas la classificazione di Folk evidenzia la distribuzione dei campioni sempre nelle tre classi granulometriche di Sabbie (S), Sabbie ghiaiose (gS) e Ghiaie sabbiose (sG). Anche in questo caso la maggior parte dei campioni ricade nel termine delle Sabbie (23 campioni), 10 campioni risultano Sabbie ghiaiose e 5 campioni Ghiaie sabbiose (Fig. 77).

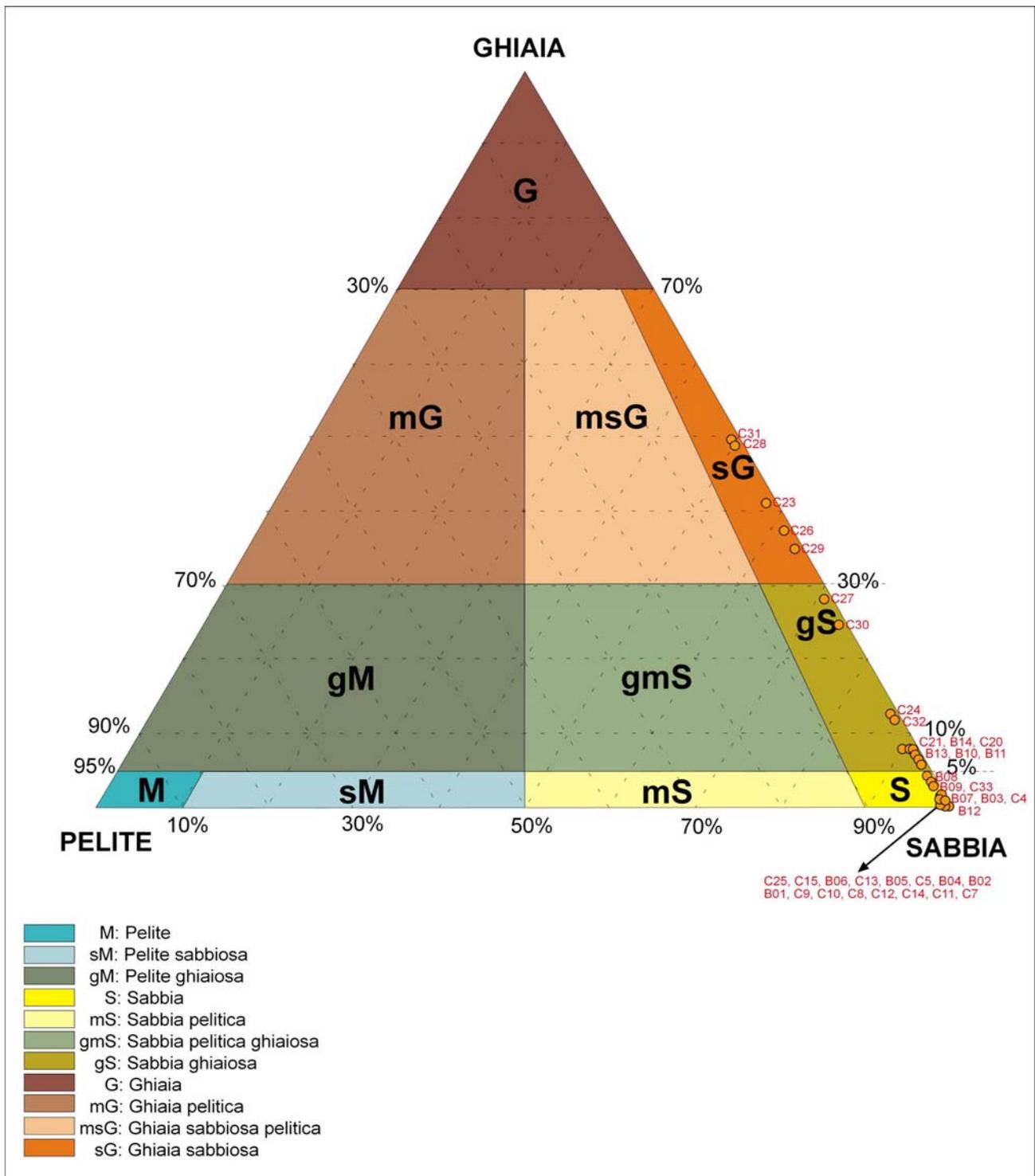


Fig. 77 - Diagramma triangolare della classificazione tessiturale dei campioni secondo Folk (1965) modificata per la spiaggia di Solanas (Sinnai).

Le analisi composizionali hanno identificato che le sabbie sono tutte a prevalente componente terrigena con scarso apporto di sedimenti biogenici.

Le spiagge hanno come componente principale il Quarzo che rappresenta il 66% per Santa Margherita e il 57% per Solanas, seguito dai Feldspati che costituiscono il 23% della spiaggia Santa Margherita e il 26% della spiaggia di Solanas (Figg. 78 e 79).

Come caratteristiche che differenziano la composizione delle due spiagge si può osservare, per Santa Margherita, una quasi totale assenza di Miche (<0,01%) e una presenza di Minerali accessori del 6%, contro il 3% di Miche e l'1% di Minerali accessori per Solanas.

Anche la percentuale di Litoclasti è lievemente differente ma questo è imputabile alla presenza di granulometrie maggiori a Solanas.

La presenza di bioclasti a Santa Margherita risulta inferiore, ma questo dato è influenzato da una disomogeneità di campionamento. Infatti a Solanas il prelievo è stato eseguito fino a profondità attorno ai -40 m (campioni C20, C21 e C23). Questi campioni provengono dal limite inferiore della prateria di Posidonia e quindi influenzati a livello compositivo da essa.

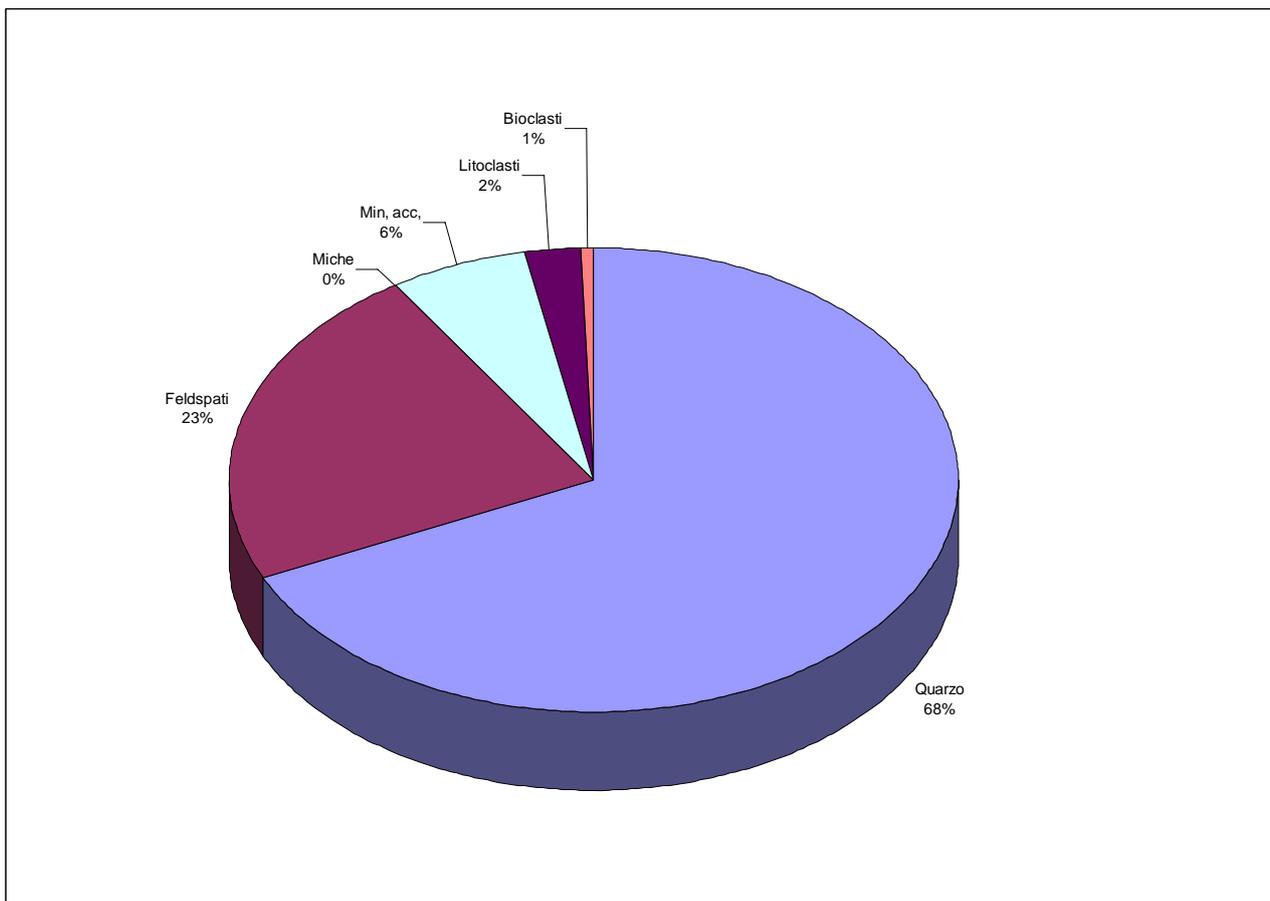


Fig. 78 - Grafico della composizione media della spiaggia di Santa Margherita di Pula.

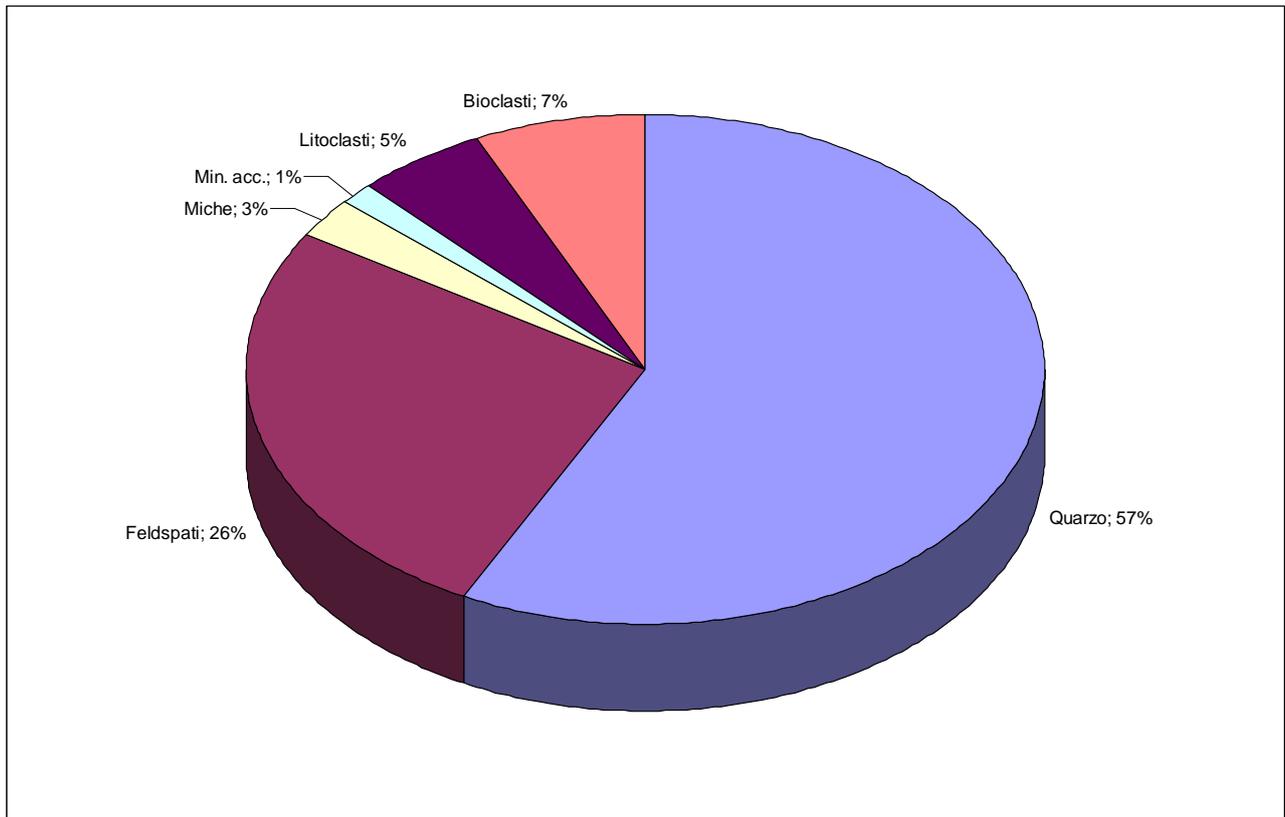


Fig. 79 - Grafico della composizione media della spiaggia di Solanas.

2.4.1 CLUSTER ANALISYS - STUDIO STATISTICO E RAGGRUPPAMENTO DI DATI

I dati sedimentologici sono stati studiati statisticamente per valutare la possibilità di accomunare i campioni in base alle loro caratteristiche. Per fare questo si sono utilizzati come parametri la composizione in percentuale (Quarzo, Feldspati, Miche, Minerali accessori, Litoclasti, Bioclasti) e la classificazione granulometrica secondo Folk (Ghiaie, Sabbie, Peliti) sempre in percentuale.

Per la spiaggia di Santa Margherita si sono ottenuti 7 raggruppamenti, di seguito viene presentato il dendrogramma relativo (Fig. 80).

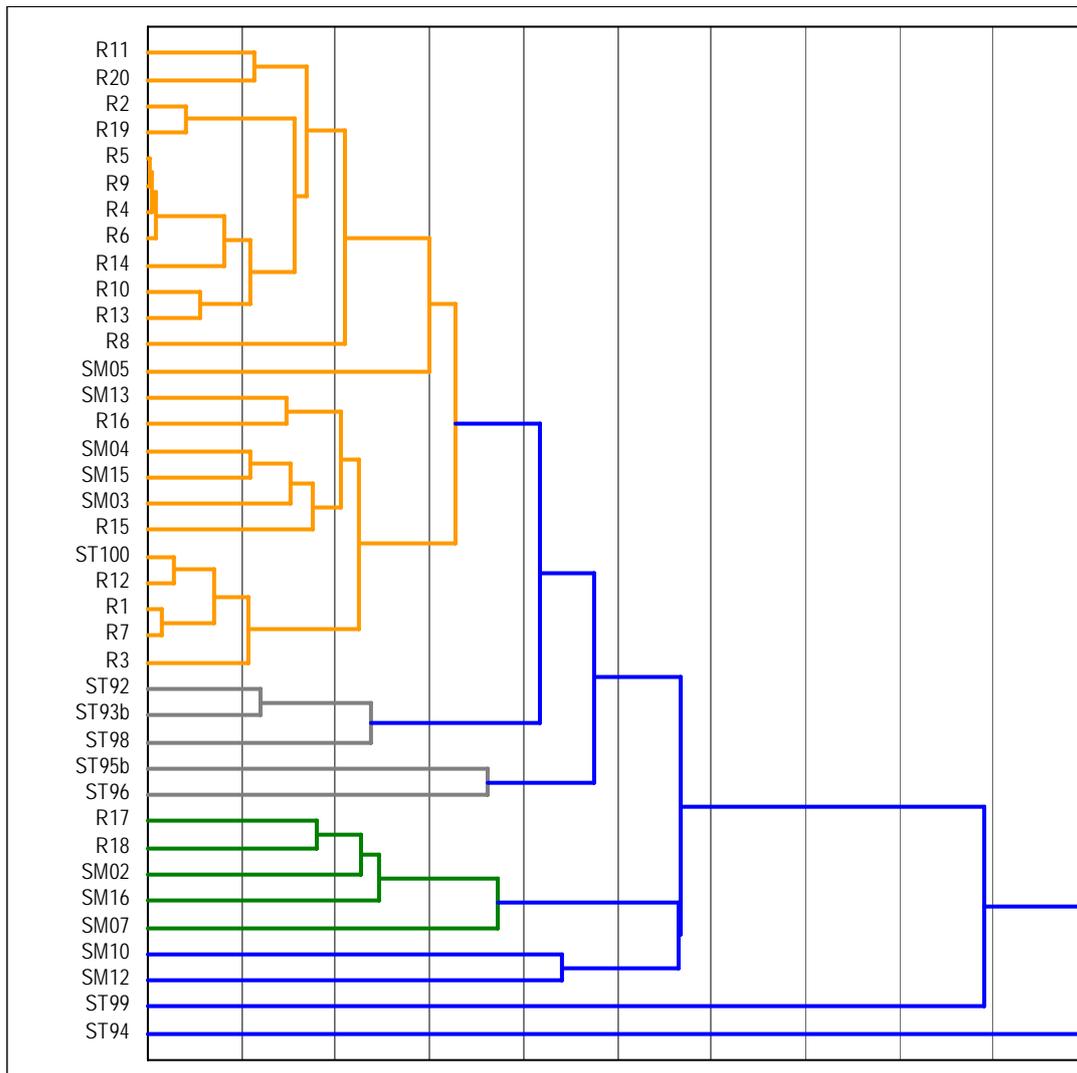


Fig. 80 - Dendrogramma dei campioni della spiaggia di Santa Margherita, basato sulle caratteristiche composizionali e la tessitura secondo Folk. In ascissa: distanza di fusione tra i campioni.

I gruppi sono costituiti da:

Gruppo A (5 elementi): campioni prevalentemente quarzosi con componente tessiturale ghiaiosa – SM02, SM07, SM16, R17, R18;

Gruppo B (5 elementi): campioni con elevate quantità di Quarzo e feldspati, principalmente composti da Sabbie - ST92, ST93b, ST95b, ST96, ST98;

Gruppo C (24 elementi): campioni con tessitura nella classe delle Sabbie con elevata quantità di quarzo e presenza di Minerali accessori tra 10 e il 15%;

Gruppo D (1 elemento): campione ST94 con carattere pelitico;

Gruppo E (1 elemento): campione ST99 caratterizzato da una portuale di Miche dell'1% contro i restanti campioni che hanno percentuali <0,01%;

Gruppo F (1 elemento): campione ST10 caratterizzato da una percentuale di litoclasti del 20%;

Gruppo G (1 elemento): campione ST12 caratterizzato da un 20% di ghiaia e una percentuale di litoclasti del 17 %.

Per la spiaggia di Solanas si sono ottenuti 8 raggruppamenti evidenziati nel dendrogramma (Fig.81).

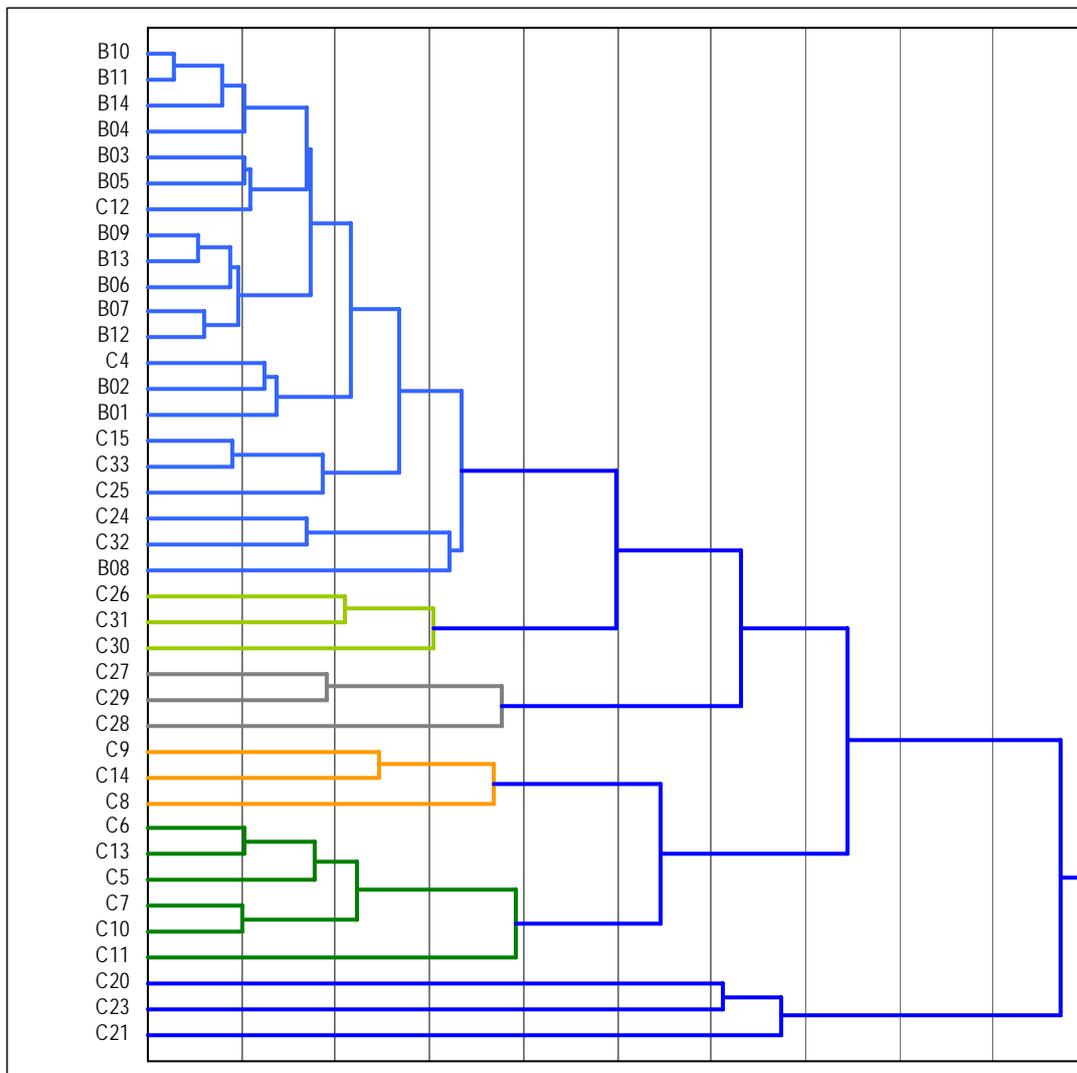


Fig. 81 - Dendrogramma dei campioni della spiaggia di Solanas, basato sulle caratteristiche composizionali e la tessitura secondo Folk. In ascissa: distanza di fusione tra i campioni.

Gruppo A (6 elementi): campioni a tessitura prevalentemente sabbiosa con elevata percentuale di Quarzo e Miche intorno al 10% - C5, C6, C7, C10, C11 e C13;

Gruppo B (3 elementi): campioni prevalentemente ghiaiosi (>30%) con elevata componente Quarzosa e Litoclasti >20% - C27, C29 e C28;

Gruppo C (3 elementi): campioni prevalentemente sabbiosi con elevata componente quarzosa e Minerali accessori >5% - C8, C9 e C14;

Gruppo D (21 elementi): campioni prevalentemente sabbiosi con elevata percentuale di Quarzo (>50%) e Feldspati (>30%);

Gruppo E (3 elementi): campioni prevalentemente a componente tessiturale ghiaiosa (>25%) con composizione principale di Quarzo (>50%) e Feldspati (>40%) - C26, C30 e C31;

Gruppo F (1 elemento): campione C20 composto da Sabbia bioclastica (bioclasti al 97%);

Gruppo G (1 elemento): campione C21 composto da Sabbia bioclastica (bioclasti al 80%) con una componente di litoclasti del 15%;

Gruppo H (1 elemento): campione C23 composto da Ghiaia a prevalente componente Bioclastica (Bioclasti 95%).

PIANO DI POSIZIONAMENTO DEI CAMPIONI SANTA MARGHERITA (WGS84)

	Campione				Classi % peso - unità F								Composizione						Class.	
	Data	Prof. (m)	Latitudine	Longitudine	<-1	-1 ÷ 0	0 ÷ 1	1 ÷ 2	2 ÷ 3	3 ÷ 4	> 4	Quarzo	Feldspati	Miche	Min, acc.	Litoclasti	Bioclasti	Ghiaie	Sabbie	
Spiaggia sottomarina	SM92	21/06/2006	6,3	38 58.070	8 59.109	0,01%	0,04%	2,60%	92,98%	4,19%	0,10%	0,01%	55%	39%	0%	5%	0%	0%	0,01%	99,90%
	ST93	21/06/2006	6,0	38 58.161	8 59.138															
	ST93b	21/06/2006	4,8	38 58.080	8 59.088	0,01%	0,04%	2,98%	94,34%	2,62%	0,01%	0,01%	50%	45%	0%	5%	0%	0%	0,01%	99,99%
	ST94	11/07/2006	2,5	38 58.121	8 59.000	0,04%	0,16%	1,33%	83,62%	12,77%	1,36%	0,35%	58%	33%	0%	2%	0%	6%	0,04%	99,24%
	ST95	21/06/2006	4	38 58.072	8 59.002															
	ST95b	21/06/2006	4,0	38 58.071	8 59.002	0,21%	0,50%	2,56%	89,67%	6,96%	0,04%	0,01%	68%	26%	0%	1%	0%	5%	0,21%	99,73%
	ST96	21/06/2006	6,0	38 58.017	8 59.078	0,00%	0,05%	1,42%	89,73%	8,65%	0,13%	0,03%	60%	30%	0%	0%	5%	5%	0,00%	99,99%
	ST97	21/06/2006	3,7	38 57.957	8 58.893															
	ST98	21/06/2006	5,6	38 57.902	8 58.833	2,43%	0,18%	1,46%	67,49%	26,35%	2,07%	0,01%	57%	37%	0%	0%	5%	1%	2,43%	97,56%
	ST99	21/06/2006	4,0	38 57.838	8 58.737	0,01%	0,01%	0,01%	69,52%	29,14%	1,15%	0,02%	53%	38%	1%	0%	5%	2%	0,01%	99,84%
ST100	21/06/2006	4,2	38 57.721	8 58.663	0,01%	0,16%	0,64%	64,86%	32,05%	2,21%	0,03%	68%	25%	0%	7%	0%	0%	0,01%	99,92%	
Battigia	SM01	11/07/2006	battigia	38 57.740	8 58.553															
	SM02	11/07/2006	battigia	38 57.743	8 58.550	27,49%	48,63%	19,94%	4,00%	0,06%	0,03%	0,00%	80%	12%	0%	0%	6%	1%	27,49%	72,65%
	SM03	11/07/2006	battigia	38 57.781	8 58.572	6,98%	20,81%	16,71%	53,15%	1,42%	0,03%	0,00%	79%	14%	0%	3%	3%	0%	6,98%	92,13%
	SM04	11/07/2006	battigia	38 57.818	8 58.614	0,04%	10,68%	47,37%	40,53%	0,53%	0,02%	0,00%	81%	12%	0%	5%	1%	0%	0,04%	99,12%
	SM05	11/07/2006	1,5	38 57.822	8 58.657	0,00%	0,01%	0,31%	91,58%	7,92%	0,05%	0,00%	66%	30%	0%	10%	0%	3%	0,00%	99,88%
	SM07	11/07/2006	battigia	38 57.885	8 58.676	15,09%	42,65%	20,03%	22,23%	0,17%	0,06%	0,00%	69%	12%	0%	4%	0%	2%	15,09%	85,13%
	SM10	11/07/2006	battigia	38 57.994	8 58.778	6,63%	29,55%	49,64%	14,59%	0,06%	0,04%	0,00%	57%	23%	0%	1%	20%	0%	6,63%	93,88%
	SM12	11/07/2006	battigia	38 58.095	8 58.915	20,50%	27,98%	16,52%	33,26%	0,95%	0,03%	0,00%	67%	12%	0%	4%	17%	0%	20,50%	78,73%
	SM13	11/07/2006	battigia	38 58.181	8 59.066	1,97%	11,76%	55,99%	29,83%	0,21%	0,03%	0,00%	71%	20%	0%	2%	8%	0%	1,97%	97,82%
	SM15	11/07/2006	0,7	38 58.105	8 58.939	0,80%	1,56%	43,99%	53,28%	0,18%	0,01%	0,00%	82%	12%	0%	3%	3%	0%	0,80%	99,02%
SM16	11/07/2006	battigia	38 58.090	8 58.901	19,67%	27,79%	17,00%	34,64%	1,02%	0,08%	0,00%	75%	12%	0%	6%	7%	0%	19,67%	80,53%	
Spiaggia emersa	R1	05/07/2007		38 57.735	8 58.549	0,00%	0,19%	3,24%	95,03%	1,47%	0,02%	0,01%	70%	25%	0%	5%	0%	0%	0,00%	99,96%
	R2	05/07/2007		38 57.745	8 58.543	0,67%	0,31%	3,06%	93,47%	2,34%	0,15%	0,02%	75%	15%	0%	10%	0%	0%	0,67%	99,32%
	R3	05/07/2007		38 57.750	8 58.543	0,07%	1,62%	7,24%	90,17%	0,96%	0,02%	0,01%	65%	30%	0%	5%	0%	0%	0,07%	100,01%
	R4	05/07/2007		38 57.760	8 58.544	0,13%	1,27%	4,24%	92,46%	1,61%	0,27%	0,00%	65%	25%	0%	10%	0%	0%	0,13%	99,85%
	R5	05/07/2007		38 57.761	8 58.551	0,00%	1,41%	5,25%	91,62%	1,77%	0,02%	0,00%	65%	25%	0%	10%	0%	0%	0,00%	100,08%
	R6	05/07/2007		38 57.786	8 58.568	0,00%	0,04%	1,10%	95,09%	2,99%	0,09%	0,00%	65%	25%	0%	10%	0%	0%	0,00%	99,32%
	R7	05/07/2007		38 57.786	8 58.566	0,00%	0,49%	2,23%	94,13%	3,02%	0,04%	0,01%	70%	25%	0%	5%	0%	0%	0,00%	99,92%
	R8	05/07/2007		38 57.815	8 58.603	0,11%	0,30%	0,83%	92,66%	5,94%	0,07%	0,04%	60%	25%	0%	15%	0%	0%	0,11%	99,79%
	R9	05/07/2007		38 57.863	8 58.599	0,01%	0,23%	2,96%	92,97%	3,79%	0,04%	0,00%	65%	25%	0%	10%	0%	0%	0,01%	99,99%
	R10	05/07/2007		38 57.860	8 58.621	1,59%	0,83%	4,11%	87,14%	6,08%	0,20%	0,04%	70%	20%	0%	10%	0%	0%	1,59%	98,36%
	R11	05/07/2007		38 57.853	8 58.634	0,86%	3,22%	9,97%	82,67%	3,17%	0,03%	0,02%	65%	20%	0%	15%	0%	0%	0,86%	99,05%
	R12	05/07/2007		38 57.881	8 58.663	0,25%	5,89%	29,88%	63,01%	0,54%	0,05%	0,02%	68%	25%	0%	7%	0%	0%	0,25%	99,37%
	R13	05/07/2007		38 57.960	8 58.729	0,23%	0,30%	3,15%	92,45%	3,76%	0,08%	0,02%	70%	20%	0%	10%	0%	0%	0,23%	99,74%
	R14	05/07/2007		38 58.240	8 59.114	0,02%	0,89%	11,67%	87,16%	0,26%	0,02%	0,00%	70%	25%	0%	10%	0%	0%	0,02%	99,98%
	R15	05/07/2007		38 58.196	8 59.074	0,00%	0,08%	3,10%	96,04%	0,76%	0,01%	0,00%	75%	20%	0%	5%	0%	0%	0,00%	99,99%
R16	05/07/2007		38 58.175	8 59.033	5,32%	15,10%	29,76%	49,55%	0,21%	0,01%	0,00%	70%	20%	0%	5%	5%	0%	5,32%	94,64%	
R17	05/07/2007		38 58.151	8 58.974	32,66%	44,75%	14,87%	7,56%	0,11%	0,00%	0,00%	75%	15%	0%	5%	0%	0%	32,66%	67,29%	
R18	05/07/2007		38 58.096	8 58.924	29,16%	56,76%	9,19%	4,79%	0,09%	0,01%	0,00%	80%	15%	0%	5%	0%	0%	29,16%	70,85%	
R19	05/07/2007		38 58.070	8 58.873	0,08%	1,46%	9,68%	86,69%	1,96%	0,02%	0,04%	75%	15%	0%	10%	0%	0%	0,08%	99,81%	
R20	05/07/2007		38 58.043	8 58.839	0,00%	0,26%	1,96%	91,05%	6,52%	0,17%	0,02%	70%	15%	0%	15%	0%	0%	0,00%	99,96%	

LEGE

sG
gS
S

PIANO DI POSIZIONAMENTO DEI CAMPIONI SOLANAS (WGS84)					Classi % peso - unità F								Composizione						Class. FOLK			
Campione	Data	Prof. (m)	Latitudine	Longitudine	<-1	-1 ÷ 0	0 ÷ 1	1 ÷ 2	2 ÷ 3	3 ÷ 4	> 4	Quarzo	Feldspati	Miche	Min. acc.	Litoclasti	Bioclasti	Ghiaie	Sabbie	Peliti		
Spiaggia sottomarina	C4	16/12/2002	7	39 08.065	9 25.522	0,04%	0,19%	1,37%	28,44%	65,39%	4,45%	0,06%	55%	38%	3%	2%	2%	0%	0,04%	99,84%	0,06%	S
	C5	16/12/2002	5	39 07.992	9 25.698	0,12%	0,97%	6,23%	53,87%	38,67%	0,17%	0,02%	65%	23%	10%	2%	0%	0%	0,12%	99,90%	0,02%	S
	C6	16/12/2002	4,5	39 07.907	9 25.863	0,00%	0,61%	5,11%	60,02%	33,37%	0,77%	0,00%	73%	17%	8%	2%	0%	0%	0,00%	99,88%	0,00%	S
	C7	16/12/2002	5	39 07.770	9 25.994	0,00%	0,21%	1,52%	23,93%	66,54%	7,72%	0,09%	74%	15%	11%	1%	0%	0%	0,00%	99,91%	0,09%	S
	C8	16/12/2002	7,3	39 08.001	9 25.462	0,01%	0,14%	3,99%	57,17%	37,78%	0,98%	0,02%	68%	20%	5%	10%	0%	0%	0,01%	100,06%	0,02%	S
	C9	16/12/2002	8	39 07.945	9 25.650	0,06%	0,51%	4,41%	55,85%	38,35%	0,76%	0,04%	74%	15%	5%	6%	0%	0%	0,06%	99,87%	0,04%	S
	C10	16/12/2002	8	39 07.849	9 25.808	0,00%	0,43%	2,54%	46,05%	48,21%	2,71%	0,04%	70%	17%	13%	0%	0%	0%	0,00%	99,93%	0,04%	S
	C11	16/12/2002	7,5	39 07.724	9 25.949	0,00%	0,27%	1,59%	24,55%	65,23%	8,33%	0,10%	61%	18%	16%	4%	0%	0%	0,00%	99,97%	0,10%	S
	C12	16/12/2002	11	39 07.931	9 25.398	0,02%	2,84%	56,48%	40,35%	0,30%	0,00%	0,00%	56%	39%	0%	1%	4%	0%	0,02%	99,97%	0,00%	S
	C13	16/12/2002	12	39 07.856	9 25.569	0,16%	3,74%	39,15%	52,10%	4,74%	0,07%	0,00%	74%	18%	5%	2%	0%	0%	0,16%	99,79%	0,00%	S
	C14	16/12/2002	11	39 07.751	9 25.720	0,22%	6,39%	41,08%	46,55%	5,63%	0,07%	0,00%	70%	22%	0%	5%	2%	0%	0,22%	99,71%	0,00%	S
	C15	16/12/2002	11	39 07.636	9 25.870	0,49%	12,42%	49,26%	33,37%	4,35%	0,09%	0,00%	70%	20%	2%	2%	6%	1%	0,49%	99,50%	0,00%	S
	C20	16/12/2002	40	39 07.646	9 25.170	8,12%	42,31%	33,02%	12,57%	2,87%	0,89%	0,11%	1%	1%	0%	0%	0%	97%	8,12%	91,66%	0,11%	gS
	C21	16/12/2002	48	39 07.550	9 25.294	7,98%	25,73%	24,94%	17,87%	14,96%	5,76%	0,63%	0%	0%	1%	1%	15%	80%	7,98%	89,25%	0,63%	gS
	C23	16/12/2002	48	39 07.363	9 25.625	41,49%	35,56%	12,42%	5,33%	3,02%	1,85%	0,33%	0%	0%	0%	2%	2%	95%	41,49%	58,18%	0,33%	sG
Battigia	C24	16/02/2002		39 08.133	9 25.500	12,70%	69,28%	10,27%	5,43%	1,14%	0,00%	0,00%	53%	25%	0%	0%	21%	0%	12,70%	86,12%	0,00%	gS
	C25	16/02/2002		39 08.132	9 25.502	0,97%	33,45%	52,19%	13,26%	0,40%	0,00%	0,00%	74%	24%	0%	1%	0%	0,97%	99,31%	0,00%	S	
	C26	16/02/2002		39 08.123	9 25.563	37,97%	50,16%	11,28%	0,42%	0,01%	0,00%	0,00%	53%	40%	0%	0%	7%	0%	37,97%	61,88%	0,00%	sG
	C27	16/02/2002		39 08.102	9 25.632	28,69%	40,40%	19,49%	9,94%	1,49%	0,00%	0,00%	67%	9%	0%	1%	23%	0%	28,69%	71,32%	0,00%	gS
	C28	16/02/2002		39 08.082	9 25.683	49,89%	28,45%	13,00%	8,02%	0,58%	0,02%	0,00%	50%	15%	0%	0%	35%	0%	49,89%	50,07%	0,00%	sG
	C29	16/02/2002		39 08.068	9 25.717	35,60%	30,73%	11,12%	18,40%	4,11%	0,00%	0,00%	57%	14%	1%	1%	27%	0%	35,60%	64,36%	0,00%	sG
	C30	16/02/2002		39 08.048	9 25.763	25,18%	65,50%	9,08%	0,20%	0,05%	0,00%	0,00%	49%	47%	0%	0%	3%	0%	25,18%	74,83%	0,00%	gS
	C31	16/02/2002		39 07.965	9 25.920	49,66%	30,72%	9,41%	9,16%	0,27%	0,00%	0,00%	53%	43%	0%	0%	4%	0%	49,66%	49,56%	0,00%	sG
	C32	16/02/2002		39 07.892	9 26.022	12,26%	68,58%	14,53%	3,76%	0,78%	0,00%	0,00%	60%	26%	0%	0%	14%	0%	12,26%	87,65%	0,00%	gS
	C33	16/02/2002		39 07.865	9 26.047	3,27%	69,95%	22,72%	3,20%	0,75%	0,02%	0,00%	69%	20%	0%	2%	9%	0%	3,27%	96,63%	0,00%	S
Spiaggia Emersa	B01	18/06/2007		39 07.883	9 26.050	0,61%	25,81%	51,62%	21,08%	0,82%	0,06%	0,02%	52%	45%	1%	2%	0%	0%	0,61%	99,40%	0,02%	S
	B02	18/06/2007		39 07.883	9 26.043	0,34%	11,90%	34,03%	49,09%	4,45%	0,02%	0,01%	54%	40%	3%	3%	0%	0%	0,34%	99,50%	0,01%	S
	B03	18/06/2007		39 07.880	9 26.038	0,10%	6,22%	37,03%	53,25%	3,32%	0,01%	0,01%	60%	40%	0%	0%	0%	0%	0,10%	99,84%	0,01%	S
	B04	18/06/2007		39 07.925	9 26.120	1,17%	22,81%	43,96%	30,26%	1,66%	0,18%	0,01%	70%	30%	0%	0%	0%	0%	1,17%	98,88%	0,01%	S
	B05	18/06/2007		39 07.918	9 26.012	0,86%	19,45%	46,34%	31,59%	1,57%	0,03%	0,02%	60%	35%	0%	0%	5%	0%	0,86%	98,98%	0,02%	S
	B06	18/06/2007		39 07.917	9 26.008	0,49%	10,93%	39,89%	44,77%	3,45%	0,07%	0,02%	57%	35%	5%	0%	3%	0%	0,49%	99,12%	0,02%	S
	B07	18/06/2007		39 08.013	9 25.878	1,50%	20,45%	41,62%	34,19%	2,07%	0,09%	0,02%	60%	35%	3%	0%	2%	0%	1,50%	98,42%	0,02%	S
	B08	18/06/2007		39 08.008	9 25.872	6,22%	31,58%	32,48%	26,31%	2,78%	0,49%	0,13%	50%	40%	0%	0%	10%	0%	6,22%	93,65%	0,13%	S
	B09	18/06/2007		39 08.003	9 25.865	3,69%	15,27%	35,10%	43,26%	2,57%	0,07%	0,02%	60%	35%	5%	0%	0%	0%	3,69%	96,27%	0,02%	S
	B10	18/06/2007		39 08.063	9 25.795	6,67%	29,89%	46,27%	16,11%	0,89%	0,08%	0,04%	67%	30%	0%	0%	3%	0%	6,67%	93,24%	0,04%	gS
	B11	18/06/2007		39 08.052	9 25.785	5,23%	29,20%	42,03%	21,92%	1,40%	0,15%	0,04%	68%	30%	0%	0%	2%	0%	5,23%	94,70%	0,04%	gS
	B12	18/06/2007		39 08.040	9 25.775	0,48%	5,79%	32,69%	59,06%	1,91%	0,04%	0,01%	63%	35%	2%	0%	0%	0%	0,48%	99,50%	0,01%	S
	B13	18/06/2007		39 08.118	9 25.615	7,50%	25,45%	44,08%	21,97%	0,83%	0,03%	0,01%	60%	35%	5%	0%	0%	0%	7,50%	92,37%	0,01%	gS
	B14	18/06/2007		39 08.115	9 25.612	8,13%	43,37%	34,02%	13,58%	0,72%	0,08%	0,02%	63%	35%	0%	0%	2%	0%	8,13%	91,77%	0,02%	gS

LEGENDA

sG	Ghiaia sabbiosa
gS	Sabbia ghiaiosa
S	Sabbia

2.5 OBIETTIVI DEL RILEVAMENTO E METODOLOGIA ADOTTATA

Lo studio delle dinamiche di un sistema di spiaggia devono essere effettuate sulla base di parametri che quantifichino le entità morfologico-sedimentologiche in essa presenti. Tali parametri sono misure di: dati sedimentologici *l.s.*, distanze, quote, profondità, pendenze che variano nel corso delle ore, dei giorni, dei mesi, delle stagioni e degli anni.

Questi devono essere misurati con metodologie di alta precisione nelle diverse stagioni e nei diversi assetti (Interreg IIIA GERER, 2006 e 2007; De Muro *et alii*, 2008).

In un contesto naturale e non modificato dall'uomo, gli assetti di una spiaggia, alla scala di osservazione temporale attuale e storica (senza considerare per scelta il contesto evolutivo geologico ed eustatico), sono in gran parte determinate da:

- apporti-uscite (bilancio);
- sedimentologia *l.s.* del materiale che le costituisce;
- regime meteomarinico (vento, moto ondoso, correnti indotte, sesse ecc.);
- escursione di marea;
- topografia e costituzione del substrato della spiaggia sottomarina.

Le spiagge in studio, come è caratteristica delle spiagge mediterranee a differenza di quelle oceaniche, sono contraddistinte dal fatto che le barre sottomarine e i truogoli rimangono quasi sempre sommersi anche in regime di bassa marea.

Si differenziano “barre e truogoli intertidali” (*ridge* e *runnel*), fortemente condizionati dal flusso e riflusso di marea e dal moto ondoso, molto mobili e con ridotte dimensioni e barre e truogoli (*bar* e *ridge*) dipendenti da moto ondoso, ma più stabili e di maggiori dimensioni (Fig. 82).

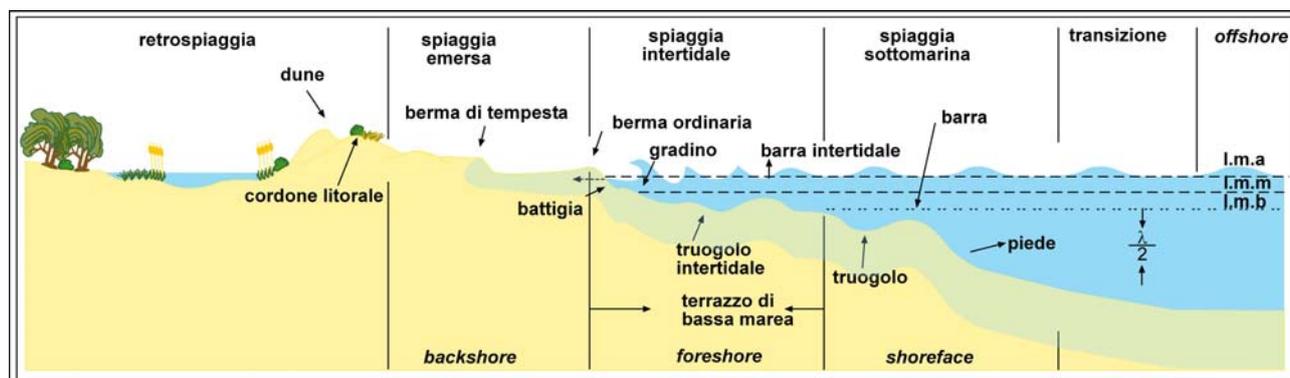


Fig. 82 - Profilo di spiaggia da Carobene e Brambati, 1975, modificato.

Il primo obiettivo del rilevamento è dunque misurare con metodologia scientifica, i cambiamenti di assetto dell'intero sistema di spiaggia intendendo fare riferimento a quanto detto sopra e alle definizioni adottate nel Decalogo per la salvaguardia delle spiagge sarde (De Muro *et alii*, 2007).

Il profilo trasversale della spiaggia è stato studiato, a partire da terra verso mare, basandosi sulla misura di:

- distanza da un caposaldo di misura, posizionato in alta spiaggia, di cresta duna, battigia, truogoli e barre;
- quote;
- profondità;
- pendenze.

Le misure, riferite sempre alla rete geodetica, sono state acquisite mediante GPS Differenziale, strumenti ecografici digitali ecc., e sono state ripetute stagionalmente, secondo gli standard suggeriti dal Progetto Europeo Interreg IIIA GERER (2006 e 2007)

Nel contesto Sardo il profilo generale, precedentemente presentato, deve necessariamente tener conto ed essere integrato con la presenza della *Posidonia oceanica* (L.) Delile, sia *in situ* che spiaggiata. Dai dati (Interreg IIIA GERER, 2006 e 2007) risulta che nell'Isola la Posidonia ha svolto, negli ultimi 2000 anni, e svolge attualmente un ruolo straordinario e fondamentale per il funzionamento e la tenuta dei sistemi di spiaggia.

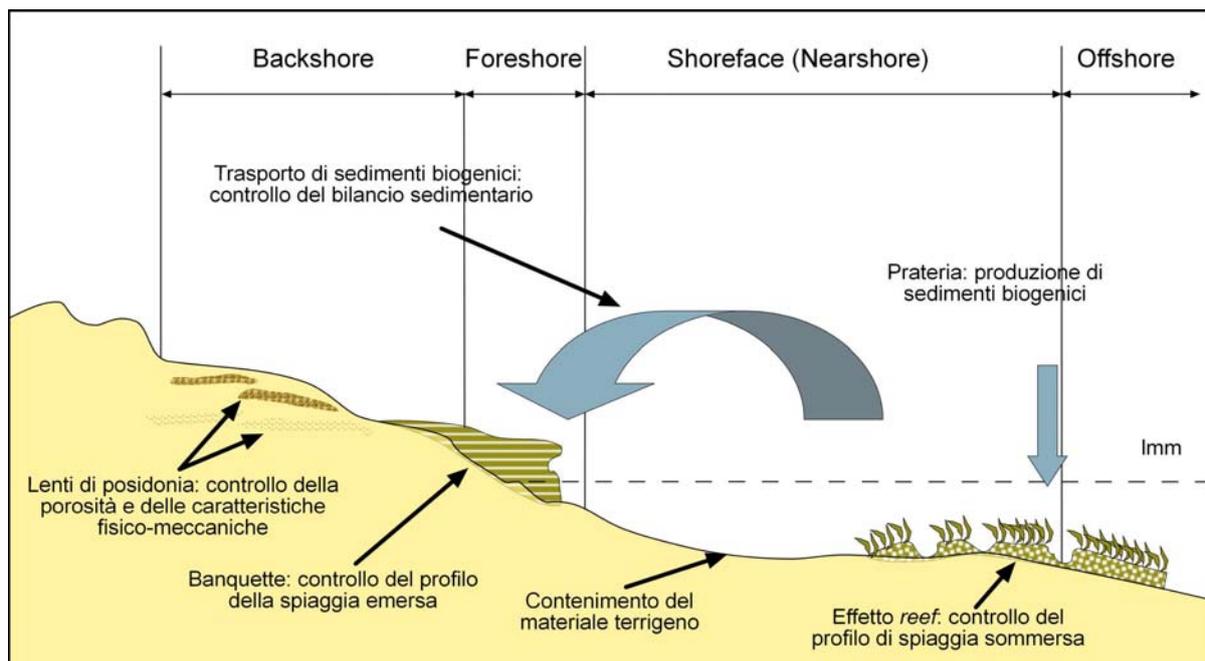


FIG. 83 - Profilo di spiaggia con evidenziata l'azione della presenza di *Posidonia oceanica* (da De Falco *et alii*, 2006 modificato).

Come si evidenzia nel profilo (Fig. 83) la posidonia svolge diversi ruoli attivi sintetizzabili in:

Da “viva” (*in situ*):

- reef (barriera) azione di contenimento del materiale terrigeno immesso a monte e conseguente controllo del profilo di spiaggia sommersa;

- azione dissipativa dell'energia liberate dal moto ondoso sottomarino, controllo dell'ampiezza della *surfzone*;
- produzione di sedimento biogenico e bioclastico;

Da "morta":

- entra nel bilancio di sedimentazione da almeno 2000 anni (quota del mare stabile prossima all'attuale) attraverso lo spiaggiamento di foglie, rizomi, egagropili ricche in materiale bioclastico incrostante che generano annualmente nuovo sedimento (Fig. 84);

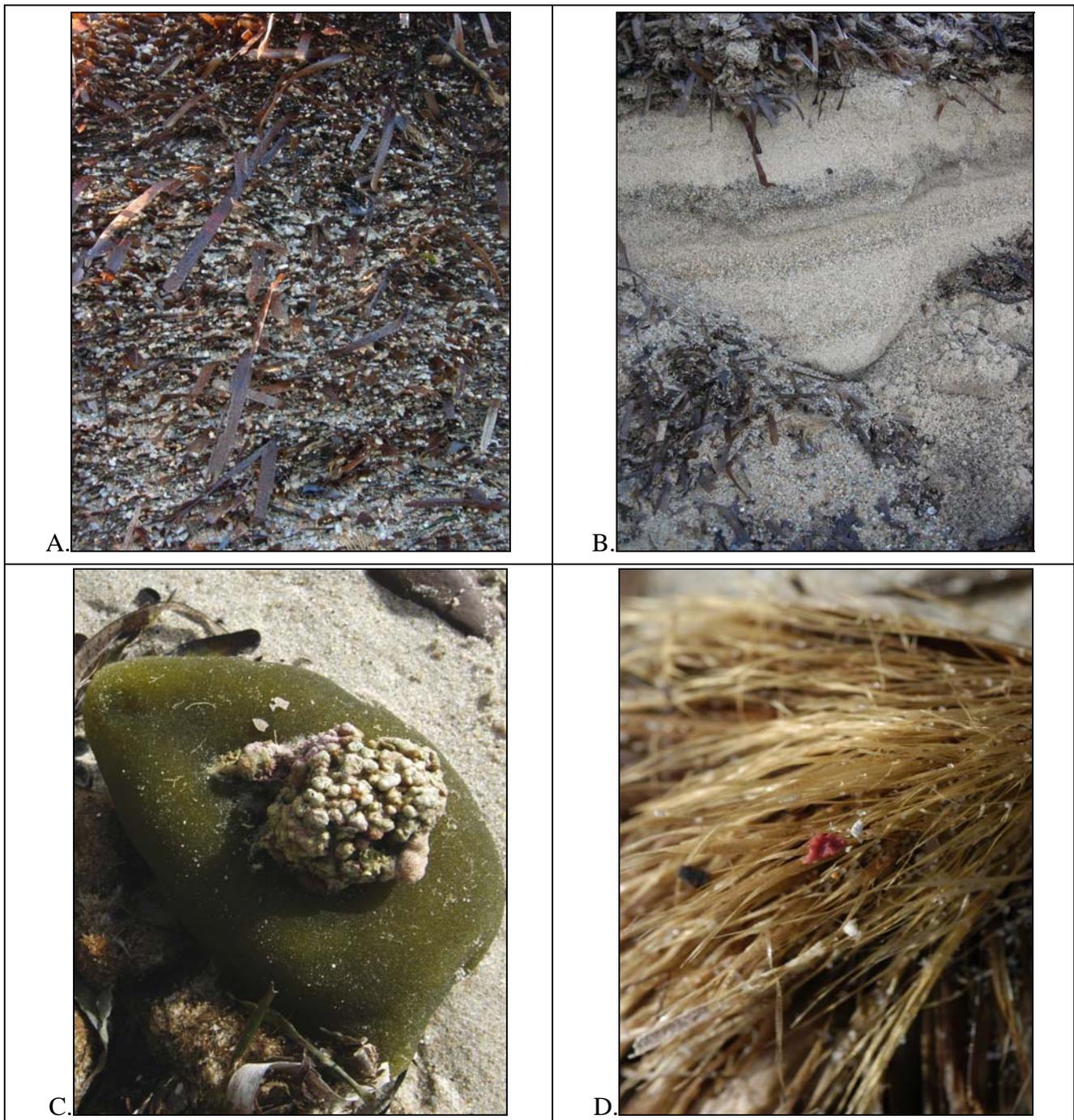


Fig. 84 - Esempi di sedimentazione della *Posidonia oceanica* nei corpi di spiaggia emersa (A e B). Esempi di biocostruzioni di *Miniacina miniacea* su *Codium sp.* e *Posidonia* (C e D) - Foto S. Bua e GP. Dore.

- produce lenti e strati di materiale organico nel corpo di spiaggia emersa (Fig. 84) che danno volume e permeabilità al sistema spiaggia oltre che aggiungere capacità di risposta elastica al sistema (deflusso e smorzamento del flutto montante);
- produce una “seconda spiaggia” intertidale (Fig. 85), specialmente da ottobre a gennaio/febbraio, che funge da protezione-barriera all’impatto del flutto montante con il corpo di spiaggia sabbiosa vero e proprio, specialmente nei periodi di massima cessione di energia da parte del moto ondoso;
- innesca sul cordone litorale e nel retrospiaggia i primi elementari processi di pedogenesi creando un “tessuto organico-inorganico” andandosi a legare-sedimentare in aree protette dal vento o su piccoli ostacoli (Fig. 86) e quindi svolgendo un ruolo fondamentale per la creazione dei corpi dunali ed i conseguenti effetti di stabilizzazione di spiaggia o di retrospiaggia (De Muro *et alii*, 2008).



Fig. 85 - Banquette di posidonia spiaggiata sull'arenile di Santa Margherita.



Fig. 86 – Esempio di sedimentazione eolica da ostacolo ad opera della Posidonia piaggiata (Foto N. Pusceddu).

Per tutte queste ragioni, dimostrate dalle misure e dalle osservazioni di campo effettuate nel nostro lavoro, si è tenuto deliberatamente conto degli apporti sedimentari legati alla *Posidonia* oceanica.

Sulla base di quanto detto si vuole, già in questa fase ed anticipatamente, segnalare che risulta profondamente sbagliato rimuovere la *Posidonia* spiaggiata dai nostri litorali.

Dai dati fino ad oggi acquisiti (De Muro *et alii*, 2008) si evidenzia che, oltre al grave danno connesso all'asportazione di questo prezioso sedimento organico (sottrazione di volumi), si producono tutta una serie di azioni erosive indotte dall'uso dei mezzi meccanici fino ad oggi utilizzati per la rimozione (Fig. 87), quali ad esempio: compattazione, movimento di scivolamento indotto, forzata miscelazione sedimentaria, solchi, spianamento delle strutture di spiaggia emersa e retrospiaggia ecc. che condizionano antropicamente gli assetti e l'equilibrio naturale della spiaggia.



Fig. 87 – Esempi di rimozione della *banquette* con mezzi meccanici pesanti nel litorale di Quartu S.E. e veduta della spiaggia di Santa Margherita di Pula dopo la “pulizia” della spiaggia. Le strutture di spiaggia sono state spianate o modificate antropicamente con l’innescare di processi di mescolamento sedimentario, solchi erosivi, asporto di ingenti quantità di sabbia, compattazioni e modificazioni delle caratteristiche naturali fisico-meccaniche del corpo di spiaggia (De Muro e Dore, 2008).

2.5.1 RILIEVO DI SPIAGGIA EMERSA

Al fine di iniziare uno studio basato su misure rigorose e il più precise possibile, compatibilmente con la strumentazione oggi disponibile, si è scelto di realizzare una rete di caposalda di misura e di individuare con sicurezza punti e aree del corpo di spiaggia stabili almeno a partire dai primi dati aerofotogrammetrici disponibili.

Tutti i parametri sopraccitati che servono a misurare le dinamiche della spiaggia sottomarina, fanno riferimento ad aree del cordone litorale (duna, piede duna, cresta duna) che dallo studio storico delle fotografie aeree risultano stabili. I punti di riferimento presi nell'alta spiaggia sono caposalda possibilmente in roccia o comunque fissi (strutture in muratura come case o strade).

Per il posizionamento dei rilievi si è utilizzato un sistema DGPS (GPS differenziale) che permette di rilevare in tempo reale i profili di spiaggia percorrendola lungo transetti posizionati precedentemente su carta.

L'antenna ricevente del DGPS è stata montata su un'asta di altezza nota (205 cm), questo permette di portare l'antenna stessa nei primi metri di spiaggia sottomarina e quindi raccordare il rilievo a terra con i transetti a mare (Fig.4), in modo da avere una copertura completa per la costruzione del DTM (*Digital Terrain Model*).

Lo strumento acquisisce e memorizza su un computer palmare un punto (posizione x , y e z) ogni secondo con precisione centimetrica, questi punti riportati su software dedicati permettono di ricreare DTM e modelli tridimensionali della spiaggia.

Di fatto il sistema di rilevamento GPS tradizionale è affetto da molte fonti di disturbo che sommandosi producono nelle misure errori di entità variabile. Per eliminare alcune fonti d'errore, per esempio la rifrazione ionosferica e migliorare l'accuratezza dei dati, si è affermata la metodologia di rilievo detta "differenziale" (DGPS).

Nel posizionamento DGPS si utilizzano più ricevitori, uno dei quali, detto *Base*, staziona su vertice di riferimento di cui sono note le coordinate plano-altimetriche, nel nostro caso un'antenna fissa, e gli altri (*rover*) sostano temporaneamente sui punti di nuova determinazione. La base calcola gli errori presenti nelle misure, sia *pseudo range*, sia fase, e la loro variazione nel tempo (RRC: *Range Rate Correction*) e la invia ai *rover*.

La trasmissione delle correzioni differenziali, via radio VHF o tramite rete telefonica mobile (GPRS), è stata standardizzata secondo un protocollo internazionale chiamato RTCM (*Radio Technical Commission for Maritime[Service]*).

Il DGPS è utilizzato per applicazioni cinematiche di precisione in tempo reale, le quali consentono di effettuare misure con un livello di precisione vicino a quello statico con notevole riduzione dei

tempi di stazionamento. Inoltre i dati ricavati sono immediatamente disponibili ed utilizzabili senza la necessità di effettuare un post-processing al termine della campagna di rilievo.

Nel nostro studio si è proceduto rilevando prima di tutto la linea di battigia e il limite dell'alta spiaggia al momento del rilievo ed effettuando una griglia di misure attraverso transetti trasversali precedentemente programmati (Fig. 88).



Fig. 88 - Rilevatore durante le misurazioni di spiaggia con antenna DGPS.

2.5.2 RILIEVO DI SPIAGGIA SOTTOMARINA

Il rilievo della spiaggia sottomarina si effettua mediante la strumentazione dell'imbarcazione da ricerca dell'OCEANS (Fig. 89).

Il rilievo viene eseguito percorrendo una griglia di rotte precedentemente posizionata su una base georeferenziata dell'area in studio e i dati vengono registrati e archiviati attraverso un PC notebook. Nel nostro caso la griglia realizza, compatibilmente con le condizioni meteo (onde, correnti, vento) e allestimenti stagionali di campi boe, corsie e aree delimitate per la balneazione, quadrati di 100 metri di lato.

I dati registrati sono stati poi processati al fine di eliminare eventuali errori strumentali (*spike*) e il dato finale è stato riportato in carta mediante l'utilizzo di software CAD.

L'acquisizione ad alta precisione del sistema Ecografo/DGPS permette di realizzare un modello digitale di terreno nella quale, confrontando dati di differenti periodi dell'anno, si possono identificare i movimenti delle strutture sottomarine (barre, truogoli ecc.) e valutarne lo spostamento. I dati di posizione sono stati acquisiti nel sistema di riferimento UTM fuso 32, WGS84 Datum.



Fig. 89 - Strumentazione dell'imbarcazione OCEANS: in alto computer con software di navigazione PDS2000 interfacciato con DGPS Omnistar 8300HP ed Ecografo Navisound 215. A lato particolare del trasduttore dell'ecografo Navisound 215 con montata in asse antenna DGPS (Foto G.P.Dore).

2.6 INTERPRETAZIONE DEI PROFILI

Lo studio e i rilievi diretti sulle due spiagge campione sono stati impostati al fine di rilevare le variazioni morfologico-sedimentologiche legate agli assetti stagionali: Invernale ed Estivo (Figg. 90 e 91).

Nello specifico si è cercato di misurare e quantificare le risposte del sistema spiaggia alle variazioni di sollecitazione ondosa nei diversi mesi dell'anno per individuare le naturali fasi di avanzamento-arretramento-ridistribuzione sedimentaria legate ai normali cicli stagionali (Dubois, 1988).

Inoltre queste basi misurate di spiaggia sottomarina e di spiaggia emersa forniscono i dati fondamentali e propedeutici all'applicazione dei modelli matematici utilizzati per il calcolo della circolazione idrodinamica connessa al moto ondoso ed il conseguente spostamento di volumi sedimentari.

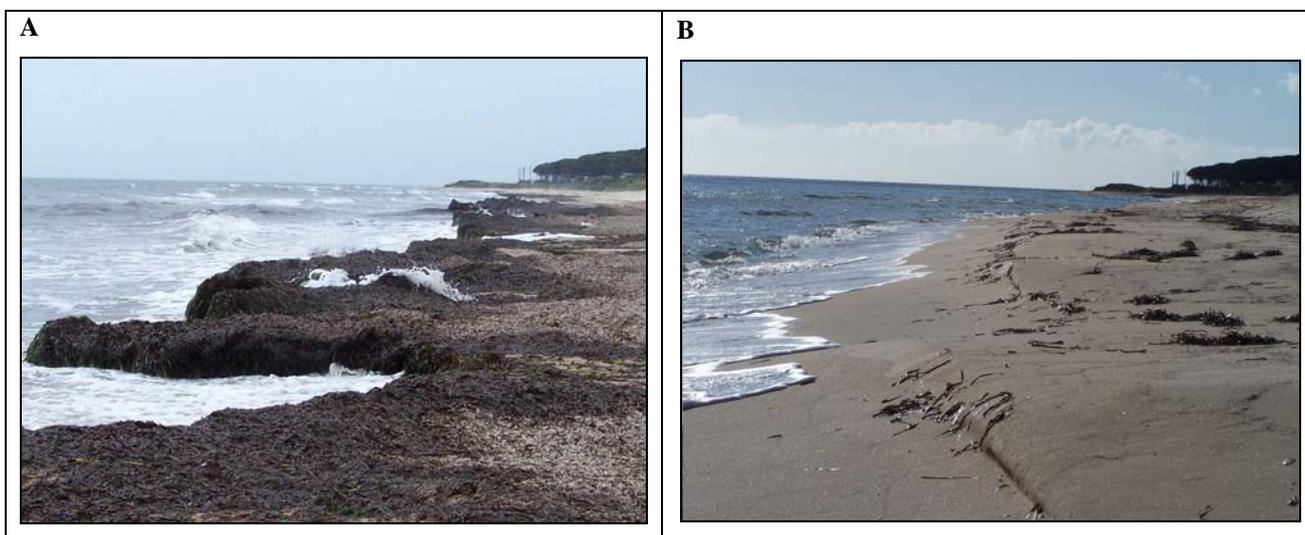


Fig. 90 - Settore SW della spiaggia di Santa Margherita: (A) Dicembre; (B) Maggio.

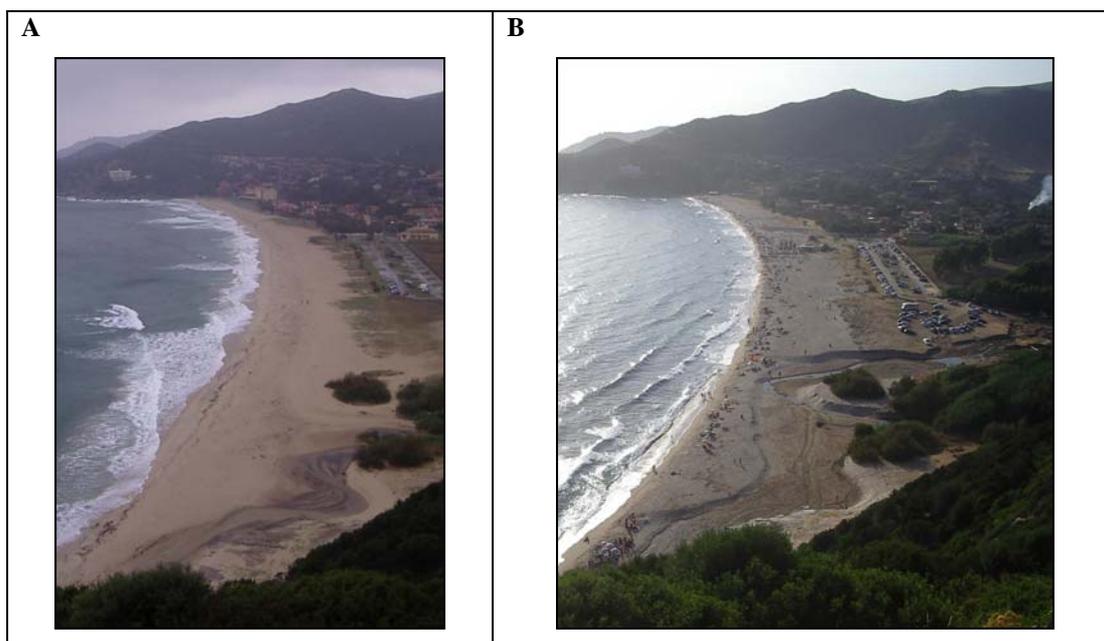


Fig. 91 - Veduta della spiaggia di Solanas: (A) Gennaio; (B) Luglio.

I rilievi eseguiti sulla spiaggia emersa e sottomarina sono stati convertiti in DTM mediante software dedicati.

Si è partiti da un listato di punti in coordinate xyz (UTM, WGS84 *datum*) che interpolati hanno permesso di ricostruire l'intera superficie indagata.

Inoltre, al fine di tarare i rilievi su un riferimento del livello medio mare comune, è stata calcolata l'entità della marea astronomica nelle date dei rilievi. I dati di marea sono stati ricostruiti con il *Software freeware WXTide32 (Free Software Foundation, Copyright® M.Hopper)*. Mediamente i dati previsti possono subire errori di circa 15 minuti e/o 5 centimetri questo perché la previsione non tiene conto dei fattori meteorologici che possono influenzare i livelli di marea (es. direzione del vento, diminuzione della pressione atmosferica ecc.).

I risultati ottenuti per Santa Margherita sono di una marea di circa 26 cm con tendenza verso la bassa marea per il rilievo invernale e di circa 25 cm con tendenza verso l'alta marea in quello estivo, per cui il dato di marea può essere considerato non influente sulla quota dei rilievi.

A Solanas si registrano circa 23 cm per il rilievo invernale con tendenza alla bassa marea e di circa 16 cm per il rilievo estivo con tendenza all'alta marea, anche in questo caso il dato di marea non influisce sui rilievi strumentali.

Su ogni DTM sono stati tracciati 5 transetti trasversali al fine di valutare la variazione della spiaggia nell'arco del periodo d'osservazione, si precisa che tali transetti sono stati tracciati sulle rotte a mare e sui percorsi a terra in modo da utilizzare il dato reale e non il dato interpolato dal *software*.

Considerando che questo lavoro di misura è propedeutico alla quantificazione dei processi sedimentari innescati dal moto ondoso si è preventivamente e sulla base dei nuovi dati acquisiti classificato lo status delle unità fisiografiche in studio con riferimento al metodo di Wright e Short (1984).

Sull'analisi dei profili si è distinto lo stato morfologico delle due aree prese in esame al fine di valutare il comportamento riflettente intermedio o dissipativo del sistema (Wright e Short, 1984).

Sono considerate **Spiagge Riflettenti** quelle con un profilo fortemente concavo, in cui è presente una berma più alta, un profilo di spiaggia lineare e molto inclinato, un profilo dello *nearshore* a basso angolo (Fig. 92). Le strutture di spiaggia emersa e sottomarina, come cuspidi, barre e truogoli, sono assenti. I sedimenti caratteristici sono tessituralmente quelli delle ghiaie (> 2000 μm) e delle sabbie grossolane (2000 ÷ 1000 μm). Sotto la berma il *foreshore* è ripido e l'interazione tra la deposizione dei sedimenti da parte del moto ondoso e l'azione erosiva delle tempeste tendono a livellare il profilo dello stesso (Reading e Collinson, 1996).

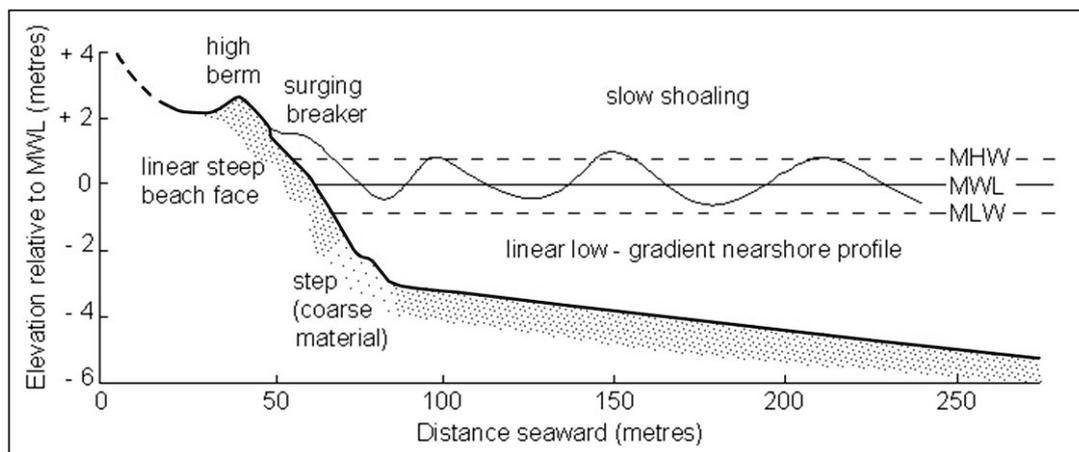


Fig. 92 - Schema del profilo tipico di spiaggia riflettente (Wright et alii, 1979).

Sono considerate invece **Spiagge Dissipative** quelle con un profilo rettilineo in cui la berma è bassa, la barra interna (*inner bar*) è molto vicina alla riva ed è presente una seconda barra immediatamente successiva alla prima, oltre la quale il profilo dell'*inshore* è ampio e poco profondo, salvo arrivare al limite col *nearshore* che diventa inclinato e concavo verso l'alto (Fig. 93).

La lunghezza della *surfzone* può variare da 50 a 500m a seconda dell'intensità delle onde e della tessitura dei sedimenti. Nel caso la tessitura predominante sia quella delle sabbie la *surfzone* sviluppa strutture di fondo come barre e truogoli e un complesso sistema tridimensionale si viene a generare quando le barre vengono interrotte da *ripcurrent* (Reading e Collinson, 1996).

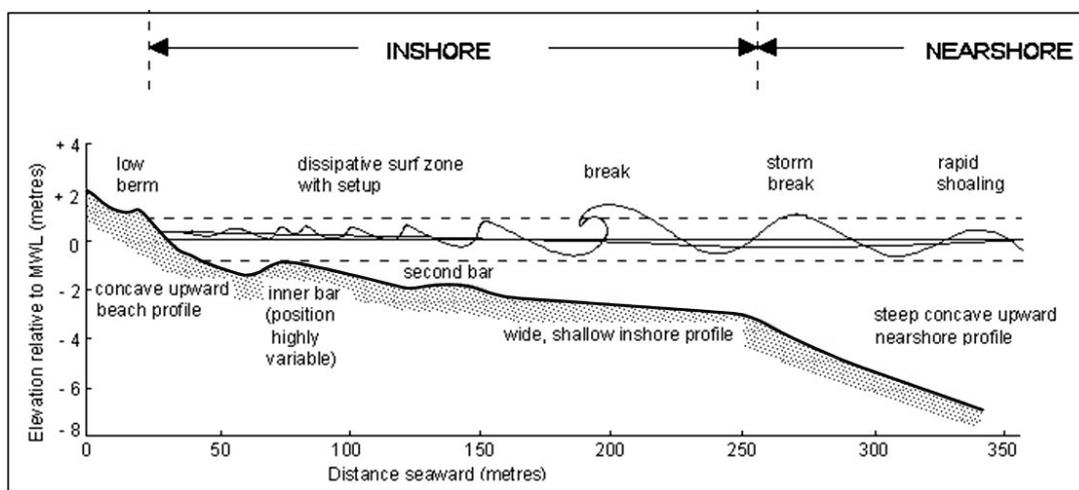


Fig. 93 - Schema del profilo tipico di spiaggia dissipativa (Wright et alii, 1979).

La tipologia delle spiagge studiate si posiziona nei termini intermedi (Fig. 94) della classificazione proposta da Wright e i fattori che le caratterizzano sono l'ambiente microtidalico con escursioni di marea inferiori ai 30 cm, e la granulometria tendente alle Sabbie medie ($500 \div 250 \mu\text{m}$).

Le stesse strutture che si possono osservare (barre e truogoli) sono associabili a questo tipo di tessitura.

I sistemi di spiaggia studiati nell'arco di un anno, sono da considerarsi sostanzialmente in equilibrio.

Le misure complessive effettuate mostrano input sedimentari bilanciati da pari quantità di output o di redistribuzione longshore che definiscono sostanzialmente assetti di stabilità per le due spiagge campione.

Per quanto riguarda Solanas, invece, il confronto tra dati del 2001 e del 2007, come si vedrà nei paragrafi successivi, fa rilevare un incremento sostanziale di volumi sedimentari, specialmente nello *shoreface* inferiore.

Al contrario si osservano, sia dall'analisi storica delle fotografie aeree, sia dalle verifiche stagionali effettuate, azioni di urbanizzazione e di uso dei sistemi di spiaggia non compatibili con gli equilibri naturali e che sul medio e lungo periodo potrebbero innescare processi erosivi.

Questi sono attivati principalmente da:

- costruzione e opere di regimazione nei corsi d'acqua che si immettono nel sistema;
- realizzazione di strade, parcheggi, case o strutture alberghiere su aree dinamiche della spiaggia (cordone litorale, retrospiaggia ecc.);

tali da modificare sostanzialmente il profilo di spiaggia.

Le variazioni di assetti e pendenze sono da considerarsi quindi come ridistribuzioni del materiale presente nel sistema ad opera del moto ondoso durante il corso dell'anno ed i cambi di stagione.

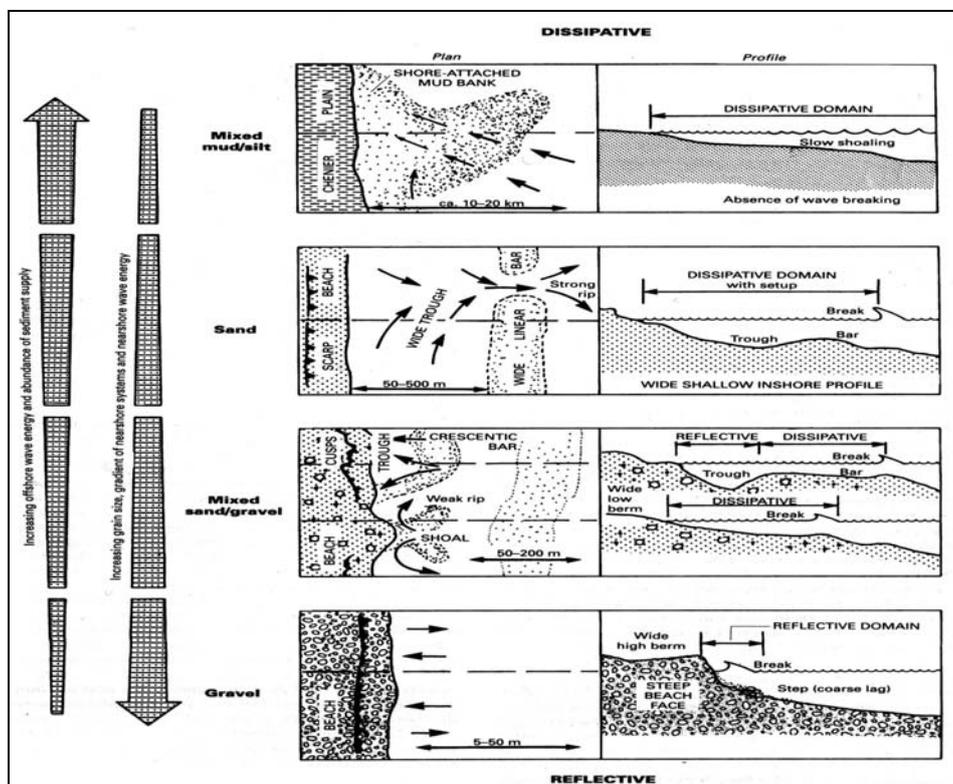


Fig. 94 – Rappresentazione della linea di costa controllata da moto ondoso da riflettente a dissipativa. La variazione dipende dall'energia del moto ondoso a largo, coesione e tessitura dei sedimenti (da Orton e Reading 1993).

2.7 DESCRIZIONE RILIEVI

A - SANTA MARGHERITA

Di seguito vengono descritti i profili di spiaggia emersa e sottomarina (Fig. 95) analizzati per la spiaggia di Santa Margherita, in entrambi gli assetti invernale ed estivo e messi a confronto. Come si osserva i caratteri sono intermedi ma tendenzialmente assimilabili a quelli del profilo di spiaggia dissipativa proposto da Wright e Short (1984).

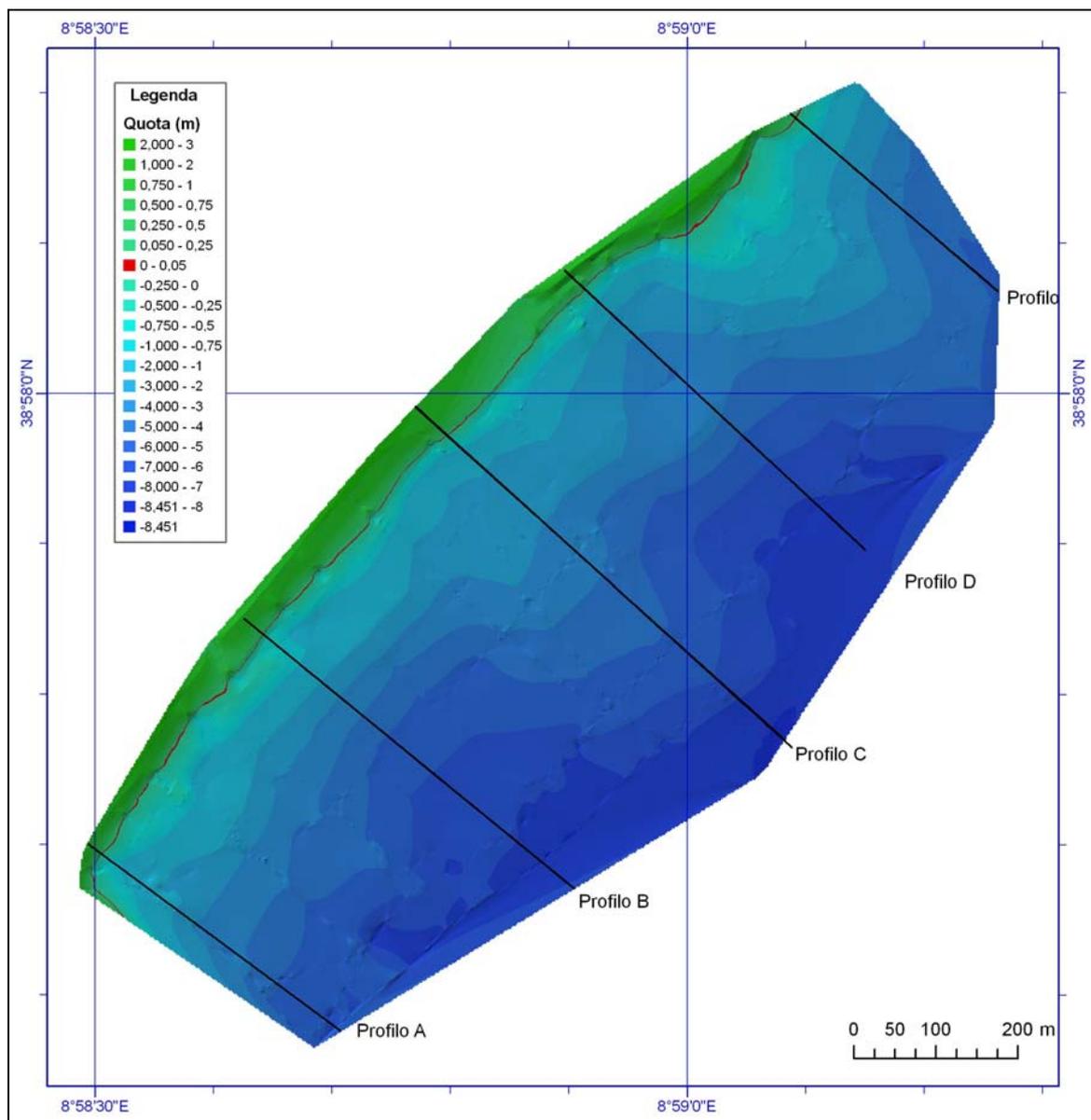


Fig. 95 - Posizione dei profili di spiaggia emersa e sottomarina analizzati per la spiaggia di Santa Margherita.

Il **profilo A**, posizionato nel settore SW della spiaggia, mostra, nell'assetto invernale, una pendenza pari a 1,79% ed in estate una pendenza debolmente inferiore pari a 1,76% (Fig. 96).

Il profilo invernale mostra un complesso sistema a barre e truogoli che delinea un'ampia *surfzone* che si estende per circa 370 m dalla linea di battigia.

Si evidenziano 5 barre a pendenza variabile nel periodo invernale che nel periodo estivo vengono spianate con un significativo aumento delle volumetrie di spiaggia emersa a testimonianza di processi di restituzione di sedimenti di spiaggia sottomarina verso la spiaggia emersa che cresce di volume e di ampiezza.

Nell'assetto estivo si individuano solo 2 barre ampie e poco rilevate sul profilo di *shoreface* con un'ampiezza della *surfzone* ridotta di circa 100 m.

Prendendo in considerazione la sola parte emersa della spiaggia si passa da una pendenza invernale del 10,57% ad una pendenza estiva del 9,01% con una variazione del 15%. Il corpo di spiaggia emersa avanza, nell'assetto estivo, di circa 5 m (Fig. 97).

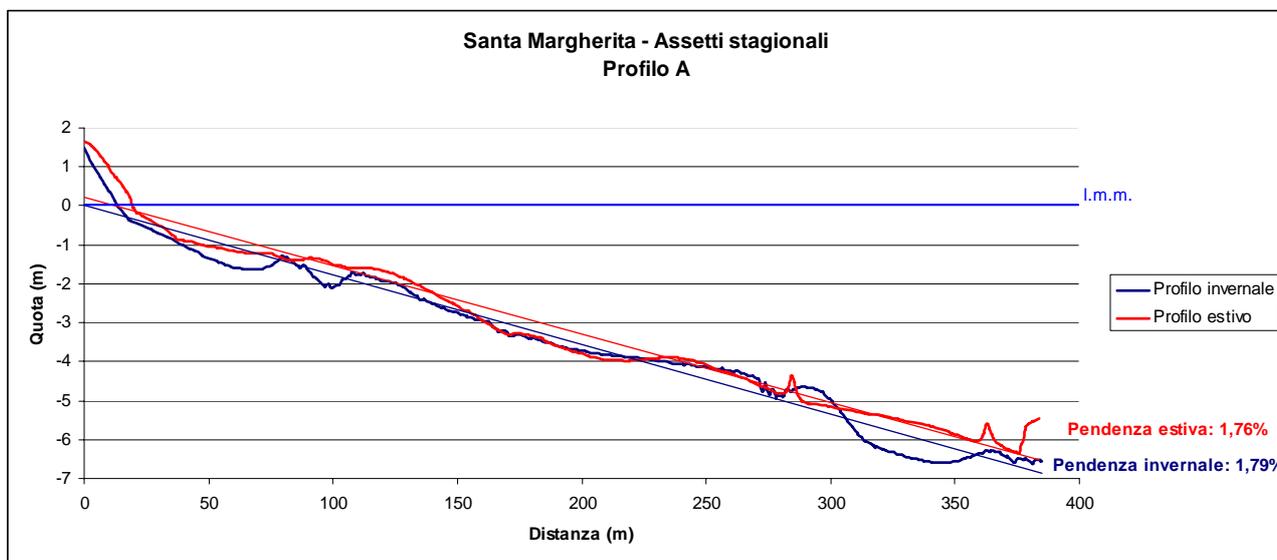


Fig. 96 - Profilo A: spiaggia emersa e sottomarina, Santa Margherita.

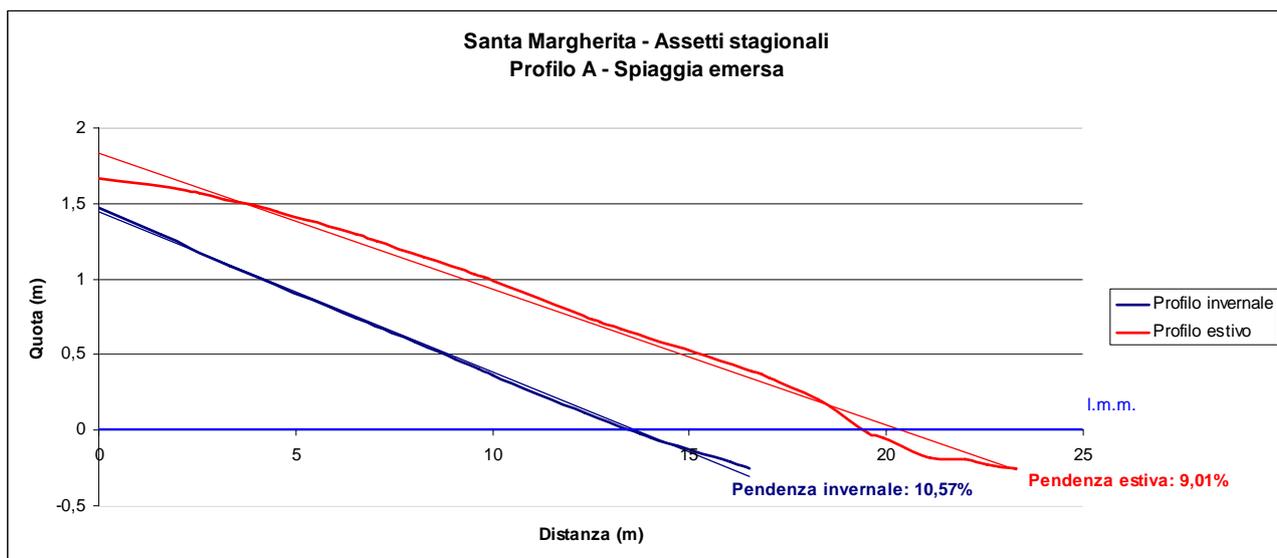


Fig. 97 - Profilo A: spiaggia emersa, Santa Margherita.

Il **Profilo B** mostra nell'assetto invernale una pendenza pari a 1,76% ed in estate una pendenza inferiore pari a 1,61%.

Anche in questo caso il profilo invernale mostra un sistema a barre e truogoli che si estende per una *surfzone* di circa 450 metri.

Si evidenziano 5 barre a pendenza variabile nel periodo invernale che nell'assetto estivo vengono spianate e unite, mostrando un sistema con 3 barre più ampie.

La *surfzone* si riduce di oltre 50 metri (Fig. 98).

Prendendo in considerazione la sola parte emersa si osserva una significativa variazione di pendenza da attribuirsi al fatto che durante il rilievo invernale la linea di riva era coperta dalla *banquette* di Posidonia. Le pendenze di spiaggia emersa variano dal 6,34 % dell'assetto invernale al 5,72% dell'assetto estivo con una variazione del 10,7%. Anche in questo caso il corpo di spiaggia emersa avanza, nell'assetto estivo, di circa 3 metri (Fig. 99).

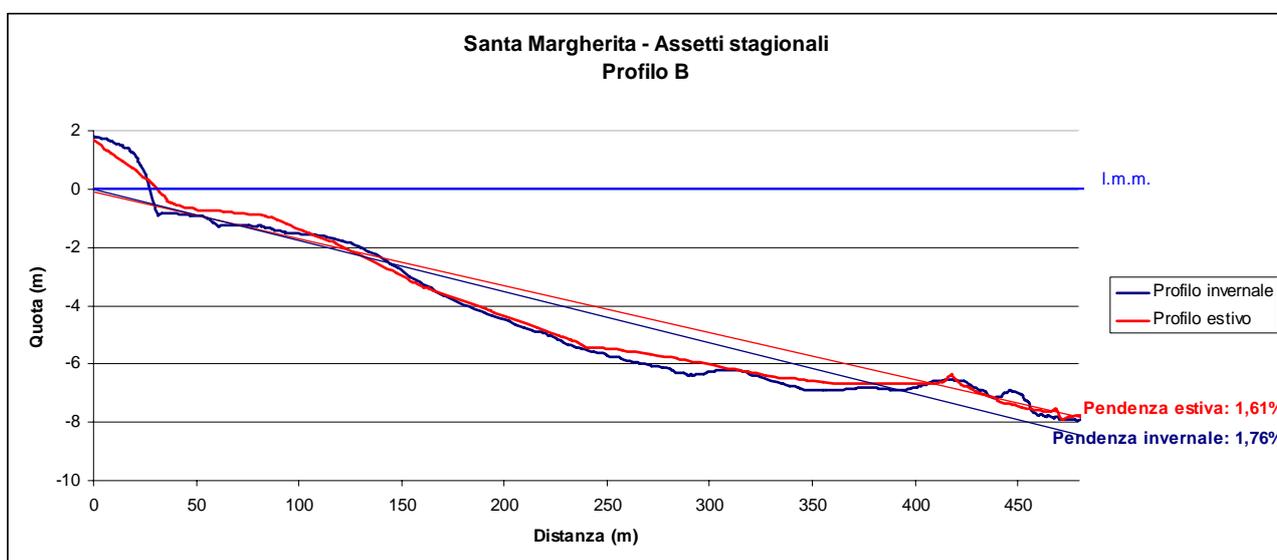


Fig. 98 - Profilo B: spiaggia emersa e sottomarina, Santa Margherita.

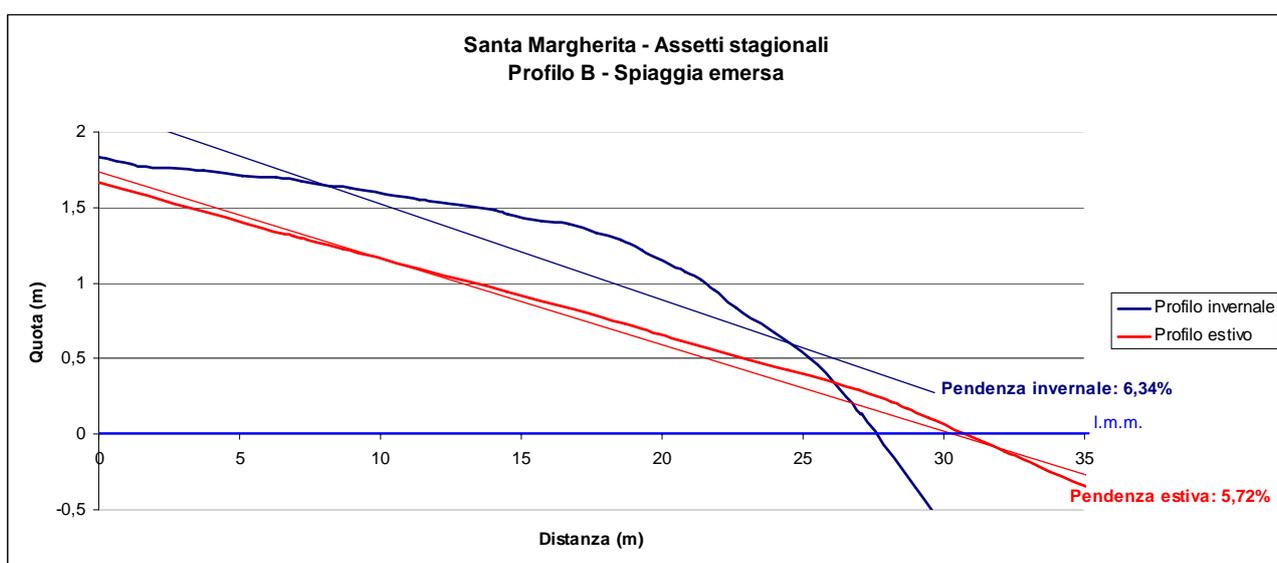


Fig. 99 - Profilo B: spiaggia emersa, Santa Margherita.

Il **Profilo C**, posizionato al centro della spiaggia, mostra nell'assetto invernale, una pendenza pari a 1,43% ed in estate una pendenza pari a 1,38%. In questo profilo la *surfzone* appare ridotta ad una distanza di circa 300 metri, questo è anche dovuto alla presenza degli affioramenti rocciosi presenti. Nell'assetto invernale si osserva una barra prossima alla linea di battigia e due barre meno evidenti ad un distanza di circa 250 m, a circa 3,5-4 m di profondità. Nell'assetto estivo entrambe le strutture sono assenti e si osserva una barra più ampia a partire dai 150 metri dalla battigia (Fig. 100). I profili di spiaggia emersa evidenziano la presenza di una berma nell'assetto invernale che risulta assente e quindi completamente spianata nell'assetto estivo. La pendenza in questo caso varia dal 6,59% dell'assetto invernale al 5,41% dell'assetto estivo con una variazione del 18%. La linea di battigia risulta arretrata, nell'assetto estivo, con una variazione stimabile attorno ai 3 m. Questo è anche da attribuirsi al fatto che durante il rilievo invernale la battigia era coperta dalla *banquette* di Posidonia (Fig. 101).

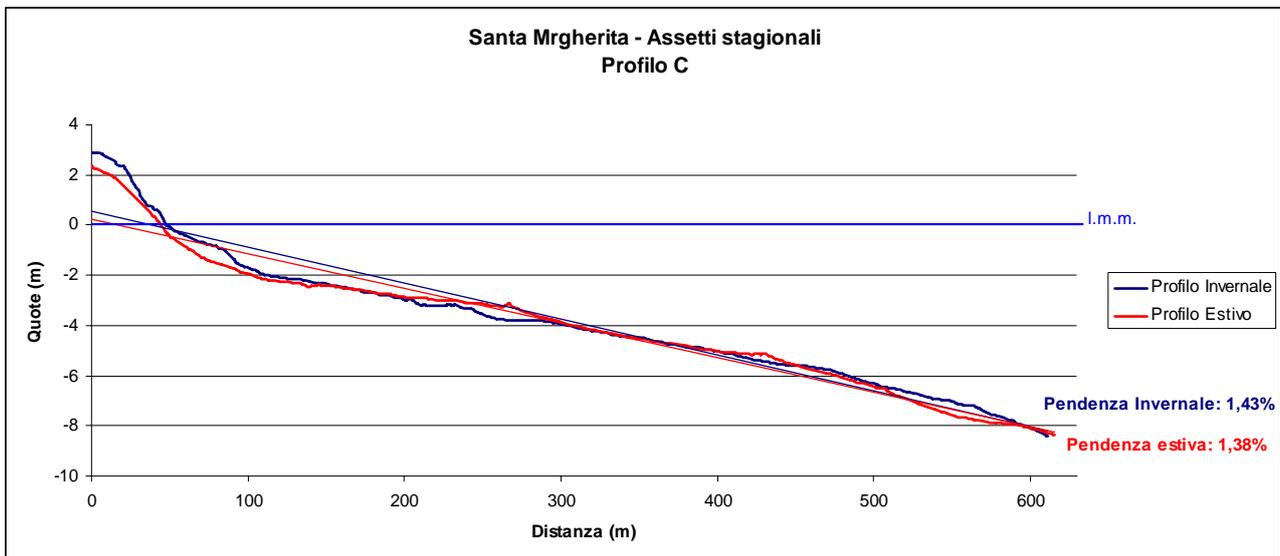


Fig. 100 - Profilo C: spiaggia emersa e sottomarina, Santa Margherita.

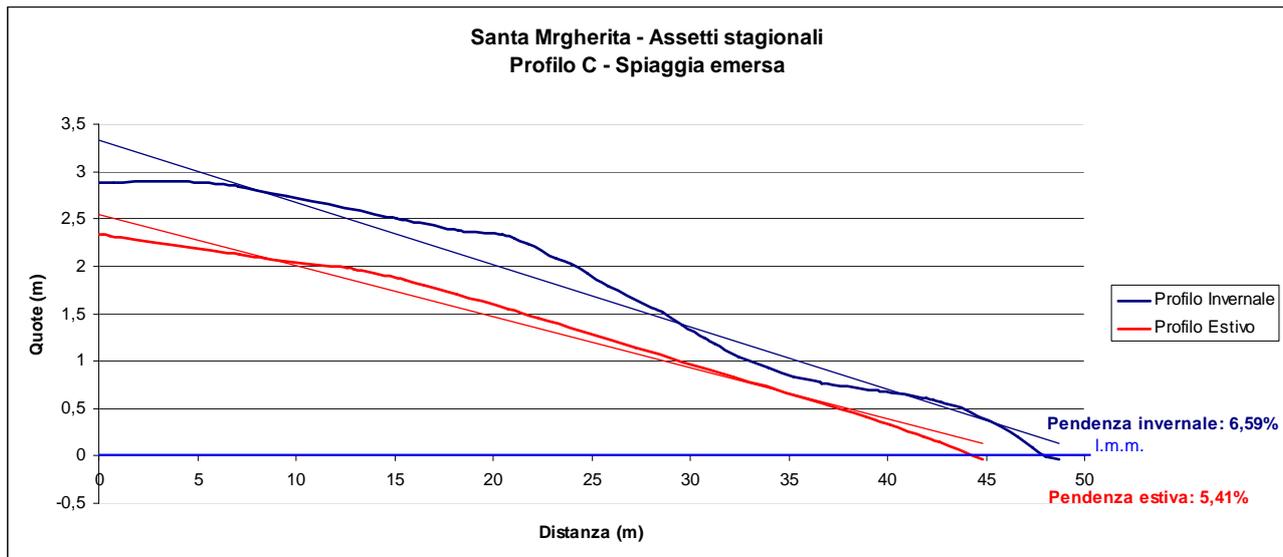


Fig. 101 - Profilo C: spiaggia emersa, Santa Margherita.

Il **Profilo D** mostra, nell'assetto invernale, una pendenza pari a 1,79% e nell'assetto estivo una pendenza debolmente inferiore pari a 1,77%.

Le strutture sedimentarie sono caratterizzate, nell'assetto invernale, da un sistema di 3 barre: due prossime alla battigia e la terza posizionata a circa 200 metri da questa.

Nell'assetto estivo si evidenziano solo 2 barre delle quali, la prima sottocosta poco evidente, mentre la seconda, posizionata in corrispondenza della terza barra del rilievo invernale, ridotta di dimensioni (Fig. 102).

Il profilo di spiaggia emersa è notevolmente differente nei due assetti: si osserva un profilo lineare in inverno e un profilo con una berma alta nel profilo estivo. Questo si spiega con il fatto che durante il rilievo estivo la foce del Rio Santa Margherita era in fase di chiusura, ma mostrava ancora il meandro sulla spiaggia che influisce sull'andamento del profilo. L'incisione che si rileva nel profilo è il truogolo lasciato dal fiume. Durante il rilievo invernale la foce del fiume non era ancora aperta (mese di dicembre). La pendenza cambia, dal 9,26% in inverno al 4,34% in estate, con una variazione del 53%. Il corpo di spiaggia emersa avanza nel profilo estivo di circa 5 m (Fig. 103).

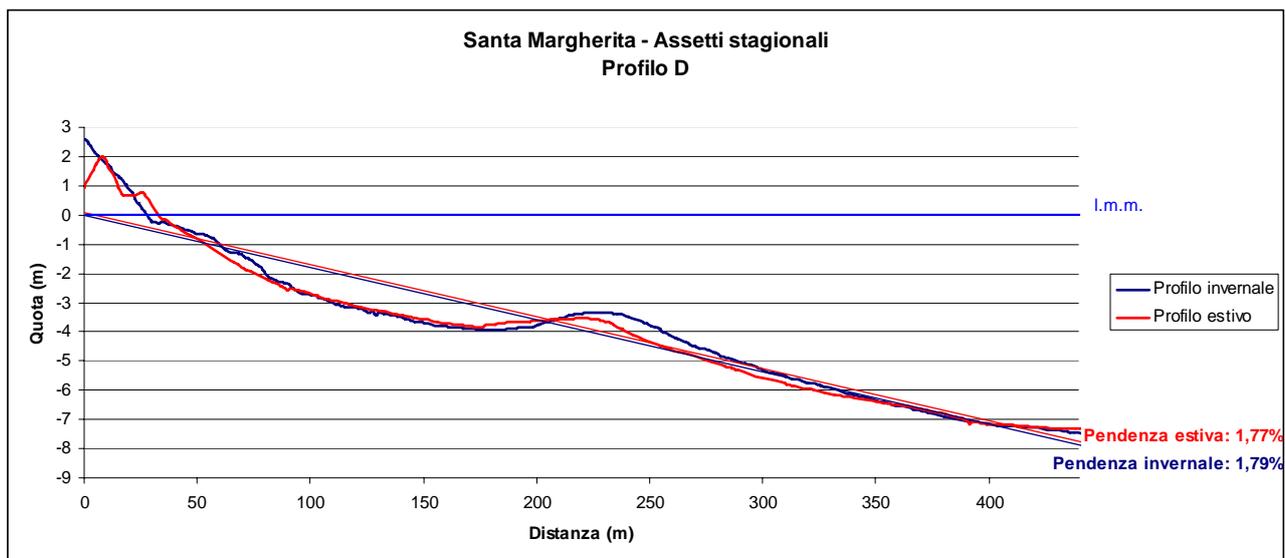


Fig. 102 - Profilo D: spiaggia emersa e sottomarina, Santa Margherita.

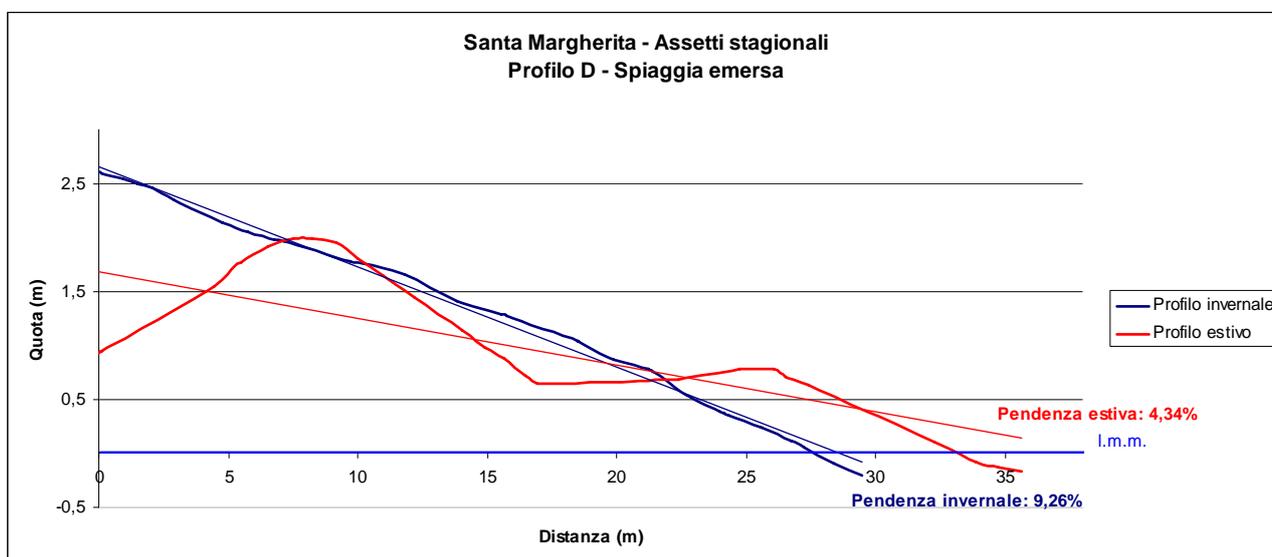


Fig. 103 - Profilo D: spiaggia emersa, Santa Margherita.

Il **Profilo E**, posizionato nel settore NE della spiaggia mostra, nell'assetto invernale, una pendenza pari 1,53% e nell'assetto estivo una pendenza pari a 1,62%. Il profilo invernale si presenta pressoché lineare con una piccola barra posizionata a circa 120 metri dalla battigia e, a fine profilo, si osserva una depressione, dovuta ad un probabile truogolo. Nell'assetto estivo entrambe le strutture risultano spianate (Fig. 104). La spiaggia emersa risulta, in questo profilo, poco estesa e bassa. I profili evidenziano una variazione di pendenza del 15%, da 2,98% in assetto invernale al 3,51% dell'assetto estivo, e mostrano una variazione della linea di battigia di circa 3 metri (Fig. 105).

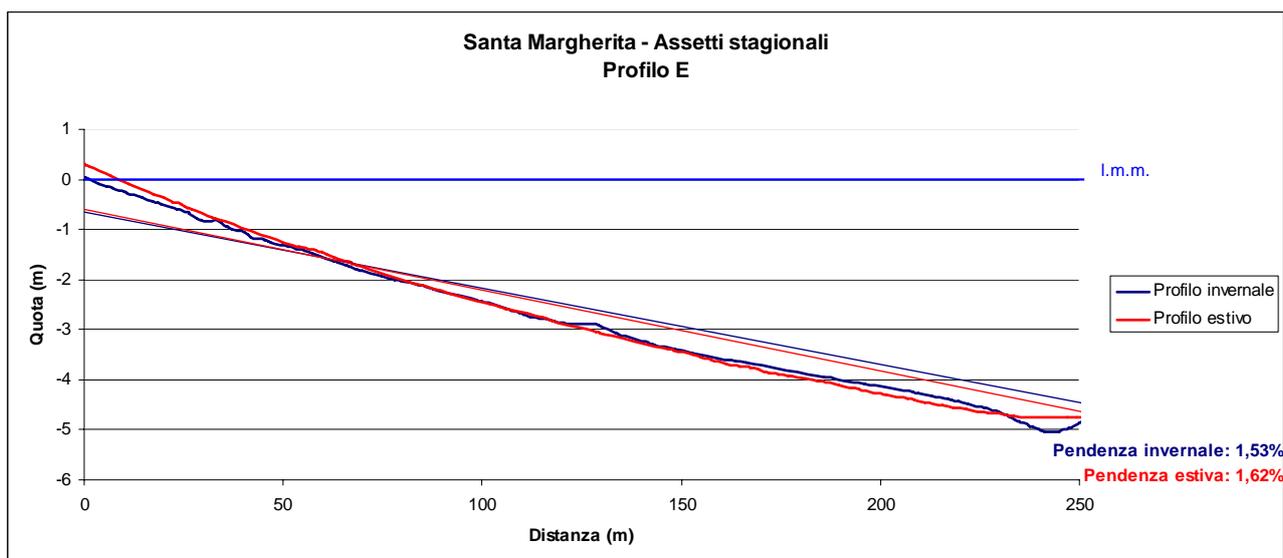


Fig. 104 - Profilo E: spiaggia emersa e sottomarina, Santa Margherita.

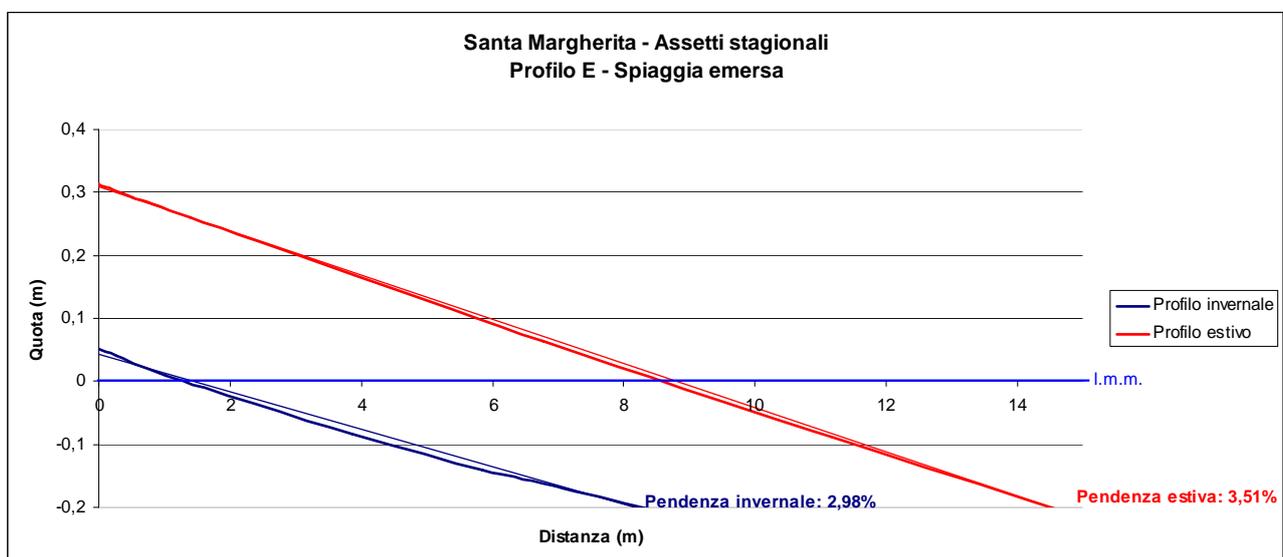


Fig. 105 - Profilo E: spiaggia emersa, Santa Margherita.

In generale si osserva quindi, in assetto invernale, nella porzione di spiaggia compresa dal Profilo D al Profilo A, una serie di strutture a barre e truogoli, parallele alla linea di riva e un'ampiezza della *surfzone* di circa 400 m. D'estate la *surfzone* e tutte le strutture sottomarine si riducono di dimensioni e si osserva una crescita della spiaggia emersa che testimonia, quindi, i processi di scambio tra spiaggia emersa e sottomarina.

B – SOLANAS

Prendendo in esame la spiaggia di Solanas, si osserva, anche in questo caso, che le caratteristiche dei profili (Fig.106), in entrambi gli assetti invernale ed estivo, tendono al modello di spiaggia dissipativa proposto.

I primi metri di spiaggia sottomarina, per quanto riguarda l'assetto invernale, sono tuttavia da considerarsi imprecisi a causa dell'utilizzo di uno strumento differente (ecografo *multibeam*) nel anno 2002, rispetto al rilievo estivo (2007) eseguito con un ecografo *singlebeam* digitale.

Inoltre va evidenziato il notevole apporto di sedimento caratterizzato dalle alluvioni, manifestatesi dal 2003 ad oggi nell'area, e la riapertura della foce del Rio Solanas che si mantiene aperta per quasi tutti i mesi dell'anno.

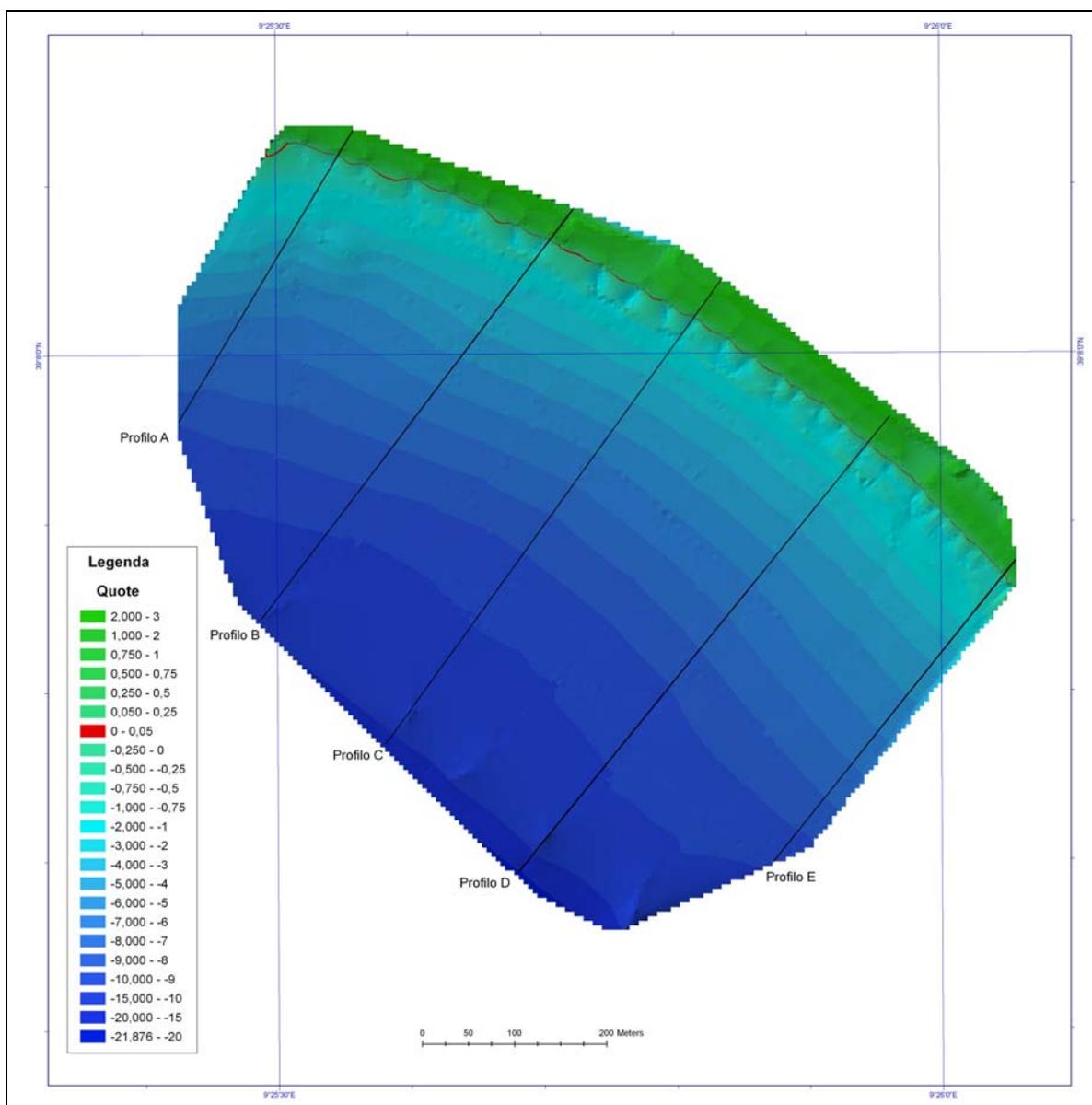


Fig. 106 - Posizione dei profili di spiaggia emersa e sottomarina analizzati per la spiaggia di Solanas.

Il **Profilo A**, posizionato nel settore NW della spiaggia, mostra, nell'assetto invernale, una pendenza pari a 2,98% e, nell'assetto estivo, una pendenza pari a 2,85%.

Il profilo invernale non evidenzia particolari strutture sedimentarie se non per un truogolo intorno ai 300 metri dalla linea di battigia. Il profilo estivo mostra la presenza di un'ampia barra prossima alla battigia che si estende per circa 100 m (Fig. 107). La spiaggia emersa presenta una pendenza lineare del 5,67% nell'assetto invernale contro una pendenza del 6,74% dell'assetto estivo con una variazione del 16%. La linea di battigia si mantiene pressoché stabile (Fig. 108).

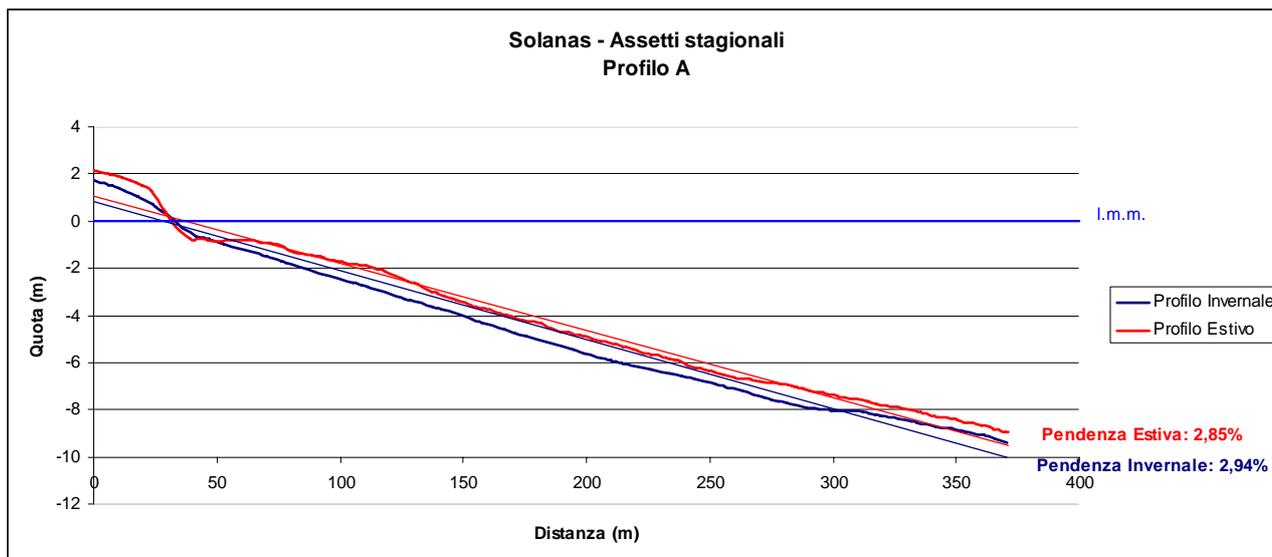


Fig. 107 - Profilo A: spiaggia emersa e sottomarina, Solanas.

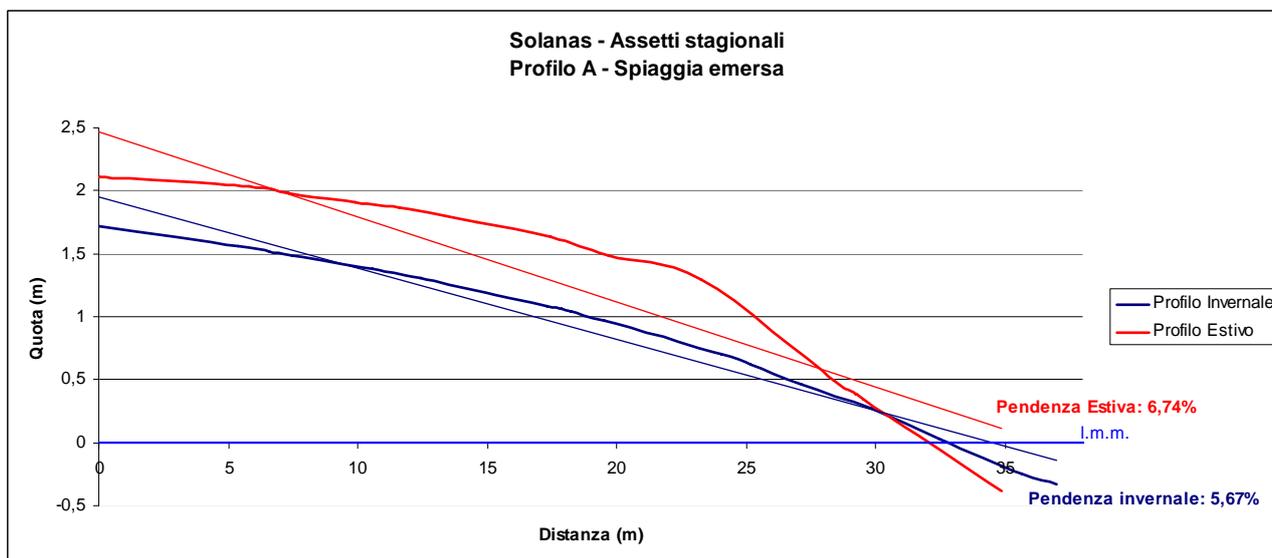


Fig. 108 - Profilo A: spiaggia emersa, Solanas.

Il **Profilo B** mostra andamento simile al Profilo A. Nell'assetto invernale la pendenza è pari a 2,77%, mentre, nell'assetto estivo è pari a 2,35%.

Il profilo invernale mostra un ampio truogolo posizionato a circa -8 metri di profondità, ad una distanza di circa 250 metri (*surfzone*) dalla linea di riva.

Il profilo estivo mostra una barra distante circa 70 metri dalla linea di riva.

Il truogolo evidenziato nel profilo invernale non è presente e tutto il profilo risulta più alto, la surfzone si riduce ad una distanza di circa 150 m (Fig. 109).

La spiaggia emersa mostra un accumulo di sedimento nell'assetto estivo che conferisce una minor pendenza media alla spiaggia passando dal 3,41% dell'assetto invernale al 1,49% di quello estivo con una variazione del 56%. Il corpo di spiaggia emersa avanza, nell'assetto estivo, di circa 5 m (Fig. 110).

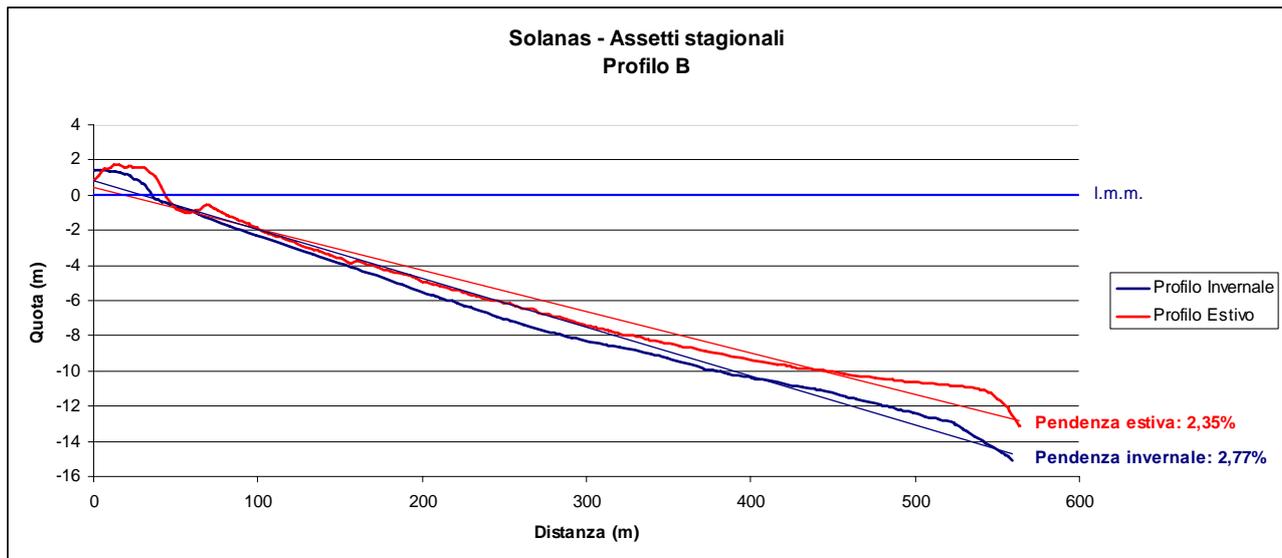


Fig. 109 - Profilo B: spiaggia emersa e sottomarina, Solanas.

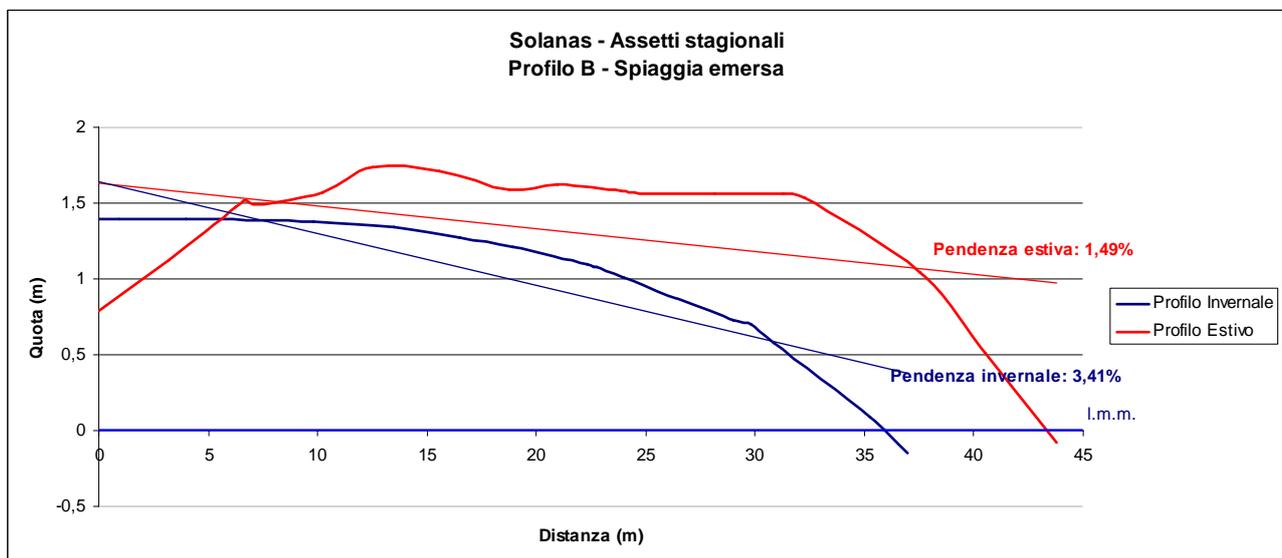


Fig. 110 - Profilo B: spiaggia emersa, Solanas.

Il **Profilo C**, posizionato a centro spiaggia, si mostra pressoché invariato nei due assetti stagionali.

Il profilo mostra una pendenza invernale pari a 2,72% ed estiva pari 2,33%.

L'assetto estivo mostra due barre ravvicinate entro i primi 100 metri dalla linea di riva e un generale sollevamento e spianamento verso l'alto.

La spiaggia emersa rimane pressoché invariata nei due assetti stagionali se non per una minima variazione di pendenza dell'1,6%, passando dal 3,75% dell'inverno al 3,68% dell'estate (Fig. 111). Anche la linea di battigia non fa registrare variazioni significative (Fig. 112).

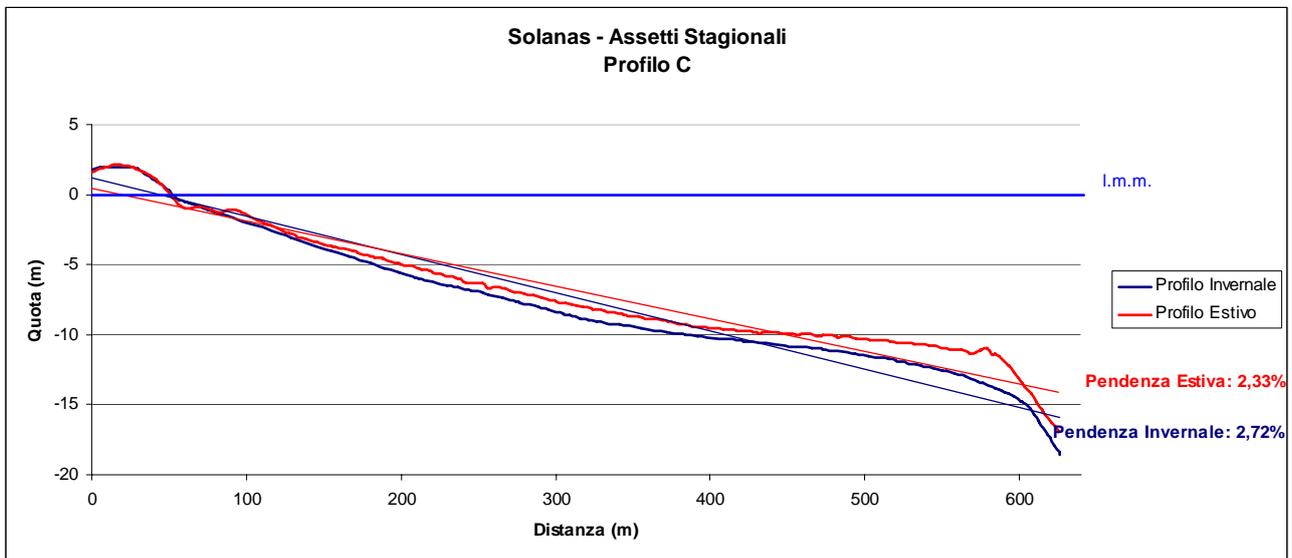


Fig. 111 - Profilo C: spiaggia emersa e sottomarina, Solanas.

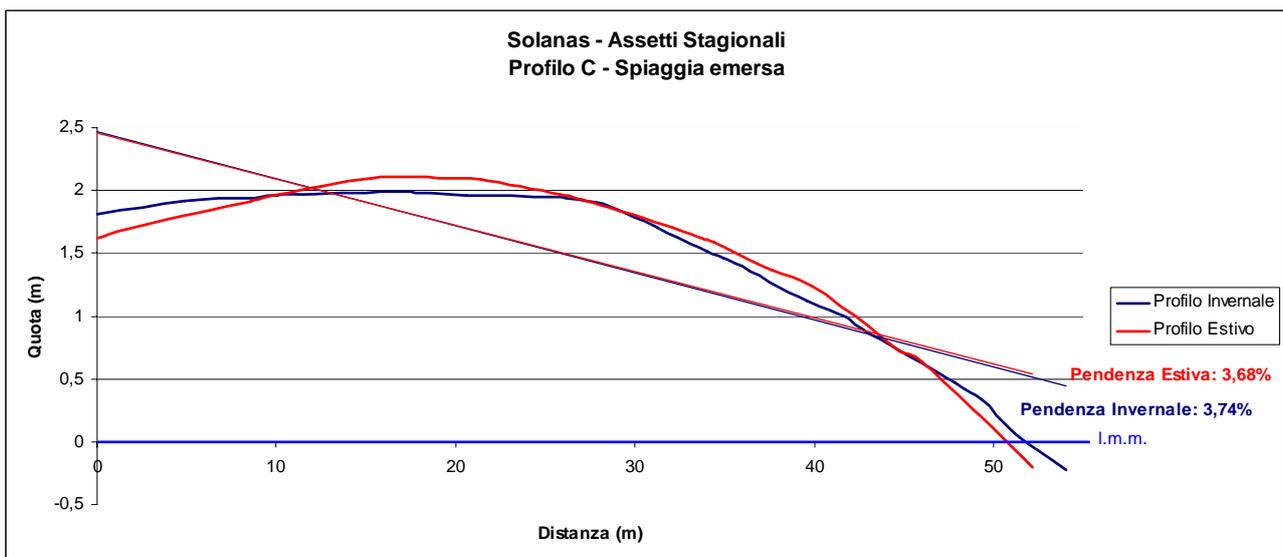


Fig. 112 - Profilo C: spiaggia emersa, Solanas.

Il **Profilo D** mostra nell'assetto invernale una pendenza pari a 2,80% e nell'assetto estivo una pendenza pari a 2,29%.

Il profilo estivo evidenzia una barra sottocosta entro i primi 100 metri dalla linea di riva caratterizzando una *surfzone* ridotta. Come nei profili precedenti si riscontra una tendenza all'accumulo di sedimento soprattutto nella parte terminale del profilo, in prossimità del bordo della piattaforma interna (Fig. 113). La spiaggia emersa risulta, nel profilo estivo, più lineare. Questo andamento è da imputare alla distribuzione dei sedimenti ad opera del Rio Solanas, in piena durante il rilievo invernale. La pendenza cambia dal 7,13% del profilo invernale al 6,25% di quello estivo

con una variazione del 12,4%. Il corpo di spiaggia registra un arretramento estivo di circa 2 metri (Fig. 114).

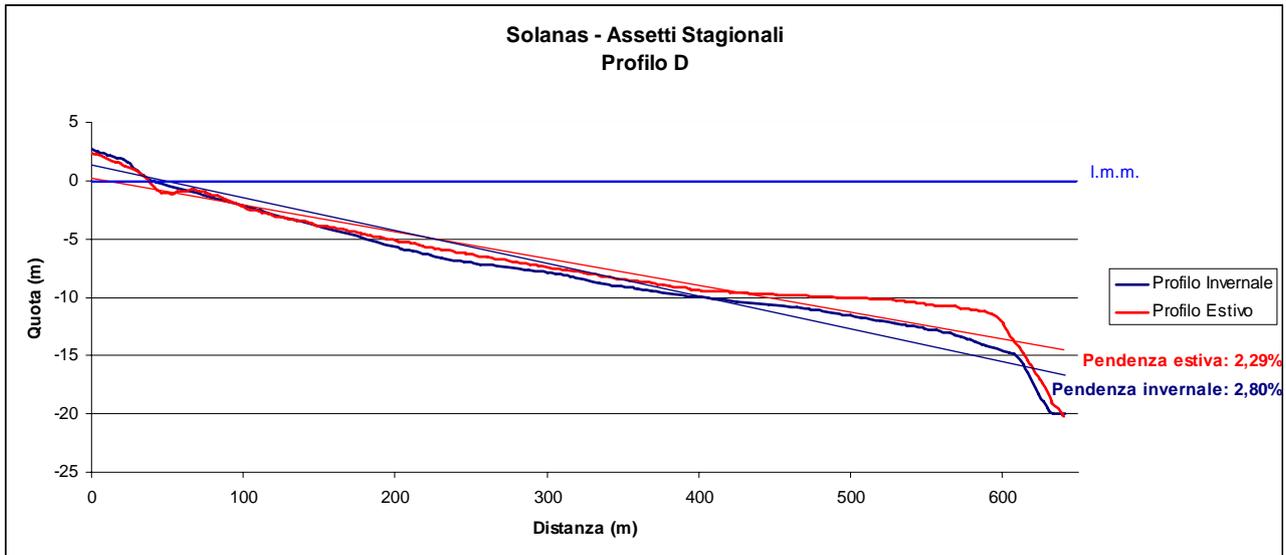


Fig. 113 - Profilo D: spiaggia emersa e sottomarina, Solanas.

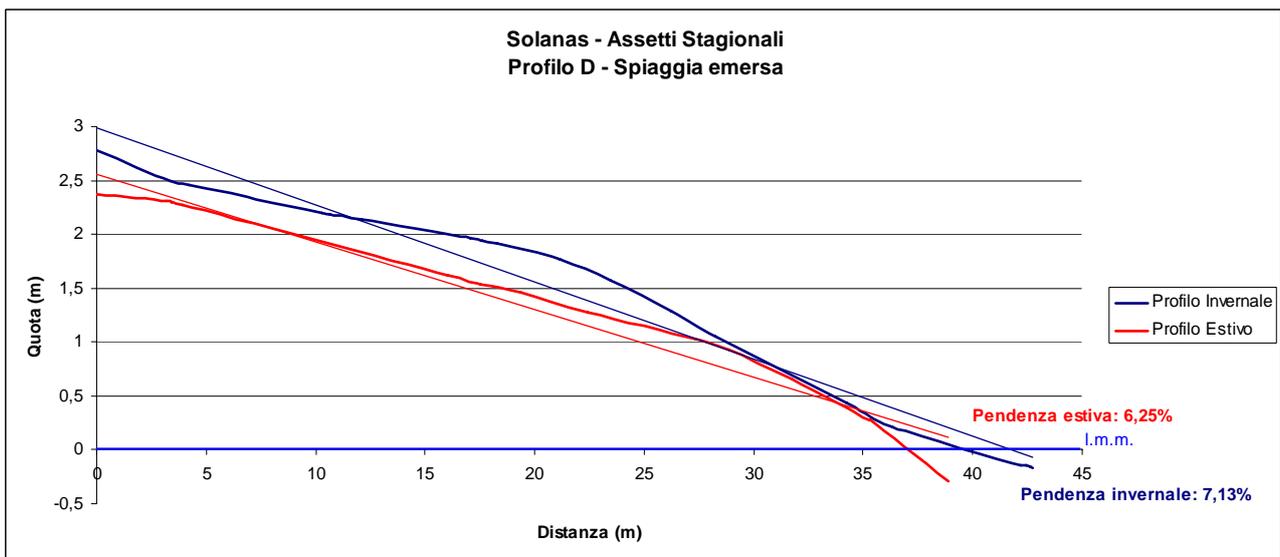


Fig. 114 - Profilo D: spiaggia emersa, Solanas.

Il **Profilo E**, posizionato nel settore SE della spiaggia, in corrispondenza della foce del fiume, mostra nell'assetto invernale una pendenza pari a 2,78% ed in estate una pendenza pari a 2,50%.

Il profilo invernale mostra un sistema con un'ampia barra che si estende sino a 150 metri dalla linea di riva seguita da un trugolo sino alla distanza di 300 metri (*surfzone*).

Il profilo estivo mostra una riduzione della distanza di barra e trugolo con una riduzione della *surfzone* di circa 100 metri. Anche in questo profilo si evidenzia una tendenza ad un livello più alto del fondo mare (Fig. 115). La spiaggia emersa varia da una pendenza invernale di 5,24% a 7,09% dell'assetto estivo dove si evidenzia un accumulo di sedimento, con un valore del 26%. Il corpo di spiaggia mostra una posizione arretrata, nell'assetto estivo, di circa 2 metri (Fig. 116).

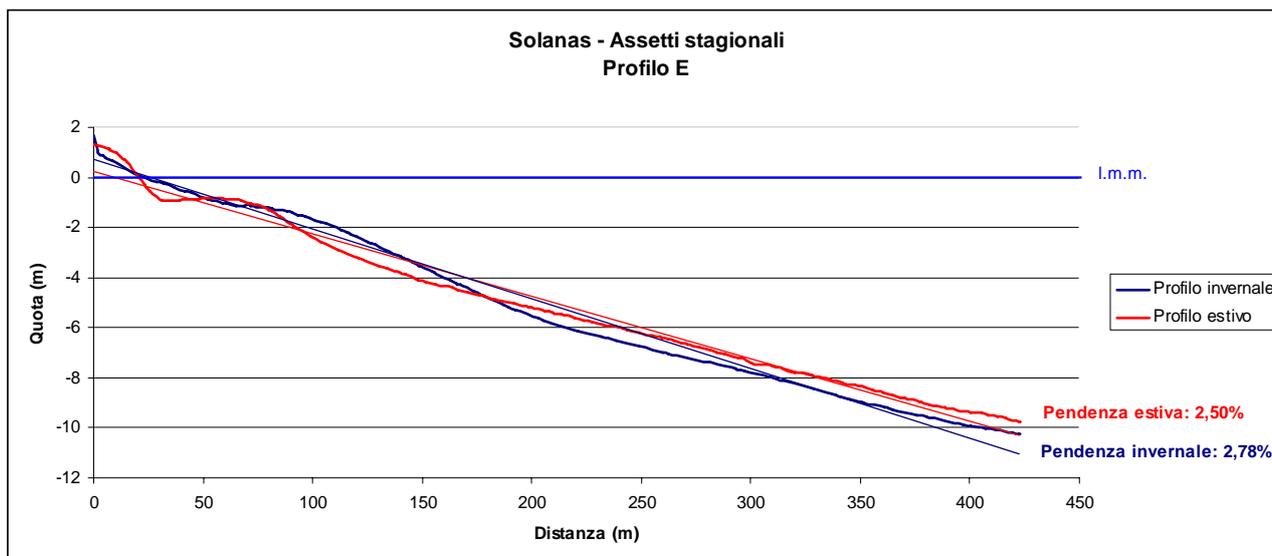


Fig. 115 - Profilo E: spiaggia emersa e sottomarina, Solanas.

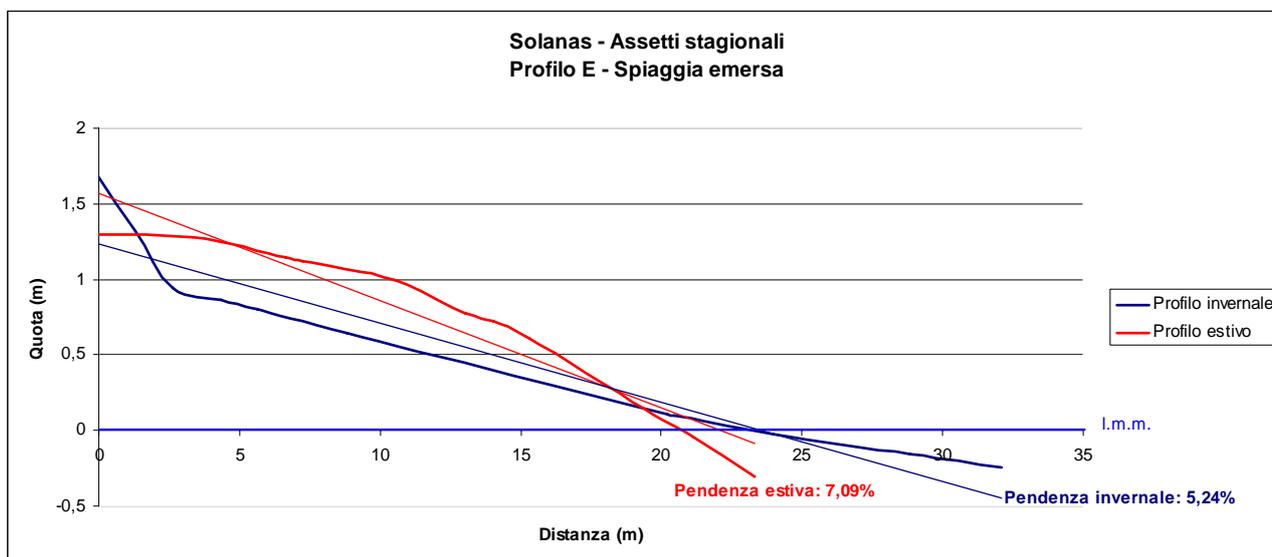


Fig. 116 - Profilo E: spiaggia emersa, Solanas.

In generale si osserva, per l'assetto invernale, la posizione di barre e truogoli sui 300 metri dalla linea di riva, e la formazione di una seconda barra in prossimità della foce, le barre risultano disposte parallelamente alla linea di riva.

Nell'assetto estivo si osserva la presenza di una barra sottomarina, e una riduzione della *surfzone* entro i 50 m, la zona dinamica si sposta sulla fascia batimetrica dei -1 m contro i -8 m dell'assetto invernale.

Con la riduzione dell'ampiezza della *surfzone* il profilo generale della spiaggia risulta spianato e livellato verso l'alto.

2.8 CONCLUSIONI

Lo studio di dettaglio sulle aree campione di Santa Margherita di Pula e di Solanas (Sinnai) è stato condotto, per la prima volta sulle spiagge del Golfo di Cagliari, applicando una metodologia di rilevamento ad alta precisione suggerita dal Progetto pilota Interreg IIIA GERER (De Muro *et alii*, 2008).

I dati acquisiti con nuova strumentazione ed in formato digitale, georeferenziati mediante GPS Differenziale, hanno permesso di ricostruire la morfologia della spiaggia emersa e sottomarina e di realizzare un confronto tra gli assetti, invernale ed estivo.

Questa metodologia ha permesso, inoltre, di entrare nei dettagli relativi ai processi di sedimentazione connessi ai diversi eventi meteomarini e valutare il conseguente assetto e distribuzione dei volumi sedimentari sul sistema spiaggia (quote, pendenze, cresta duna, berme, battigia, barre, truogoli ecc.)

Le analisi sedimentologiche hanno portato alla realizzazione di una mappatura tessiturale superficiale delle due aree in scala 1:10.000 (Allegati 2 e 3). Questa banca dati di base rappresenta il punto di partenza per l'applicazione di formule matematiche necessarie per la ricostruzione del moto ondoso, delle correnti di fondo e dei processi idrodinamici e sedimentologici connessi.

I calcoli sono stati effettuati utilizzando dei software complessi di modellizzazione messi a punto presso l'Università di Delft (Olanda) e ritirati per il Golfo di Cagliari sulla base dei nuovi rilievi da noi effettuati.

MODELLAZIONE DI SPIAGGE CAMPIONE MEDIANTE L'APPLICAZIONE DEL SOFTWARE DELFT3D

3.1 IL SISTEMA DEI MODELLI NUMERICI IN UTILIZZO

Il Gruppo di Geologia Marina e Costiera del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Cagliari ha recentemente acquisito il software DELFT3D, sviluppato dai *Work Laboratories* della *Delft Hydraulics* (Olanda).

DELFT3D è un sistema multi modulare capace di simulare varie fenomenologie tra cui:

- flussi dovuti a marea,
- correnti di densità e vento;
- propagazione d'onde irregolari direzionalmente orientate su batimetrie irregolari;
- onde che variano dinamicamente (“*time varying*”);
- variazioni della morfologia bi-dimensionale;
- qualità dell'acqua.

Il modello è strutturato come una “suite” di programmi, ovvero, con una serie di moduli interconnessi tra di loro, ognuno dei quali utile alla modellazione di un particolare fenomeno. Il “core” del sistema è il modello idrodinamico a cui gli altri modelli convergono e con cui gli altri modelli interagiscono e “dialogano” simulando i fenomeni costieri.

Ognuno di questi moduli ha a che fare con un particolare aspetto dello studio che si vuole affrontare. Alcuni moduli sono fondamentali per qualsiasi tipo di studio si voglia intraprendere perché definiscono la griglia di calcolo e la batimetria entro cui i fenomeni devono essere studiati o la morfologia del fondo; altri, invece, si usano a seconda delle esigenze di studio.

Per particolari approfondimenti sul sistema di modellazione numerica si può far riferimento allo studio pubblicato da Roelvink e Van Banning (1994), nel quale è stato utilizzato sia il modulo idrodinamico che il modulo di qualità dell'acqua.

Per il nostro studio si sono utilizzati i moduli SWAN e FLOW, rispettivamente per lo studio del moto ondoso e dell'idrodinamica.

Modulo Moto Ondoso SWAN

Il modulo SWAN (*Simulating WAVes Nearshore*), sviluppato dalla TU Delft, è un modello spettrale di terza generazione (Booij *et alii*, 1999). Il modello SWAN ha il grande vantaggio, rispetto ai suoi predecessori, di rappresentare i fenomeni fisici esplicitamente grazie a formulazioni di stato

dell'arte e che il modello risulta molto più stabile (schemi completamente impliciti). Le forze delle onde, sono calcolate dal modello sulla base del gradiente del tensore di “*radiation stress*”.

L'evoluzione dello spettro di onda è descritta dall'equazione di equilibrio di azione spettrale (Ris *et alii*, 1999).

Modulo Idrodinamico FLOW

Il modulo idrodinamico, Delft3D-FLOW, è un programma multi dimensionale idrodinamico che calcola flussi non stazionari e fenomeni di trasporto risultanti da forzanti di marea e metereologiche su una griglia curvilinea e ben modellata.

Le equazioni sono risolte con una procedura altamente accurata incondizionatamente stabile. Nel nostro studio si sono utilizzate soprattutto le possibilità del modello di modellare i flussi idrodinamici dovuti ad onde e di calcolare e modellare il trasporto di sedimenti (Lai, 2008).

Il modulo FLOW si basa sulle equazioni di Navier-Stokes per un fluido incompressibile, sotto le assunzioni di Boussinesq per le acque basse. Tale modulo, attraverso una procedura automatica recentemente implementata, comprende al suo interno il modulo morfodinamico utile, unitamente al modulo di moto ondoso, a simulare i fenomeni morfodinamici costieri.

La formula che lega il trasporto alle forze d'onda è quella di Bijker (1971). Essa è una formulazione frequentemente utilizzata nelle aree costiere in presenza di correnti generate da moto ondoso.

Il trasporto dei sedimenti sul fondo e quelli in sospensione sono trattati separatamente ovvero:

$$S = S_b + S_s$$

dove S_b è il trasporto di sedimenti sul fondo e S_s è il trasporto di sedimento in sospensione.

Dal punto di vista numerico, il modello discretizza l'intera area in celle-griglia sul piano orizzontale. L'insieme delle equazioni differenziali è così trasformato nello spazio discretizzato. Ogni cella contiene quindi un valore di battente idrico, di batimetria, di velocità nella direzione x della griglia, ed un valore nella direzione y.

Tutti questi valori sono allocati in uno schema denominato “griglia sfalsata”, poiché ogni valore è definito in punti diversi della stessa cella della griglia. L'insieme delle equazioni differenziali parziali è risolto utilizzando un metodo alle differenze finite. Il modulo FLOW utilizza il cosiddetto metodo ADI, *Alternating Direction Implicit*

3.2 ANALISI PRELIMINARI E SET-UP DEL MODELLO

L'impostazione del modello per l'effettuazione delle simulazioni idrodinamiche è stato preceduto da una serie di operazioni necessarie alla corretta e puntuale definizione delle condizioni al

contorno del sito di interesse. In particolare, sono state effettuate una serie di campagne volte al campionamento dei sedimenti, delle forme locali, della morfologia e batimetria dei fondali.

La caratterizzazione meteo-marina del paraggio è stata effettuata facendo di riferimento a più fonti (Aeronautica Militare, Marina Militare, Rete Ondametrica Nazionale, Rete Mareografica Nazionale, United Kingdom Metereological Office) oltre che ad uno studio dei dati e pubblicazioni precedentemente effettuate sul Golfo di Cagliari.

I dati di marea utilizzati sono quelli rilevati nel porto di Cagliari nel periodo di rilevamento effettuato in corrispondenza delle campagne a mare. Il clima del mare e del vento è stato determinato sia grazie a dati effettivamente registrati, sia a ricostruzioni di tipo statistico.

Lo studio di modellizzazione è suddiviso in diverse fasi concatenate e successive.

Note le “*boudary conditions*” si procede con la realizzazione di una serie di griglie di calcolo con dettaglio crescente, queste forniscono al software l’area di lavoro in cui verranno eseguite le simulazioni di moto ondoso e i computi idrodinamici.

Nel nostro studio sono state predisposte in totale cinque griglie.

La prima è generale sul golfo di Cagliari e ricopre un areale compreso trasversalmente tra Capo Carbonara e Capo Spartivento e longitudinalmente tra la linea di costa e la quota batimetrica di -125 m s.l.m.

La profondità limite della griglia è stata scelta in base alle statistiche di moto ondoso e in base alla lunghezza d’onda massima registrata nel Golfo. La profondità è importante per la relazione $\lambda/2$ che descrive il limite di interazione delle onde col fondo mare.

Sono state poi predisposte delle griglie intermedie per le due aree campione antistanti e delle griglie strettamente dettagliate sulle spiagge.

La costruzione delle griglie è un passo importante perché queste devono tener conto delle possibili direzioni di vento e i collegati eventi meteomarini e devono prevedere degli areali in cui si possano generare fenomeni di riflessione o rifrazione.

Nella griglia generale del Golfo e nelle due intermedie si è utilizzata la linea di costa acquisita dalla bibliografia (Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio 2002; RAS 1998) mentre per le due griglie di dettaglio la battigia è stata rilevata direttamente con il DGPS.

La griglia più ampia e meno definita (*Corse*) e la intermedia (*Medium*) sono utilizzate dal solo modello d’onda, mentre la più dettagliata (*Fine*), è utilizzata sia dal modello d’onda (*Swan*) che da quello idromorfodinamico (*Flow*): è in fatti in questa che si determinano le dinamiche costiere innescate dagli eventi meteo-marini.

La fase successiva è stata quella dell’inserimento dei dati batimetrici nelle griglie.

Per quanto riguarda la batimetria generale del Golfo si è utilizzato lo schema prodotto nelle precedenti fasi di lavoro, trasformando i dati in un listato di punti x,y,z, formato utilizzato dal software per l'inserimento nella griglia.

Per le griglie di dettaglio la batimetria è stata rilevata in maniera diretta mediante ecografo doppia frequenza digitale collegato ad un DGPS. Per la spiaggia di Solanas è stato possibile integrare questo rilievo con un precedente rilievo Multi Beam con risoluzione metrica (Kalb, 2002).

Le funzioni di interpolazione dei punti del software hanno poi permesso di realizzare una ricostruzione digitale del fondo mare, specifica per ogni griglia.

Il passo successivo è quello di costruire i modelli d'onda specifici per le due spiagge mediante l'applicazione del modulo SWAN del Delft3D.

Il modello d'onda si genera dall'inserimento di dati di vento quali direzione, intensità.

Il modello procede per fasi di calcolo predefinite ed interattive fino al completo svolgimento del processo costiero in esame. Il modello d'onda ed il modello idrodinamico, una volta impostate le condizioni al contorno e definiti gli intervalli di tempo oggetto dell'indagine, cominciano il loro calcolo risolvendo, passo dopo passo, le equazioni. La comunicazione tra i due moduli è garantita da un file di comunicazione.

3.3 APPLICAZIONE DELFT 3D

Il modello *Delft3d* è stato testato con degli eventi tipo che si possono manifestare nel Golfo di Cagliari, sia per la spiaggia di Solanas che per quella di Santa Margherita.

Si è scelto di modellizzare gli eventi meteomarini ricadenti nei settori di traversia delle due spiagge e utilizzare velocità di 5, 10 e 25 metri al secondo, inoltre il modello si è applicato ai giorni del rilievo diretto di terreno e all'evento, considerato come estremo, immediatamente precedente al rilievo stesso.

I modelli ottenuti simulano quindi (Figura a lato):

- Vento di Maestrale (direzione 310°);
- Vento di Libeccio (direzione 220°);
- Vento di Scirocco (direzione 120°);
- Vento di Ponente (direzione 270°) per Solanas;
- Vento di Levante (direzione 90°) per Santa Margherita.



Per quanto riguarda le simulazioni confrontabili direttamente con i rilievi delle spiagge si è modellizzato per l'assetto invernale di Santa Margherita l'evento del 15/12/2006 (M01) caratterizzato da un vento con direzione 107° e intensità massima di 7,8 m/s e le condizioni del giorno del rilievo 20/12/2006 (M02), caratterizzate da un vento con direzione 322° e intensità massima di 1,9 m/s.

Per l'assetto estivo si è modellizzato il giorno (10/06/2007) caratterizzato da un vento con direzione 160° e intensità 6 m/s (M03) e le condizioni del giorno del rilievo (5/07/2007) caratterizzate da un vento con direzione 310° e velocità 8,3 m/s (M04).

Per la spiaggia di Solanas in assetto invernale si è modellizzato sempre l'evento del 15/12/2006 (L01 - direzione 107°, intensità 7,8 m/s) e il giorno del rilievo (29/12/2007) caratterizzato da un vento con direzione 323° e velocità 2,4 m/s (L02).

Per l'assetto estivo si è modellizzato il giorno 2/06/2007 (L03) caratterizzato da un evento con direzione 298° e intensità massima di 11,2 m/s e il giorno del rilievo (18/06/2007) caratterizzato da un vento con direzione 182° e velocità massima di 8 m/s (L04).

Come parametri di settaggio, richiesti dal software, si sono utilizzati:

Significant wave height H_s = $H^{1/3}$: Media del $1/3$ delle onde più alte registrate; di solito coincide con l'altezza d'onda osservata.

Peak period ($T_p = 4,15 \sqrt{H_s}$): Periodo d'onda al quale è associato il maggior contenuto energetico dell'onda stessa.

Direction (nautical): direzione della provenienza del vento espressa in gradi.

Directinonal spreading: parametro che rappresenta lo stato di formazione dell'onda, es. onda in scaduta (10°), onda di mare vivo (30°) ecc.

Prima delle modellazioni si è proceduto a testare il modello d'onda generato dal Modulo SWAN del Delft3D. Si è proceduto ricreando dei modelli d'onda confrontabili con i dati registrati dalla Boa Ondametrica di Cagliari, rimasta operativa dal 1/07/2001 al 30/12/2003 situata in posizione Lat: $39^\circ 7' 40''$ - Long: $9^\circ 08' 06''$ (Figura a lato).



Sono stati quindi osservati i dati della Rete Mareografica Nazionale e identificati dei punti da modellizzare col software in modo da confrontare poi questi dati ottenuti con i dati reali della BOA RON.

Le condizioni a contorno sono state quindi calcolate sulle condizioni medie stagionali rilevate dalla boa nel periodo d'attività.

Per questo si sono osservati i dati meteomarini dal mese di novembre 2006 sino a luglio 2007 (vedi Appendice 2), periodi nei quali sono stati effettuati i rilievi delle spiagge (assetto invernale e assetto estivo).

Sono stati quindi creati 32 modelli d'onda (modulo SWAN) e relativi modelli idrodinamici (modulo FLOW) al fine di ricreare le condizioni caratterizzanti la mobilizzazione dei sedimenti dello *shoreface* e la conseguente formazione o rimozione delle strutture sottomarine prossime alla zona di battigia (barre, truogoli ecc.).

Per una più comoda consultazione si è scelto di rappresentare nella tesi le simulazioni degli eventi reali registrati e gli eventi maggiormente efficaci nelle due spiagge campione, ovvero venti di Scirocco e Levante, con intensità 10 e 25 m/s, per la spiaggia di Santa Margherita (M05, M09, M11, e M12) e vento di Libeccio e Maestrale, con intensità 10 e 25 m/s, per la spiaggia di Solanas (L05, L07, L10 e L11).

3.4 DESCRIZIONE RISULTATI DEL MODELLO – SANTA MARGHERITA

SIMULAZIONE M01

Data simulata:	15/12/2006	
Località:	Santa Margherita di Pula	
Evento Meteomarinò:	Direzione:	107°
	Velocità (m/s):	7,8
	Durata (h):	24
Condizioni a contorno:	Hs (m):	0,5
	T _p (s):	5,7

L'evento simulato interessa la spiaggia di S. Margherita nel suo settore di traversia ed è associabile come direzione ad un vento da Scirocco.

I vettori d'onda al Tempo 0 intersecano la batimetria dei 15 m con un angolo di circa 100° su tutto il settore della spiaggia sottomarina. Gli effetti di rifrazione si innescano in prossimità della batimetria dei 2 m evidenziando rotazioni dei vettori fino a 30° verso Sud (angolo finale di approccio 130°) (Fig. 117).

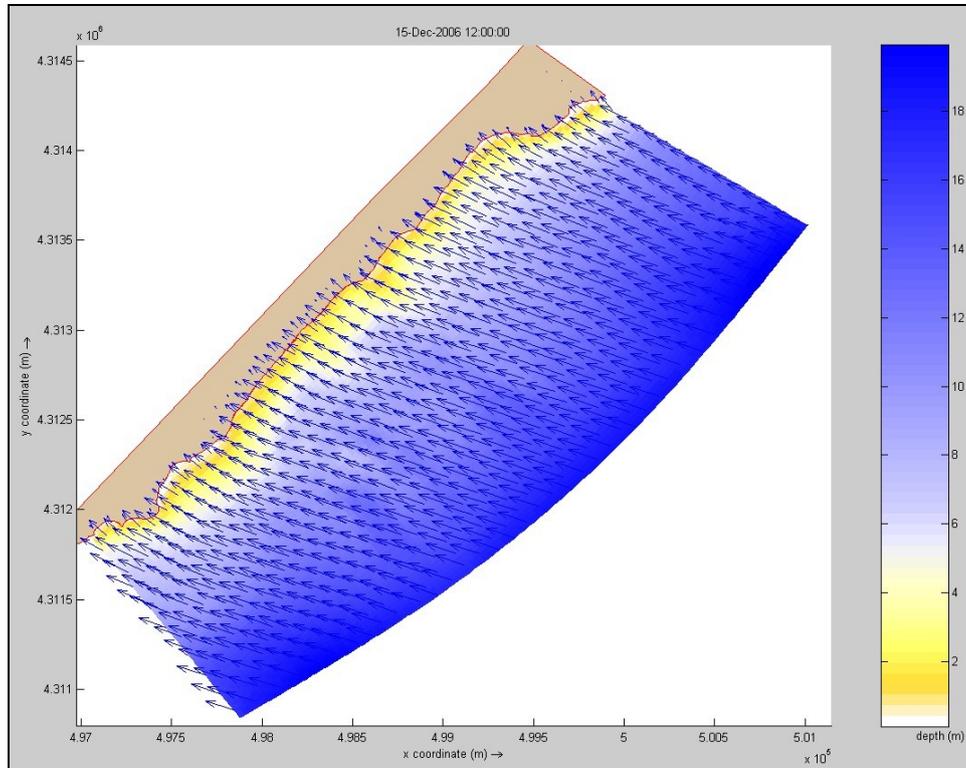


Fig. 117 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda a T=0. Valori di profondità espressi in metri.

Dopo 12 ore i vettori d'onda si mantengono pressoché costanti, con variazioni di direzione minime e poco influenti (Figg. 118 e 119). Questo determina nei tratti di spiaggia centrali e sud-occidentali l'innescò di una corrente *longshore*, ben visualizzabile nella Figura 121.

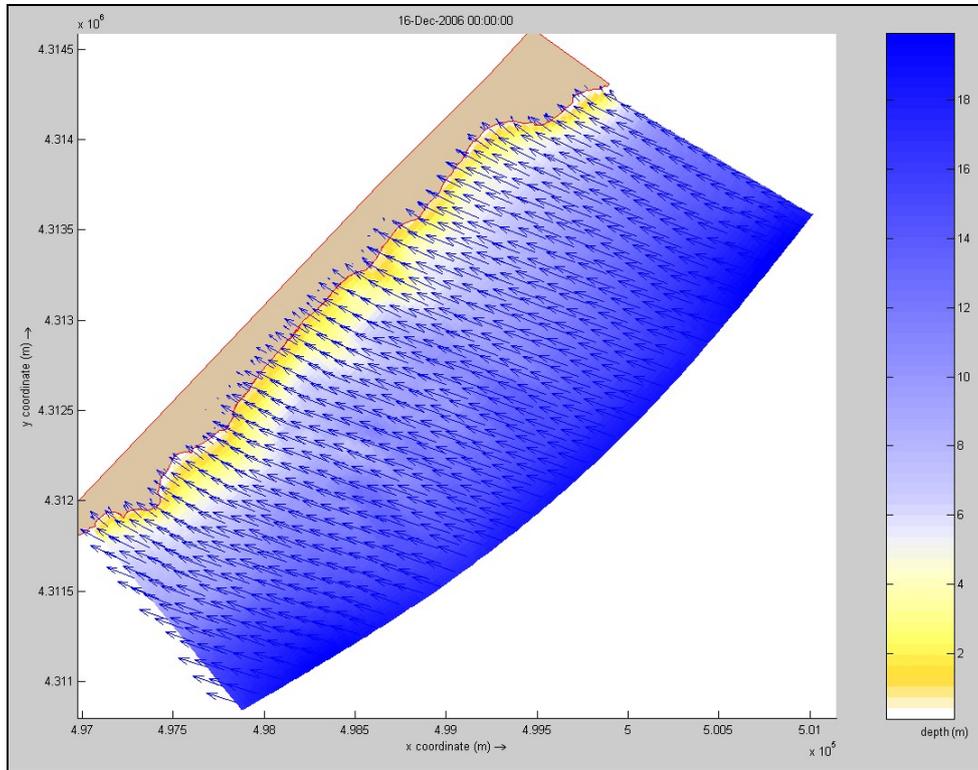


Fig. 118 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 12 ore di modellazione. Valori di profondità espressi in metri.

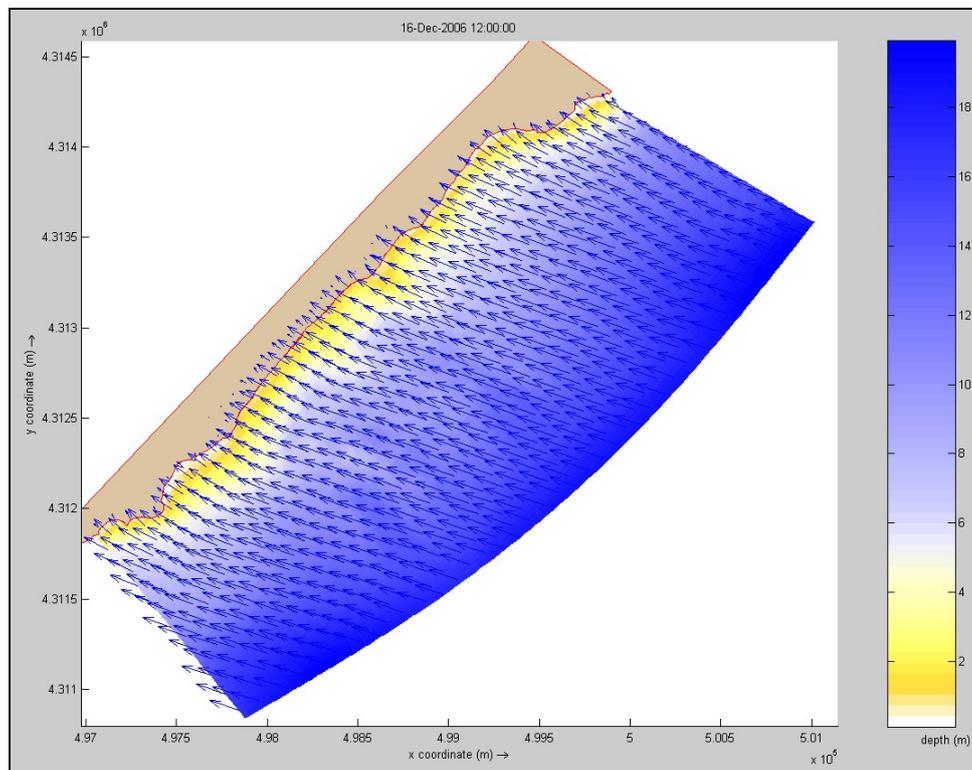


Fig. 119 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 24 ore di modellazione. Valori di profondità espressi in metri.

La simulazione dell'assetto idrodinamico descrive la formazione di una corrente lungoriva che si propaga principalmente in direzione NE-SW e che attiva delle celle di circolazione e la formazione di *rip-current* asimmetriche in prossimità dei punti di convergenza dei raggi d'onda (principali cuspidi strutturali della spiaggia legate all'affioramento del basamento roccioso) (Figg. 120 e 121). Questa circolazione, inizialmente parallela alla spiaggia, compresa tra la battigia e la isobata dei 2m, si orienta trasversalmente, dopo le prime 2 ore, aumentando progressivamente d'intensità e mantenendosi costante nell'arco delle 24 ore di modellazione (Figg. 122-125). Queste *rip-current* asimmetriche con deflusso a prevalente direzione Sud, generano piccole formazioni di barre e truogoli che di fatto portano l'estensione della *surfzone* a circa 300 m dalla spiaggia emersa (cfr. paragrafo 2.7).

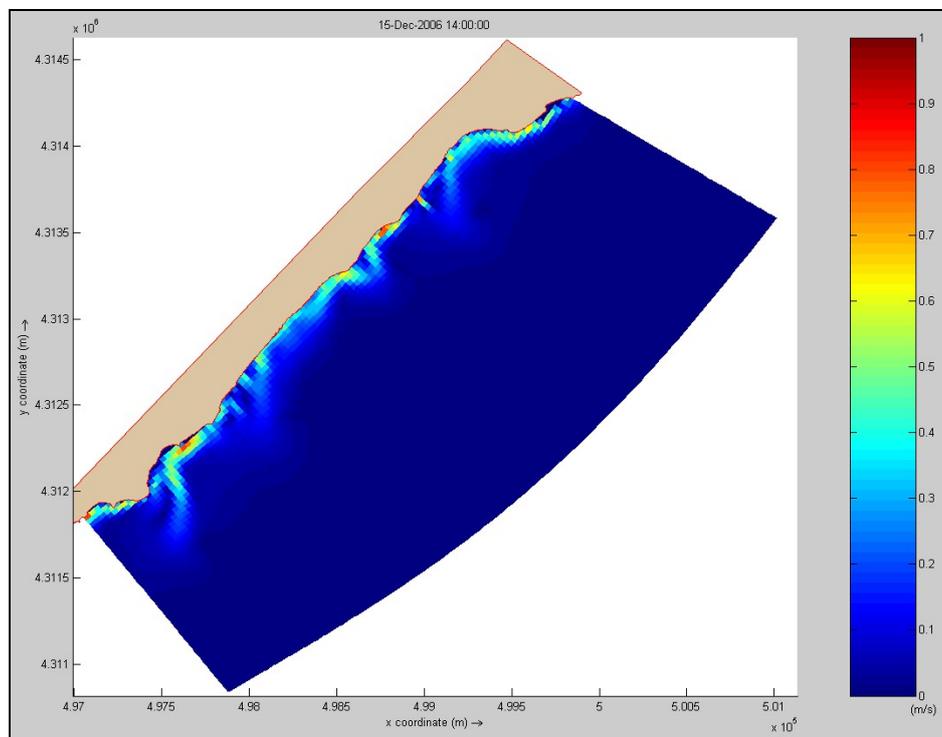


Fig. 120 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

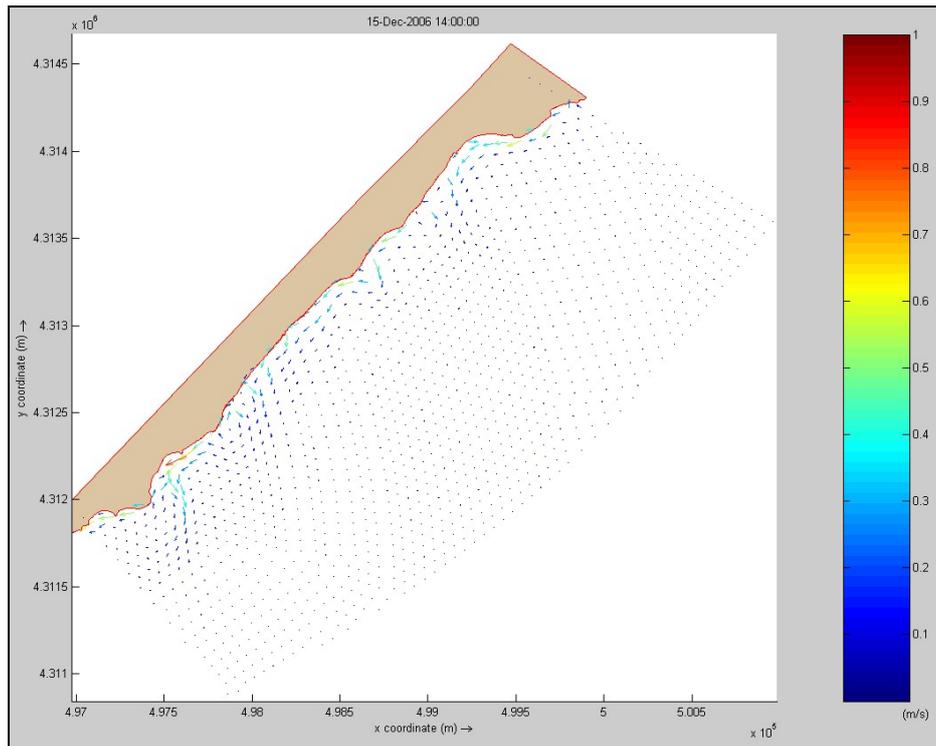


Fig. 121 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

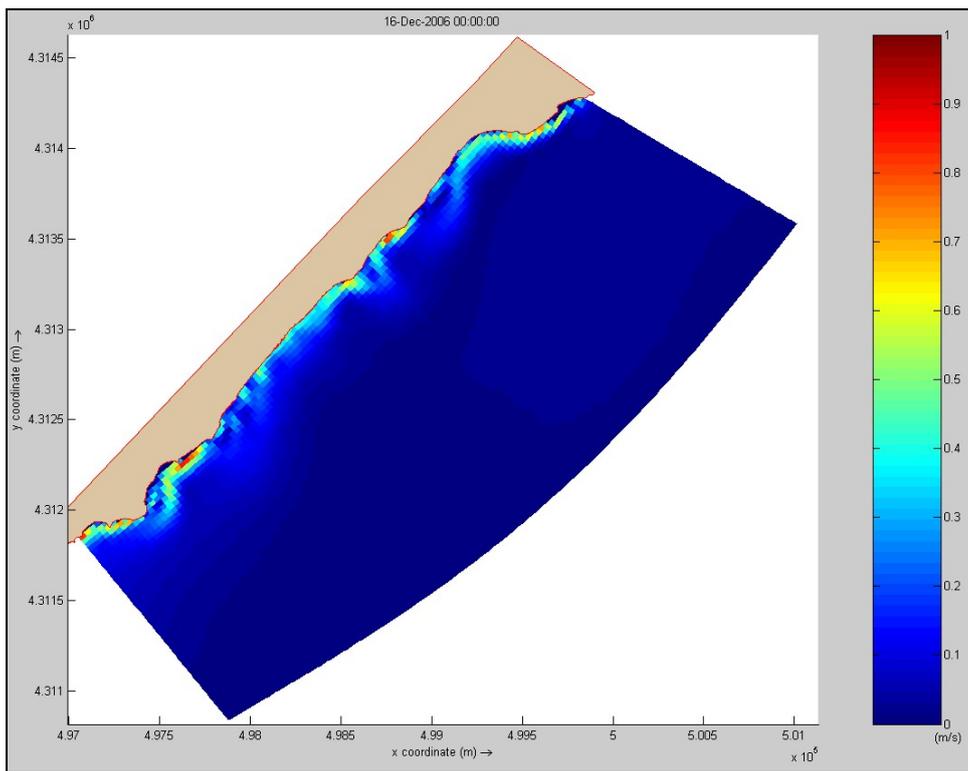


Fig. 122 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

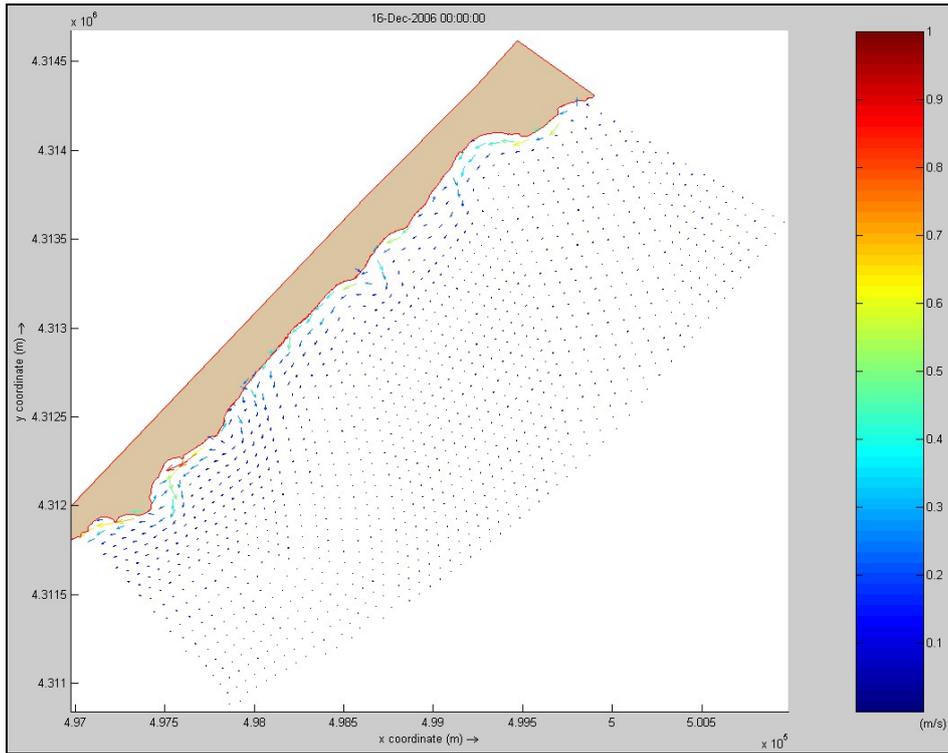


Fig. 123 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

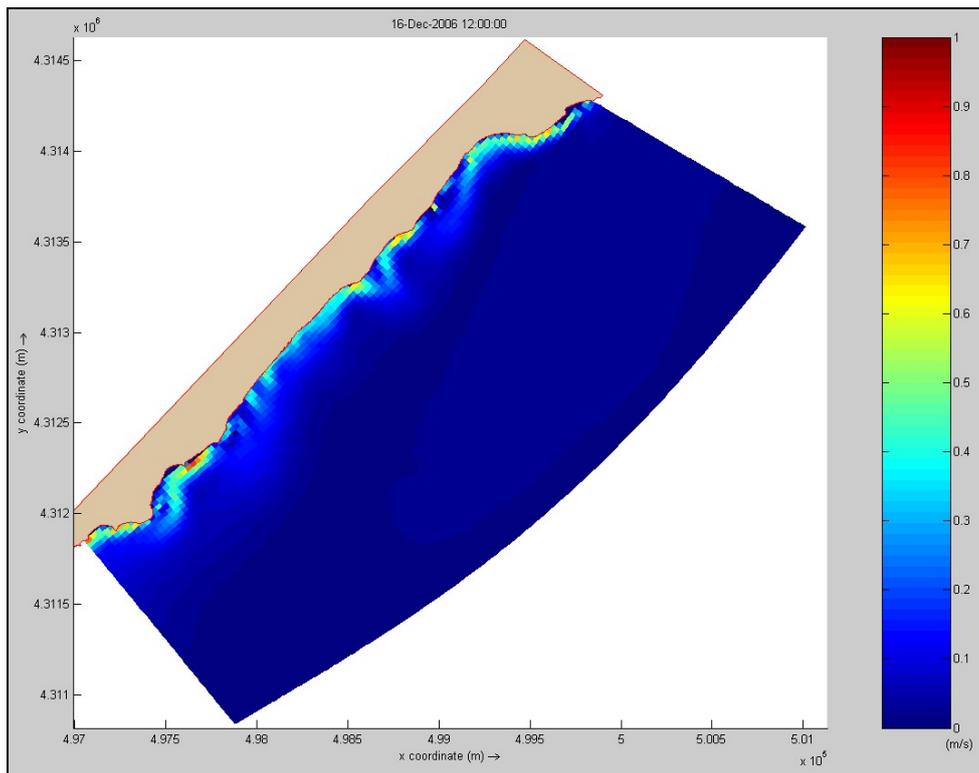


Fig. 124 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

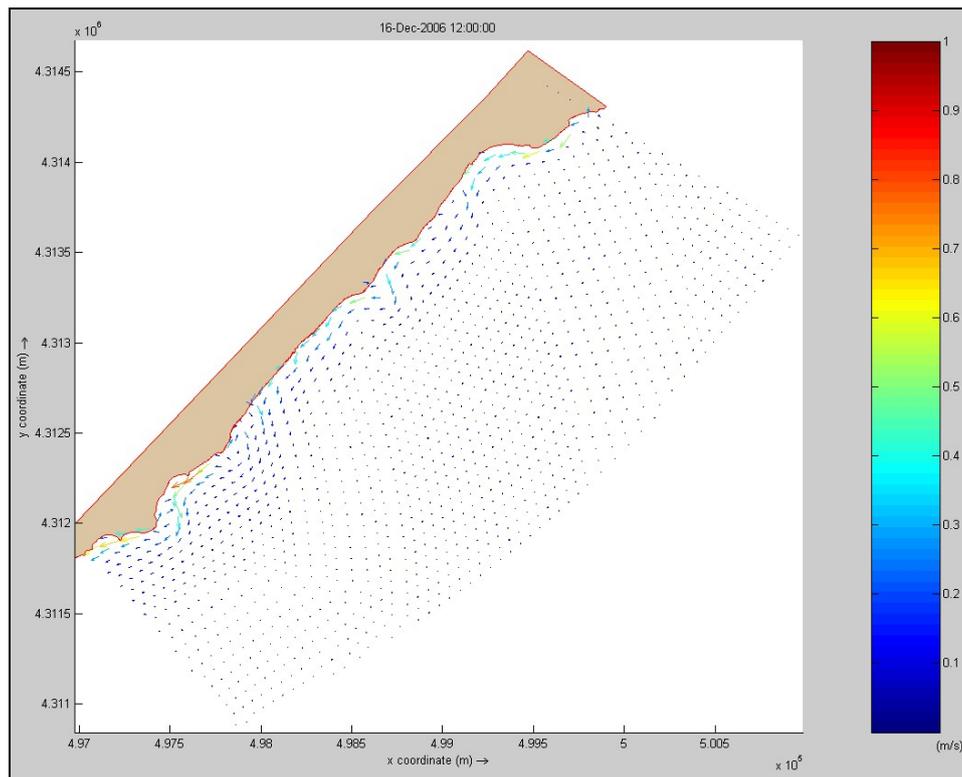


Fig. 125 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Gli spostamenti sedimentari si possono valutare mediante la rappresentazione di erosione/sedimentazione fornita dal software. In questa schermata si evidenzia a partire da 14 ore dopo l'inizio della modellizzazione come si delinea la struttura a barre dei primi metri dello *shoreface* superiore (Fig. 126).

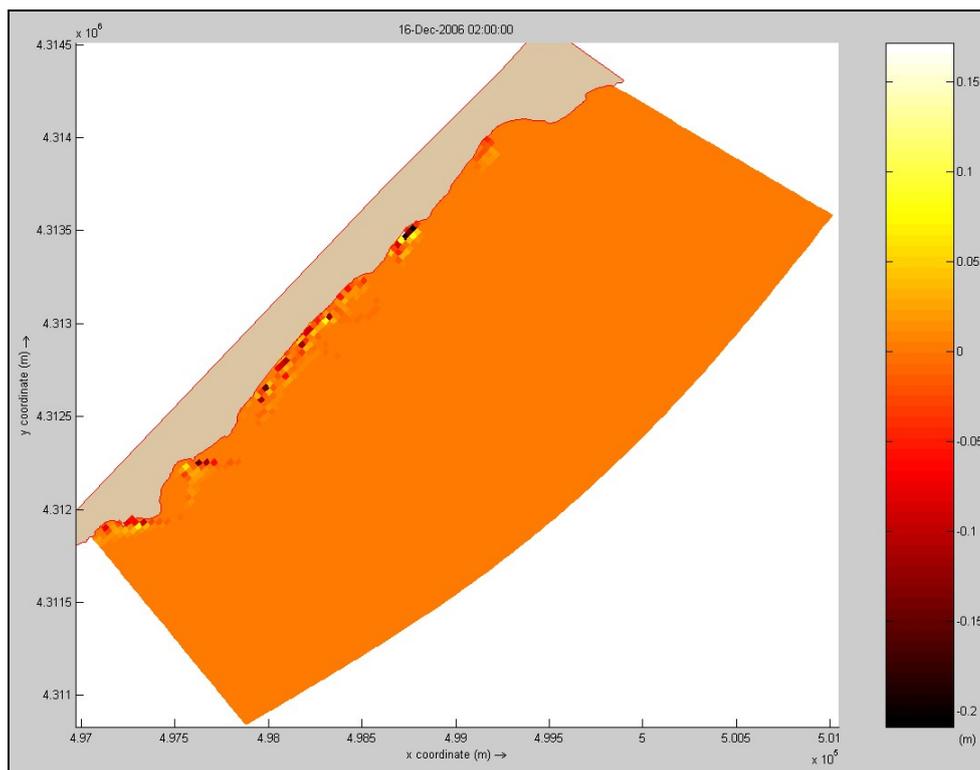


Fig. 126 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 14h di simulazione. Valori espressi in metri.

Dopo le prime 14 ore si evidenzia, nella zona centrale della spiaggia, la formazione di due barre parallele con un truogolo centrale (colori scuri) e si generano, in prossimità dei *plume* di dispersione delle *rip*, truogoli e barre a festoni che ne delincono l'assetto. Questa strutturazione prosegue per tutta la durata dell'evento (Fig. 127).

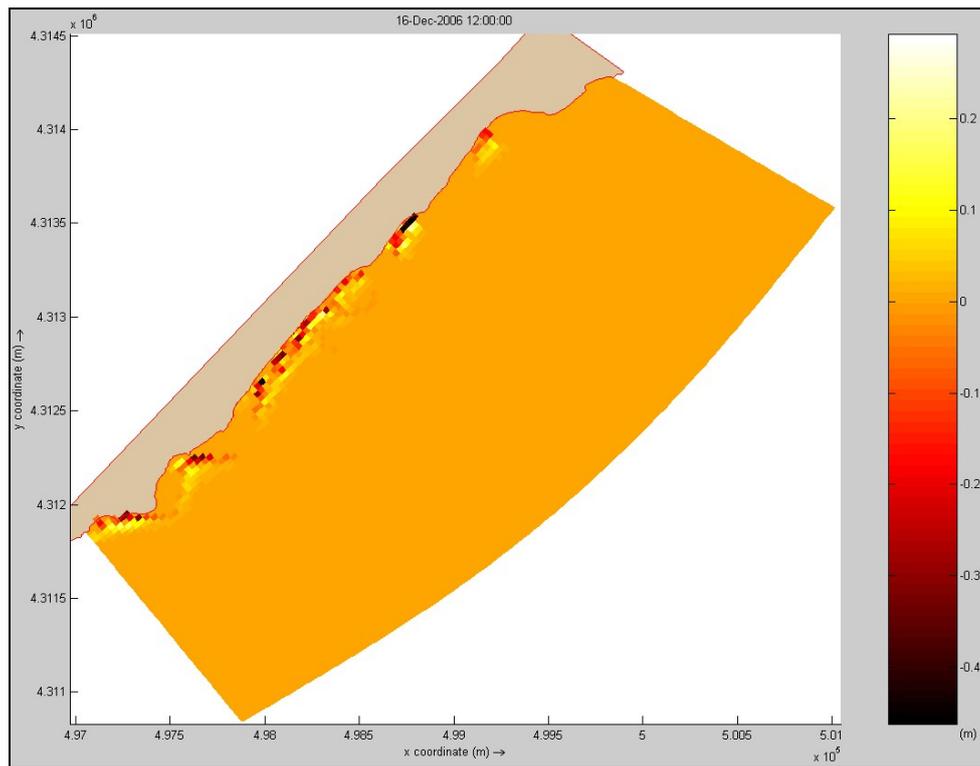


Fig. 127 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 24h di simulazione. Valori espressi in metri.

SIMULAZIONE M02

Data simulata:	20/12/2006	
Località:	Santa Margherita di Pula	
Evento Meteomarinò:	Direzione:	322°
	Velocità (m/s):	1,9
	Durata (h):	24
Condizioni a contorno:	Hs (m):	0,5
	T _p (s):	5,7

Questa seconda simulazione riproduce le condizioni riscontrate il giorno del rilievo invernale effettuato il 20/12/2006 (vento da Maestrale).

Per effetto della rifrazione del moto ondoso attorno al Capo Spartivento i vettori delle onde modificano la loro direzione, rispetto ai 322° di partenza (onde al largo), acquisendo progressivamente direzione SW. Al tempo 0 i fronti d'onda alle batimetriche maggiori di 2 metri si orientano con angoli paralleli alla costa (generando un debole deflusso lungoriva in direzione NE) mentre tra i 2 m di profondità e la battigia si generano rifrazioni fino a 180° che innescano localmente (in prossimità di cuspidi rocciose) deboli processi di trasporto trasversali alla spiaggia (Fig. 128).

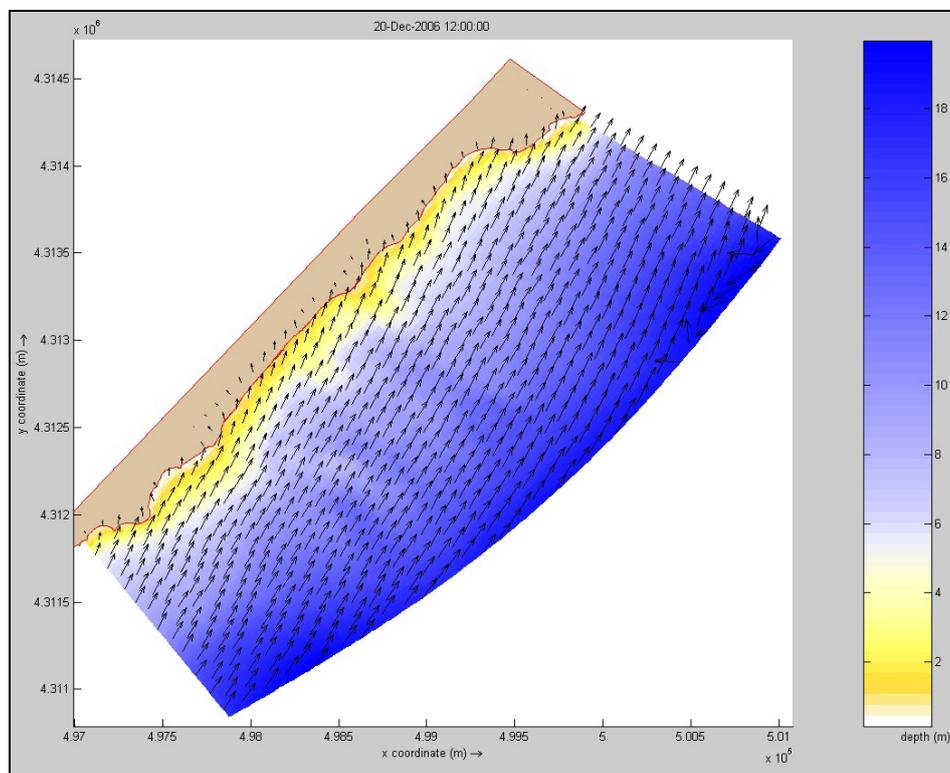


Fig. 128 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda a T=0. Valori di profondità espressi in metri.

Tale situazione rimane costante per 12 ore di modellizzazione (Fig. 129).

Dalla rappresentazione cartografica si osserva, nella aree più distanti e più profonde della spiaggia sottomarina (tra i -14 e i -18 m), l'innesco di una cella di circolazione oraria che si traduce alle batimetriche di minore profondità (comprese tra battigia e -2 m) in un approccio dei raggi d'onda ortogonale alla spiaggia. Conseguentemente prevale nelle ultime 12 ore un'idrodinamica che da parallela alla costa si orienta trasversalmente (Fig. 132) per poi riportarsi ad un assetto prevalentemente *longshore* nel tratto sud-occidentale della spiaggia.

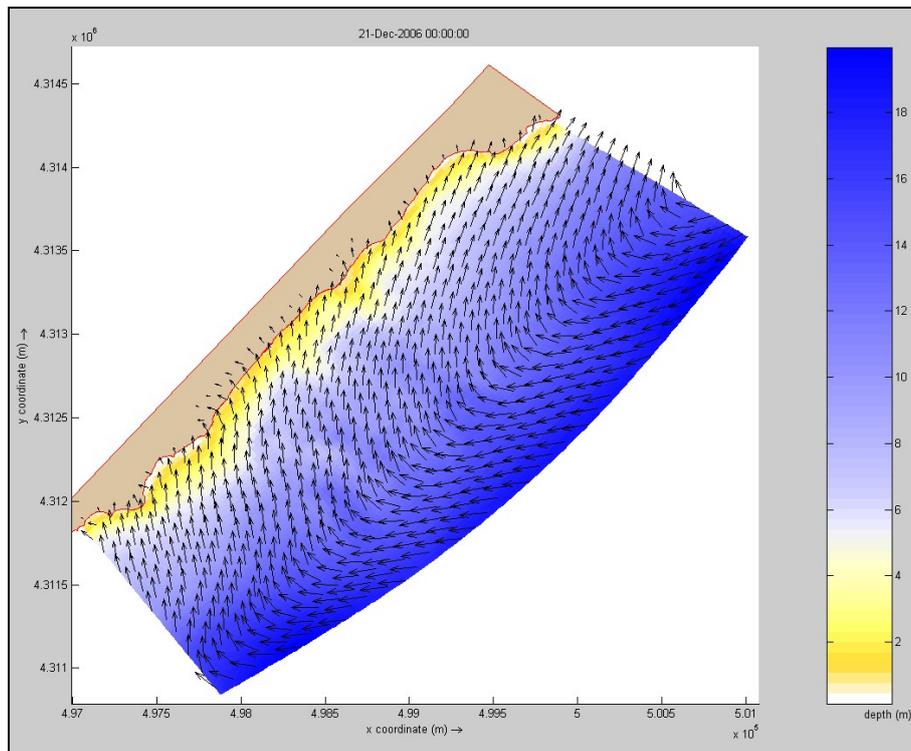


Fig. 129 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 12 ore di simulazione. Valori di profondità espressi in metri.

Alla conclusione delle 24 ore di simulazione l'andamento dei vettori d'onda si riconFigura come al Tempo 0 (Fig. 130).

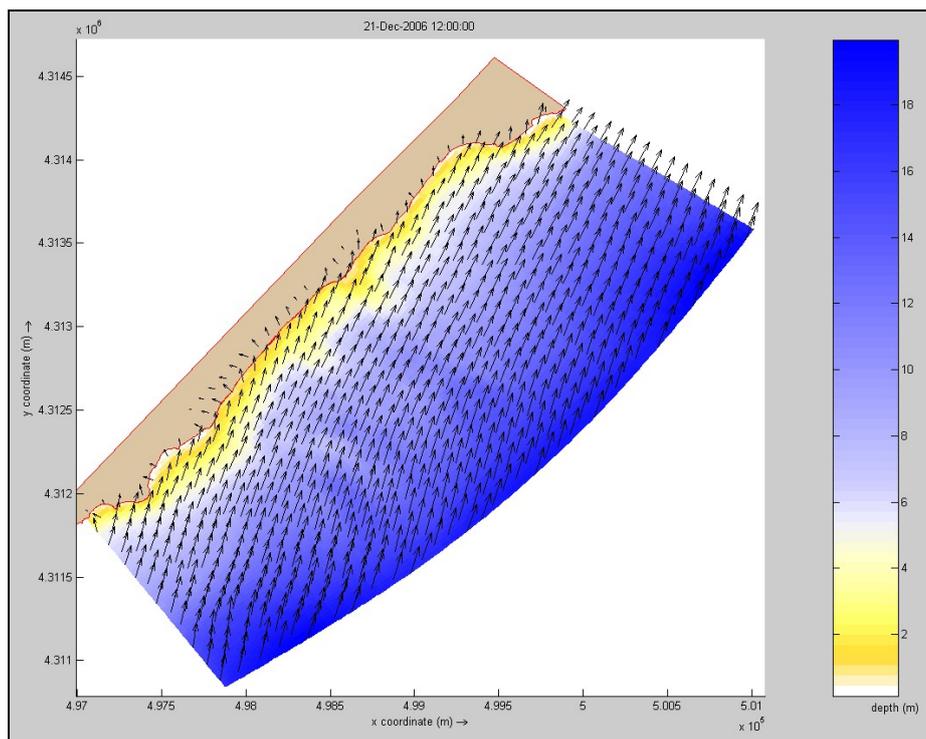


Fig. 130 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 24 ore di simulazione. Valori di profondità espressi in metri.

Per quanto riguarda la simulazione idrodinamica, l'evento non produce spostamenti evidenziabili di materiale in quanto l'energia associata non è tale da mobilitare i sedimenti, si fa presente che l'intensità del vento era di 1,9 m/s. L'unico settore della spiaggia dove si viene a creare un minimo di circolazione è nel settore SW in prossimità di una piattaforma di abrasione conglomeratica che evidentemente causa un'accelerazione dei moti idrodinamici (Fig. 131).

Come si può osservare nella scala riportata nella Figura 132 i valori, espressi in m/s sono molto bassi.

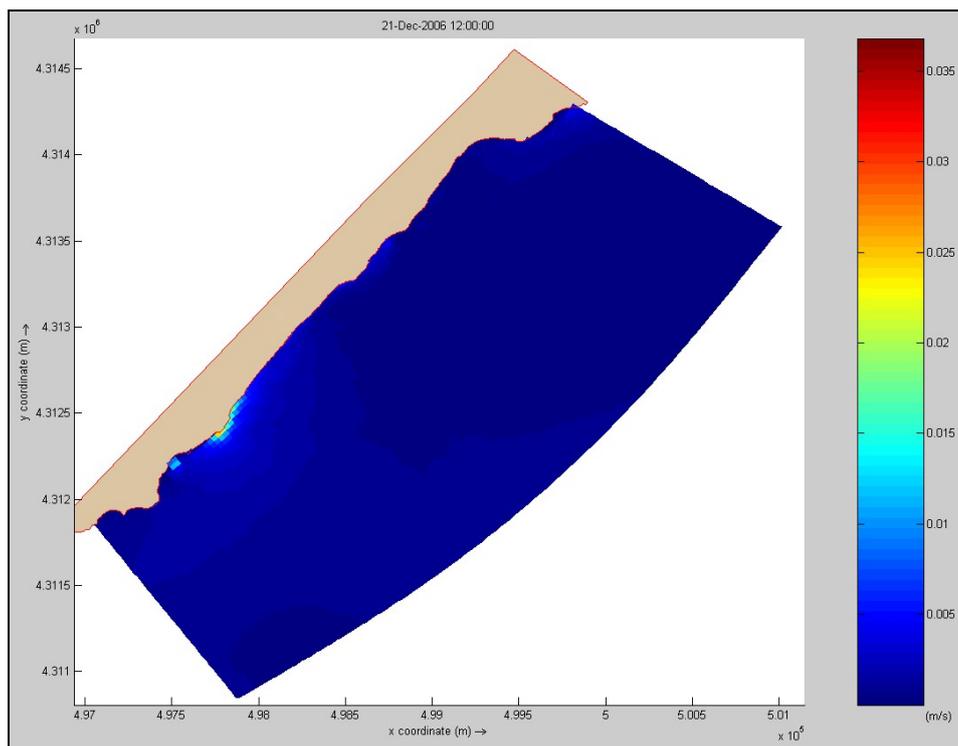


Fig. 131- Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Come si nota anche dalla Figura 133 questo evento meteomarinico produce solo scarsi accumuli di sedimento nelle aree con substrato roccioso-conglomeratico della spiaggia a NE e SW di queste. Questi accumuli sono tuttavia volumetricamente poco significativi e stimabili in lamine di spessore di pochi centimetri.

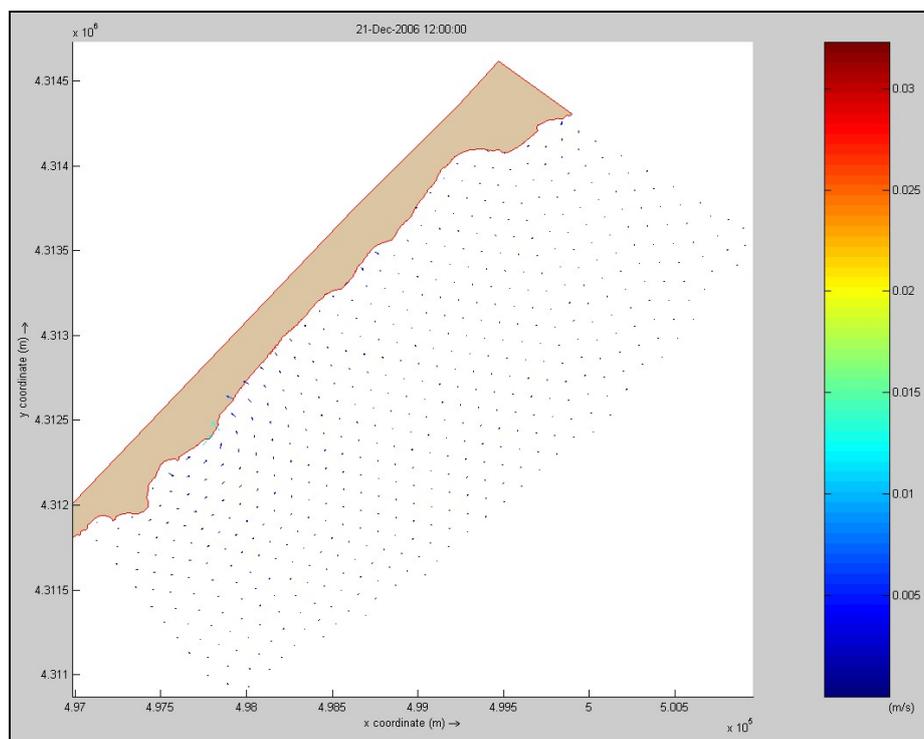


Fig. 132 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

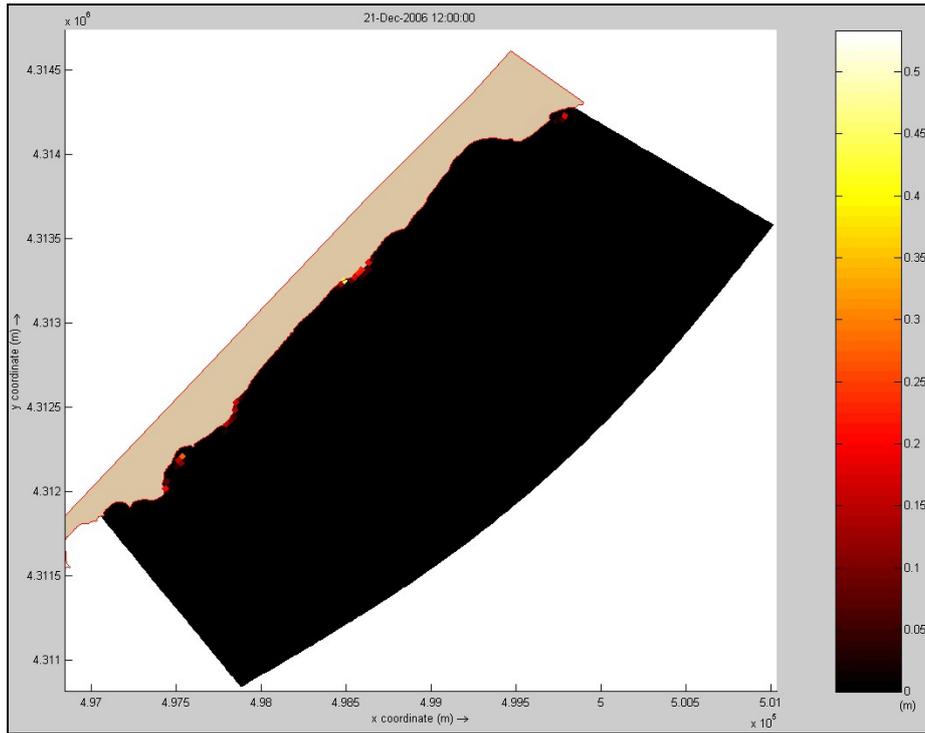


Fig. 133 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 24h di simulazione. Valori espressi in metri.

SIMULAZIONE M03

Data simulata:	10/06/2007	
Località:	Santa Margherita di Pula	
Evento Meteomarinò:	Direzione:	160°
	Velocità (m/s):	6
	Durata (h):	24
Condizioni a contorno:	Hs (m):	0,3
	T _p (s):	4,6

L'evento simulato ricade nel settore di traversia della spiaggia e rappresenta quello di maggiore rilevanza meteomarina registrato precedentemente al rilievo (assetto estivo dell'area). La mareggiata proviene da una direzione SSE ed è associabile ad un vento da Mezzogiorno-Ostro.

I vettori d'onda, al Tempo 0, intersecano la batimetria dei 5 metri mantenendo la direzione del vento (160°) su tutto il settore della spiaggia sottomarina.

Dalla batimetria dei 5 m, nel settore centrale della spiaggia, si innesca un effetto di rifrazione con rotazione dei vettori d'onda fino ad un massimo di 30° (angolo finale d'approccio 130°) in direzione SE. Nei settori NE e SW dell'area non si osservano processi di rifrazione significativi (Fig. 134).

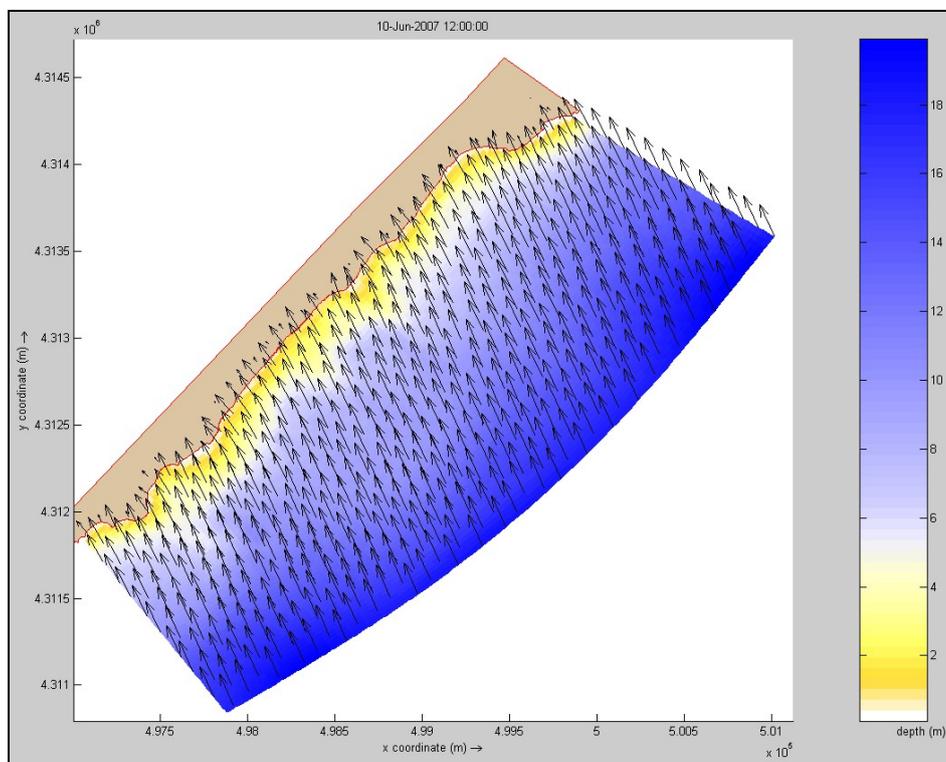


Fig. 134 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda a T=0. Valori di profondità espressi in metri.

Questa situazione si mantiene inalterata per tutta la durata della simulazione e porta alla formazione di una prevalente corrente a sviluppo *longshore* in direzione SW-NE (Figg 135 e 136).

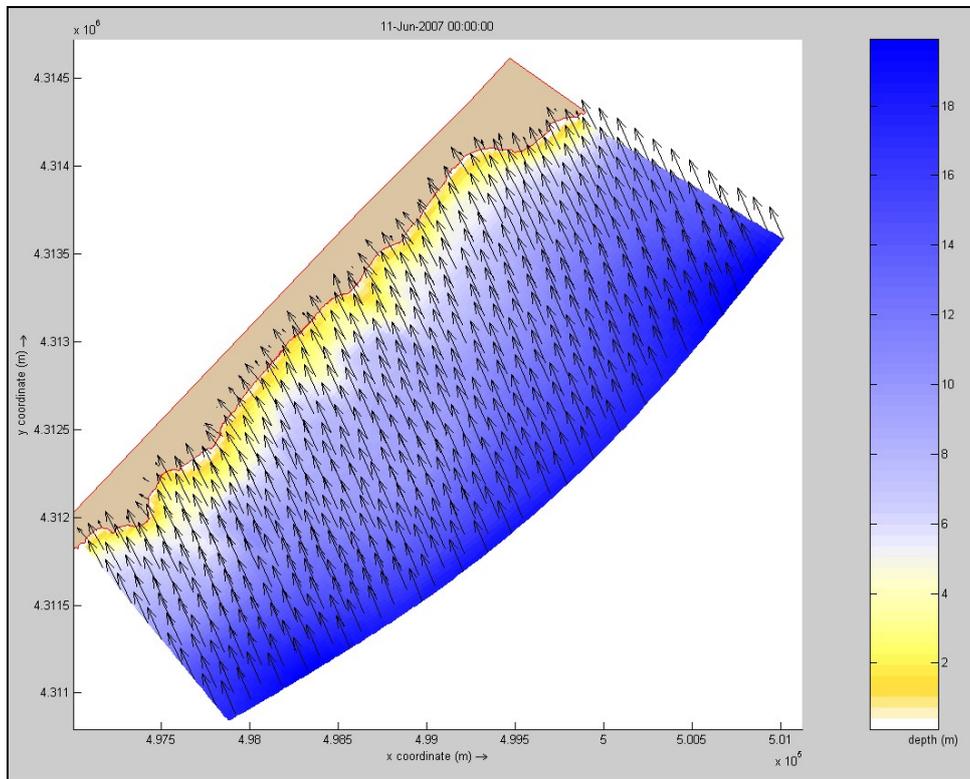


Fig. 135 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 12 ore di modellazione. Valori di profondità espressi in metri.

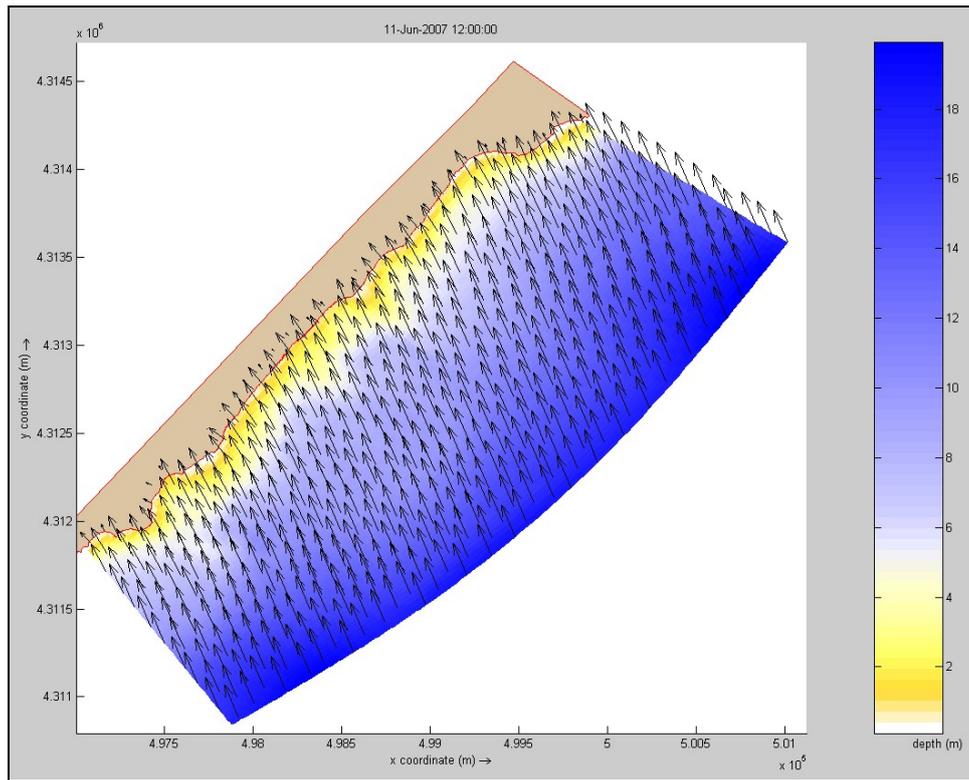


Fig. 136 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 24 ore di modellazione. Valori di profondità espressi in metri.

La simulazione idrodinamica descrive la formazione della corrente lungoriva sopraccitata. Si attiva quindi un trasporto *longshore* che localmente, per interferenze con il substrato roccioso, genera delle *rip-current* simmetriche e perpendicolari alla linea di riva (Figg. 137 e 138).

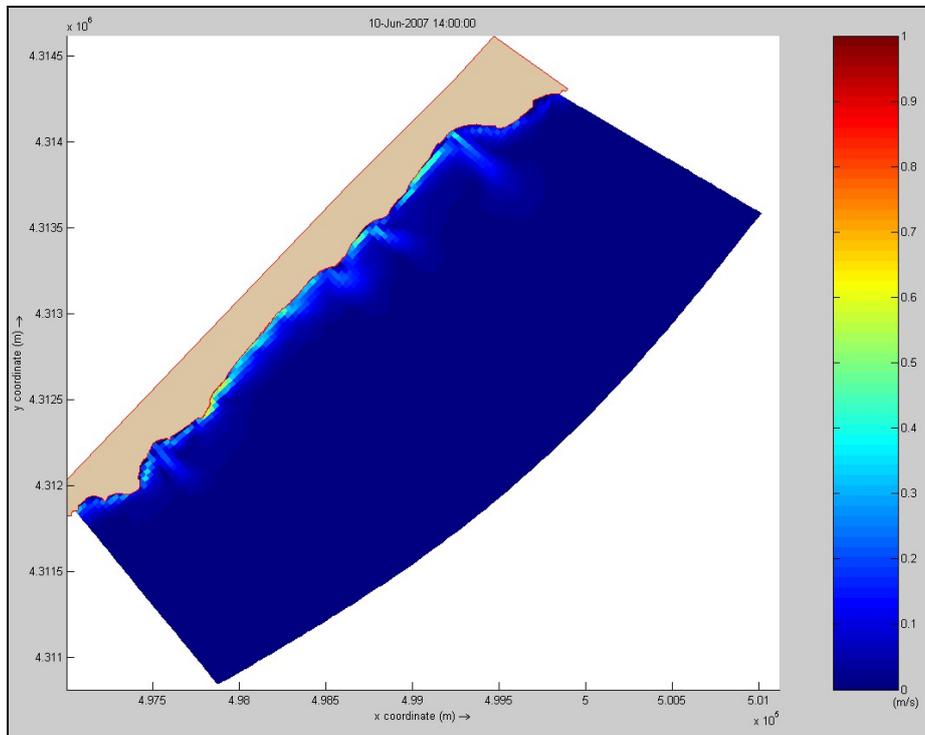


Fig. 137 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

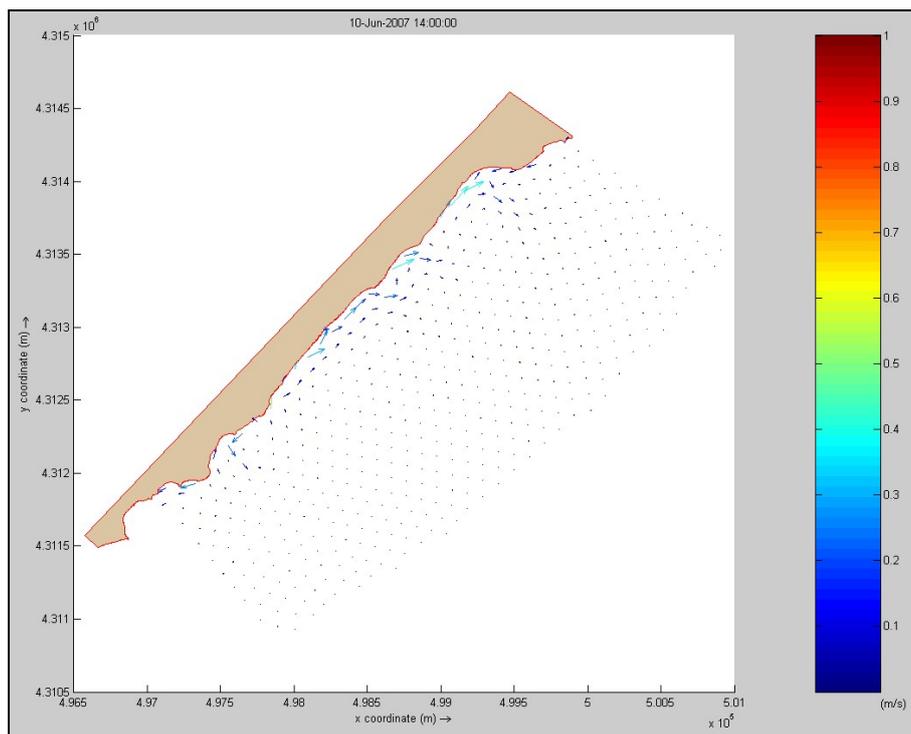


Fig. 138 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Dopo 12 ore di simulazione si osserva che il sistema circolatorio principale della *shoreface* mantiene la direzione *longshore* SW-NE, e le *rip-current* deviano debolmente assumendo carattere asimmetrico (deviazione verso Est) (Figg. 139 e 140).

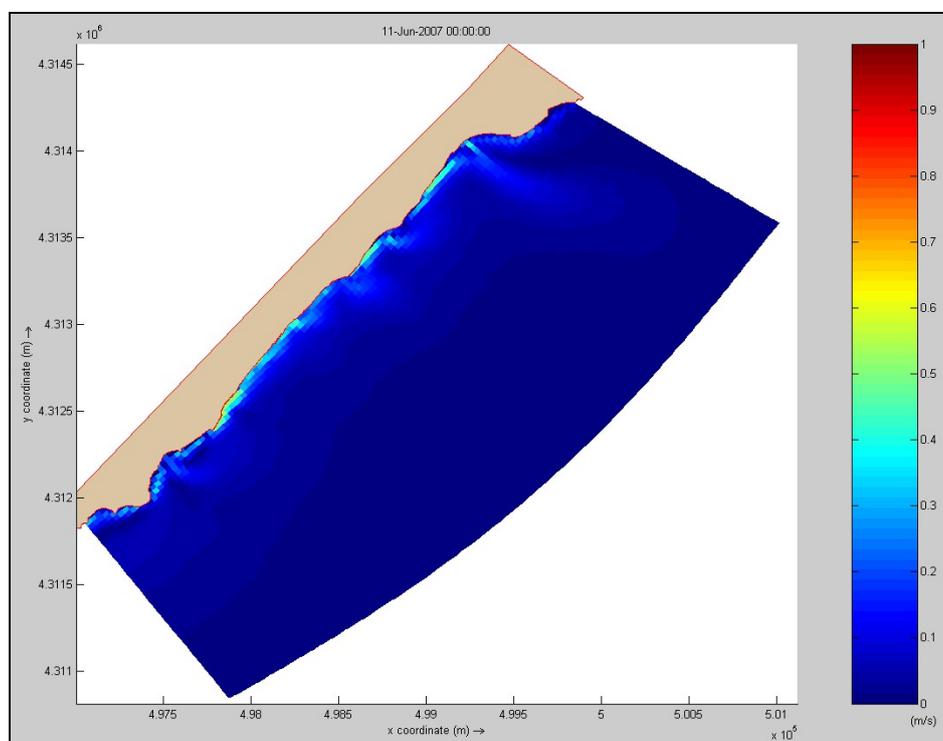


Fig. 139 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

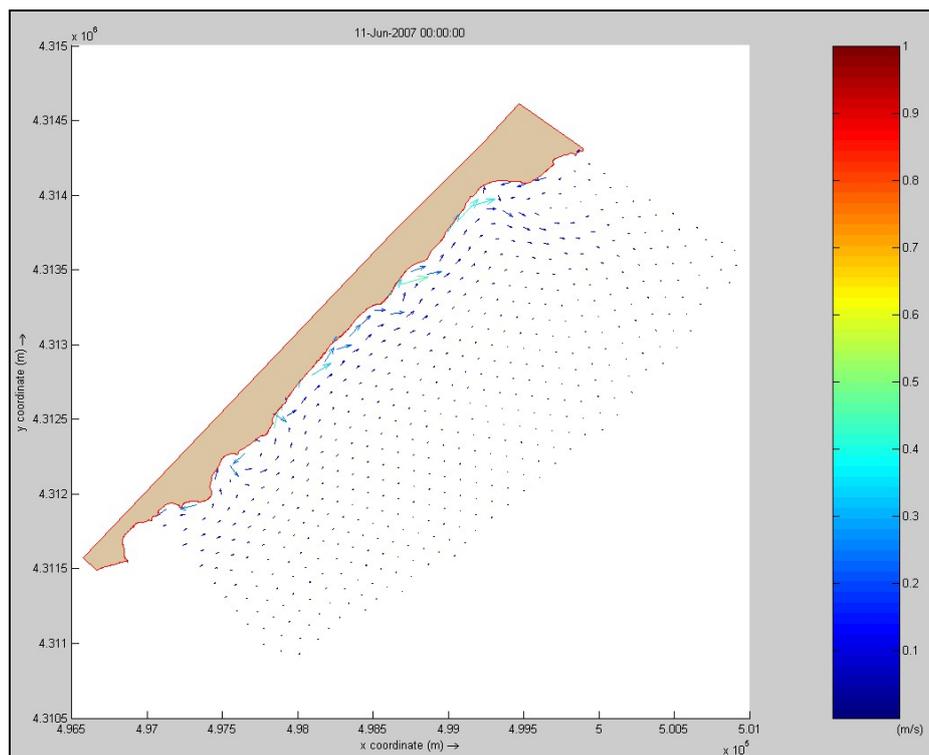


Fig. 140 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Questa situazione si mantiene poi costante nell'arco delle 24 ore di simulazione (Figg. 141 e 142).

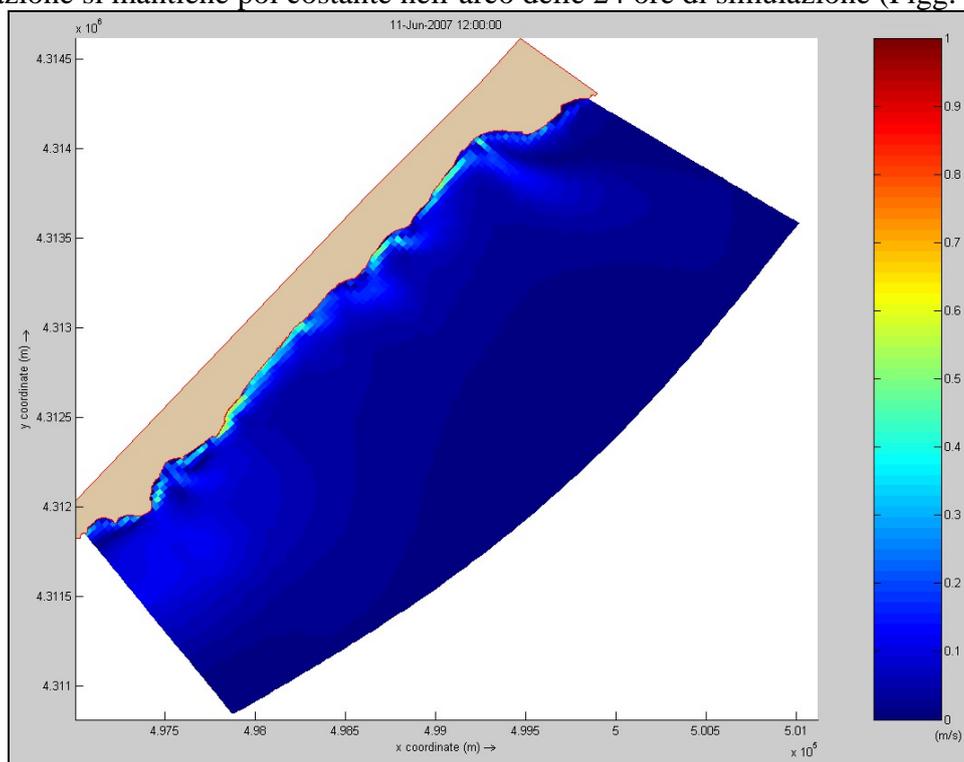


Fig. 141 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

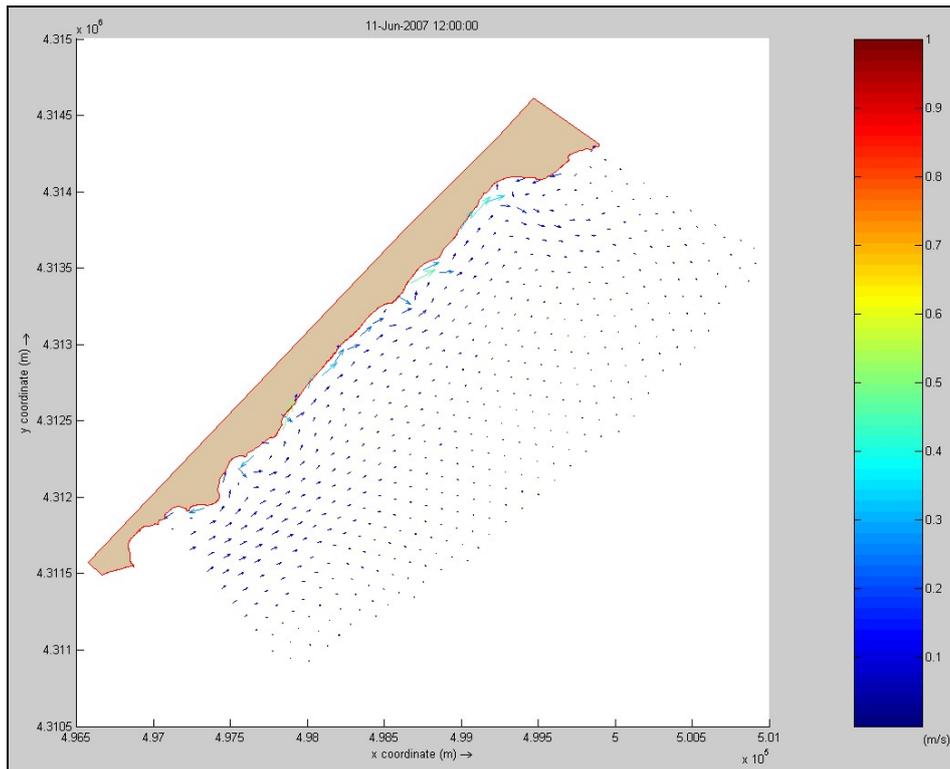


Fig. 142 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Il sistema di correnti descritto imposta e controlla lo sviluppo di barre e truogoli paralleli al settore centrale della spiaggia. Altre piccole barre asimmetriche si registrano in corrispondenza delle linee di deflusso principale delle *rip-current* osservate (Figg. 143 e 144).

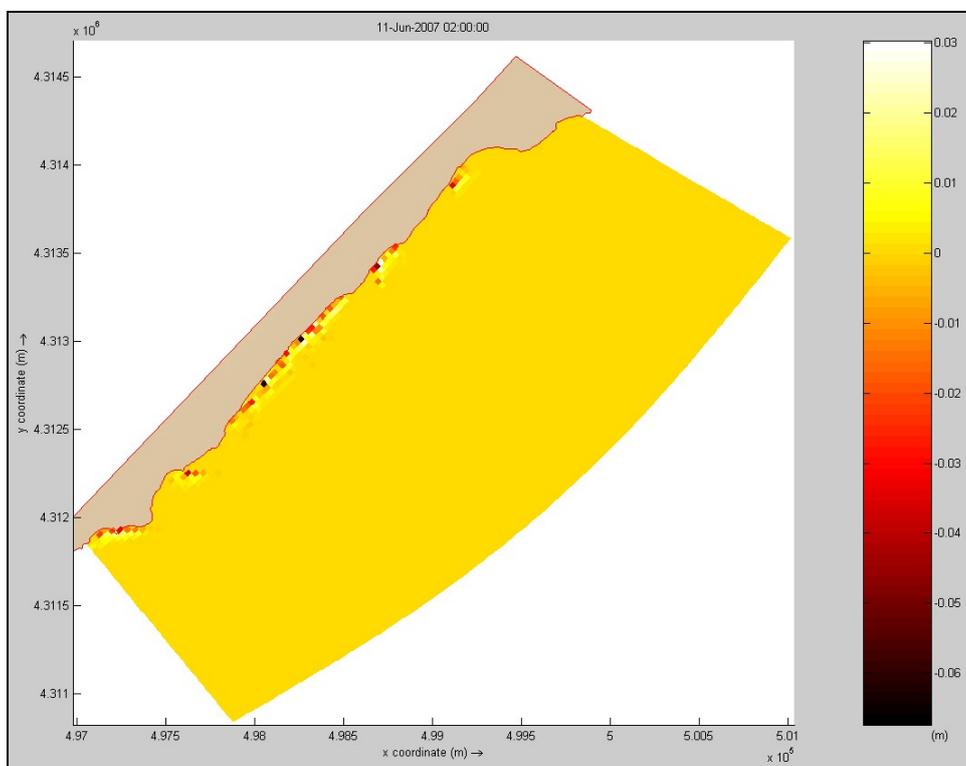


Fig. 143 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 14h di simulazione. Valori espressi in metri.

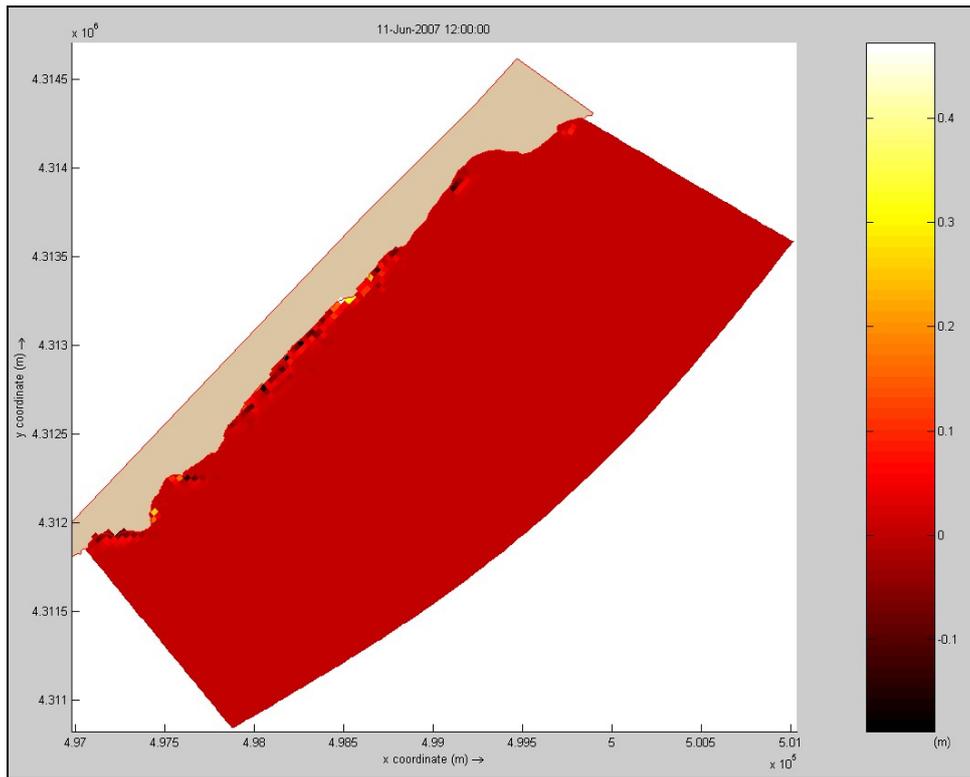


Fig. 144 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 24h di simulazione. Valori espressi in metri.

SIMULAZIONE M04

Data simulata:	5/07/2007	
Località:	Santa Margherita di Pula	
Evento Meteomarinò:	Direzione:	310°
	Velocità (m/s):	8,3
	Durata (h):	24
Condizioni a contorno:	Hs (m):	0,3
	T _p (s):	4,6

Questa simulazione riproduce le condizioni riscontrate il giorno del rilievo dell'assetto estivo effettuato il giorno 5/07/2007. Si tratta di un evento proveniente da NW, associabile per direzione al Maestrale.

Come già visto nella simulazione M02, anche in questo caso, al tempo 0, per effetto della rifrazione attorno al Capo Spartivento, i vettori delle onde si dispongono paralleli alla linea di costa sino ad una profondità di circa -10 m. Superata tale profondità i vettori tendono a riorientarsi lungo la direzione del vento al largo (velocità di 8,3 m/s) (Fig. 145).

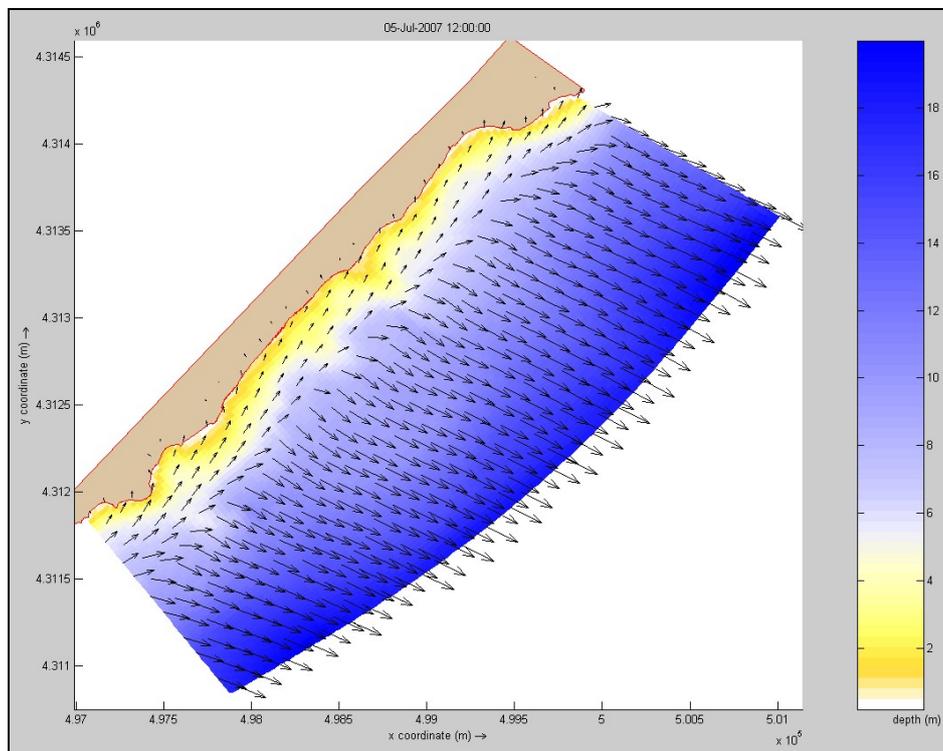


Fig. 145 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda a T=0. Valori di profondità espressi in metri.

Dalla battigia alla batimetria dei 10 m prevale l'azione delle onde generate dalla rifrazione di Capo Spartivento. Si genera di fatto una fascia, ampia 500 metri, di totale ridosso. Sottovento a questa fascia e a partire dalla batimetria dei 10 m verso il largo l'azione del vento interferisce

direttamente sulla generazione delle onde innescando fronti paralleli alla linea di costa e angoli di propagazione dei raggi pari a 170° . Durante la simulazione il modello d'onda si mantiene pressoché costante, le variazioni di direzione dei vettori sono minime e poco influenti nel contesto generale della modellizzazione di moto ondoso (Figg.146 e 147).

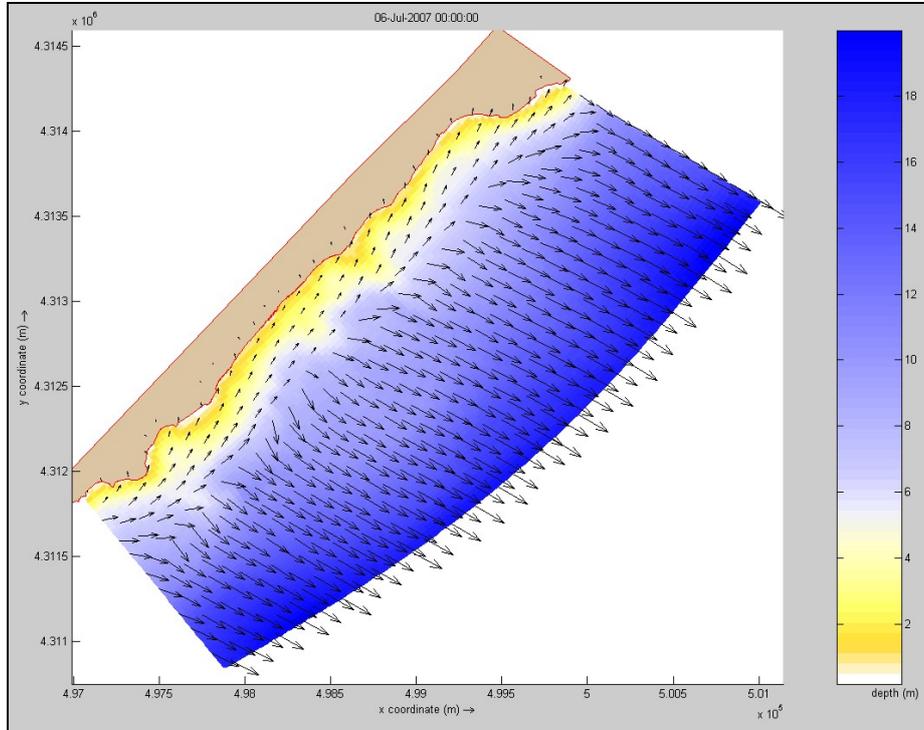


Fig. 146 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 12 ore. Valori di profondità espressi in metri.

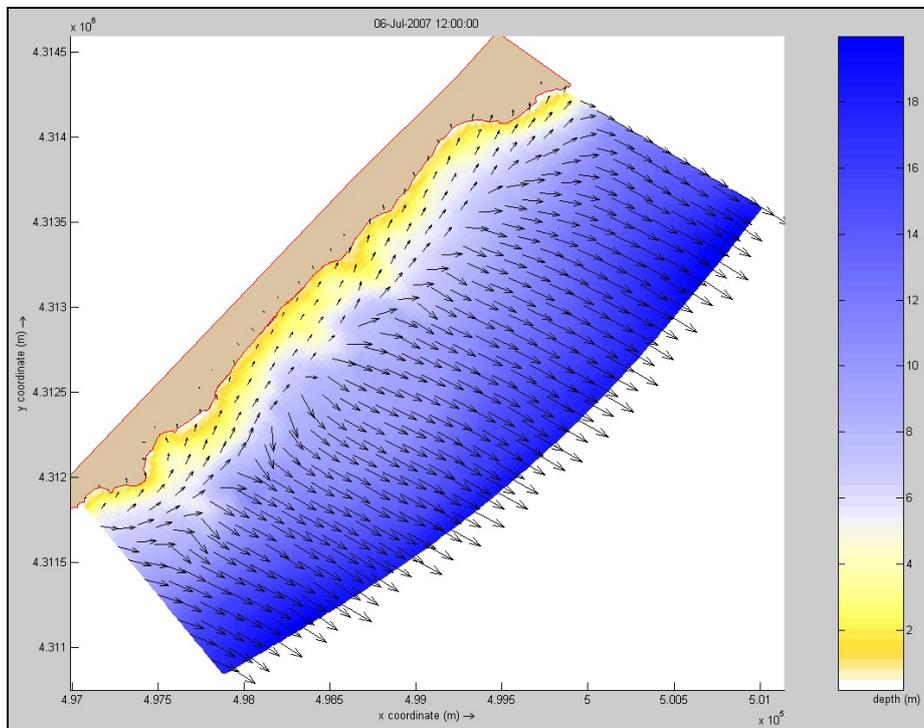


Fig. 147 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 24 ore. Valori di profondità espressi in metri. Per quanto riguarda la simulazione idrodinamica si nota che l'evento da Maestrale non produce spostamenti di sedimento tali da essere evidenziati dalla scala di lavoro del modello (10.000).

Lievi accelerazioni si registrano nei settori caratterizzati da substrato roccioso di natura conglomeratica nei settori SW e NE della spiaggia (Fig.148 e 149).

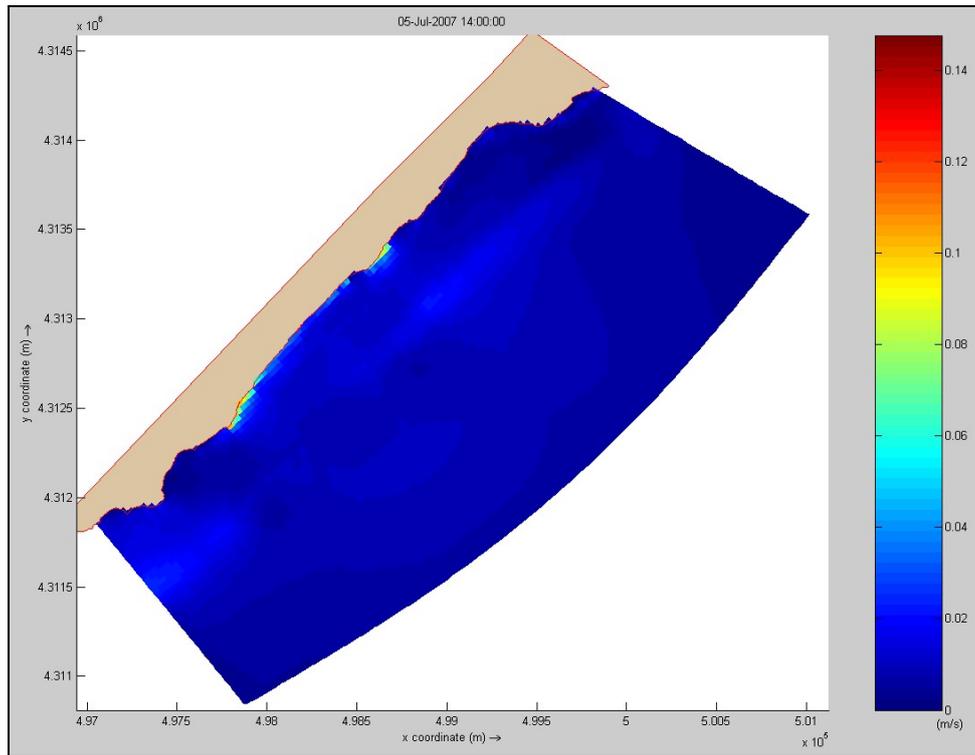


Fig. 148 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

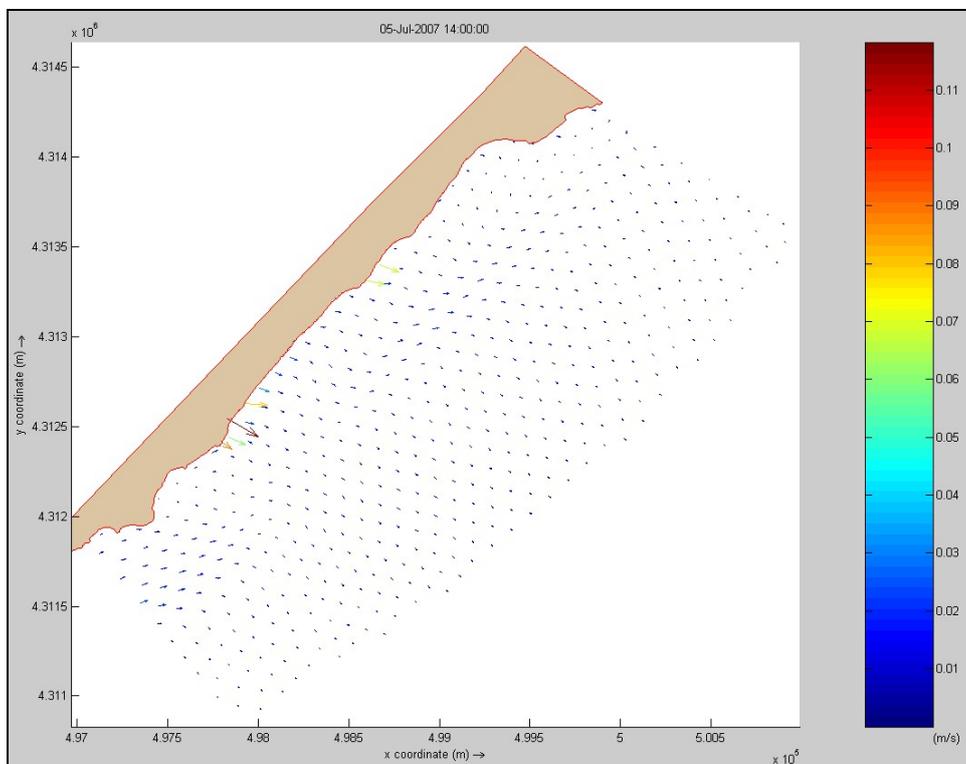


Fig. 149 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s

Dopo 12 ore si osservano le velocità maggiori nel settore SW della griglia del modello, tuttavia, come si nota nelle immagini (Figg. 150 e 151), tale area non interessa lo *shoreface* e quindi la mobilizzazione dei sedimenti e la formazione di strutture sedimentarie.

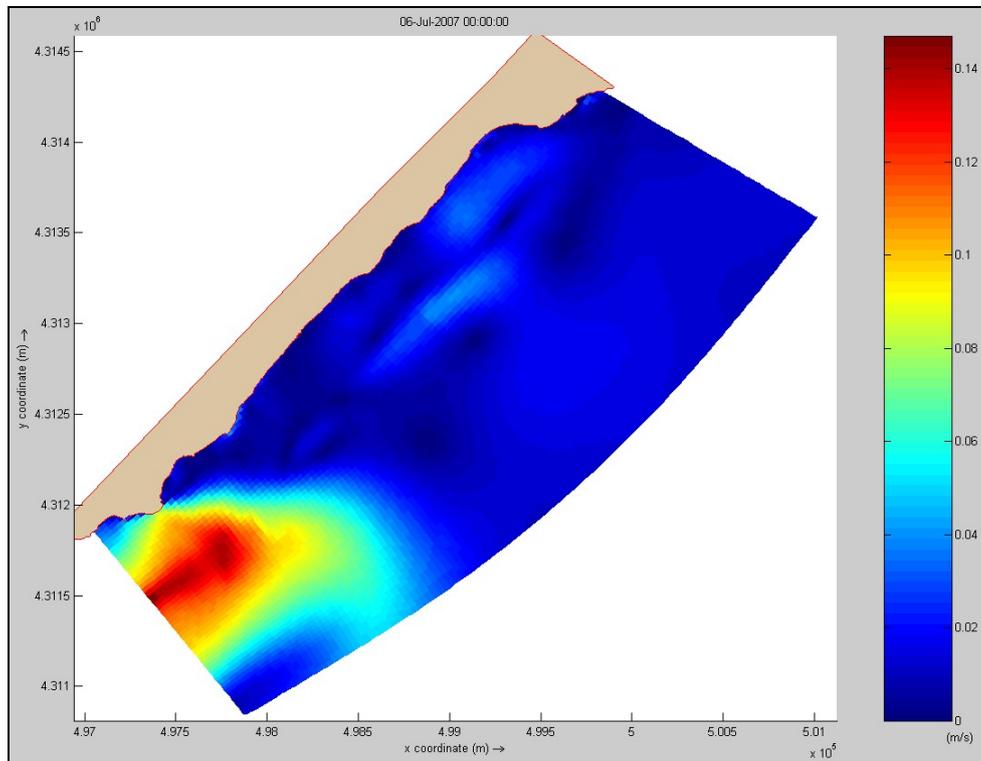


Fig. 150 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

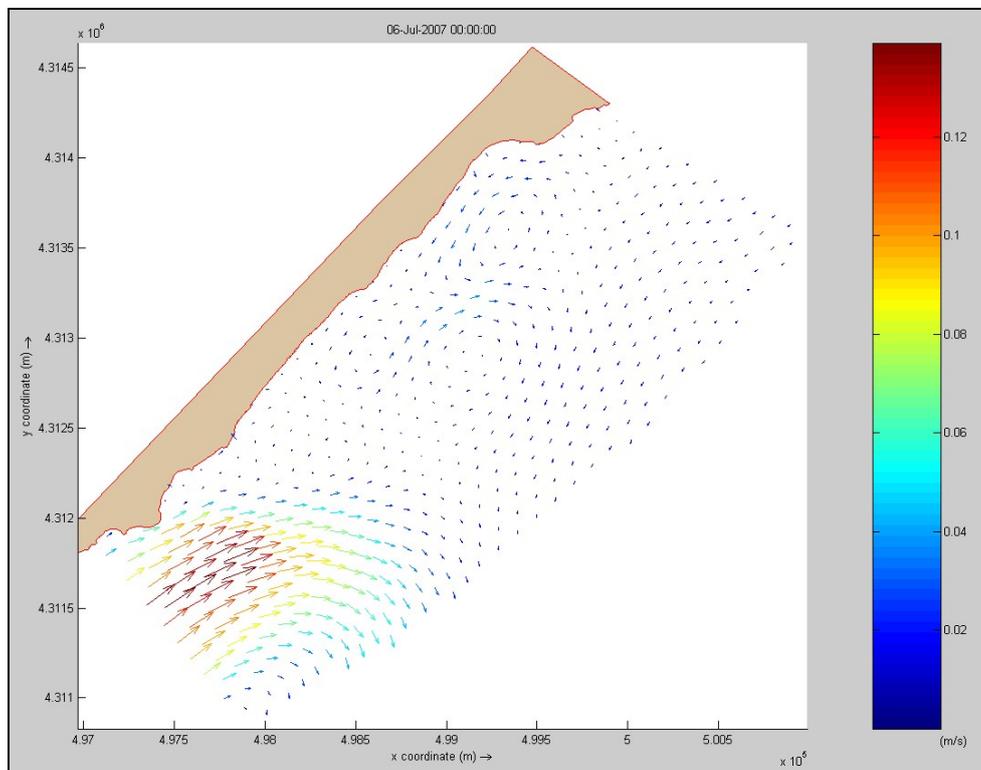


Fig. 151 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Durante le ultime ore di simulazione si osserva la tendenza alla generazione di un sistema circolatorio più prossimo alla linea di riva.

Tuttavia queste correnti non hanno energia sufficiente per creare spostamenti sedimentari di fondo apprezzabili.

Al contrario è evidente l'innesco di un processo di *up-welling* che può interessare il trasporto di massa (Figg 152 e 153).

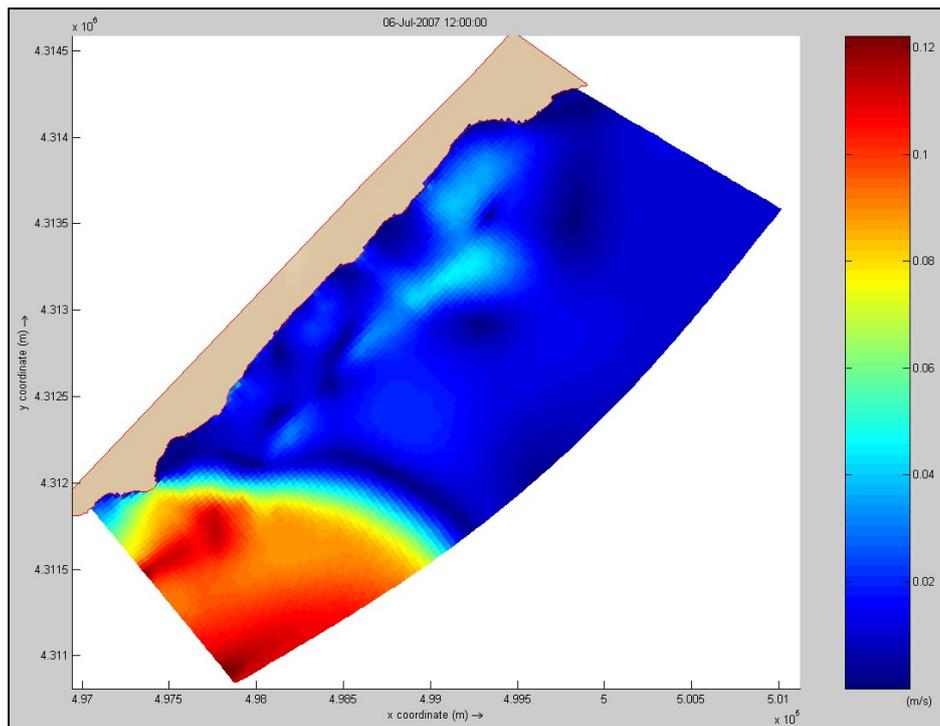


Fig. 152 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

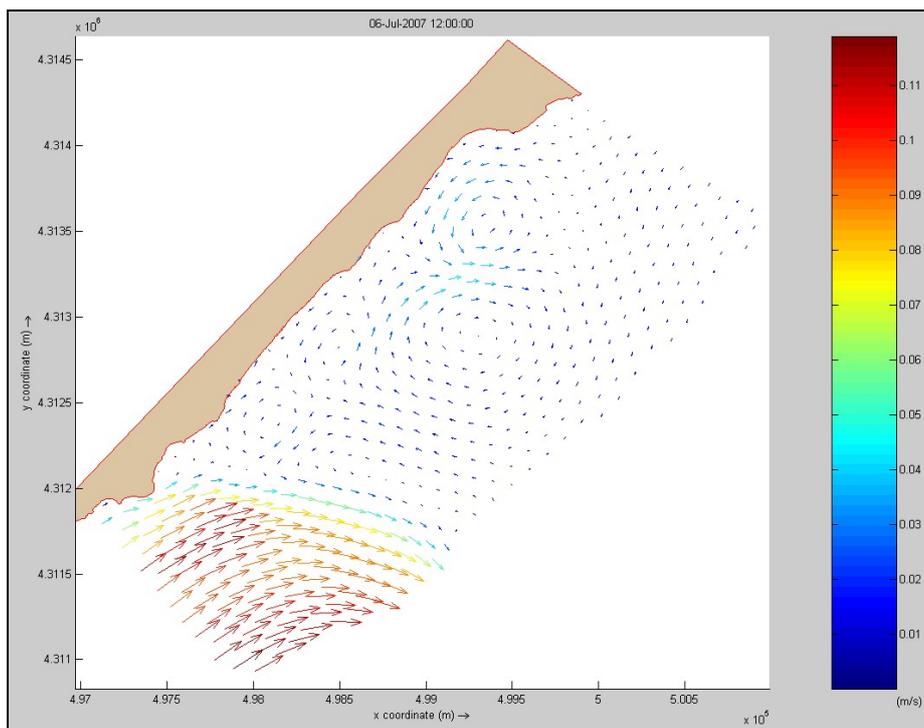


Fig. 153 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Deboli accumuli di sedimento si registrano, al termine delle 24 ore, in prossimità delle aree in cui sono evidenziate le velocità maggiori, ovvero nei settori NE-SW della spiaggia (Fig. 154). Si tratta comunque di quantità di materiale, in termini volumetrici, scarse.

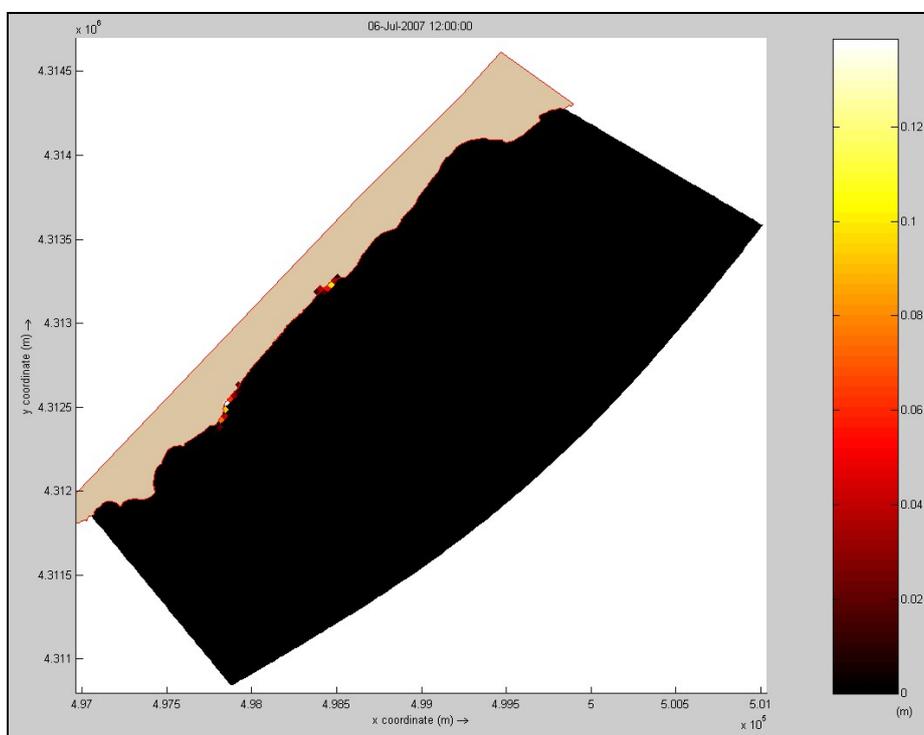


Fig. 154 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 24h di simulazione. Valori espressi in metri.

SIMULAZIONE M05

Località:	Santa Margherita di Pula	
Evento Meteomarinò:	Direzione:	120° (Scirocco)
	Velocità (m/s):	10
	Durata (h):	24

Questa simulazione riproduce quello che, dalle statistiche rilevate nel Golfo di Cagliari, potrebbe essere un evento medio di Scirocco che interessa la spiaggia di Santa Margherita nel suo settore di traversia.

I vettori d'onda al Tempo 0 mantengono invariata la direzione rispetto a quella del vento (120°) intersecando le batimetriche e la linea di riva in modo perpendicolare, su tutto il settore della spiaggia (Fig. 155).

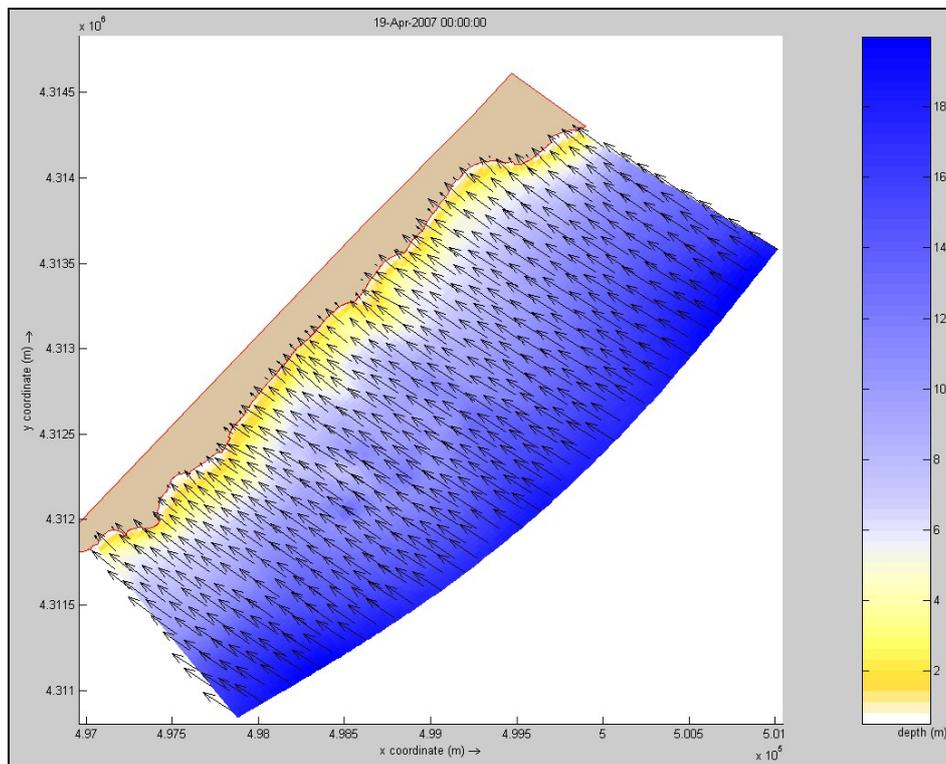


Fig. 155 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda a T=0. Valori di profondità espressi in metri.

Dopo 12 ore (Fig. 156) i vettori d'onda si mantengono pressoché costanti, questo permette lo sviluppo di una corrente *longshore* con direzione preferenziale da NE verso SW.

Questa situazione permane pressoché invariata sino al termine delle 24 ore (Fig. 157).

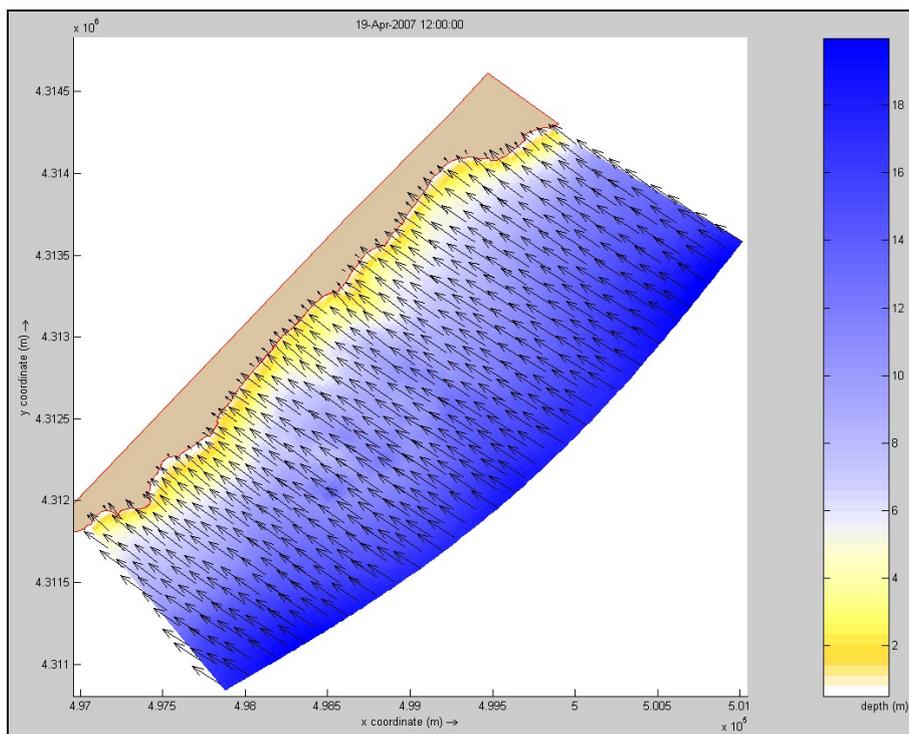


Fig. 156 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 12 ore. Valori di profondità espressi in metri.

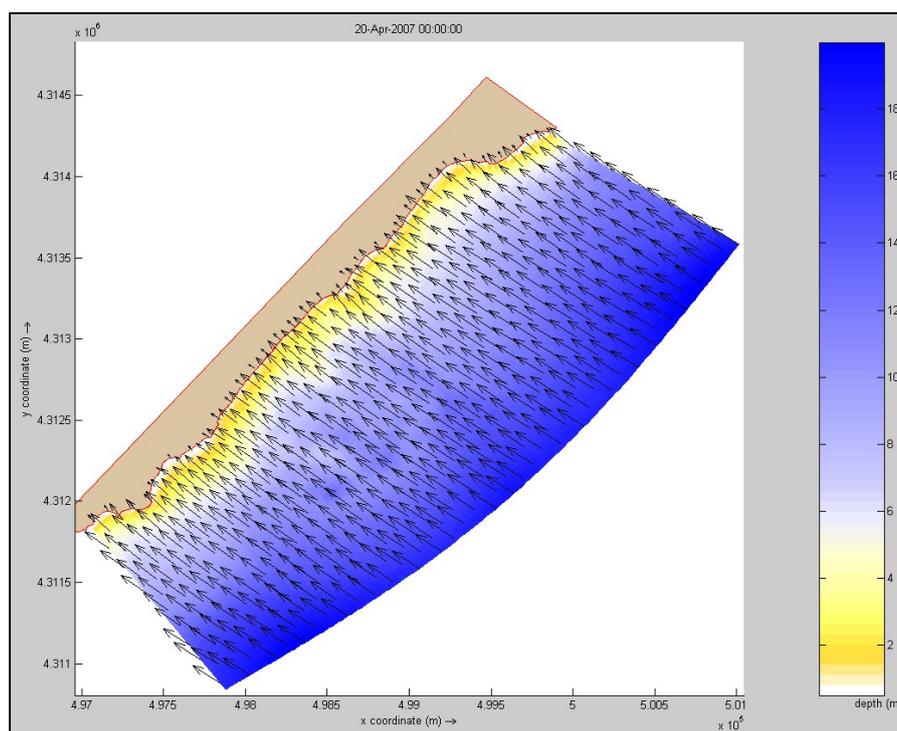


Fig. 157 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 24 ore. Valori di profondità espressi in metri.
 La simulazione idrodinamica descrive già dopo 2 ore di simulazione, la formazione di correnti lungoriva con prevalente direzione NE-SW. In prossimità del substrato roccioso, dove si registrano le velocità maggiori, si attivano celle di circolazione, la più evidente nel settore centrale della spiaggia, che portano alla formazione di due grandi *rip-current* asimmetriche (Figg. 158 e 159).

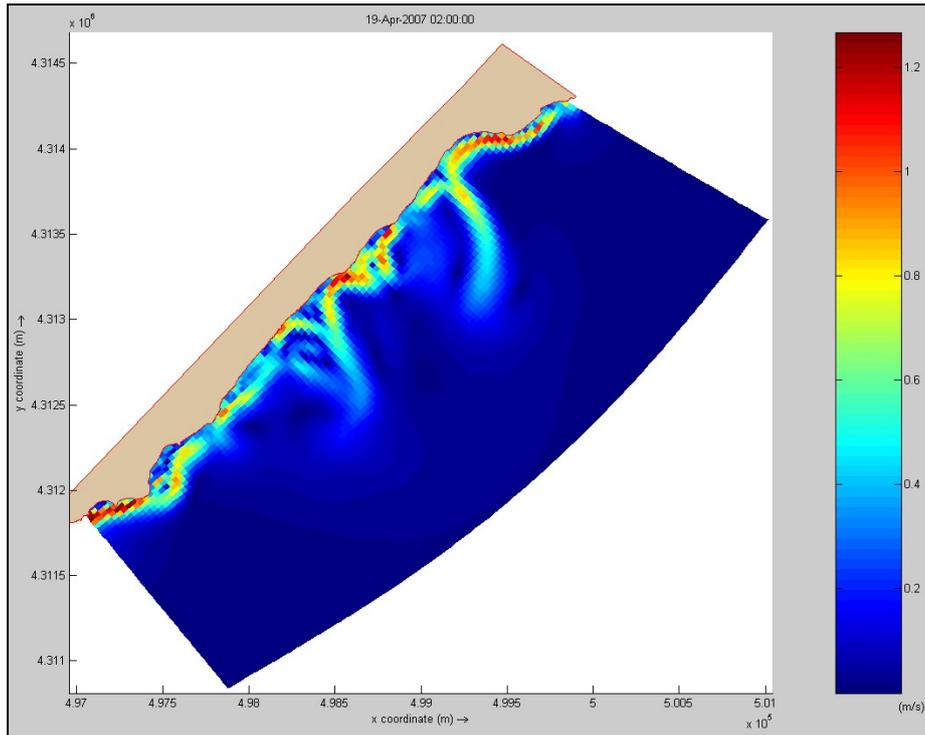


Fig. 158 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

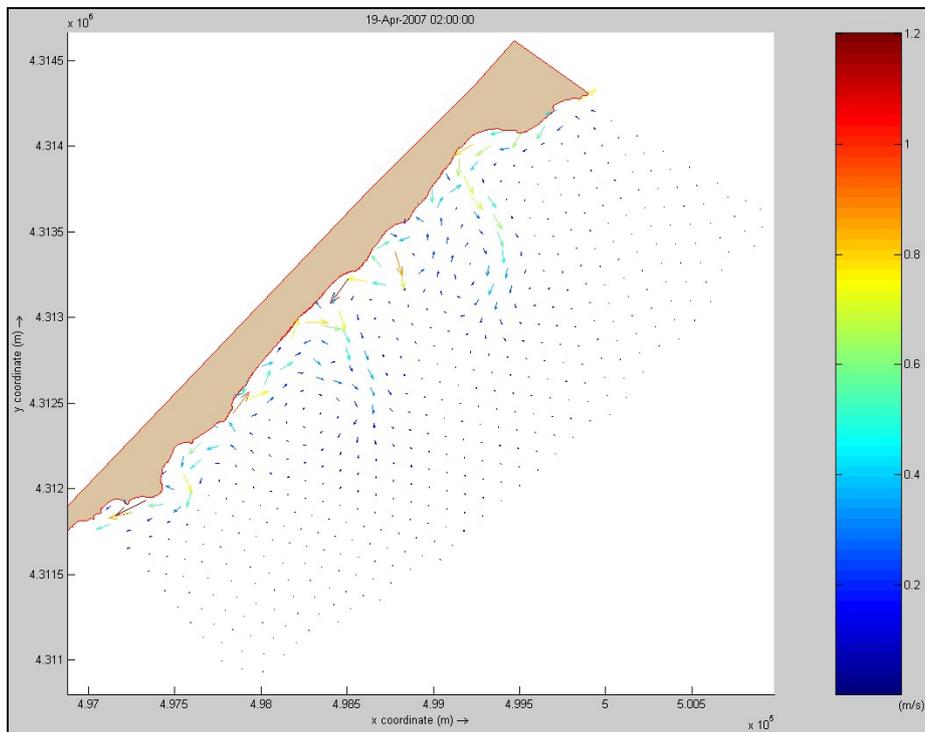


Fig. 159 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Dopo 12 ore si nota che le *rip-current* vengono deviate subendo il controllo della direzione prevalente di deflusso della corrente *longshore*. La *rip* presente al centro della spiaggia, all'inizio dell'evento, si riduce e la sua zona di influenza passa da 500 a poche decine di metri. La *rip-current* presente nel settore NE della spiaggia risulta più evidente e genera un *plume* di dispersione che

supera l'isobata dei -5 m di profondità e che tende a disporsi parallelamente alla linea di riva (Fig. 160 e 161).

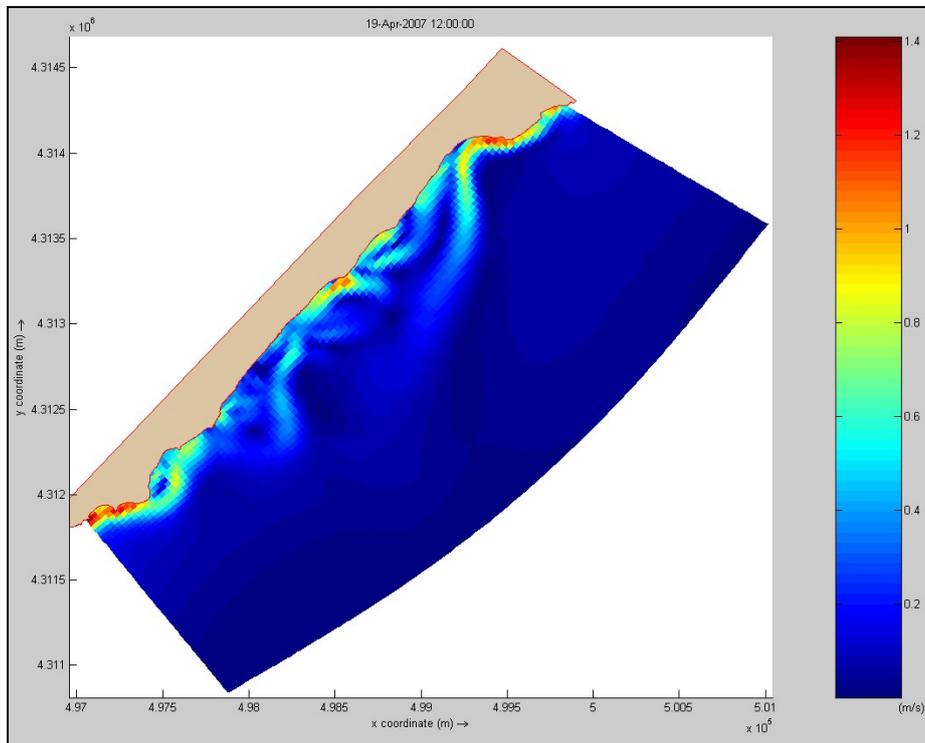


Fig. 160 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

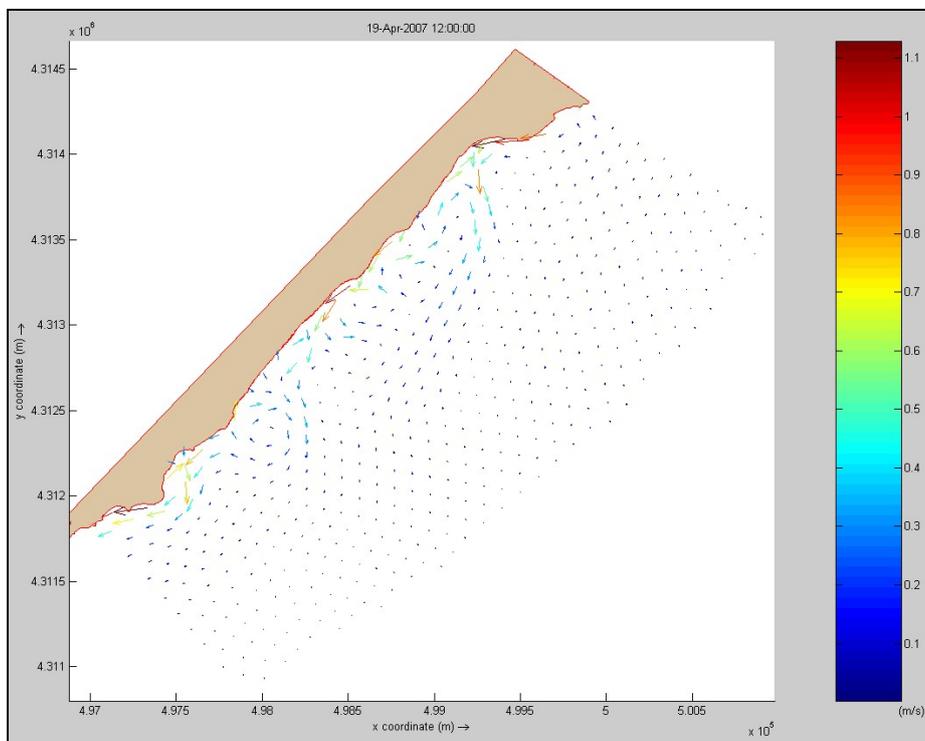


Fig. 161 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Al termine delle 24 ore di simulazione si evidenziano ancora le *rip-current* asimmetriche distribuite lungo tutta la linea di riva e una riduzione da 500 a 200 metri dell'areale di spiaggia sottomarina interessato alla movimentazione dei sedimenti di fondo (Fig. 162 e 163).

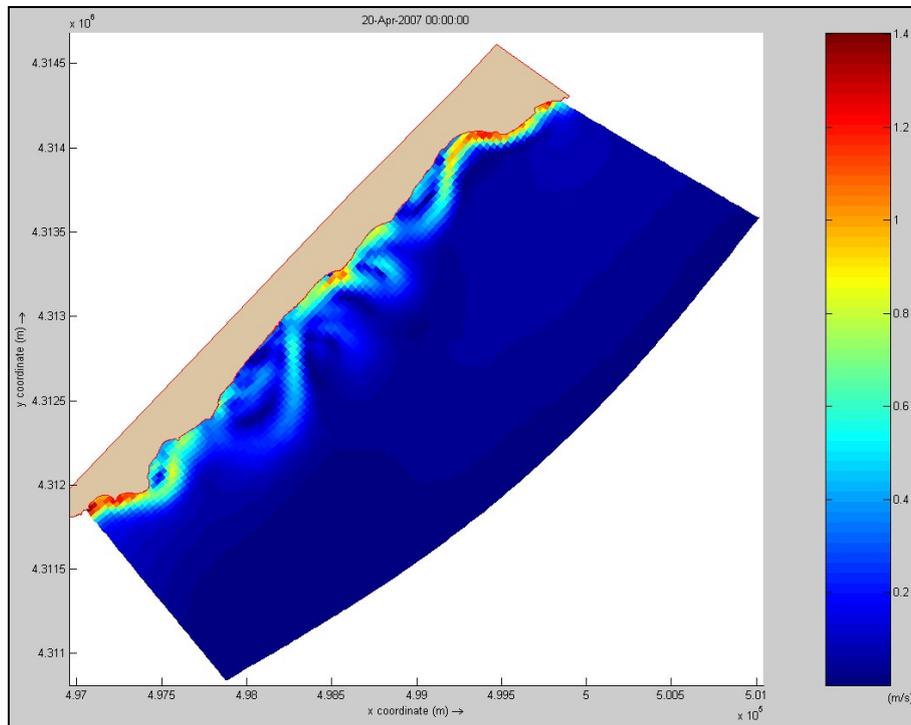


FIG. 162 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

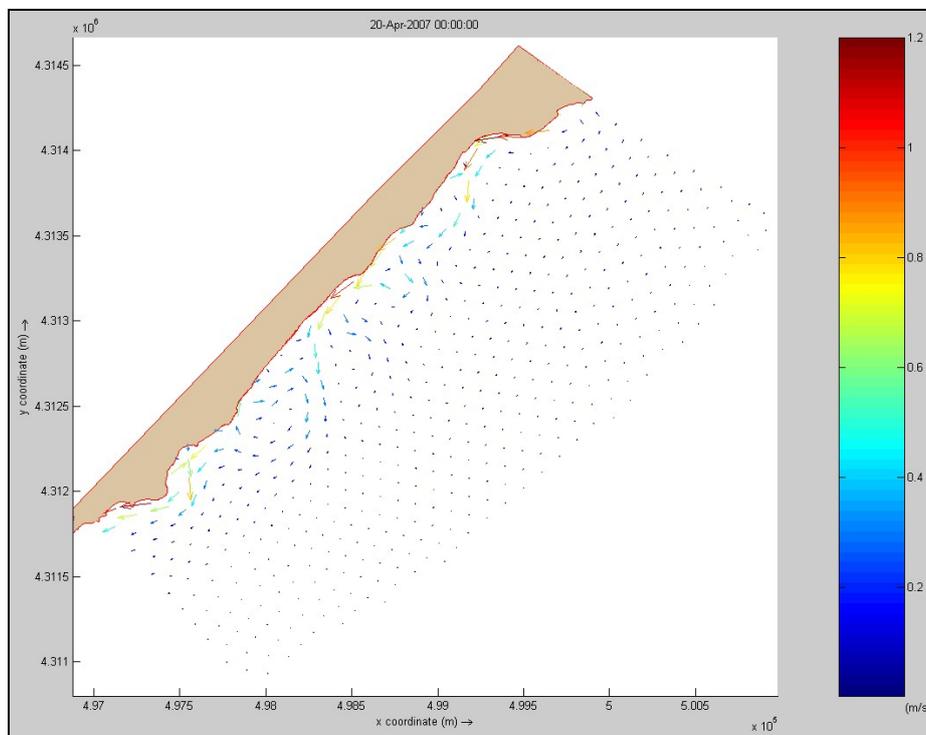


FIG. 163 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Nella Figura 48 si evidenzia il risultato finale dei processi di interazione tra moto ondoso e fondale marino dopo le prime 14 ore di attività.

Nella *shoreface* si struttura una *surfzone* a barre e truogoli continua estesa fino a 100 metri dalla linea di battigia.

Successivamente il sistema a barre e truogoli si sposta verso il largo e si estende fino a circa 200 metri

Al termine delle 24 ore il sistema si presenta interrotto da un canale generato dalla *rip-current* che si era evidenziata al centro della spiaggia nelle Figure 164 e 165.

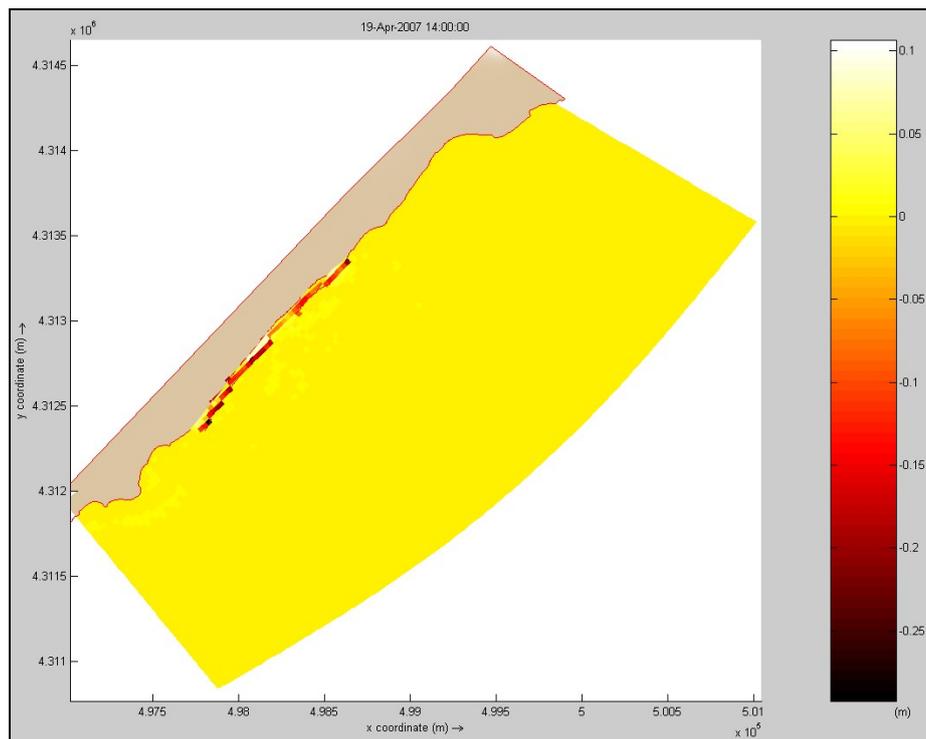


Fig. 164 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 14h di simulazione. Valori espressi in metri.

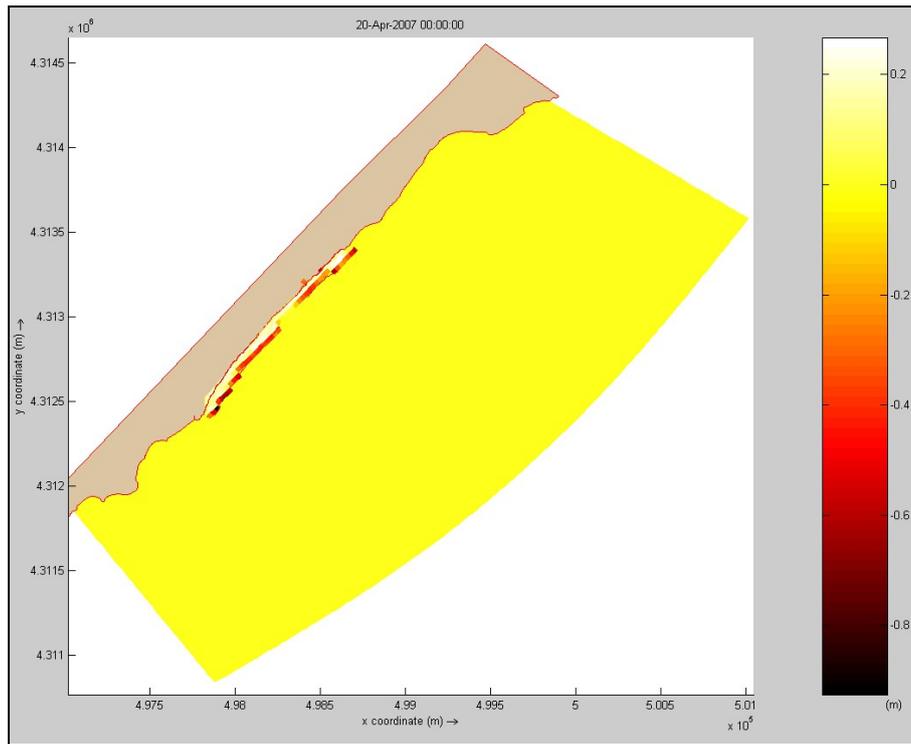


Fig. 165 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 24h di simulazione. Valori espressi in metri.

SIMULAZIONE M09

Località:	Santa Margherita di Pula	
Evento Meteomarinò:	Direzione:	120° (Scirocco)
	Velocità (m/s):	25
	Durata (h):	24

Questa simulazione riproduce un evento estremo da Scirocco che ricade nel settore di traversia della spiaggia di Santa Margherita.

I vettori d'onda al Tempo 0 intersecano la batimetria dei 20 m con lo stesso angolo di direzione del vento (120°). Nel settore centrale della spiaggia, intorno alla profondità di circa 10 m, iniziano i primi processi di rifrazione con vettori d'onda che intersecano la linea di riva con un angolo di circa 135° (Fig. 166).

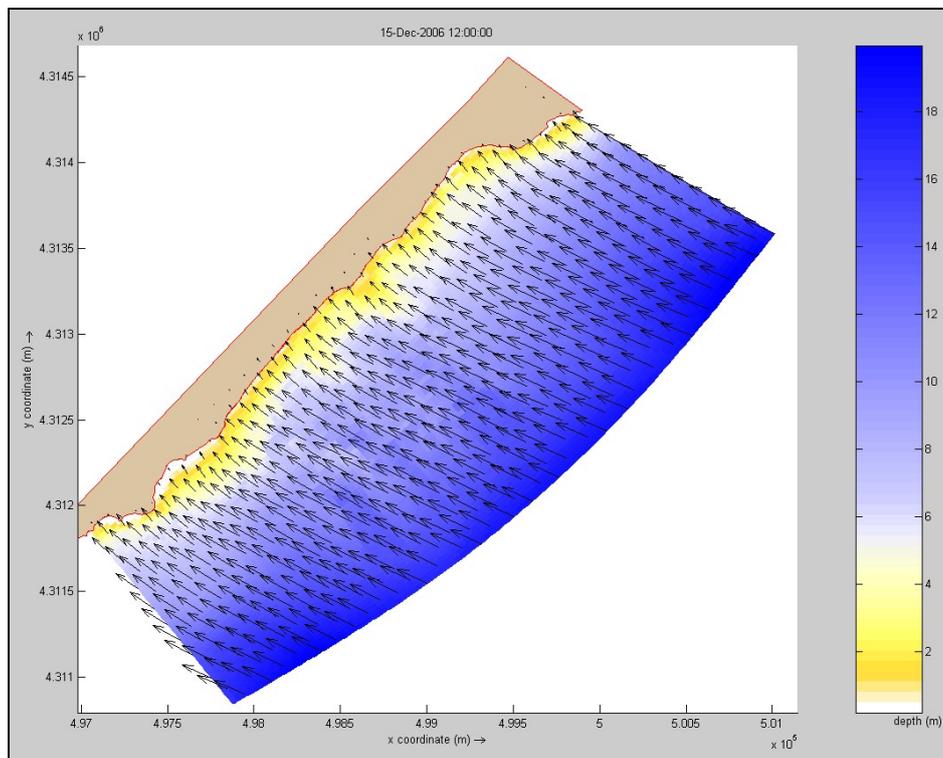


Fig. 166 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda a T=0. Valori di profondità espressi in metri.

Dopo 12 ore di simulazione si osserva che l'andamento generale dei vettori d'onda si mantiene simile, ma in prossimità delle cuspidi strutturali della spiaggia aumentano i fenomeni di rifrazione che tendono a far ruotare i vettori d'onda e a farli convergere (Fig 167).

Dopo 24 ore i processi di rifrazione si mantengono costanti evidenziando un controllo molto forte della topografia di fondo delle cuspidi in roccia sui raggi d'onda (Fig. 168).

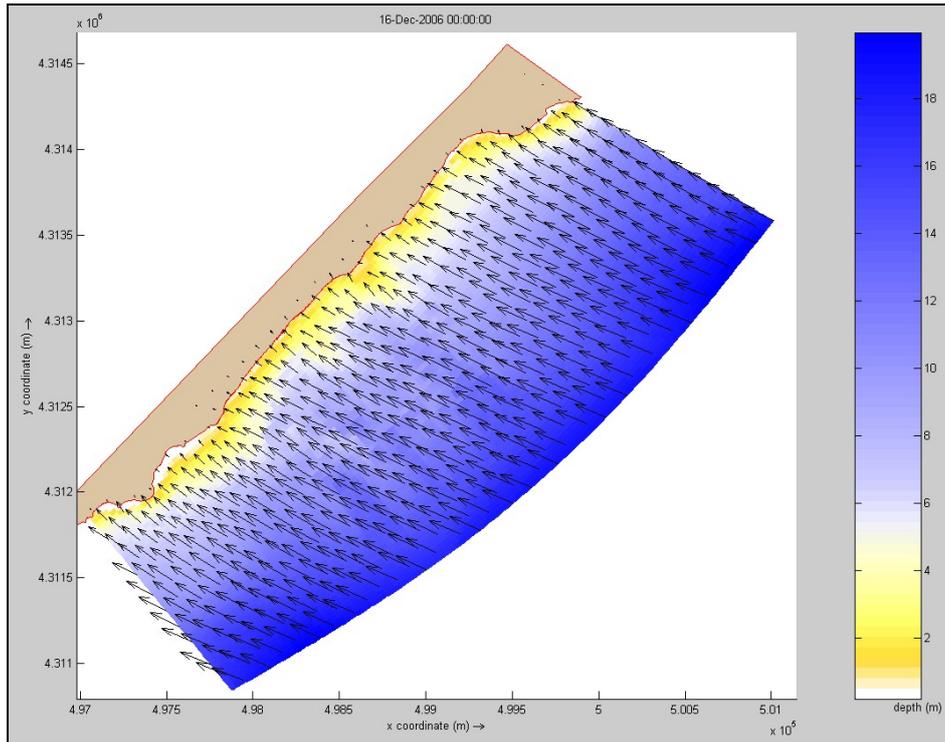


Fig. 167 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 12 ore. Valori di profondità espressi in metri.

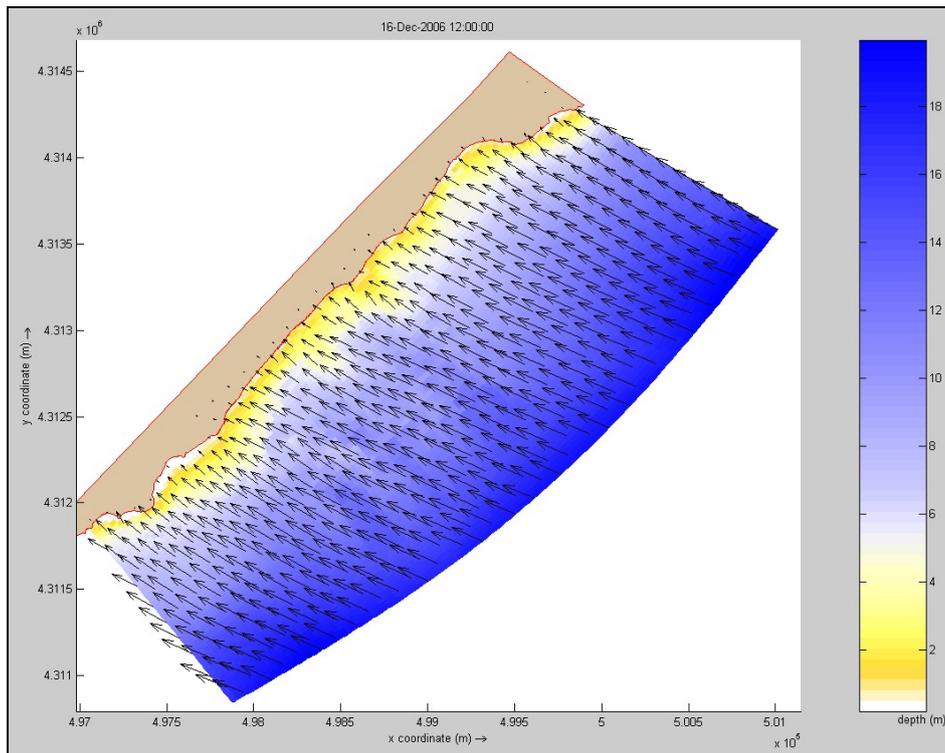


Fig. 168 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 24 ore. Valori di profondità espressi in metri.

La simulazione evidenzia sin dalle prime 2 ore una forte idrodinamica che muove sedimenti sino ai 10 metri di profondità e interessa ampie zone della *shoreface* strutturando la *surfzone* fino a 800 metri dalla battigia. Si generano correnti *longshore* e ampie celle di circolazione a rotazione oraria che delineano importanti canali di deflusso asimmetrici (*rip-current*). In particolare, il settore sud-

occidentale della spiaggia risulta influenzato da una corrente lungoriva in direzione SW-NE, opposta quindi all'andamento generale delle correnti principali. Questa, nel settore centrale della spiaggia, deflette verso il largo generando una *rip-current* con una velocità di circa 1,4 m/s che poi ruota seguendo la direzione opposta NE-SW (Figg. 169 e 170).

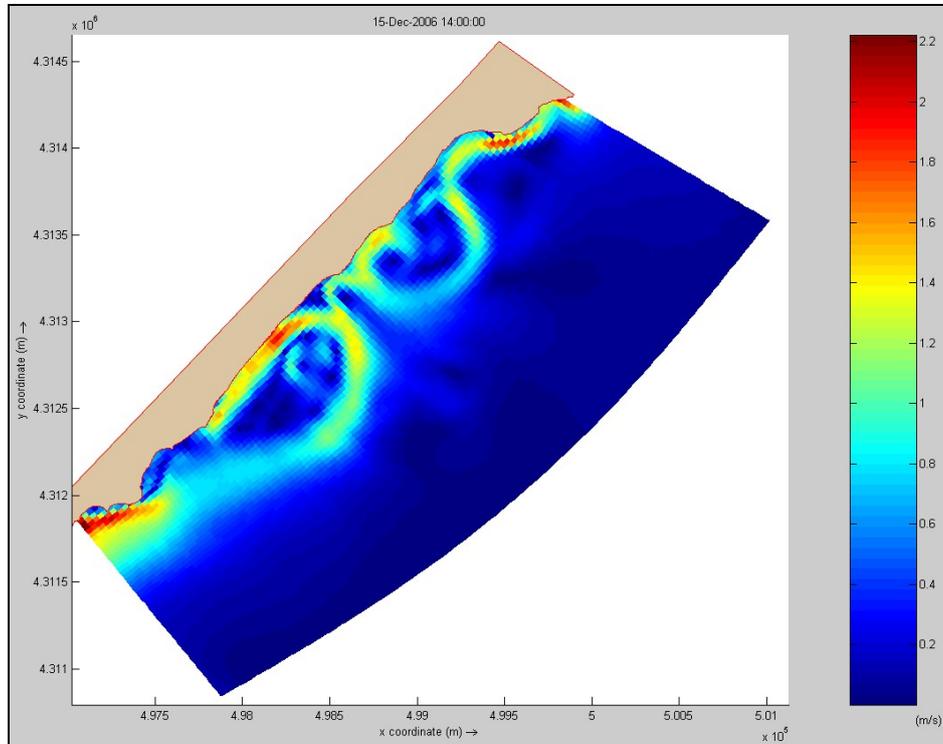


Fig. 169 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

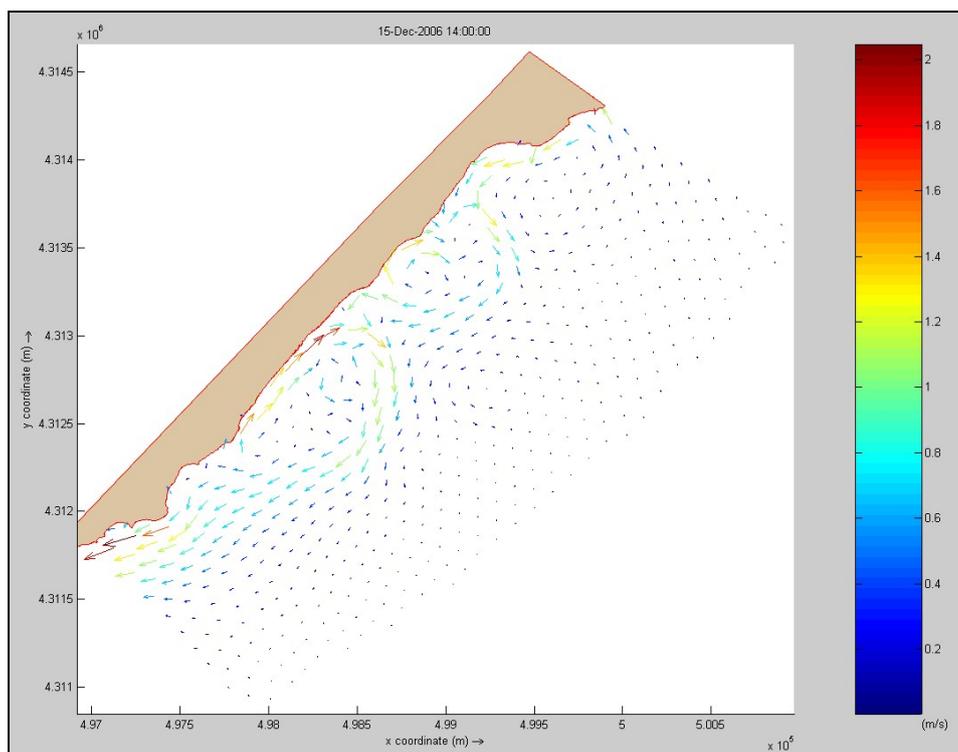


Fig. 170 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Dopo le prime 12 ore prevale un flusso idrodinamico *longshore* con direzione costante NE-SW (Figg. 171 e 172).

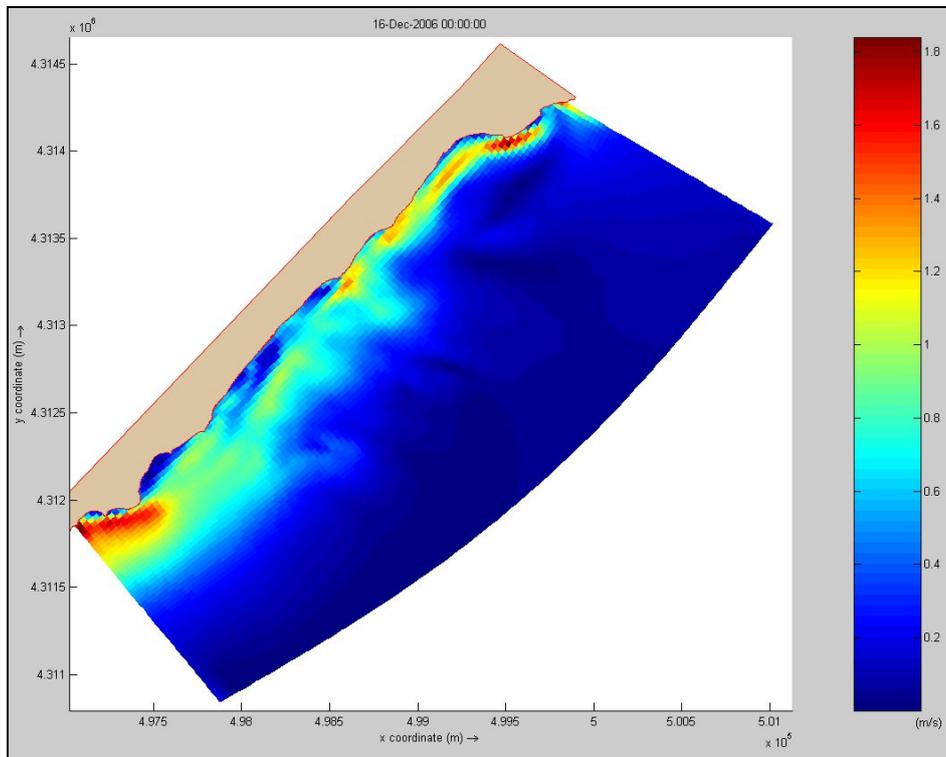


Fig. 171 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

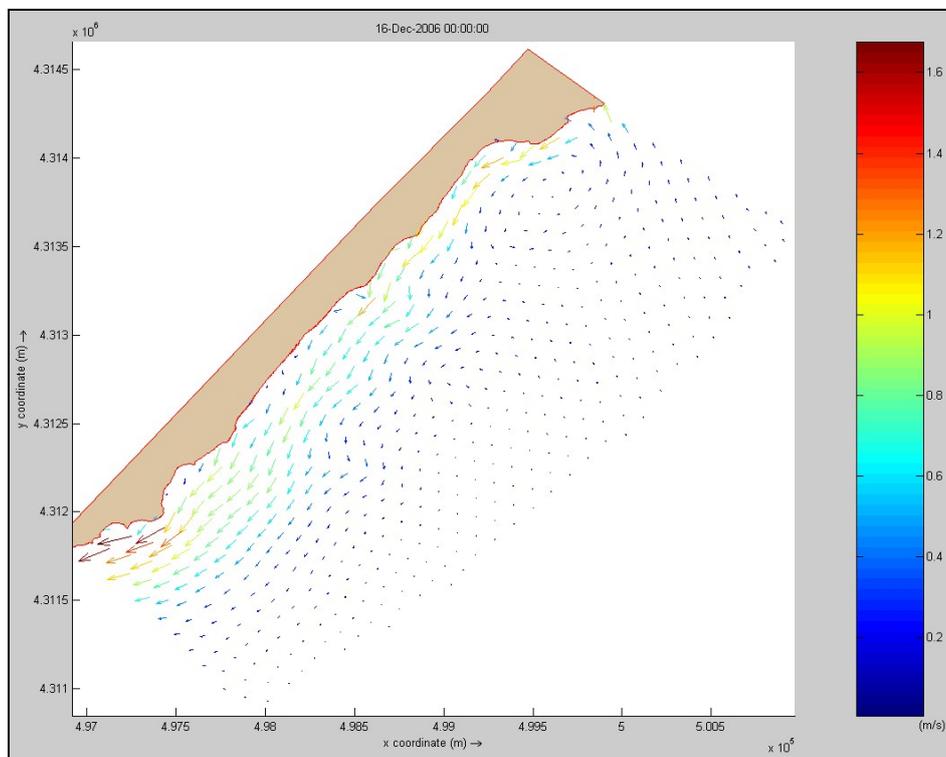


Fig. 172 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

La corrente *longshore* NE-SW si mantiene costante sino al termine della simulazione di 24 ore (Figg 173 e 174).

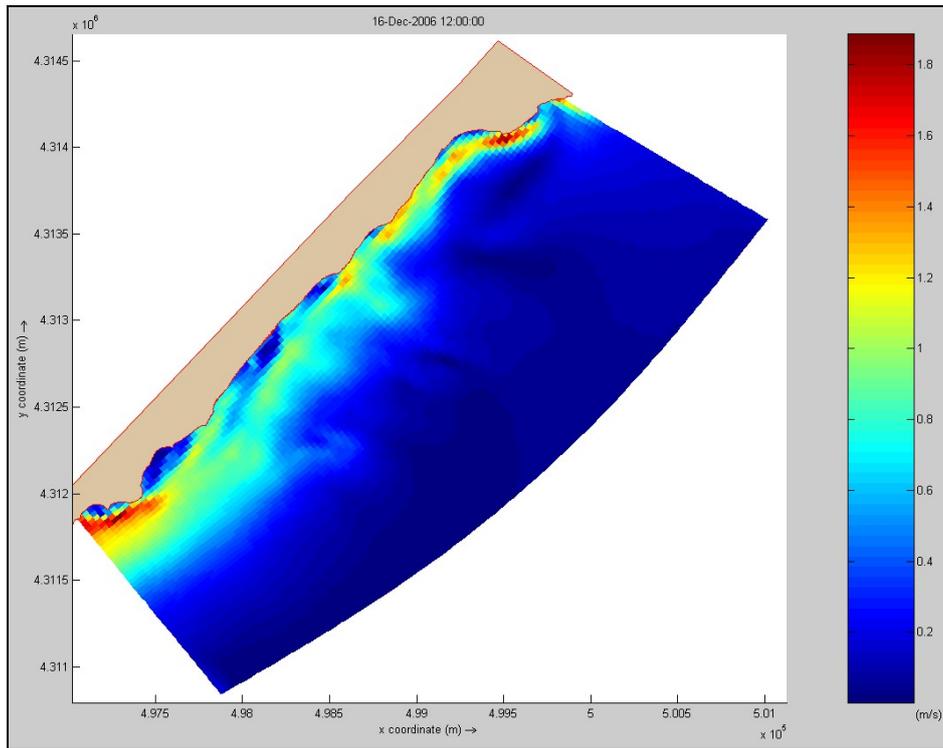


Fig. 173 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

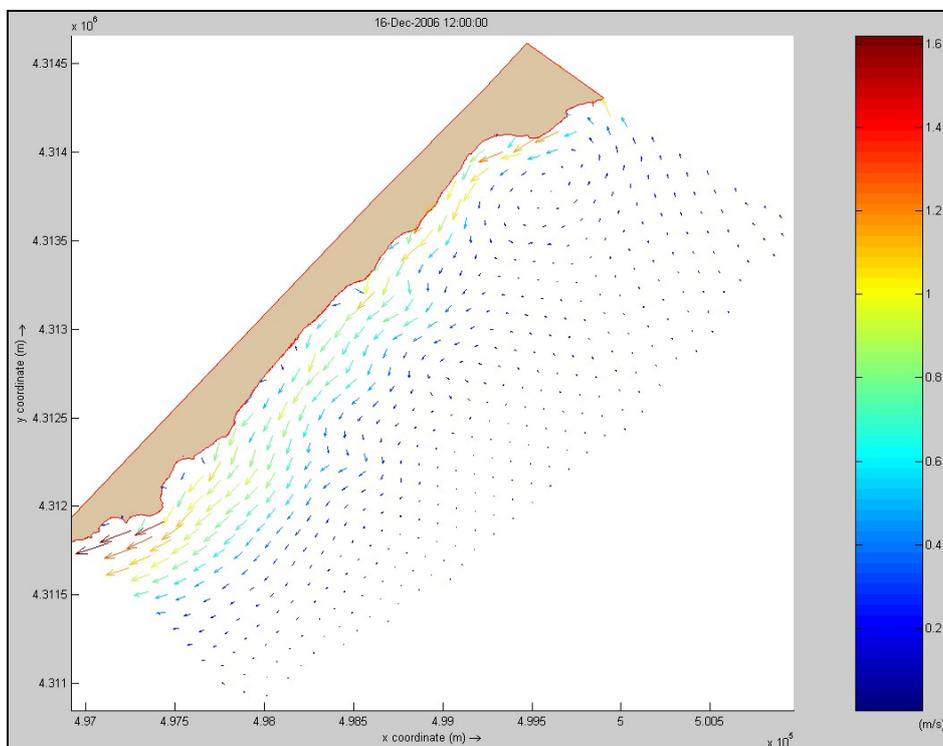


Fig. 174 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Il prodotto finale è una *surfzone* estesa circa 500 metri dalla battigia e strutturata in due ordini di barre e truogoli inizialmente maggiormente controllati dall'assetto delle *rip-current* (barre

frazionate e a festoni con convessità verso il largo) che in fase finale si orientano parallelamente alla linea di battigia (Fig. 176) e si disarticolano in 6 segmenti.

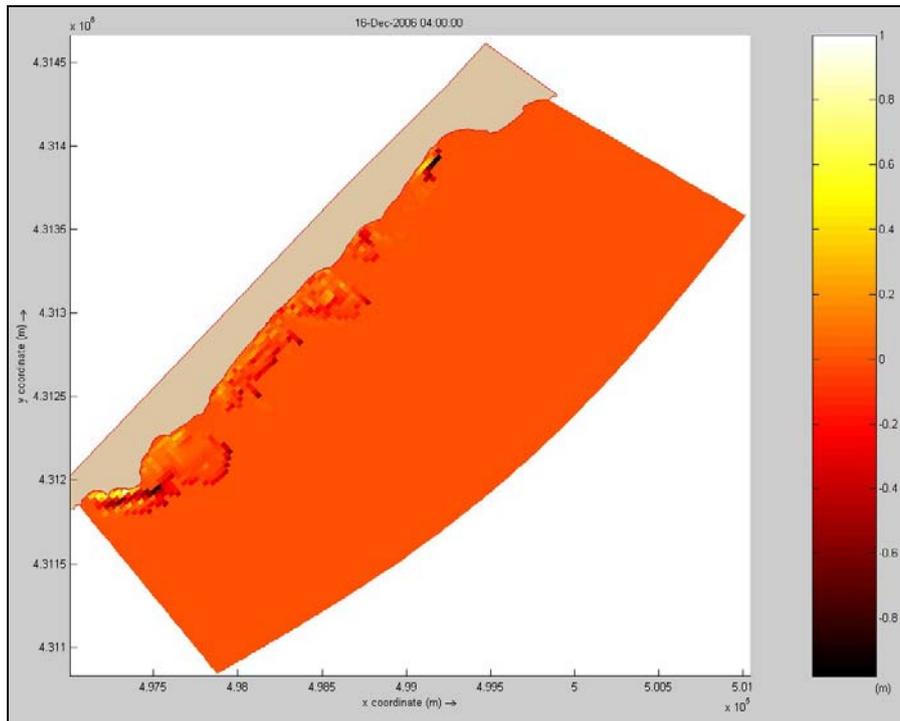


FIG. 175 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 16h di simulazione. Valori in metri.

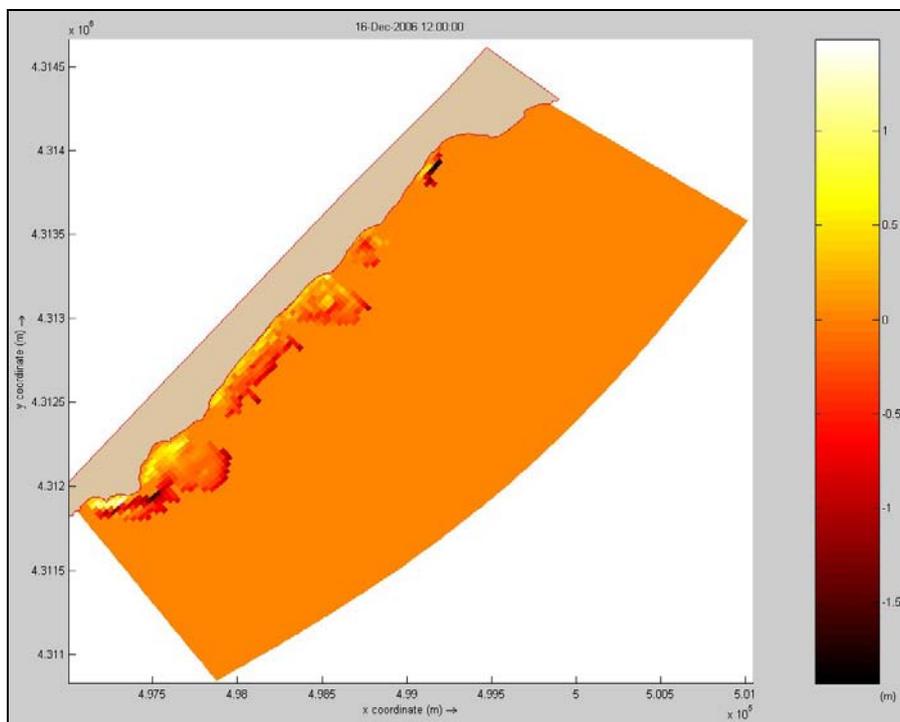


FIG. 176 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 24h di simulazione. Valori in metri.

SIMULAZIONE M11

Località:	Santa Margherita di Pula	
Evento Meteomarinò:	Direzione:	90° (Levante)
	Velocità (m/s):	10
	Durata (h):	24

Questa simulazione riproduce un evento medio da Levante (direzione 90°).

I vettori d'onda al Tempo 0 mantengono la direzione di provenienza sino ad intersecare la batimetrica dei 7 metri. Da questa batimetrica in poi iniziano processi di rifrazione che portano rotazioni massime di 10° a profondità inferiori ai -2 metri (Fig. 177).

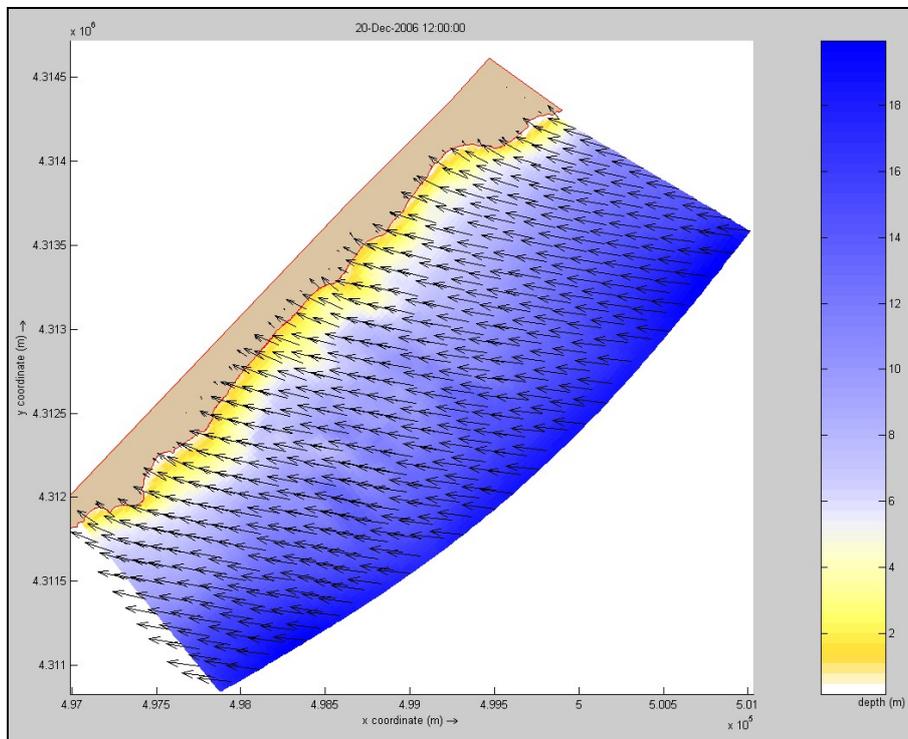


Fig. 177 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda a T=0. Valori di profondità espressi in metri.

Dopo 12 ore si osserva che l'andamento generale dei vettori d'onda non varia, se non sottocosta, nel settore centro-nord della spiaggia, in prossimità della cuspidè strutturale caratterizzato da convergenza di raggi d'onda (Fig. 178).

Lo stesso andamento si osserva dopo le 24 ore di simulazione (Fig. 179).

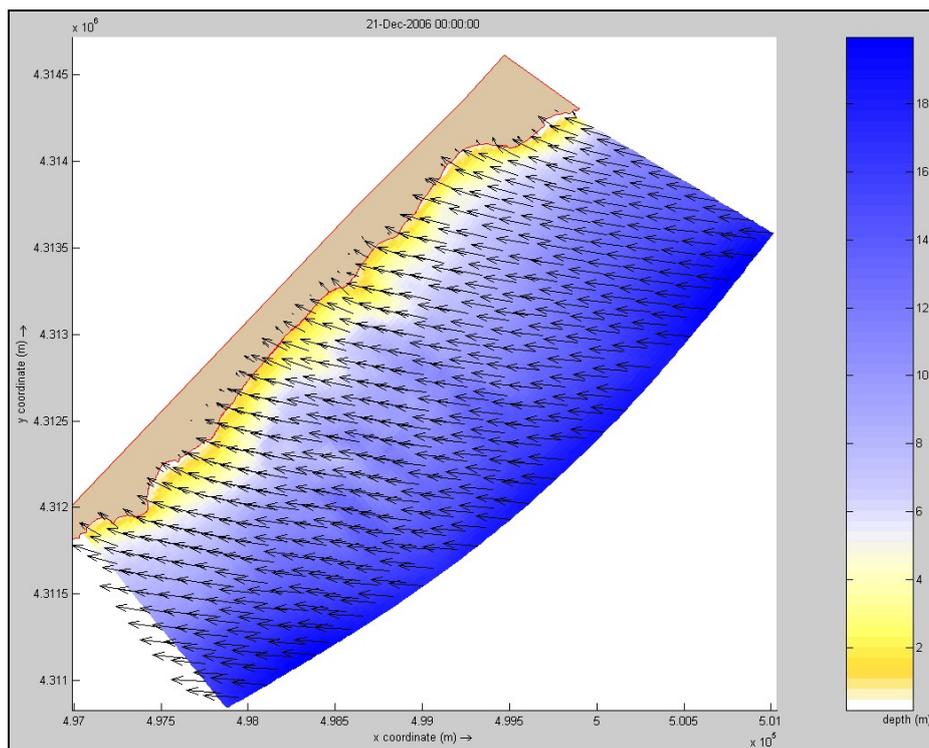


Fig. 178 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 12 ore. Valori di profondità espressi in metri.

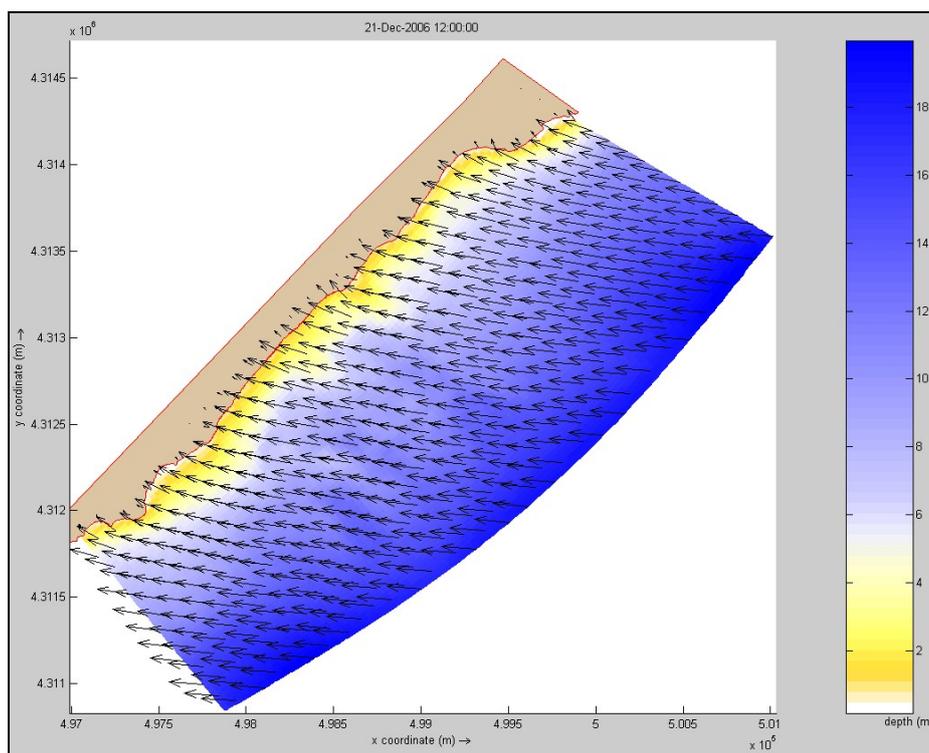


Fig. 179 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 24 ore. Valori di profondità espressi in metri.

Esaminando l'idrodinamica si osserva, sin dalle prime 2 ore di simulazione, la formazione di una corrente *longshore* in direzione NE-SW che segue l'andamento della linea di riva (Figg. 180 e 181).

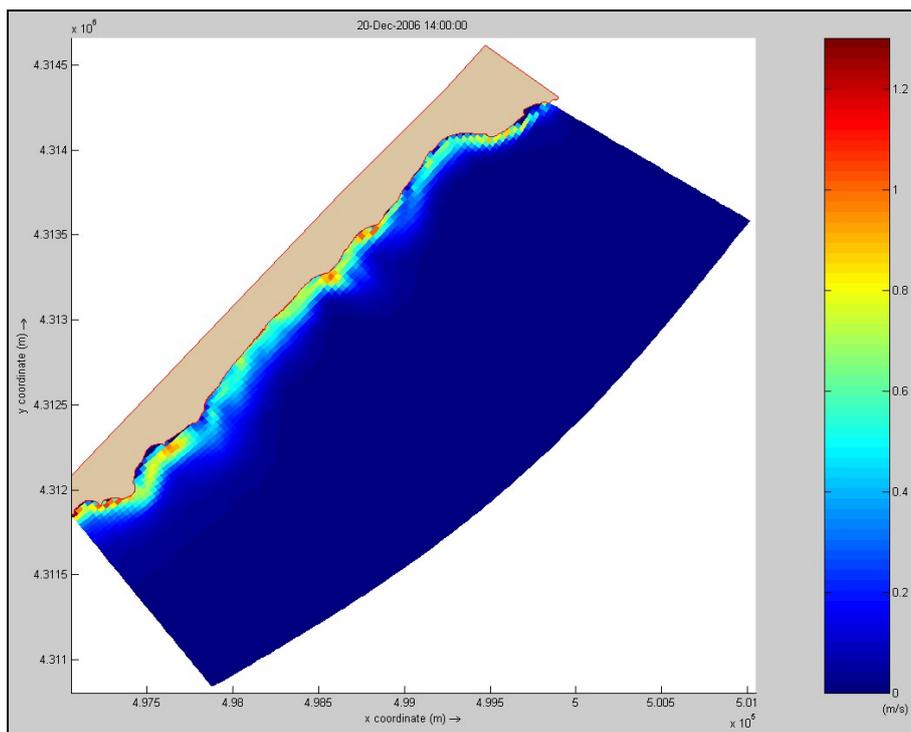


Fig. 180 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

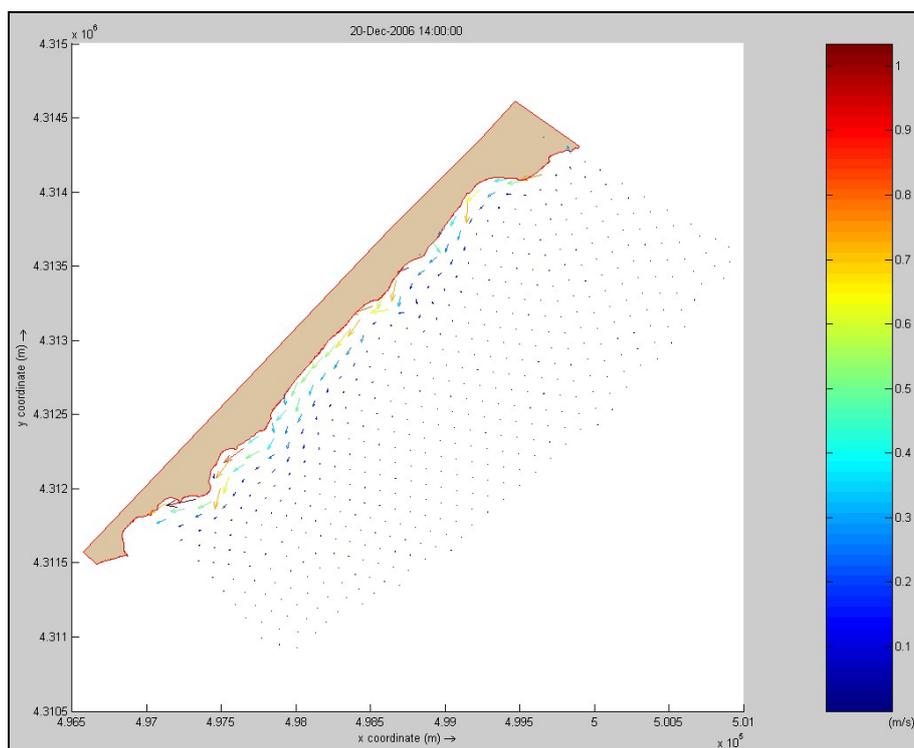


Fig. 181 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Questo andamento della corrente *longshore* si mantiene costante per tutte le 24 ore di simulazione senza evidenziare la formazione di celle di circolazione o correnti differenti dalla direzione principale (Figg. 182 e 183).

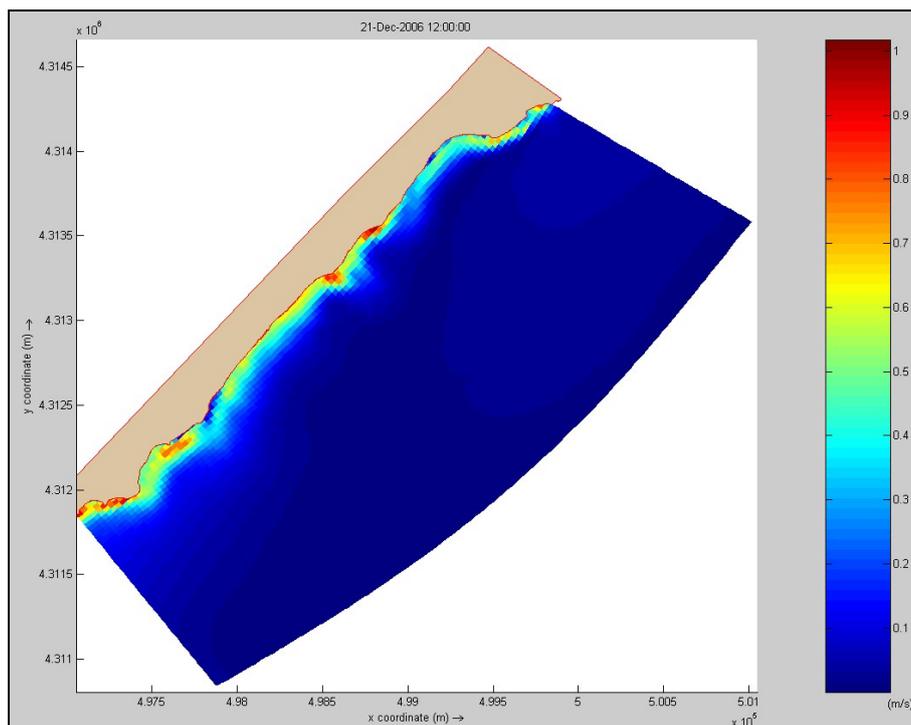


Fig. 182 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

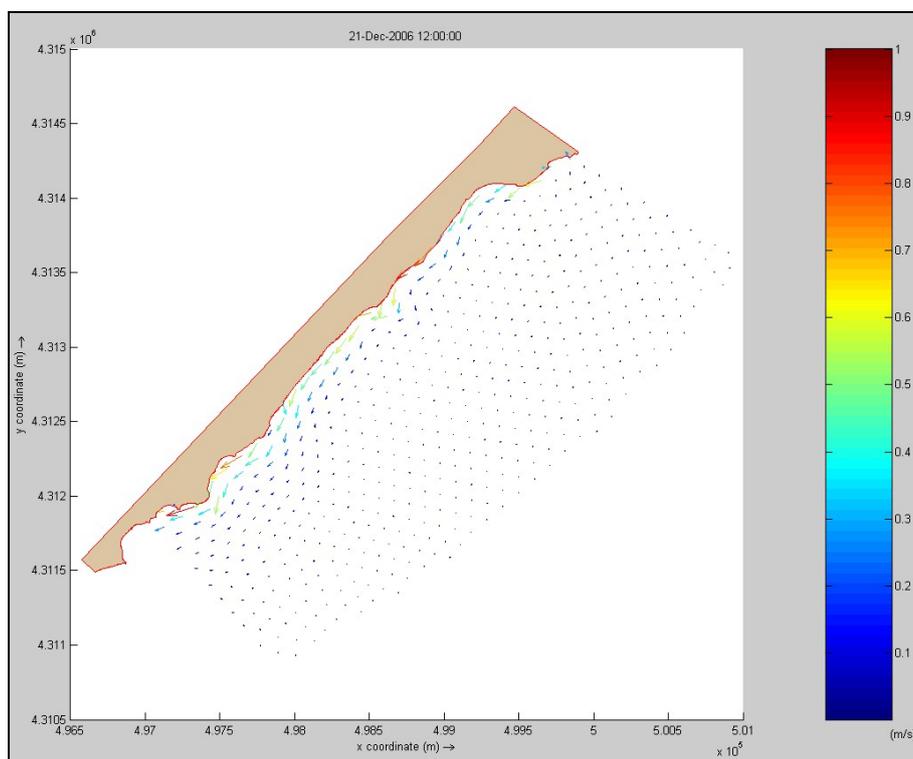


Fig. 183 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Questa circolazione idrodinamica porta alla formazione di un ampio truogolo e di una barra paralleli alla linea di riva che seguono l'andamento del profilo costiero (Fig. 184).

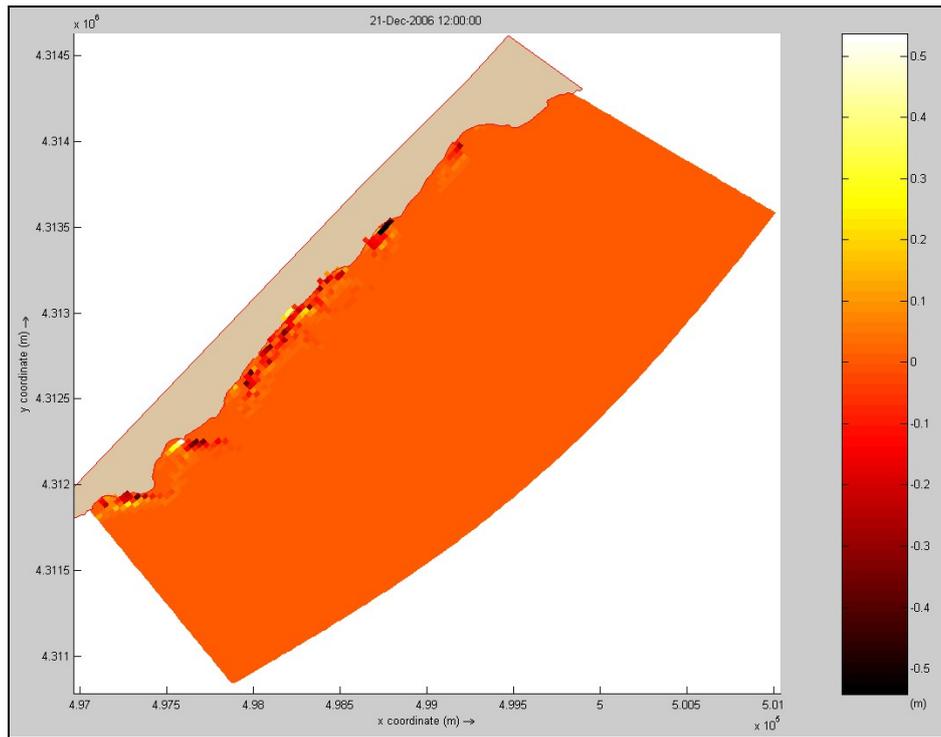


Fig. 184 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 24h di simulazione. Valori in metri.

SIMULAZIONE M12

Località:	Santa Margherita di Pula	
Evento Meteomarinò:	Direzione:	90° (Levante)
	Velocità (m/s):	25
	Durata (h):	24

Questa simulazione riproduce l'evento estremo di Levante sulla spiaggia.

I vettori d'onda al Tempo 0 iniziano a subire fenomeni di rifrazione a profondità intorno ai -10 metri, soprattutto nel settore centro-nord della spiaggia, mentre nel settore SW tali fenomeni sono meno evidenti (Fig. 185).

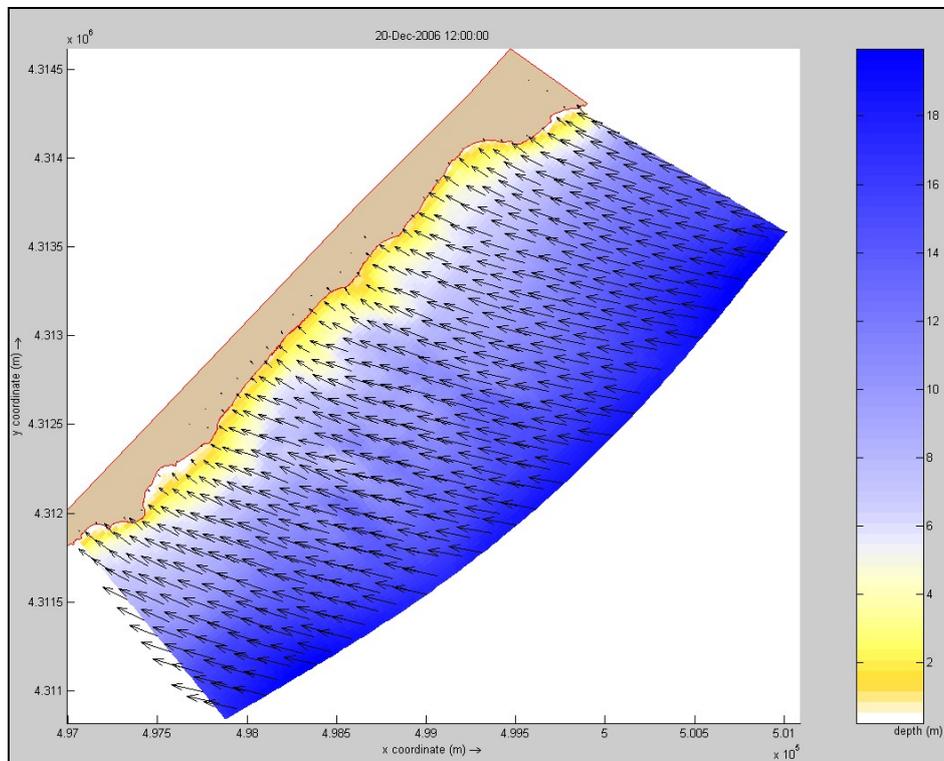


Fig. 185 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda a T=0. Valori di profondità espressi in metri.

Nell'arco delle 24 ore si accentuano i fenomeni di rifrazione sotto costa, soprattutto in prossimità delle cuspidi strutturali della spiaggia, come già visto in precedenti simulazioni (Figg. 186 e 187).

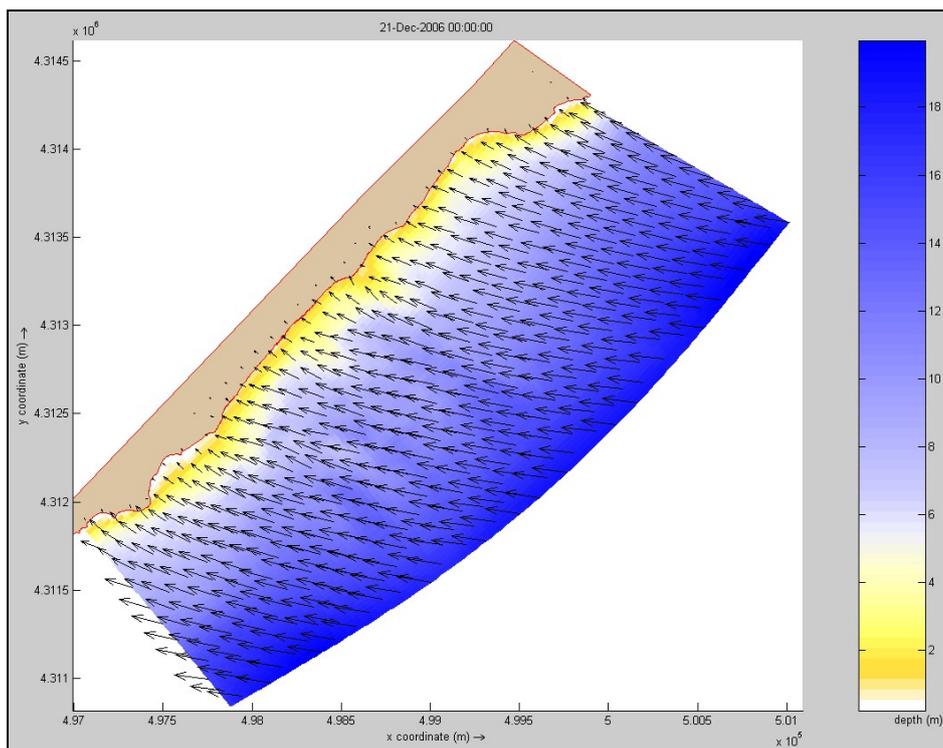


Fig. 186 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 12 ore. Valori di profondità espressi in metri.

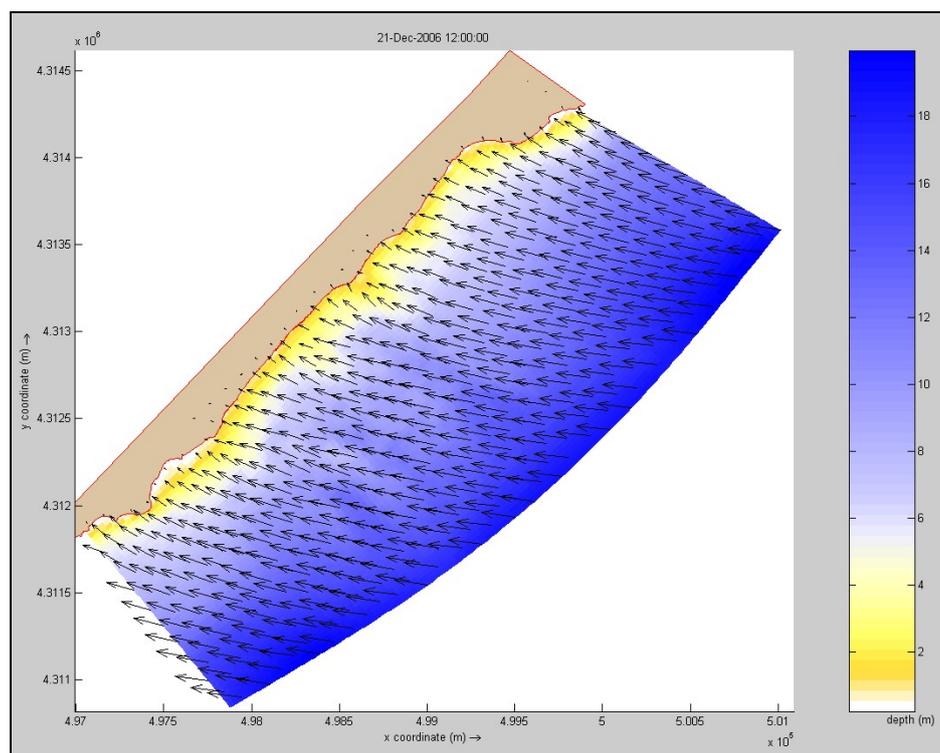


Fig. 187 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 24 ore. Valori di profondità espressi in metri.
 Dal punto di vista idrodinamico si può osservare la formazione, sin dalle prime 2 ore di simulazione, di una corrente *longshore* con direzione NE-SW. Solo nel settore al centro della spiaggia si osserva la formazione di una piccola *rip-current* dovuta all'innesco di una cella di circolazione oraria (Figg. 188 e 189).

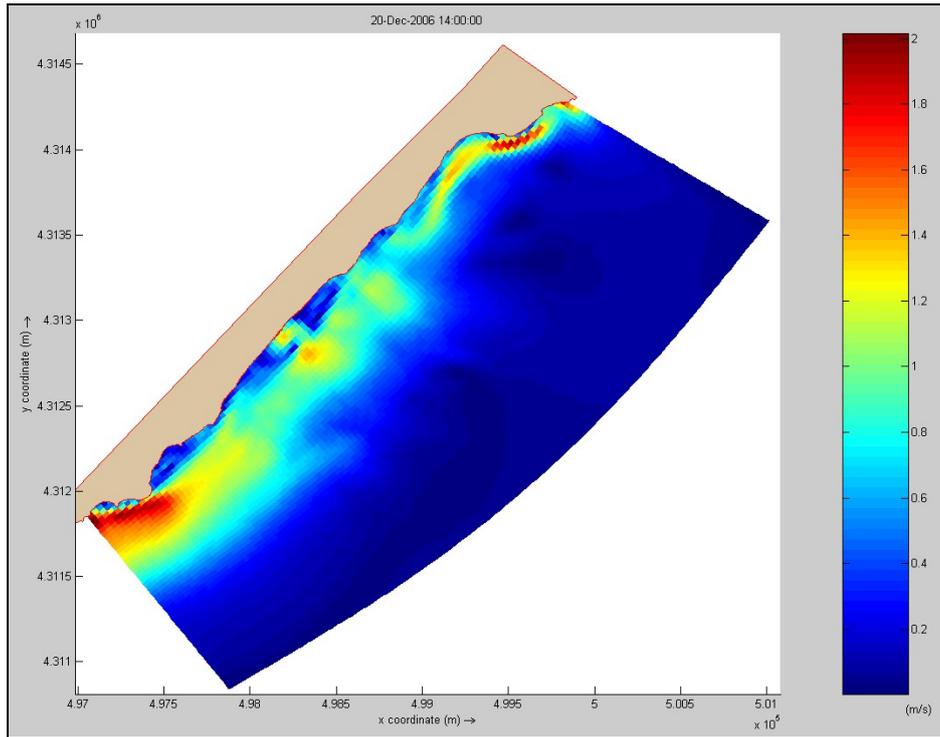


Fig. 188 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

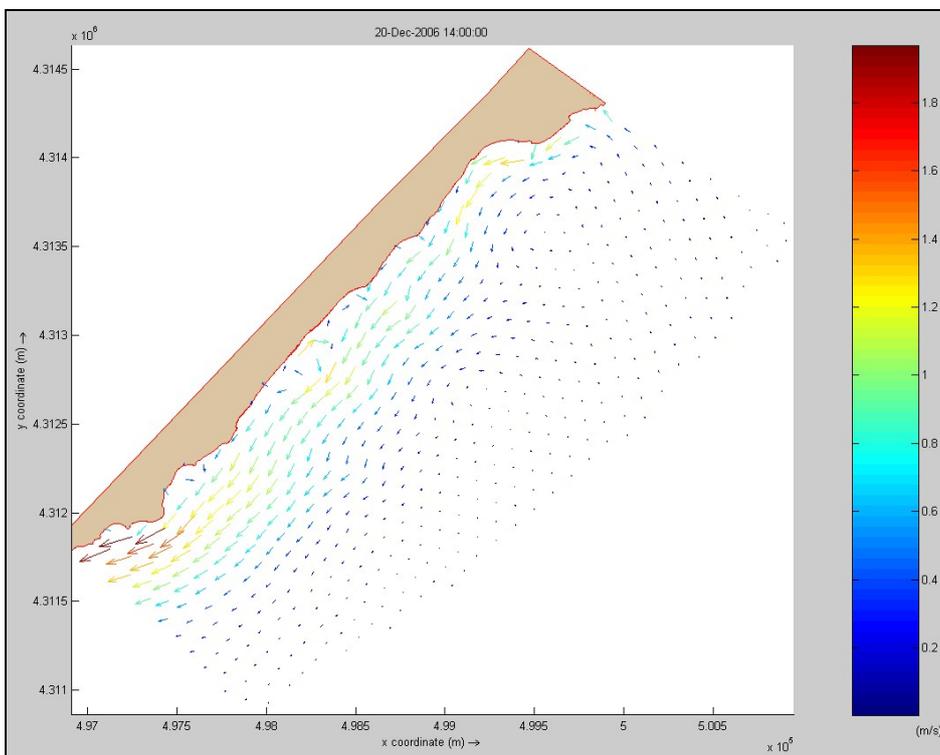


Fig. 189 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Nell'arco delle 24 ore il sistema idrodinamico si mantiene costante e continua a prevalere la corrente *longshore* (Figg. 190 e 191).

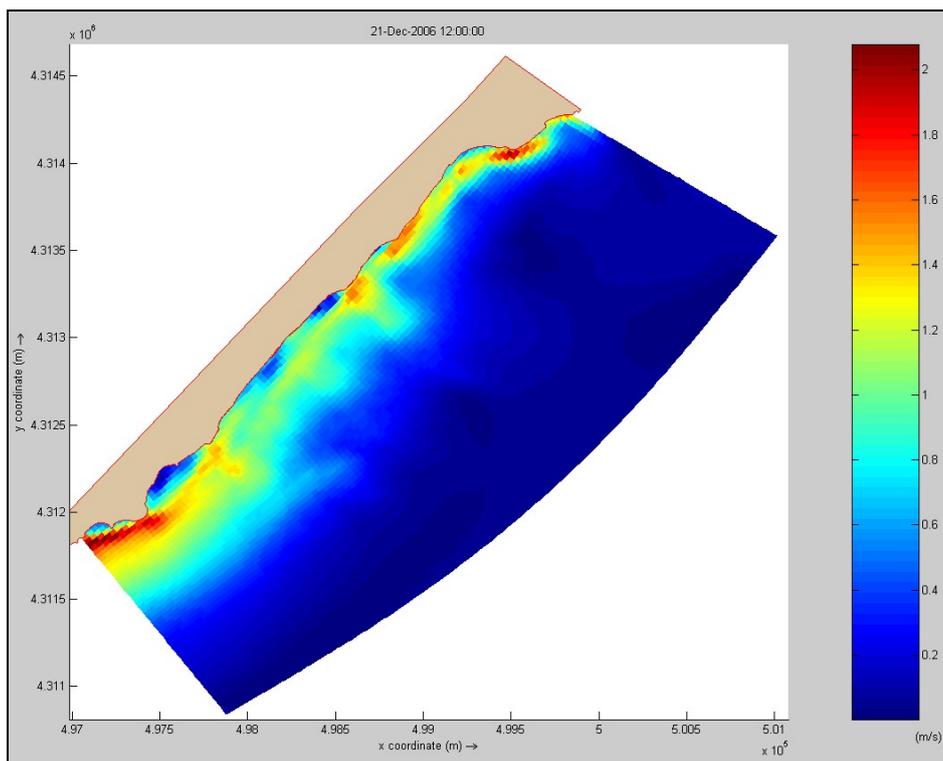


Fig. 190 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

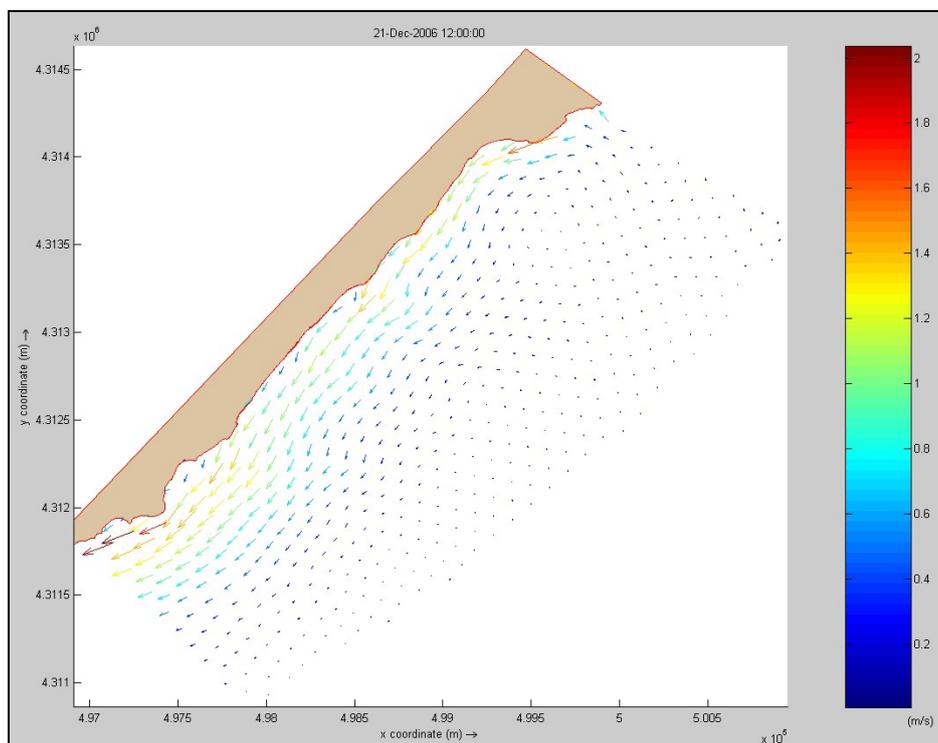


Fig. 191 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Le principali strutture che caratterizzano la shoreface sono legate ad un sistema di barre e truogoli, per lo più parallelo alla linea di riva. Rispetto all'evento medio, precedentemente illustrato, si può

osservare una maggiore ampiezza dell'areale interessato al trasporto di fondo con una crescita di superficie che si porta sino a 500 metri dalla battigia (Fig. 192).

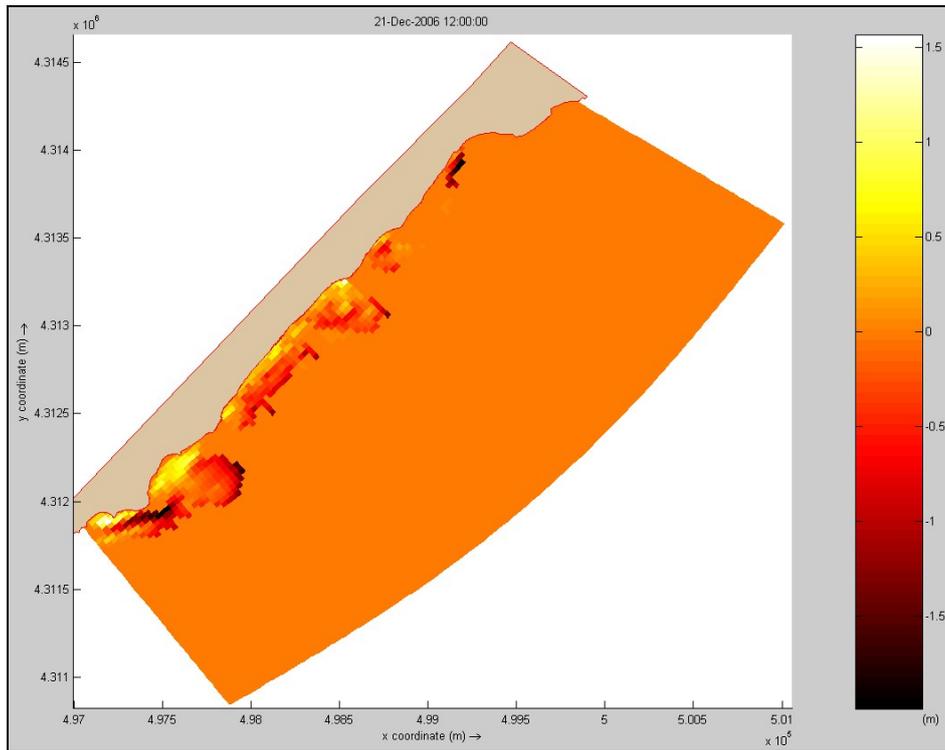


Fig. 192 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 24h di simulazione. Valori in metri.

3.5 DESCRIZIONE RISULTATI DEL MODELLO – SOLANAS

SIMULAZIONE L01

Data simulata:	15/12/2006	
Località:	Solanas (Sinnai)	
Evento Meteomarinò:	Direzione:	107°
	Velocità (m/s):	7,8
	Durata (h):	24
Condizioni a contorno:	Hs (m):	0,5
	T _p (s):	5,7

In questa simulazione si sono utilizzate le stesse condizioni viste per la simulazione M01 su Santa Margherita di Pula verificando quindi che effetti può aver prodotto lo stesso evento, associabile ad un vento da Scirocco, nel settore opposto del Golfo.

I vettori d'onda, al Tempo 0, giungono dal largo seguendo la direzione del vento.

Al raggiungimento della profondità di circa 10 metri si osserva una rifrazione che porta una rotazione graduale sino ad 80° nel settore SE della spiaggia. I vettori d'onda intersecano quindi la linea di riva con un angolo di circa 90°. Nel settore centrale e nel settore NW l'angolo dei vettori si modifica in angoli di circa 60° rispetto alla linea di riva (Fig.193).

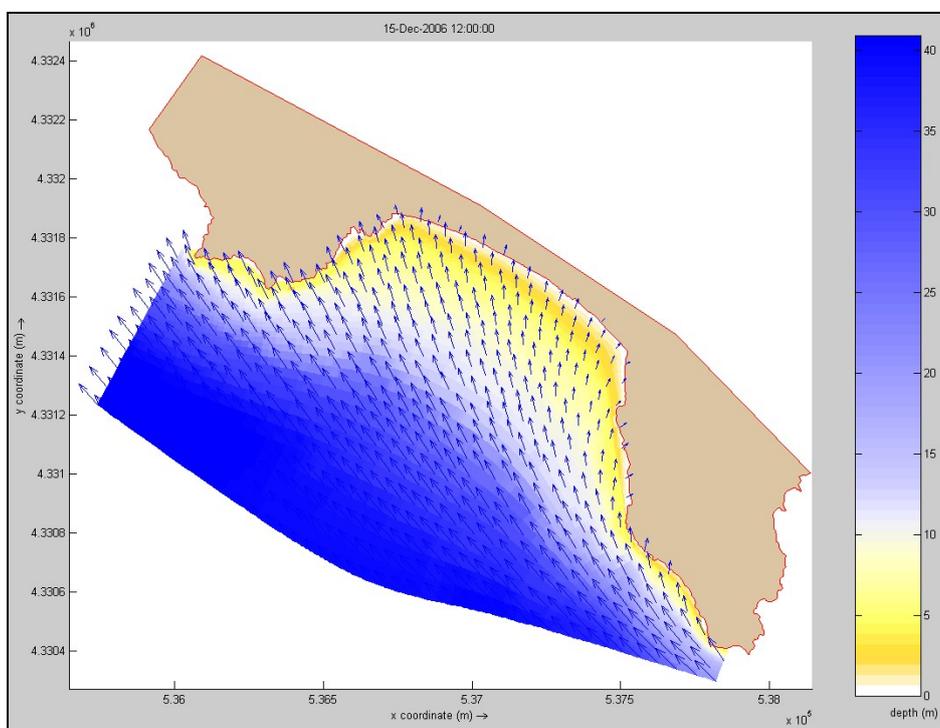


Fig. 193 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda a T=0. Valori di profondità espressi in metri.

Si osserva quindi un effetto di rifrazione attorno al promontorio di Capo Boi che porta alla rotazione dei vettori d'onda rispetto alla direzione del vento.

Al variare del tempo non si notano significativi cambiamenti di direzione dei vettori d'onda rispetto alla situazione iniziale (Fig.194).

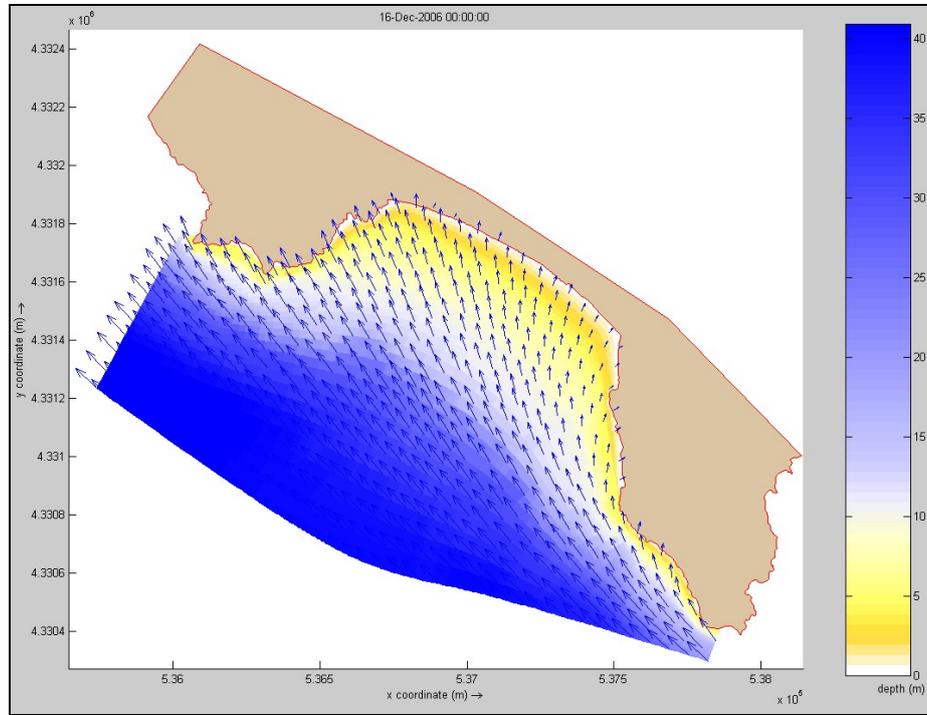


Fig. 194 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 12 ore di modellazione. Valori di profondità espressi in metri.

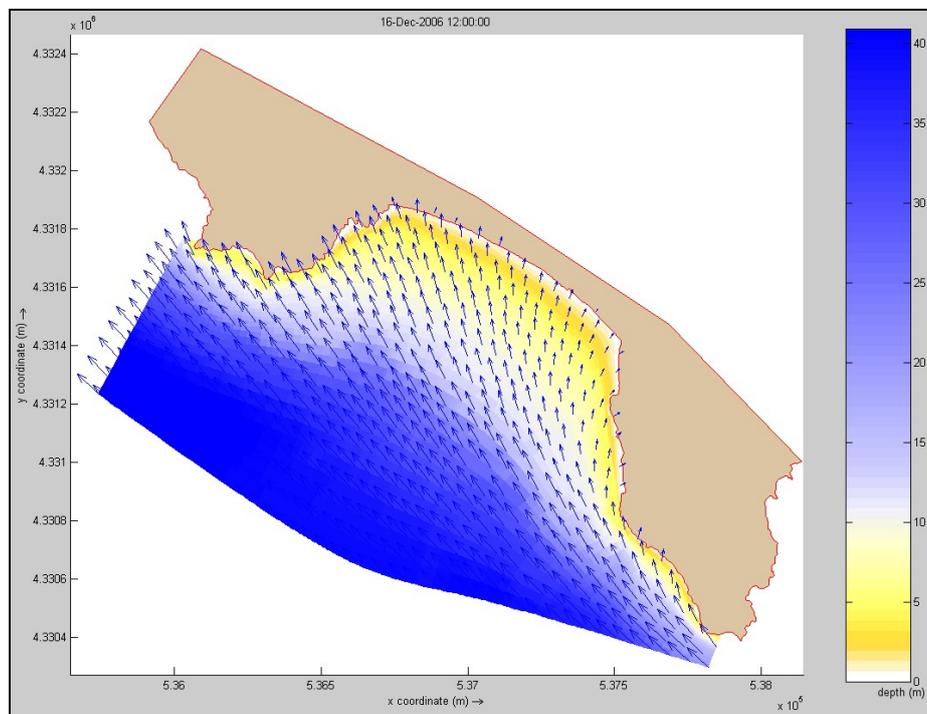


Fig. 195 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 24 ore di modellazione. Valori di profondità espressi in metri.

Da un punto di vista idrodinamico la simulazione descrive, sin dalle prime 2 ore, la formazione di una corrente *longshore* in direzione SE-NW che crea quindi un flusso di trasporto verso il settore nord-occidentale della spiaggia (Figg. 196 e 197).

La corrente si mantiene costante nell'arco delle 24 ore (Fig.198-201).

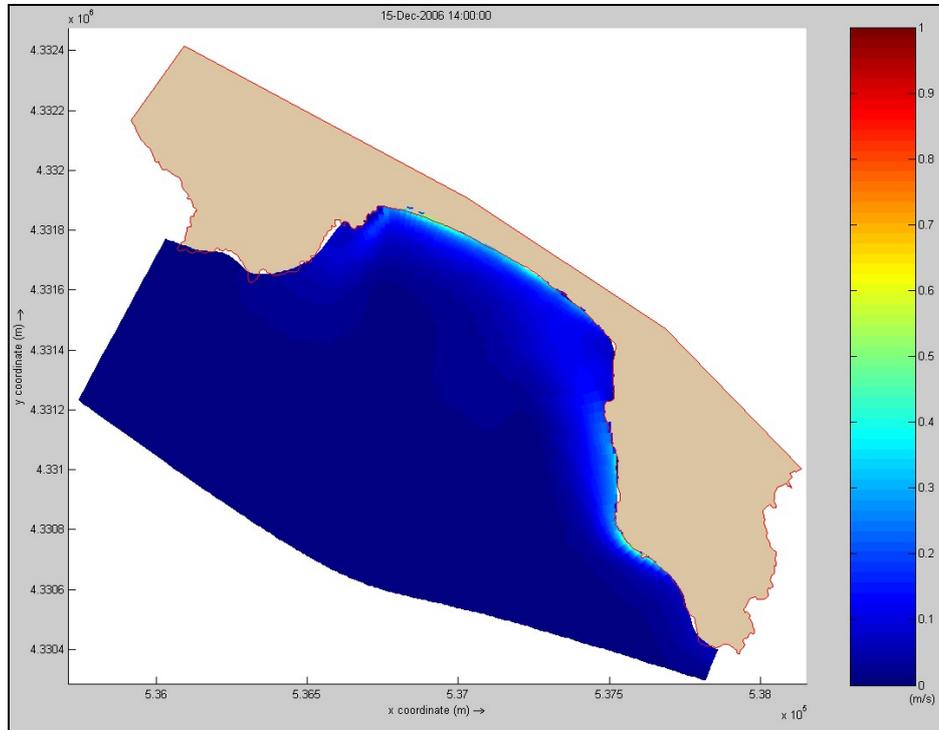


Fig. 196 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

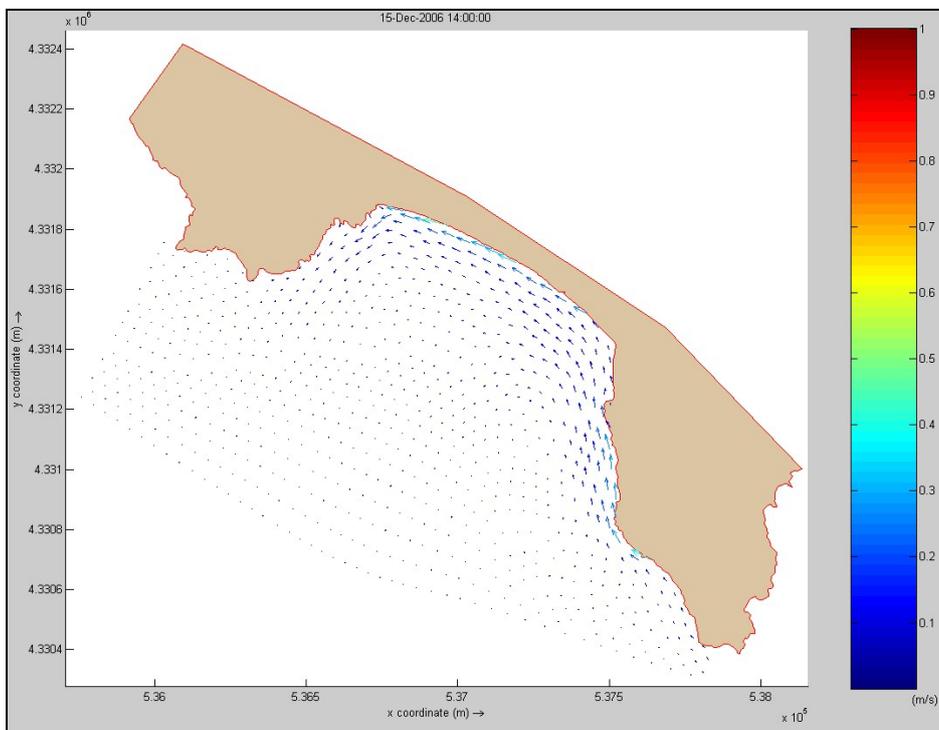


Fig. 197 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

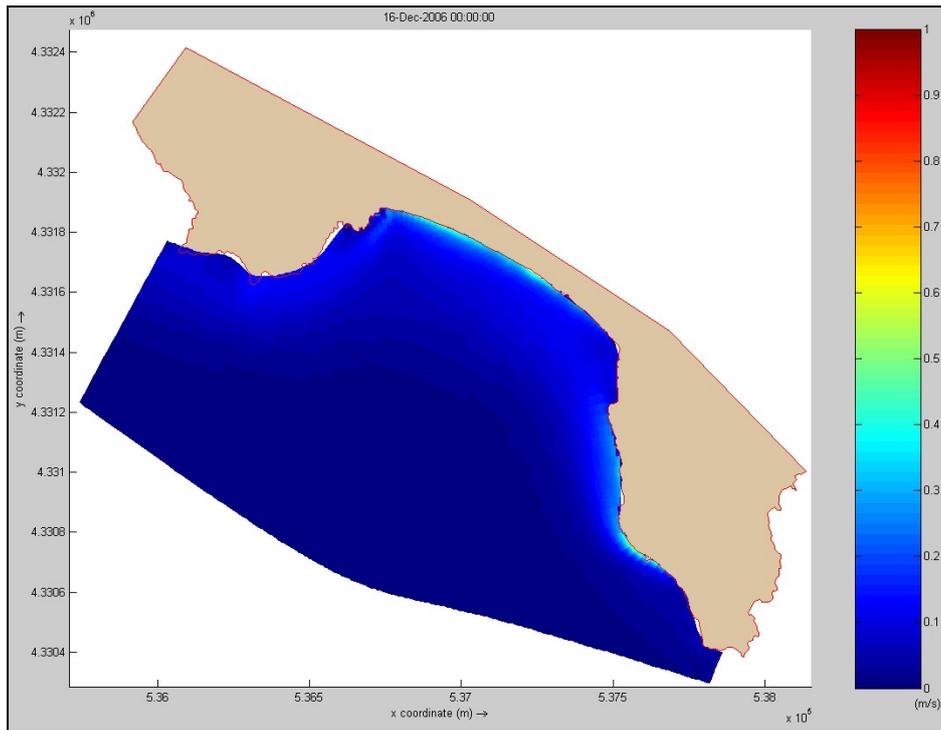


Fig. 198 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

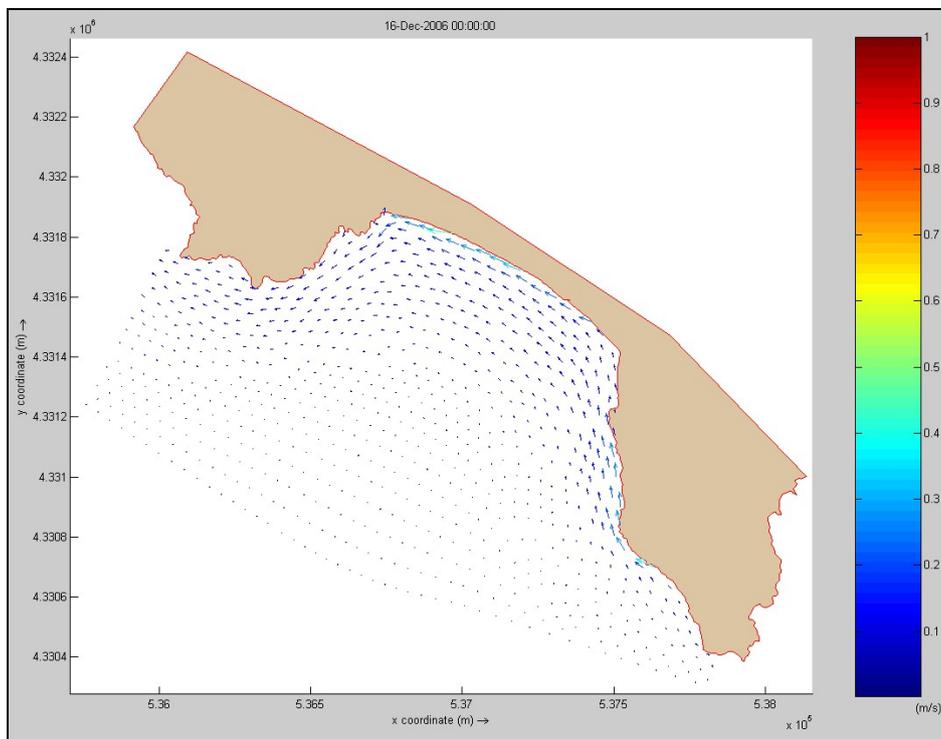


Fig. 199 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

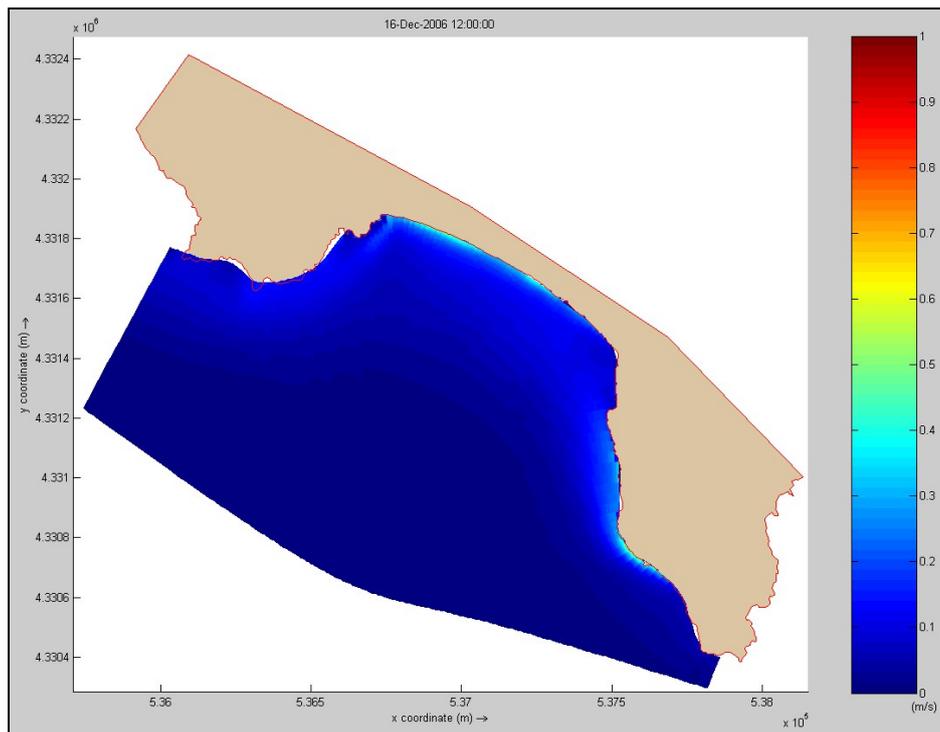


Fig. 200 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

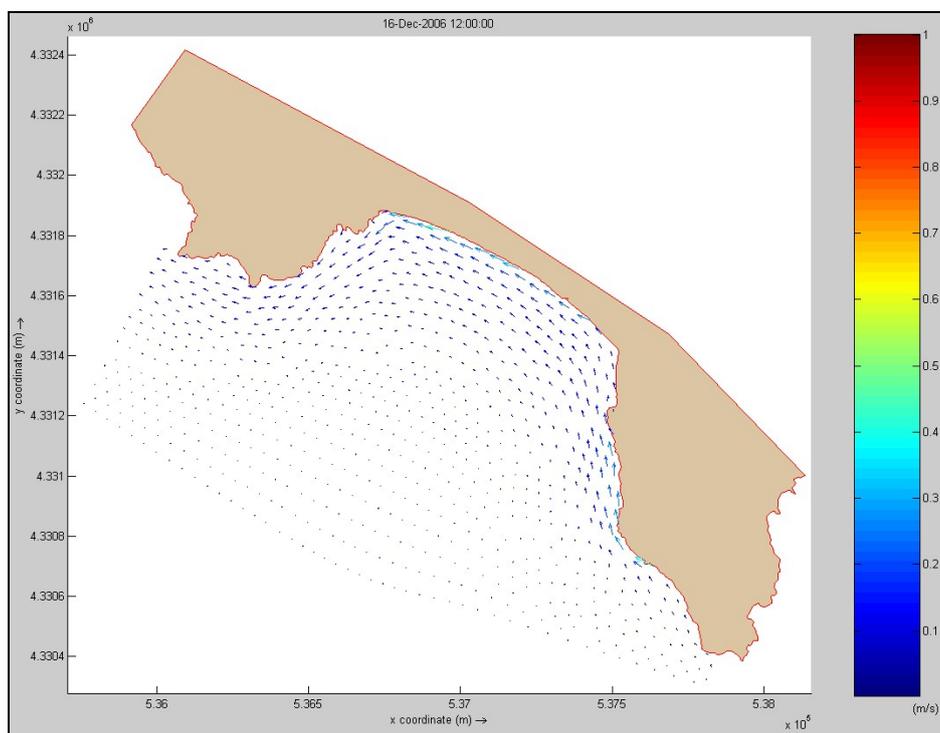


Fig. 201 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

La corrente *longshore* porta, dopo le prime ore, alla formazione di una piccola barra e un trugolo nel settore nord-occidentale della spiaggia delineando una *surfzone* estesa per circa 100 metri dalla linea di battigia (Fig. 202). Queste strutture si impostano nell'arco delle 24 ore, mantenendosi stabili (Fig. 203).

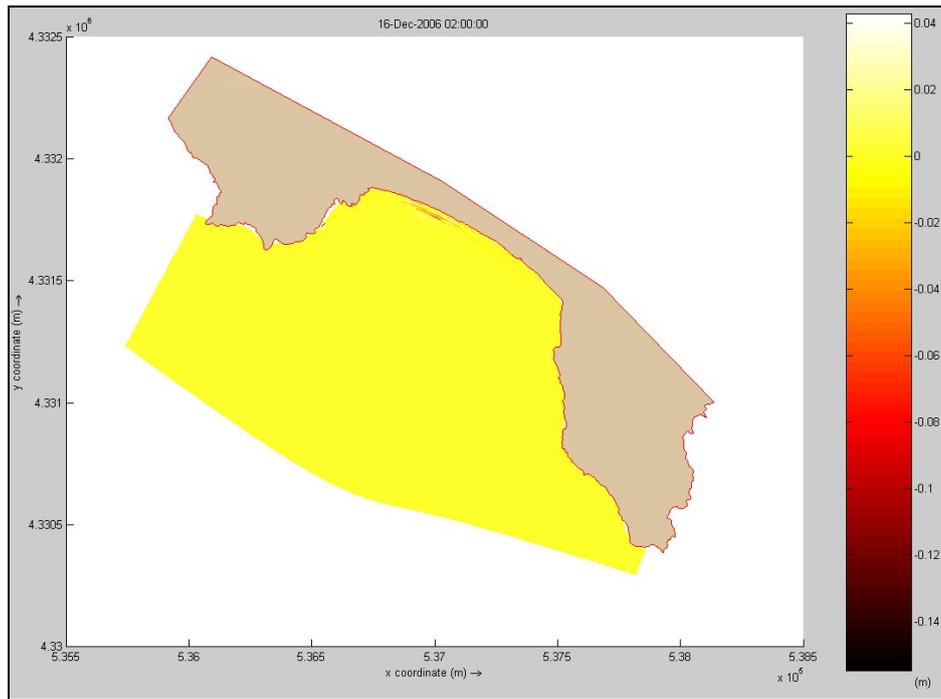


Fig. 202 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 14h di simulazione. Valori espressi in m.

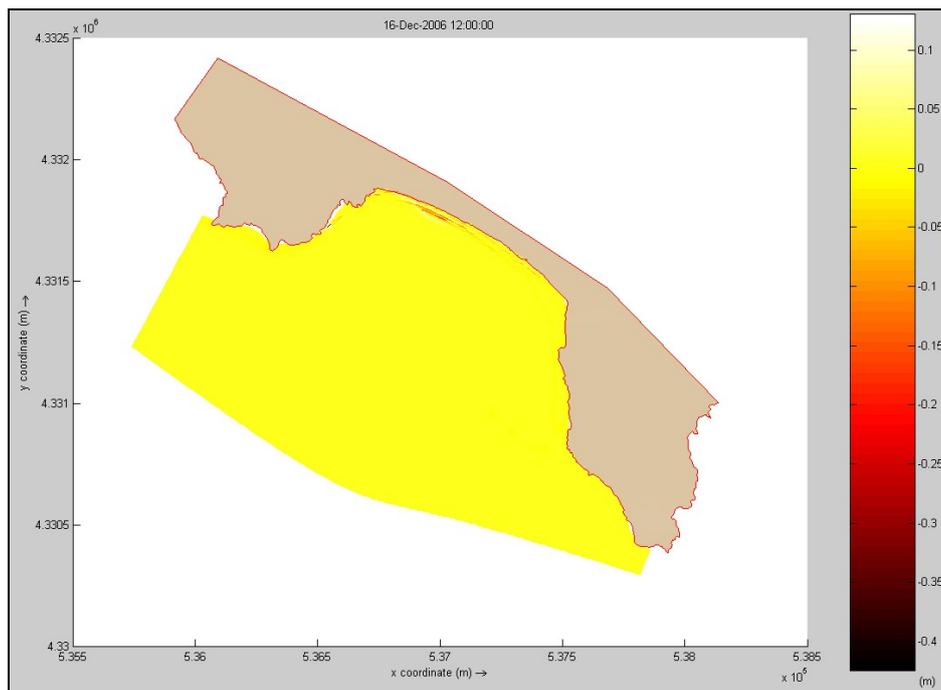


Fig. 203 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m.

SIMULAZIONE L02

Data simulata:	29/12/2006	
Località:	Solanas (Sinnai)	
Evento Meteomarinò:	Direzione:	323°
	Velocità (m/s):	2,4
	Durata (h):	24
Condizioni a contorno:	Hs (m):	0,5
	T _p (s):	5,7

La simulazione è caratterizzata da un vento da Maestrale con bassa intensità (2,4 m/s).

I vettori d'onda, al Tempo 0, giungono dal largo con una direzione da ponente e come intersecano la profondità di 15 metri subiscono un processo di rifrazione che porta ad una rotazione graduale, accentuata maggiormente nel settore NW della spiaggia.

Si osserva quindi che i vettori d'onda intersecano la linea di battigia perpendicolarmente in tutto il settore NW, mentre nel settore SE si registrano angoli d'approccio pari a circa 60° (Fig. 204).

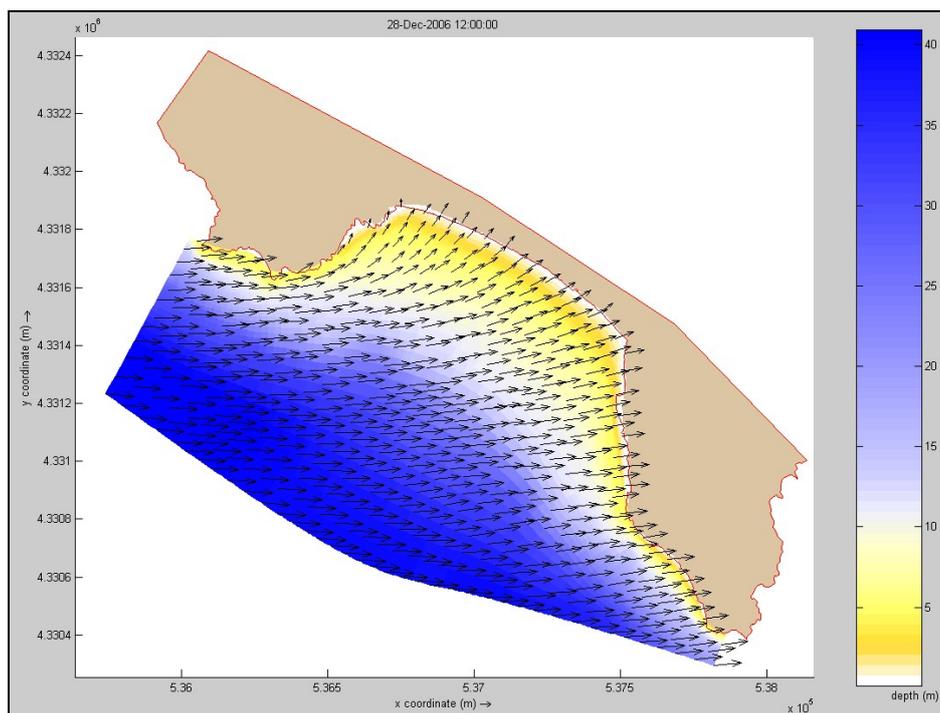


Fig. 204 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda a T=0. Valori di profondità espressi in metri.

Questa situazione si mantiene costante nell'arco delle 24 ore di simulazione (Figg. 205 e 206).

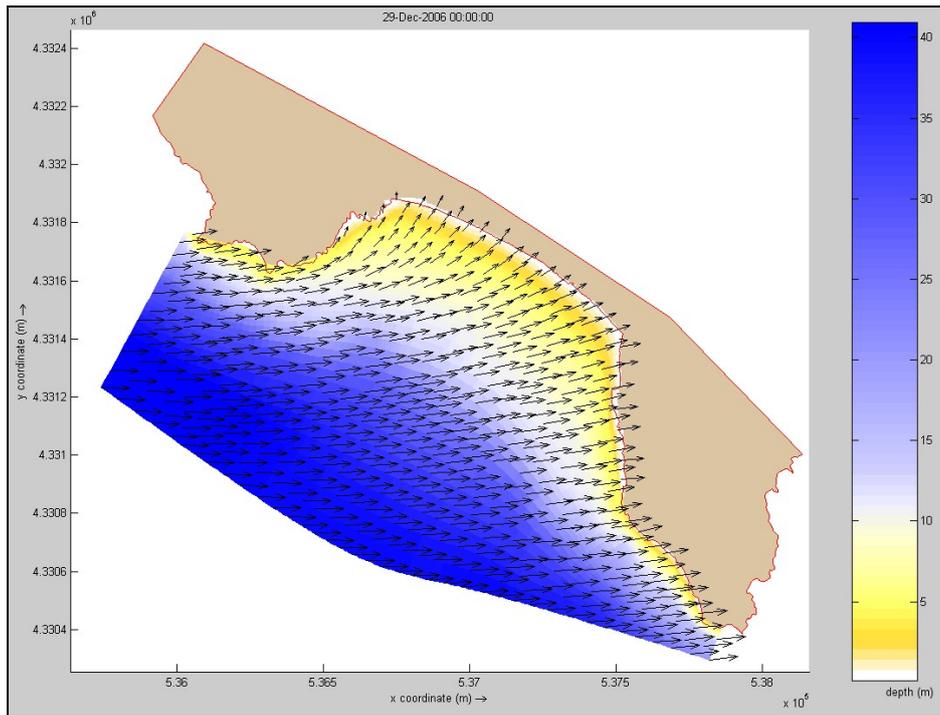


Fig. 205 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 12 ore di modellazione. Valori di profondità espressi in metri.

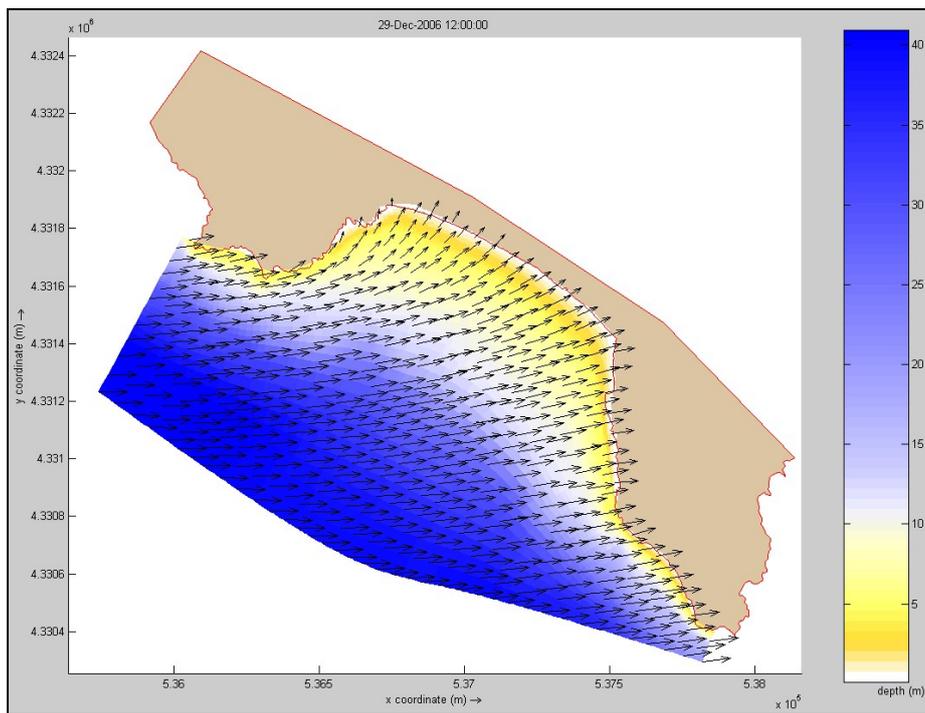


Fig. 206 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 24 ore di modellazione. Valori di profondità espressi in metri.

La simulazione idrodinamica evidenzia la formazione di una corrente *longshore* con direzione NW-SE (Figg. 207 e 208). Questa corrente si muove lungo tutto il tratto di costa, sviluppandosi anche attorno al promontorio di Capo Boi.

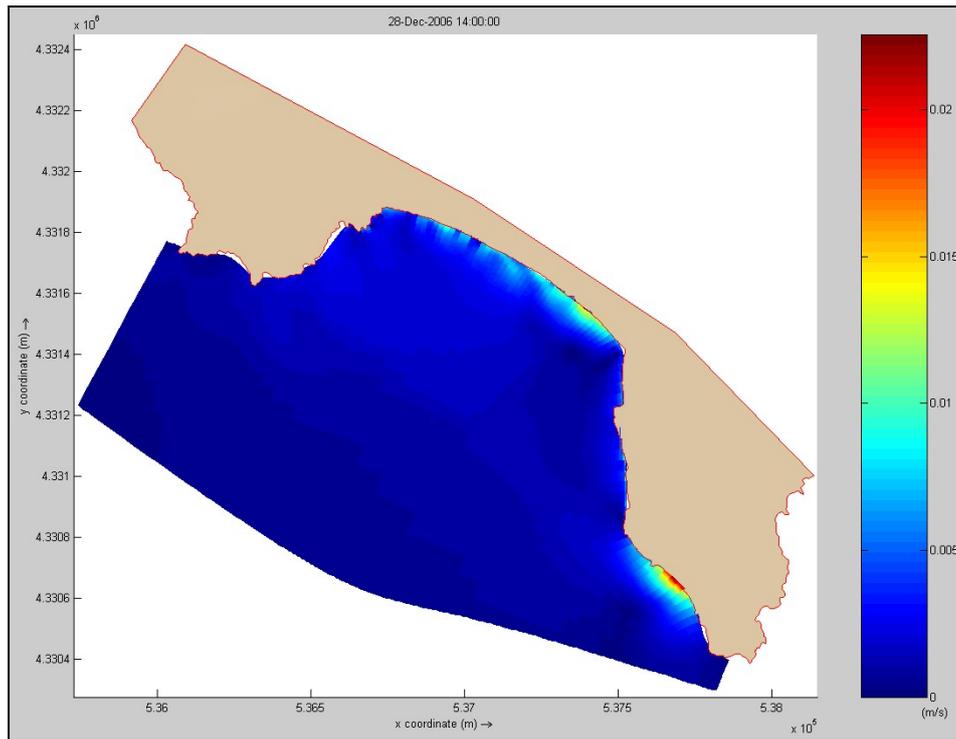


Fig. 207 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

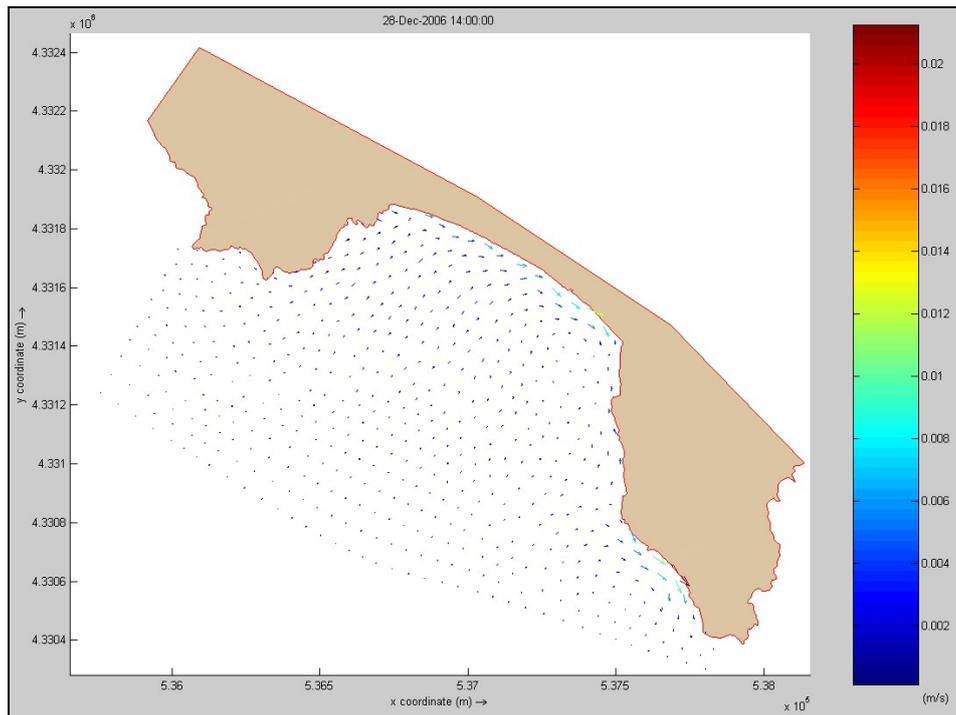


Fig. 208 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Dopo 12 ore la direzione della corrente *longshore* si mantiene costante, mentre si evidenzia una maggiore velocità nel settore SE della spiaggia (Figg. 209 e 210).

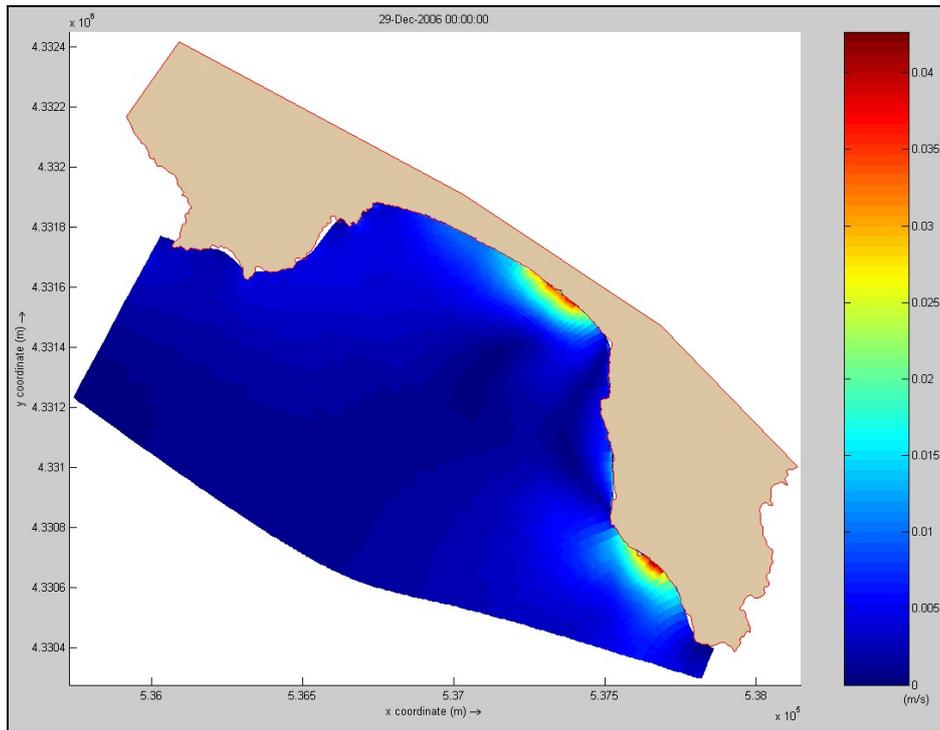


Fig. 209 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

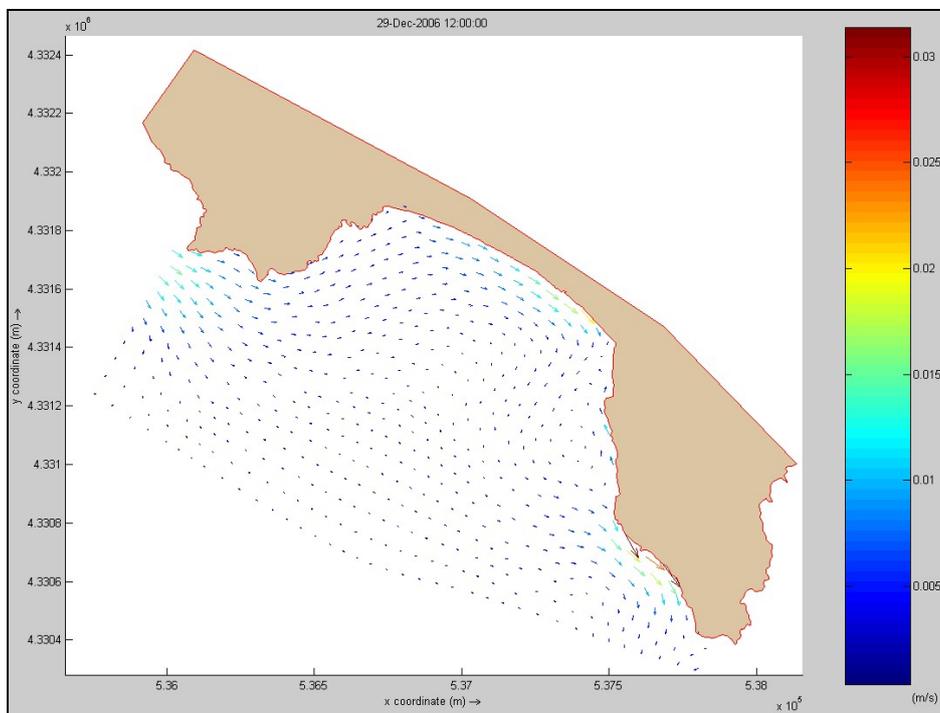


Fig. 210 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

L'assetto idrodinamico si mantiene costante sino al termine della simulazione (24 ore) (Figg. 211 e 212).

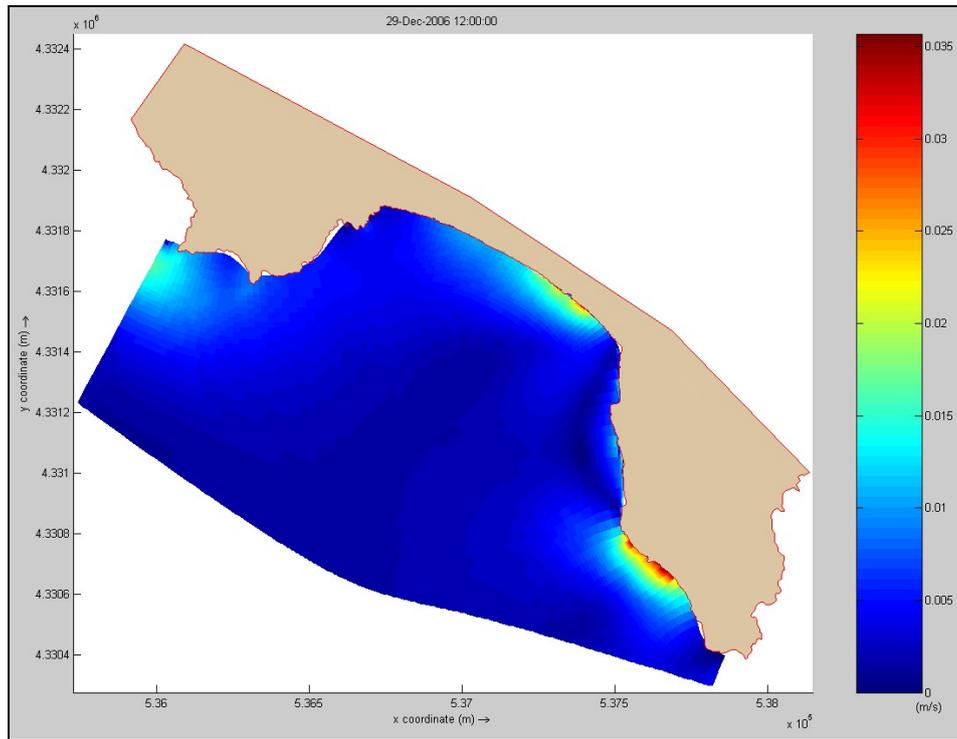


Fig. 211 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

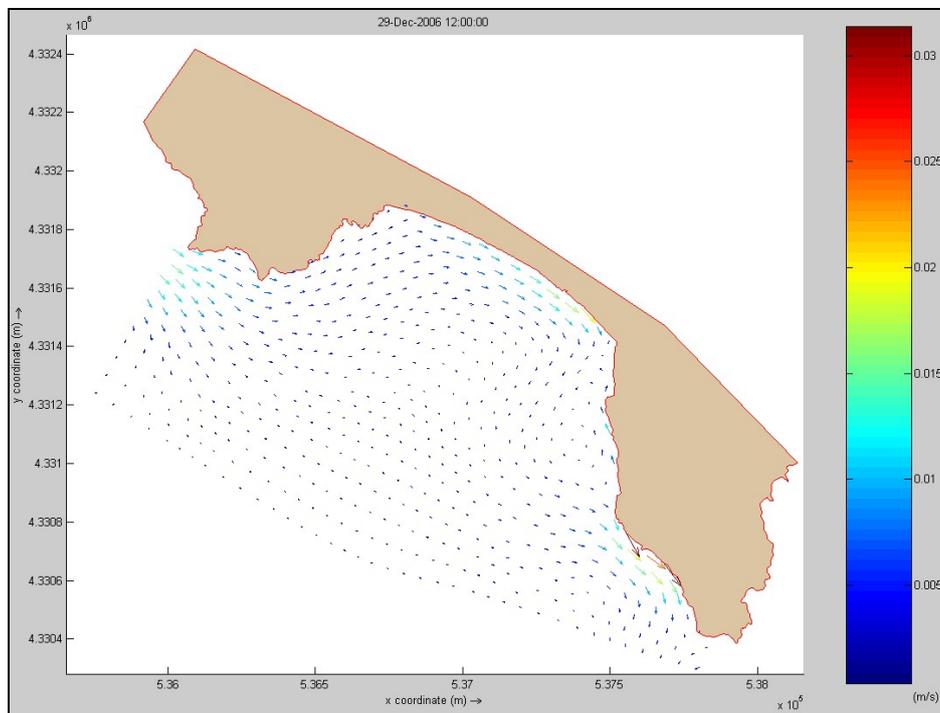


Fig. 212 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Il sistema circolatorio connesso all'evento simulato non produce accumuli significativi cartografabili alla scala di osservazione.

Si osserva solo una tendenza al trasporto canalizzato di superficie (pochi millimetri) in corrispondenza delle aree a velocità maggiore (Fig. 213).

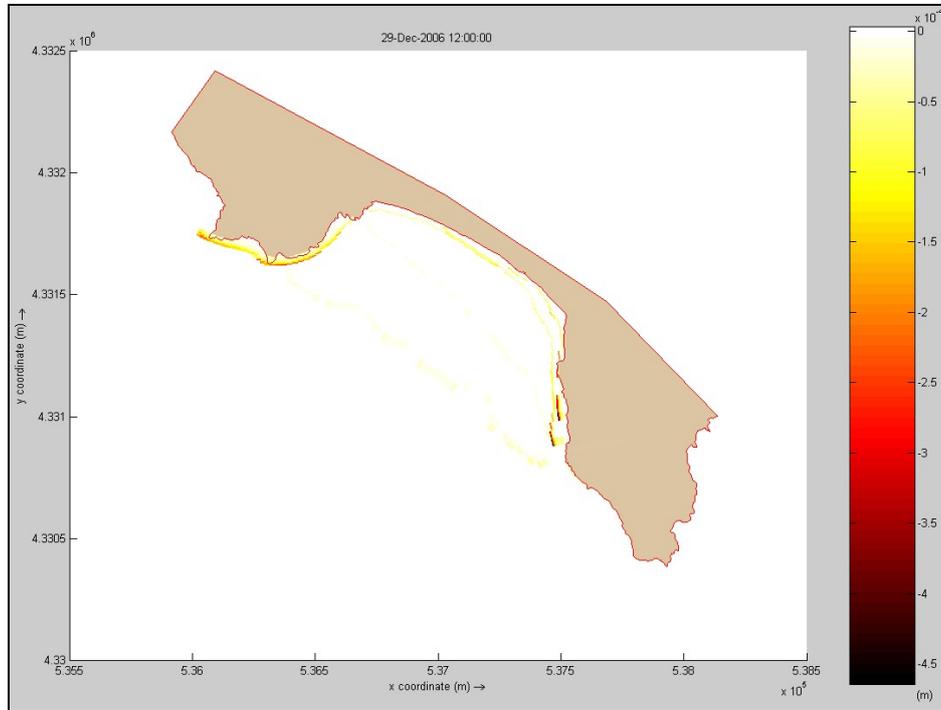


Fig. 213 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m.

SIMULAZIONE L03

Data simulata:	2/06/2007	
Località:	Solanas (Sinnai)	
Evento Meteomarinò:	Direzione:	298°
	Velocità (m/s):	11,2
	Durata (h):	24
Condizioni a contorno:	Hs (m):	0,3
	T _p (s):	4,6

Questa simulazione mostra i vettori d'onda, al Tempo 0, giungere dal largo con una direzione da ponente.

Si evidenziano processi di rifrazione già nei pressi di Punta Cabudi, evidenti all'intersecare dei vettori d'onda con la profondità di 15 metri.

I vettori ruotano gradualmente con angoli maggiori, con una rotazione di circa 45°, nel settore NW della spiaggia. Nel settore SE si osservano angoli di rotazioni minori di circa 15° (Fig. 214).

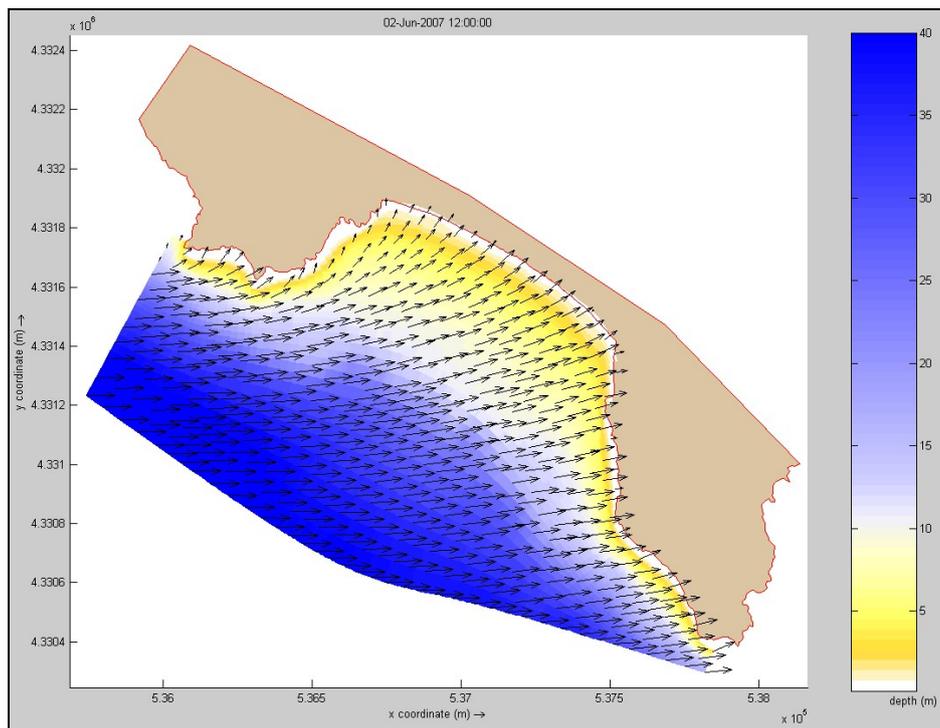


Fig. 214 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda a T=0. Valori di profondità espressi in metri.

Questa situazione si mantiene costante nell'arco delle 24 ore di simulazione (Figg. 215 e 216).

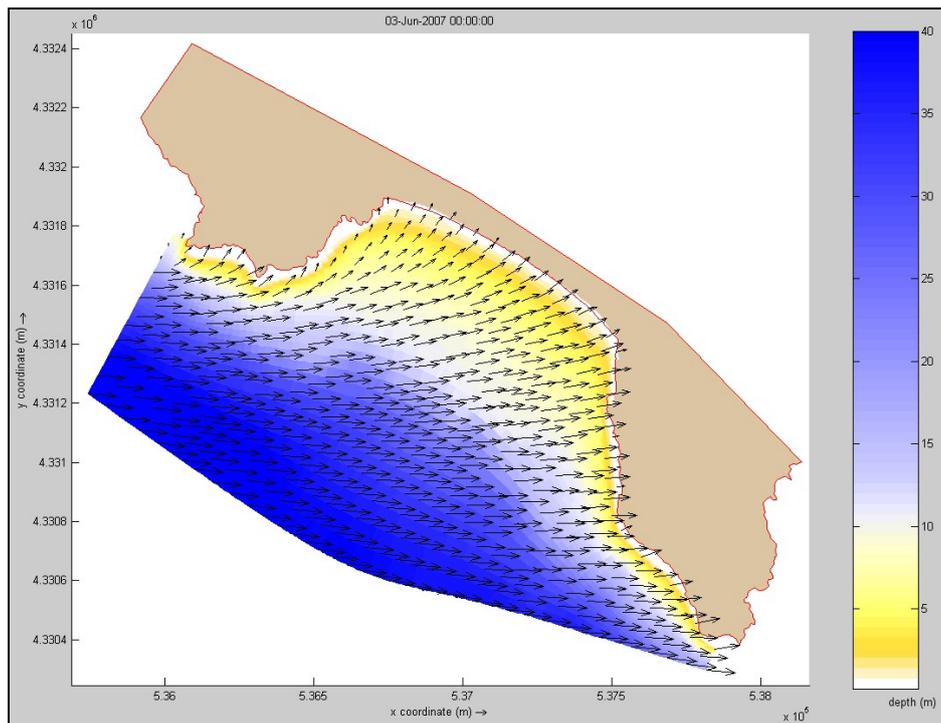


Fig. 215 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 12 ore di modellazione. Valori di profondità espressi in metri.

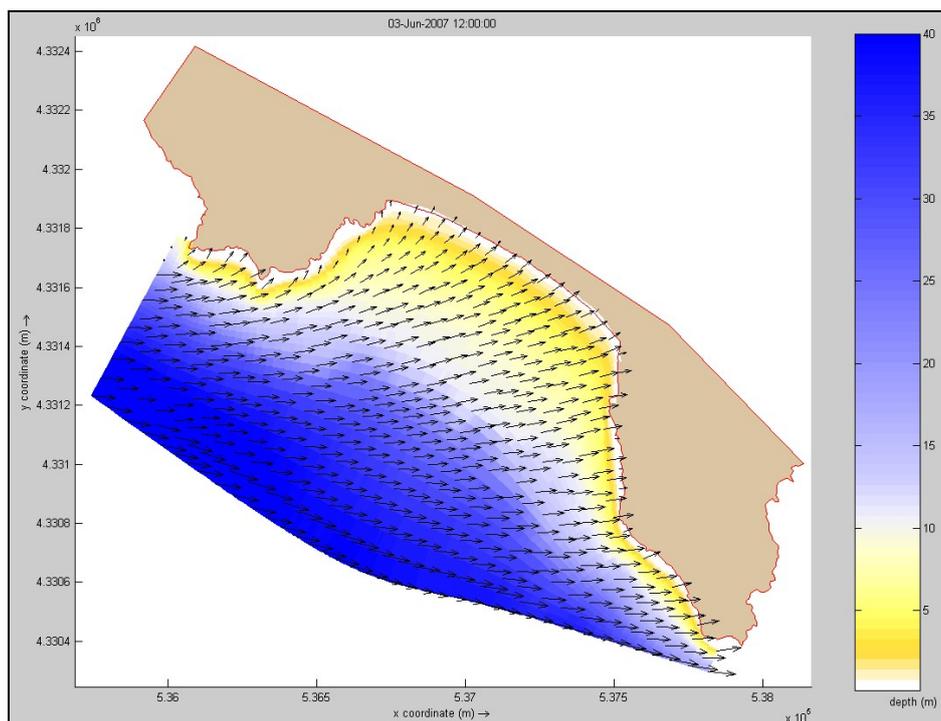


Fig. 216 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 24 ore di modellazione. Valori di profondità espressi in metri.

La simulazione evidenzia sin dalle prime 2 ore, una circolazione idrodinamica caratterizzata da due grandi celle di circolazione: la prima localizzata nel settore della spiaggia con velocità maggiori nel settore SE, la seconda localizzata nella parte interna del promontorio di Capo Boi.

Queste due celle generano una *rip-current* che si estende per oltre 500 metri verso il centro della baia (Figg. 217 e 218).

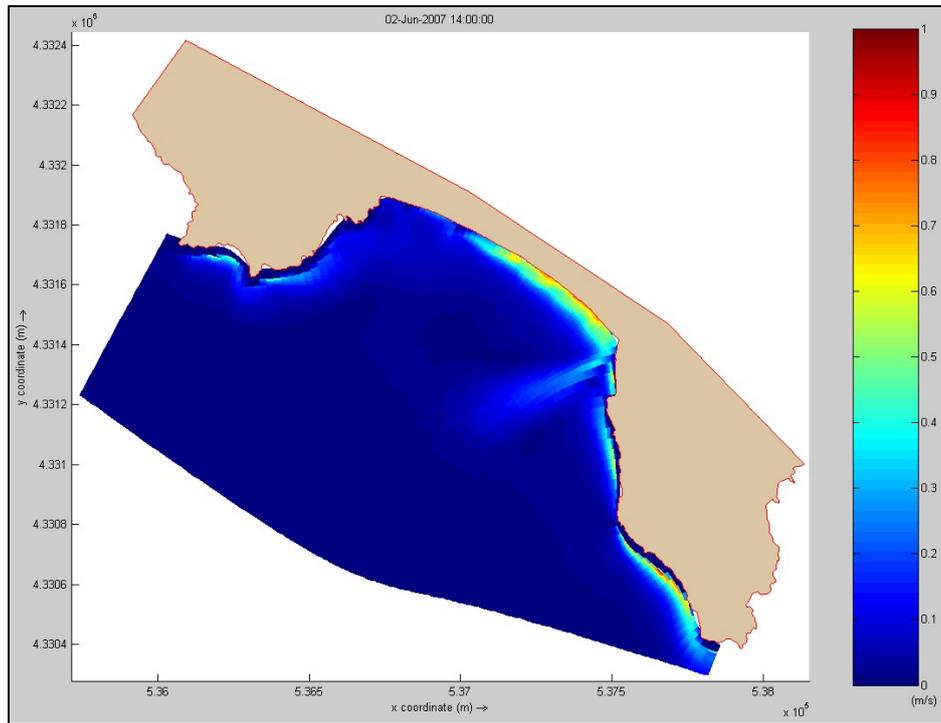


Fig. 217 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

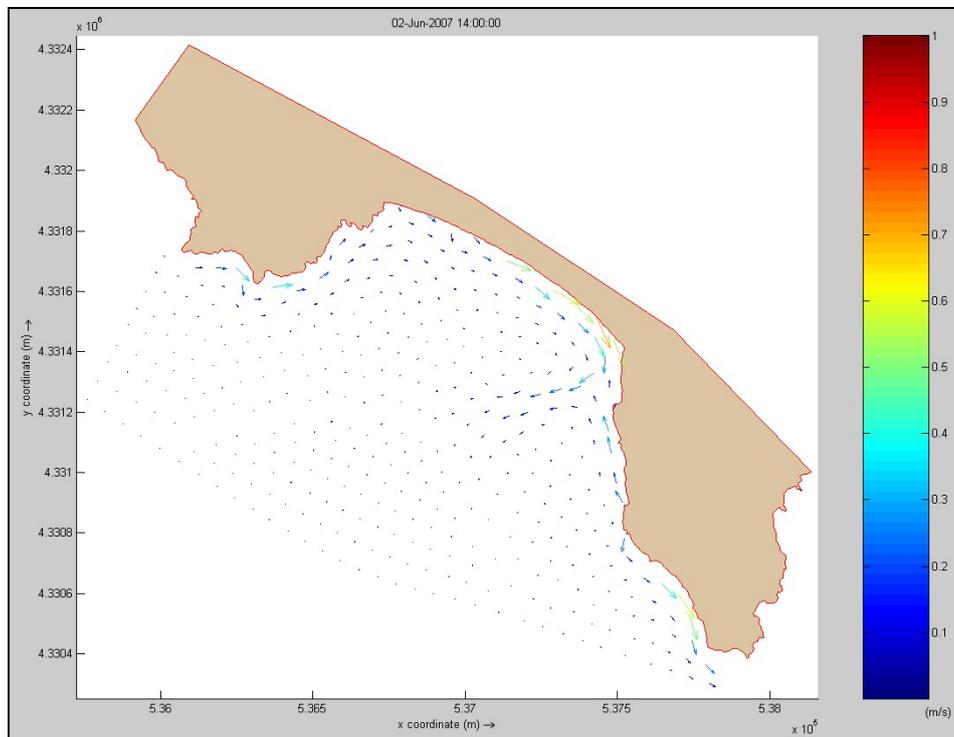


Fig. 218 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Dopo le prime 12 ore la *rip-current* si orienta in modo perpendicolare alla linea di riva e si posiziona nel settore più a SE della spiaggia (Figg. 219 e 220).

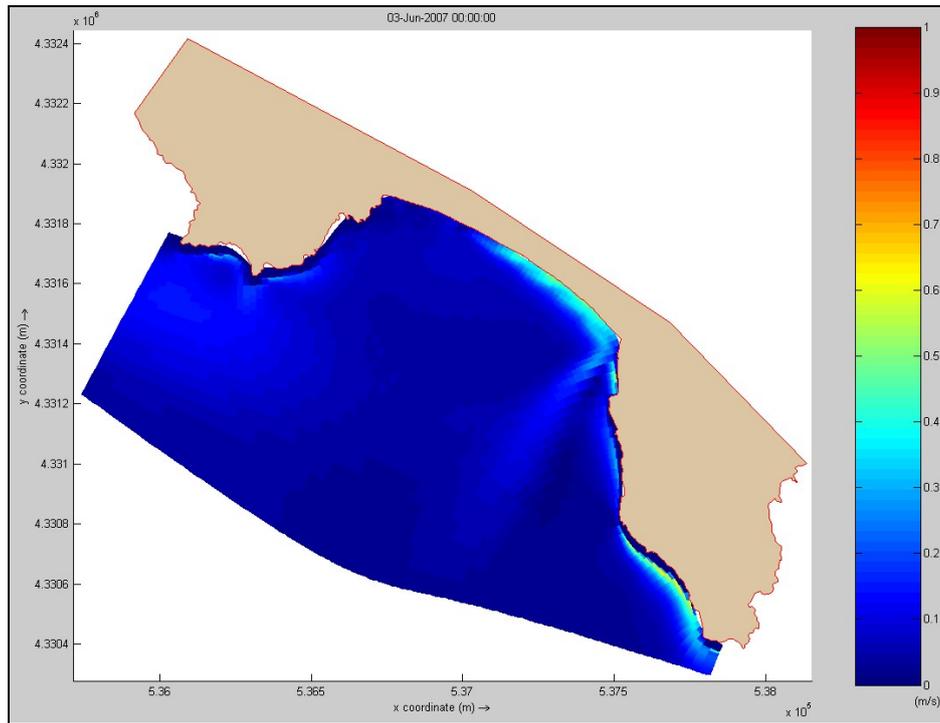


Fig. 219 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

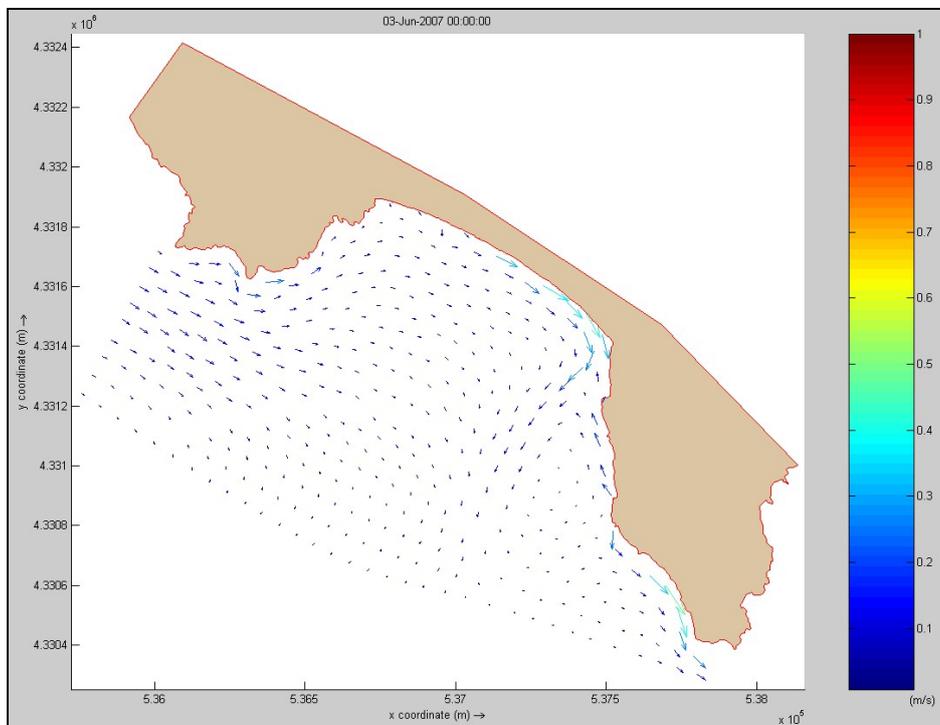


Fig. 220 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Dopo 24 ore si osserva un aumento della velocità delle correnti al largo che si muovono parallelamente alla linea di costa e che apparentemente non sembrano interferire con i processi idrodinamici dello *shoreface*.

Sottocosta si osserva ancora la presenza della corrente *longshore* NW-SE che nel settore SE della spiaggia deflette in *rip-current* se pur con intensità minore rispetto alle ore precedenti (Figg. 221 e 222).

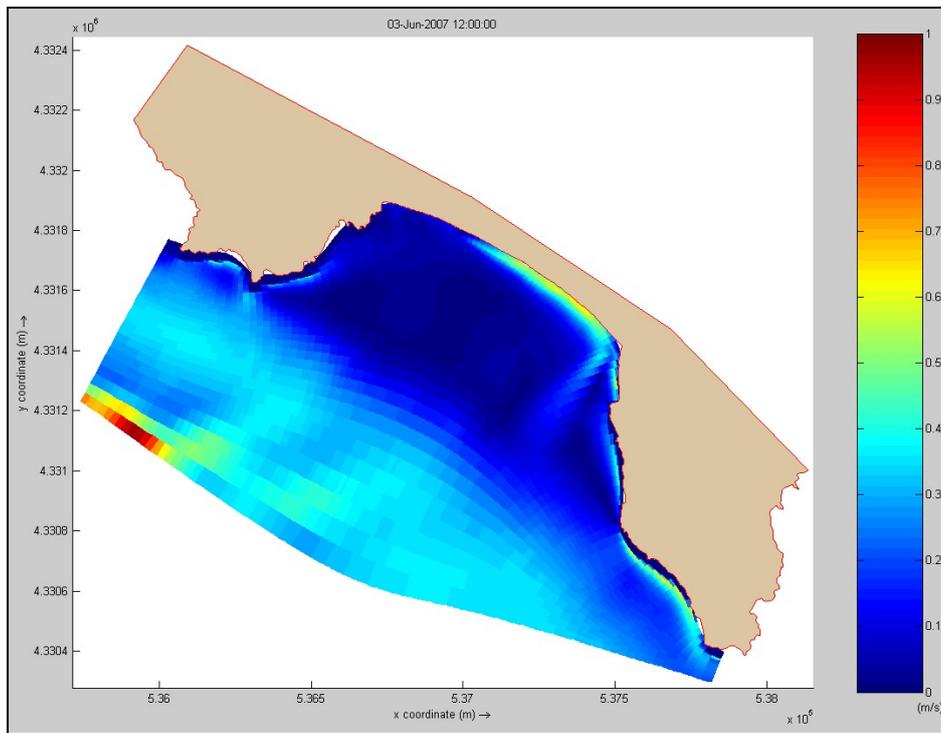


Fig. 221 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

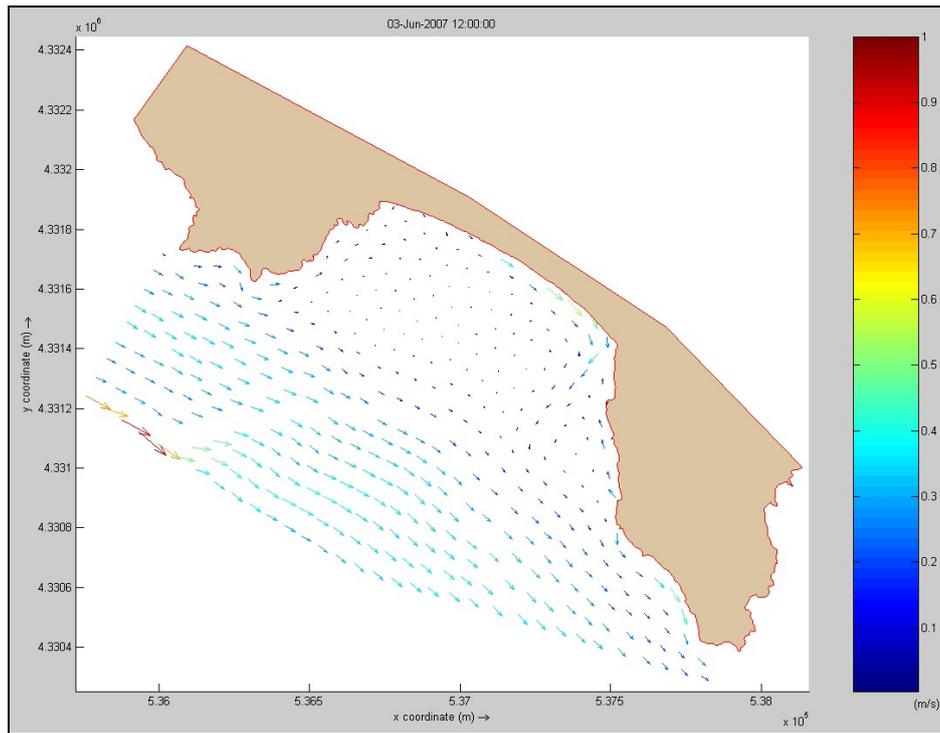


Fig. 222 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

La circolazione idrodinamica delinea la formazione di un sistema di strutture caratterizzato da due ordini di barre e truogoli che si estendono, dopo le prime ore, nel settore centro-sud della spiaggia. Questo sistema delinea una *surfzone* ampia, che si estende dalla battigia sino a 200 metri di distanza (Fig. 223).

Dopo le 24 ore di simulazione si osserva che il sistema a barre e truogoli si struttura e si estende progressivamente per tutta la spiaggia da NW a SE (Fig. 224).

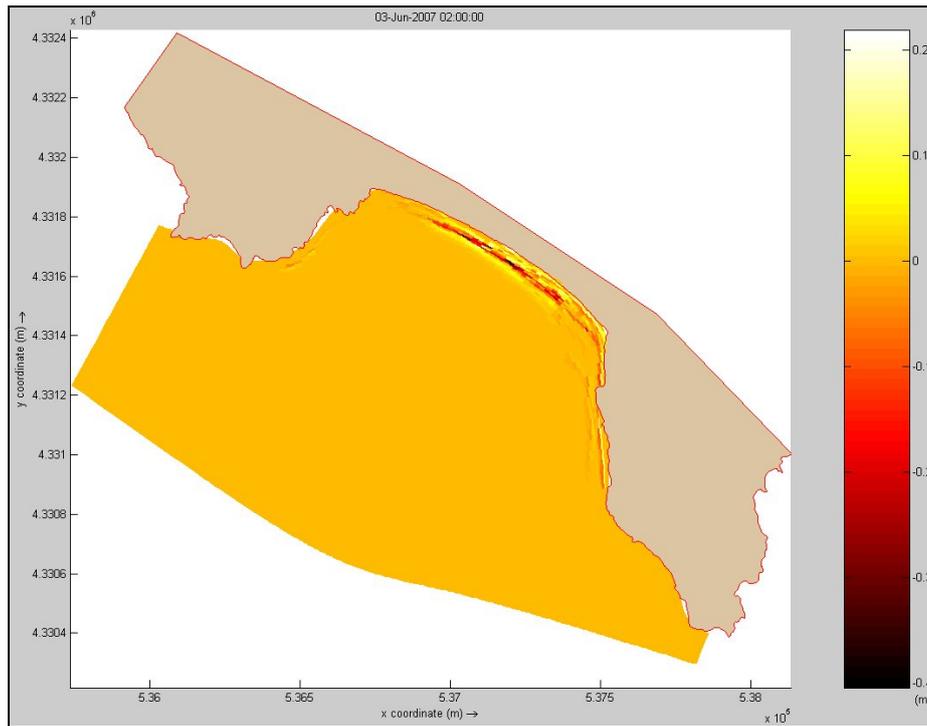


Fig. 223 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 14h di simulazione. Valori espressi in m.

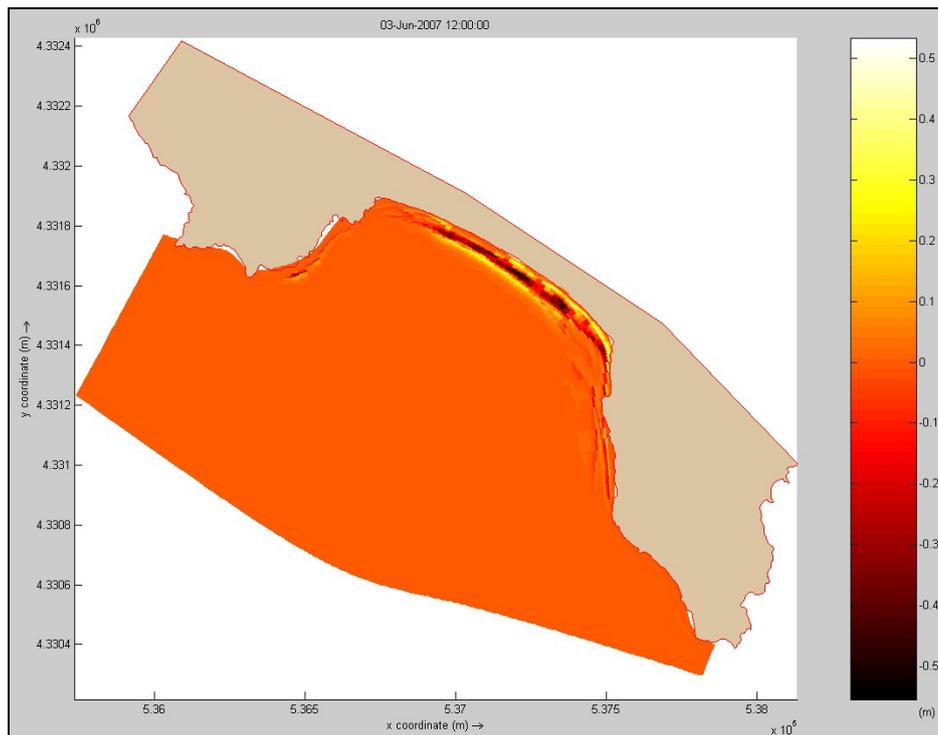


Fig. 224 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m.

SIMULAZIONE L04

Data simulata:	18/06/2007	
Località:	Solanas (Sinnai)	
Evento Meteomarinò:	Direzione:	182°
	Velocità (m/s):	8
	Durata (h):	24
Condizioni a contorno:	Hs (m):	0,3
	T _p (s):	4,6

Questa simulazione mostra i vettori d'onda, al Tempo 0, giungere dal largo con una direzione da Sud con un angolo di circa 185°.

Si evidenziano processi di rifrazione sottocosta, a profondità intorno ai -5 metri, con angoli di circa 5° in senso orario nel settore centro-nord e angoli lievemente maggiori, di circa 15° nel settore SE della spiaggia (Fig. 225).

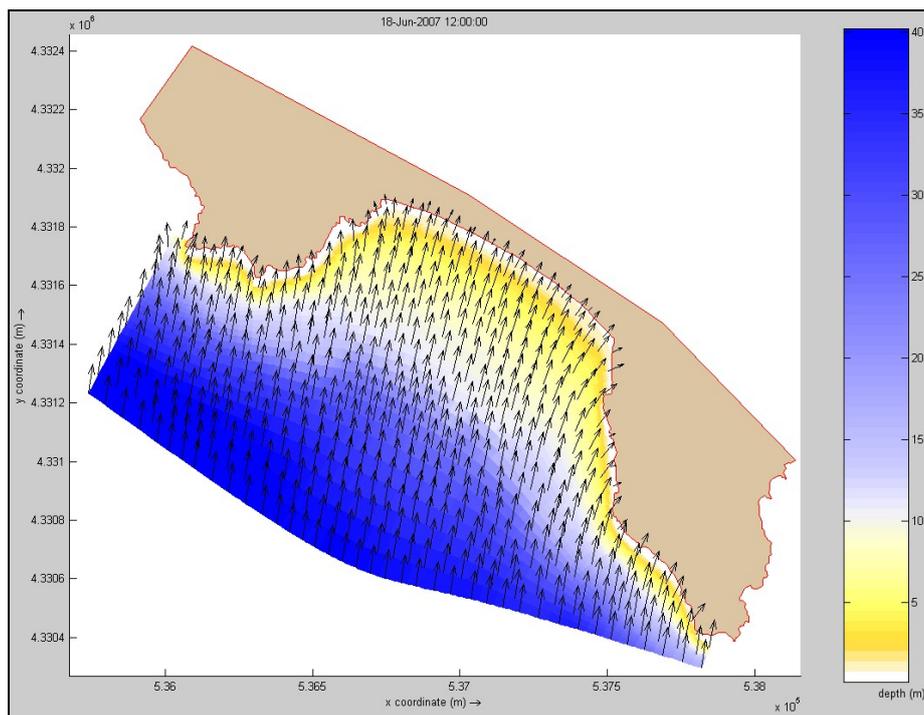


Fig. 225 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda a T=0. Valori di profondità espressi in metri.

Nelle ore successive si evidenzia un'oscillazione della direzione dei vettori d'onda (Figg. 226 e 227). Queste si localizzano a profondità tra i -10 e -15 metri e non sembrano interessare i vettori d'onda nel settore più vicino alla battigia (dai -5 metri alla linea di riva). In questo settore i vettori mantengono gli angoli d'approccio descritti.

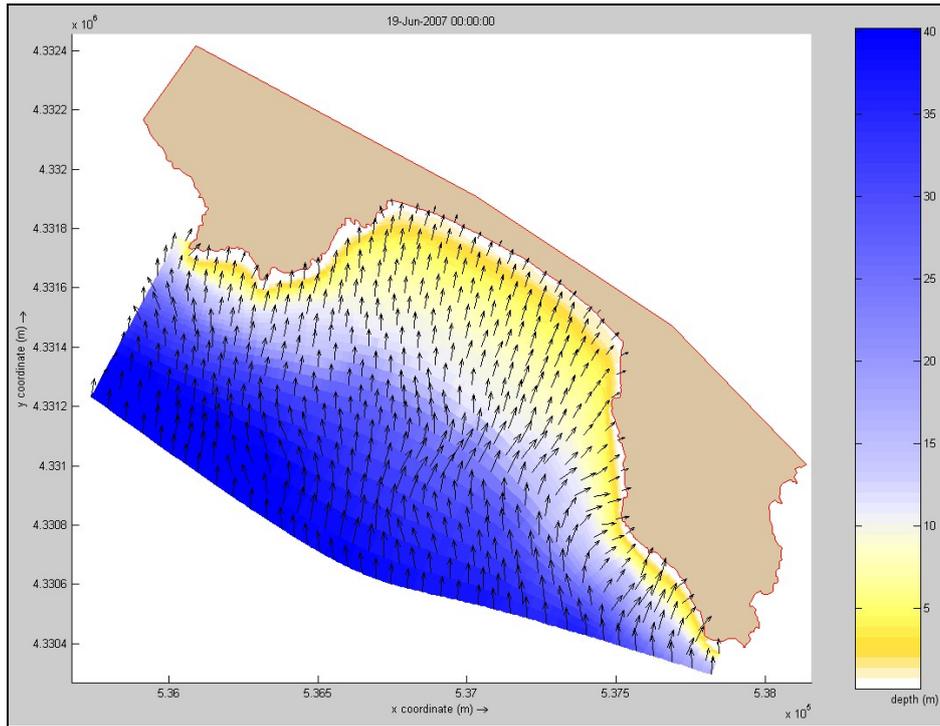


Fig. 226 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 12 ore di modellazione. Valori di profondità espressi in metri.

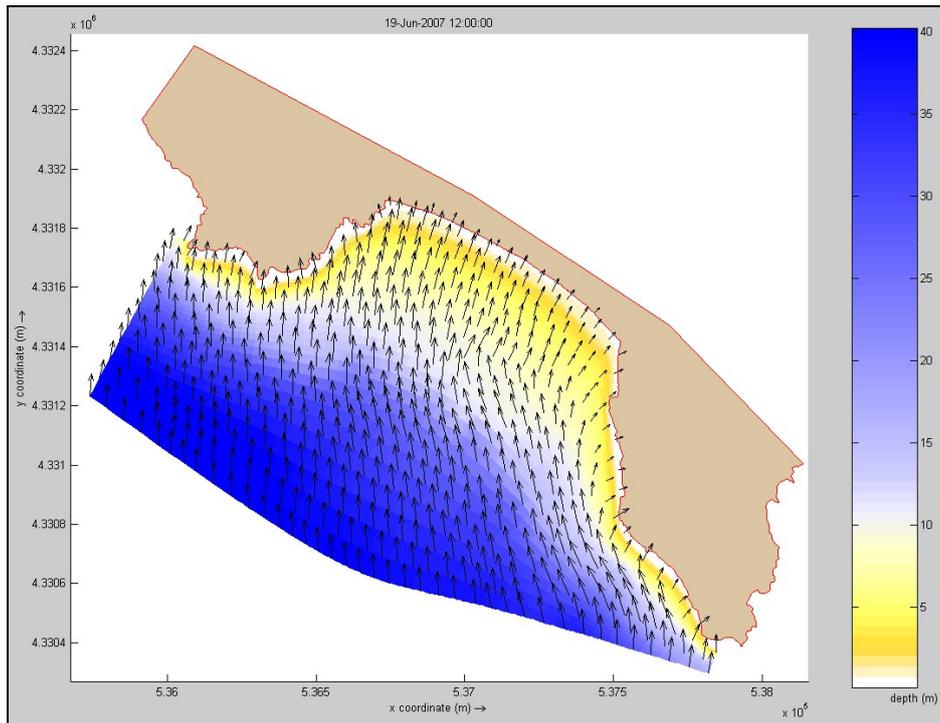


Fig. 227 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 24 ore di modellazione. Valori di profondità espressi in metri.

La simulazione idrodinamica descrive la formazione di una corrente *longshore* in direzione SE-NW (Figg. 228 e 229).

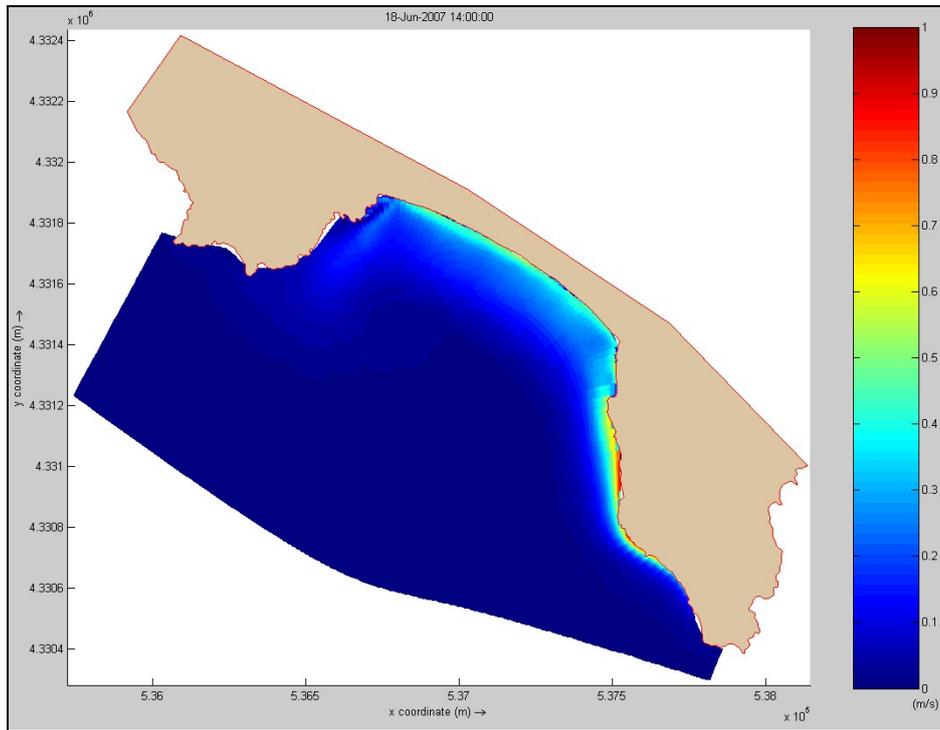


Fig. 228 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

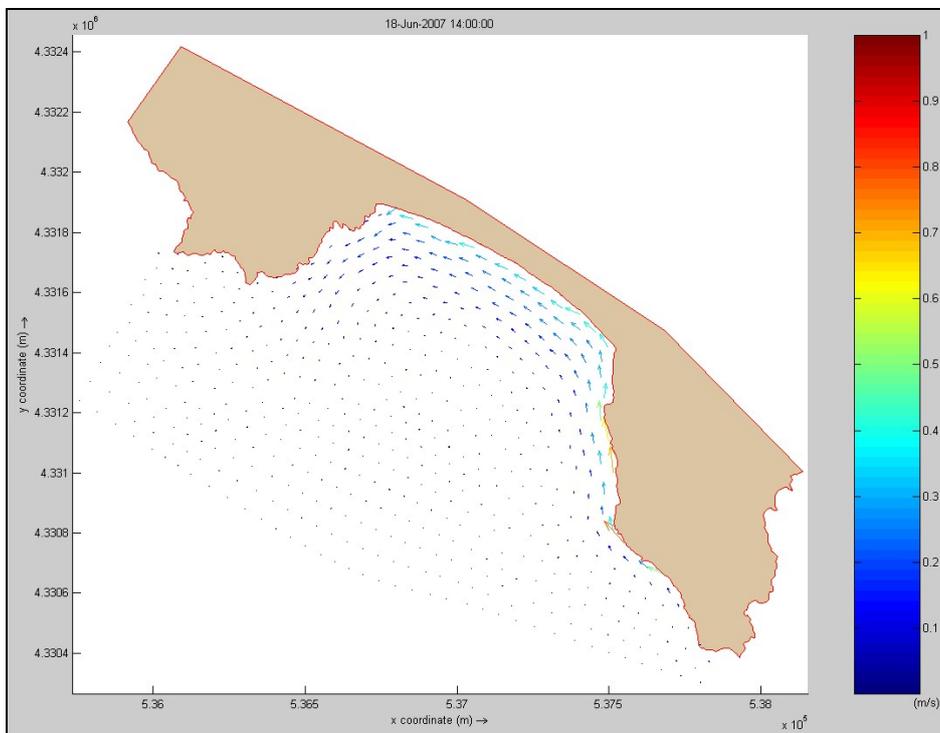


Fig. 229 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Dopo le prime 12 ore la corrente *longshore* si mantiene costante e si evidenzia, nella parte più estrema del settore NW della spiaggia, la formazione di una *rip-current* (Figg. 230 e 231).

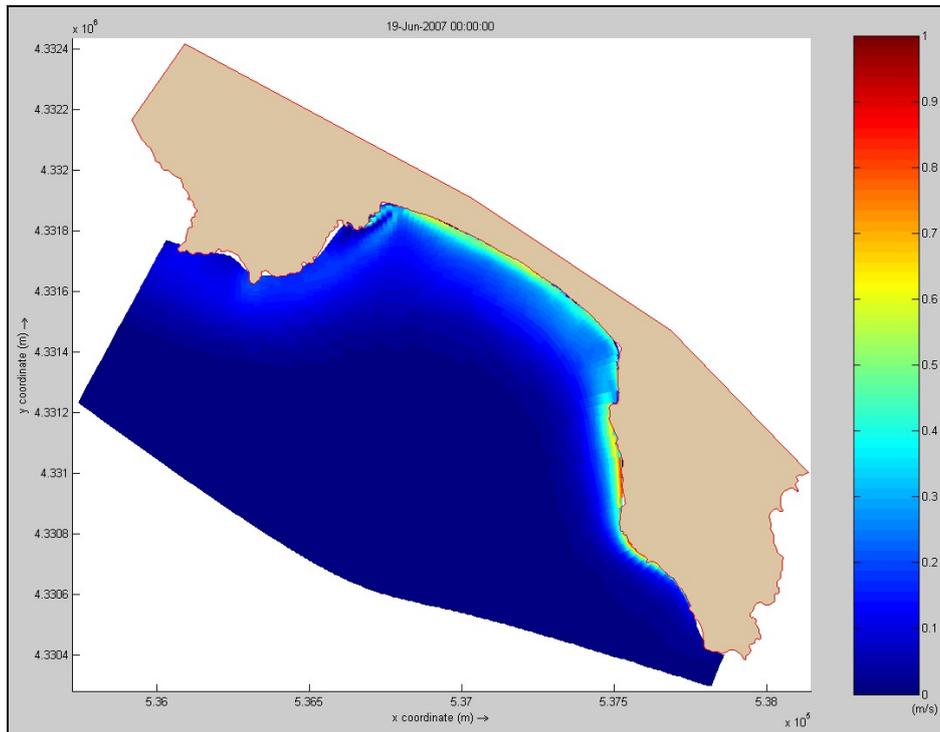


Fig. 230 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

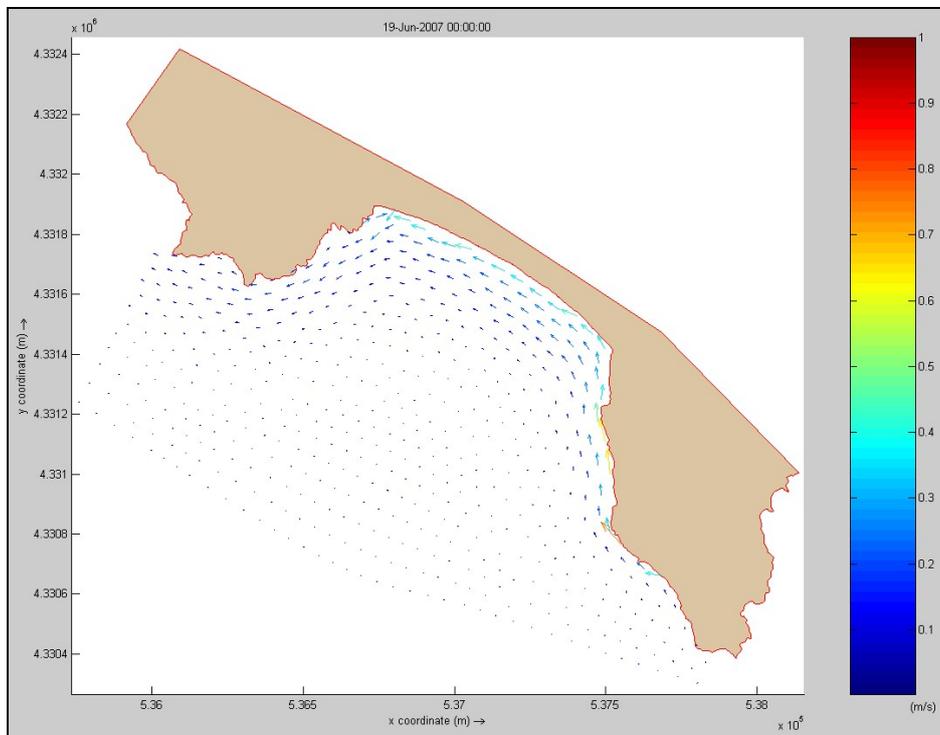


Fig. 231 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Questa situazione si mantiene poi costante per il resto della durata della simulazione (24 ore) (Figg. 232 e 233).

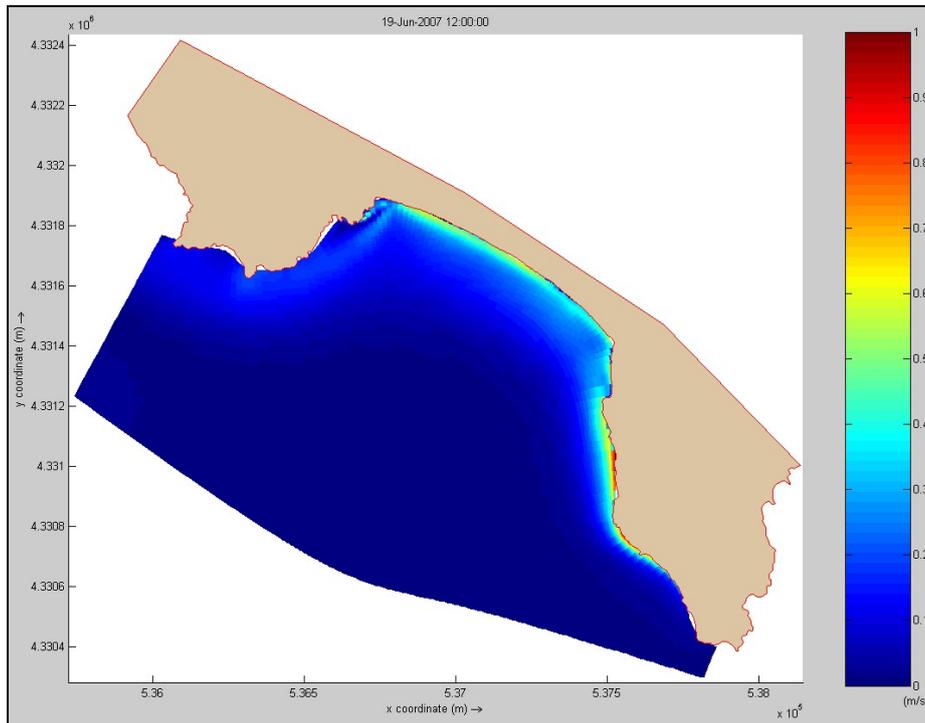


Fig. 232 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

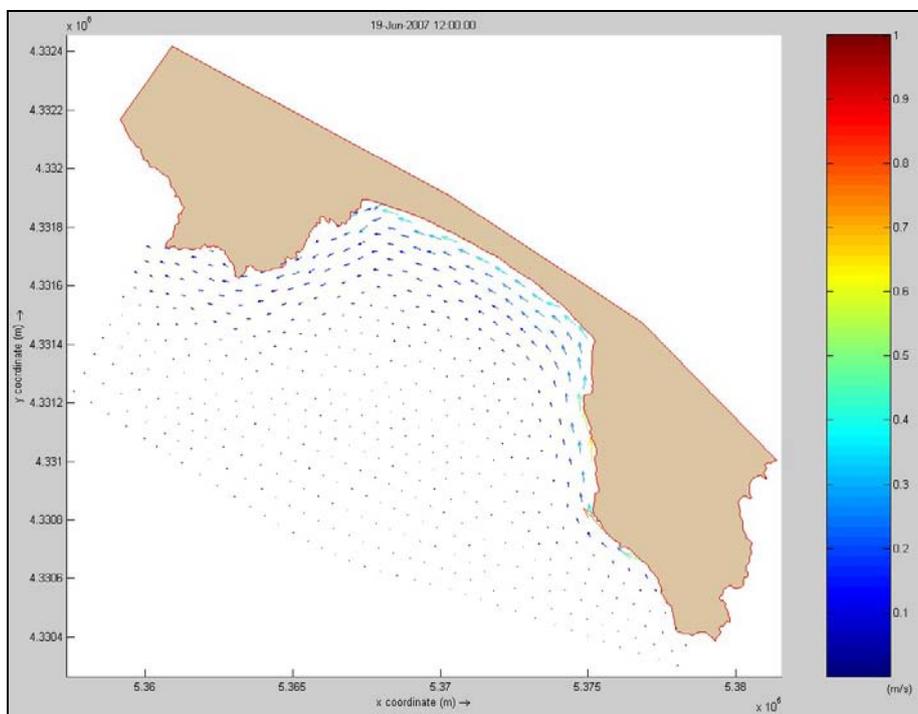


Fig. 233 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Dopo le prime 14 ore si delineano, lungo tutta la spiaggia un sistema con due ordini di barre e un trugolo centrale che caratterizzano una ampiezza della *surfzone* di circa 100 metri dalla linea di riva (Fig. 234).

Al termine della simulazione il sistema di barre e truogoli si delinea più ampio portando la *surfzone* a circa 150 metri di distanza dalla linea di riva (Fig. 235).

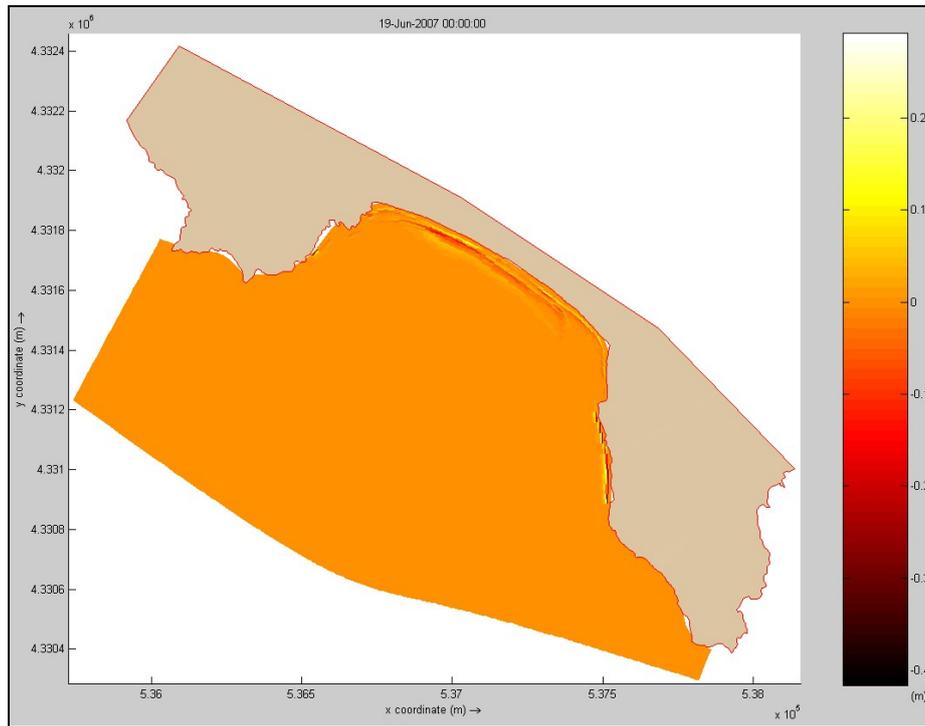


Fig. 234 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 14h di simulazione. Valori espressi in m.

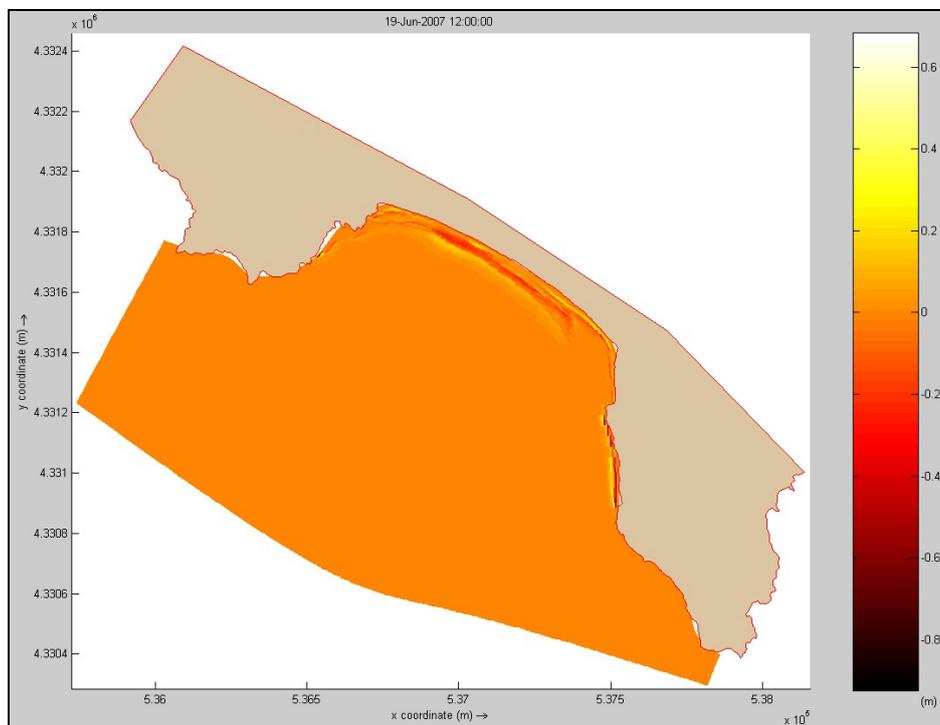


Fig. 235 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m.

SIMULAZIONE L05

Località:	Solanas (Sinnai)	
Evento Meteomarinò:	Direzione:	220° (Libeccio)
	Velocità (m/s):	10
	Durata (h):	24

Questa simulazione riproduce l'evento medio di Libeccio.

I vettori d'onda al Tempo 0 intersecano la linea di riva mantenendo invariata la loro direzione (220°). Solo in prossimità dei due promontori nei settori NW e SE della spiaggia si osservano lievi processi di rifrazione (Fig. 236).

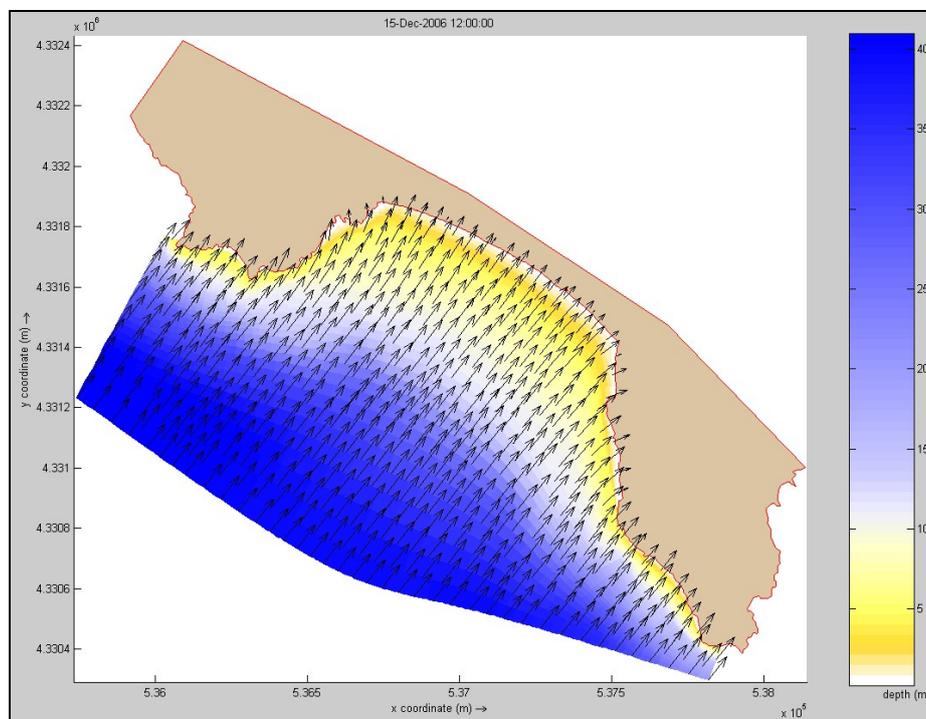


Fig. 236 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda a T=0. Valori di profondità espressi in metri.

Questa situazione si mantiene costante nell'arco delle 24 ore di simulazione (Fig. 237 e 238).

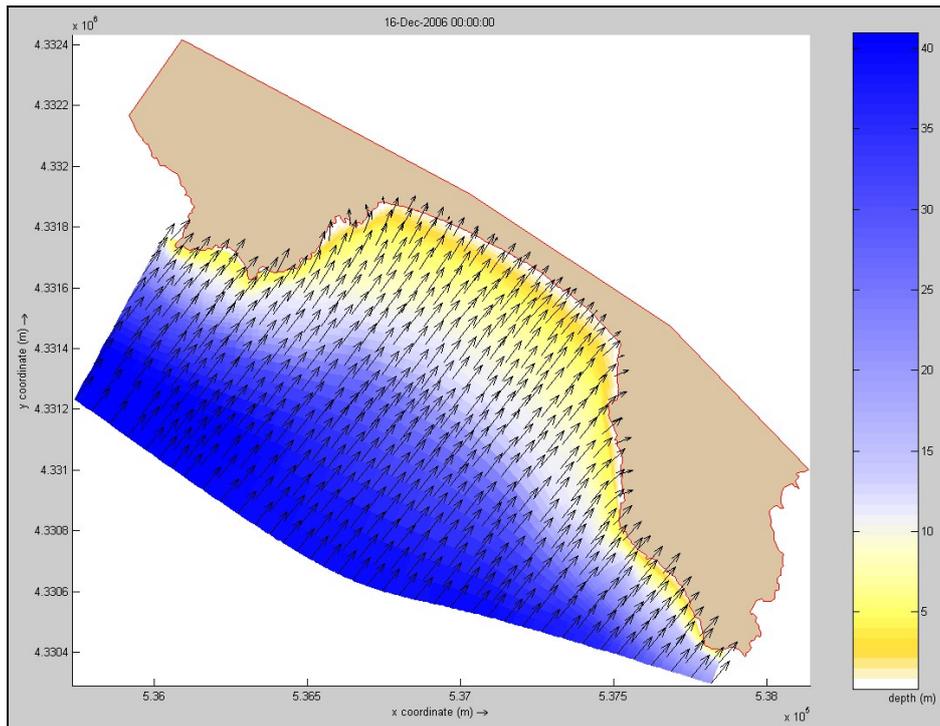


Fig. 237 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 12 ore di modellazione. Valori di profondità espressi in metri.

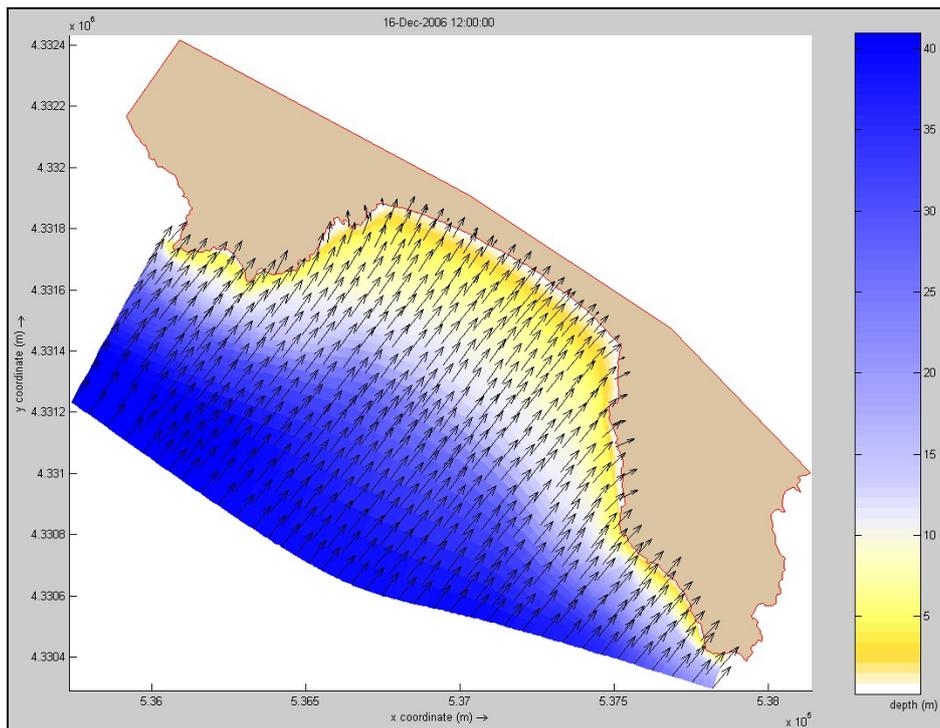
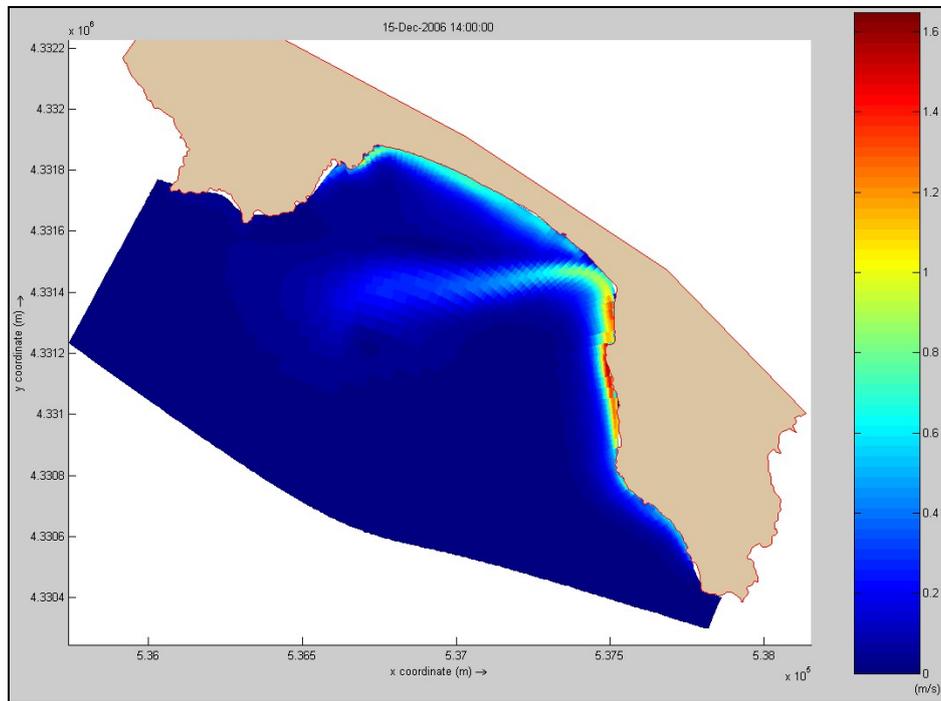


Fig. 238 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 24 ore di modellazione. Valori di profondità espressi in metri.

La simulazione idrodinamica mostra la formazione di una corrente *longshore* che corre parallela alla costa per il settore centrale e nord-occidentale della spiaggia.

Nel settore sud-orientale si osserva, dopo le prime 2 ore, la formazione di una *rip-current* asimmetrica connessa all'innesco di una cella di circolazione (Figg. 239 e 240). Questa *rip-current* si estende per quasi 1000 m in direzione Ovest.



FigG. 239 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

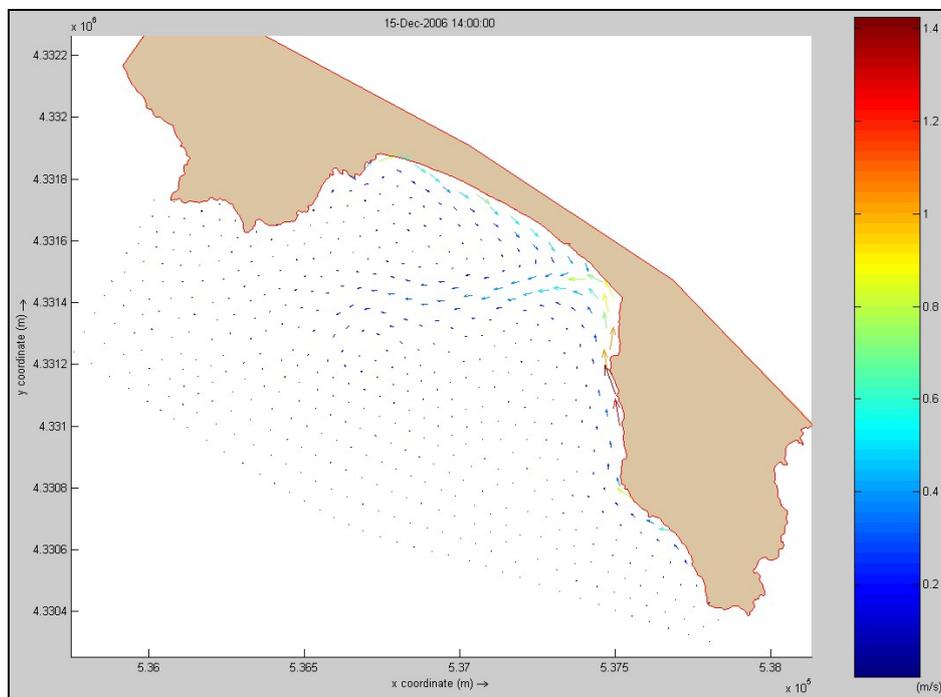


Fig. 240 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Questo sistema idrodinamico si mantiene costante nell'arco delle 24 ore di simulazione (Figg 241-244).

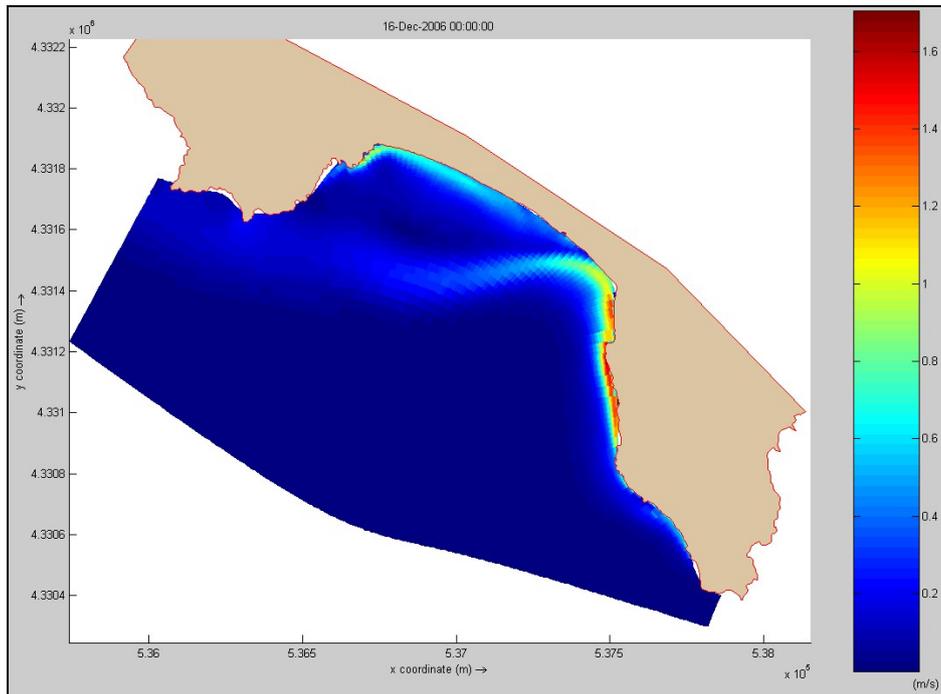


Fig. 241 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

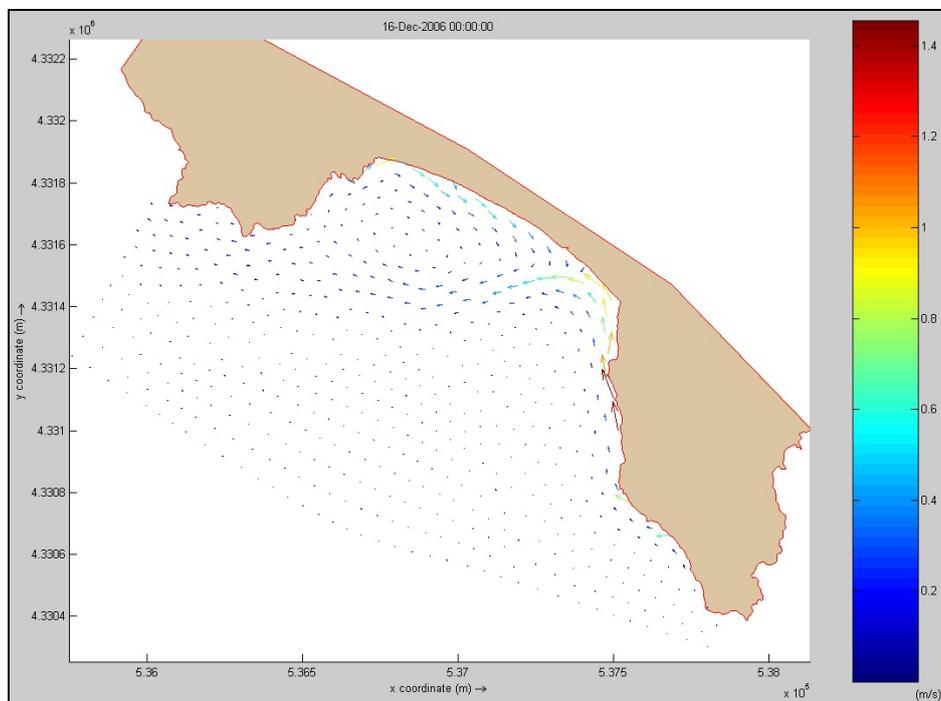


Fig. 242 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

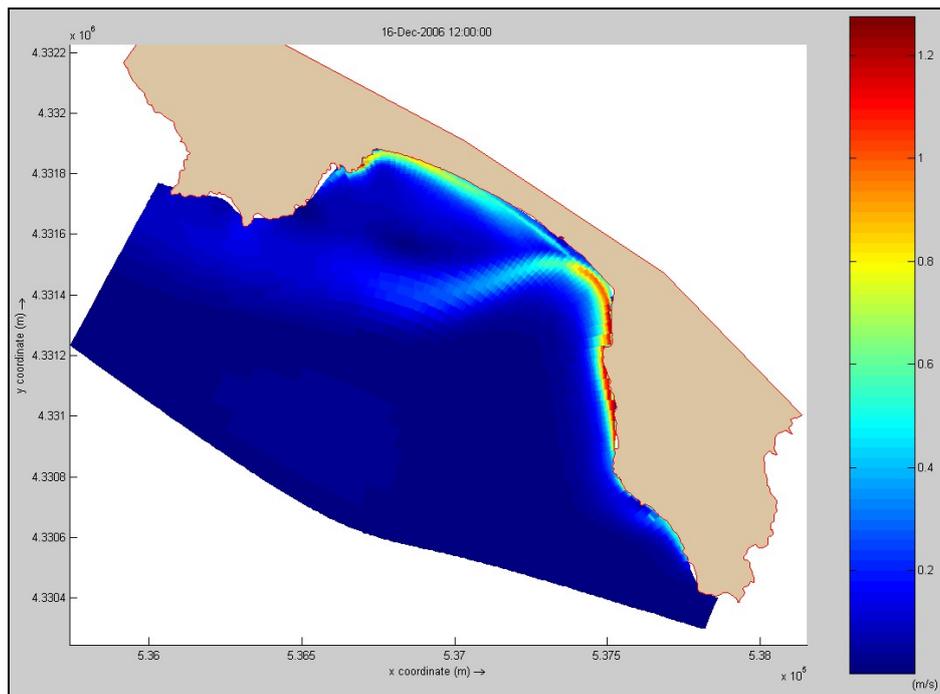


Fig. 243 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

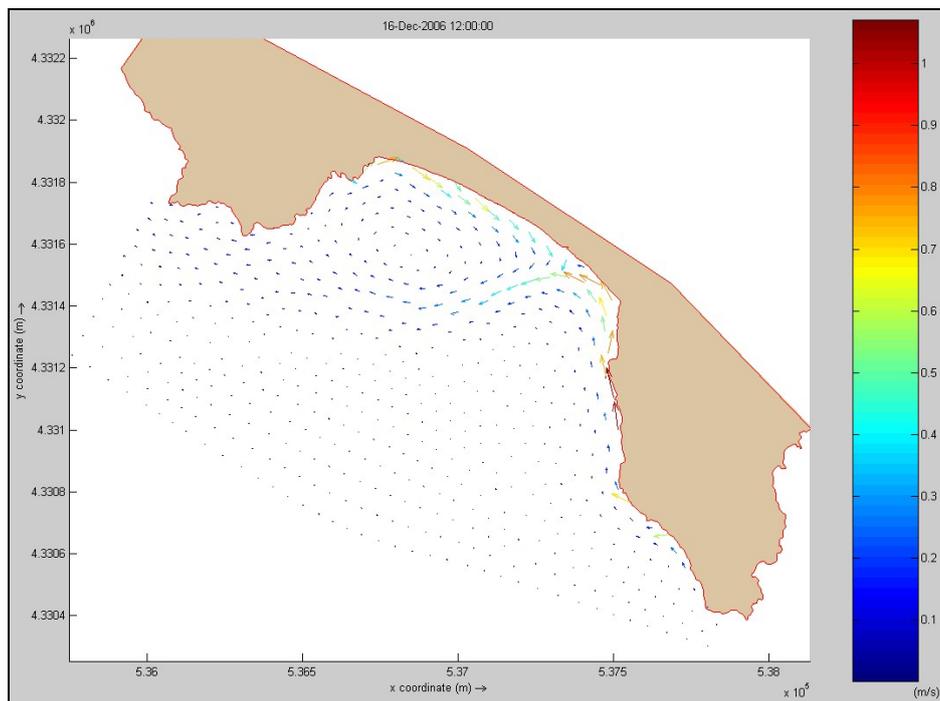


Fig. 244 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Questo andamento idrodinamico genera, dopo le prime ore di simulazione, un doppio ordine di barre e truogoli che si estende per tutta la spiaggia delineando una *surfzone* ampia dalla battigia fino a circa 300 metri (Fig. 245).

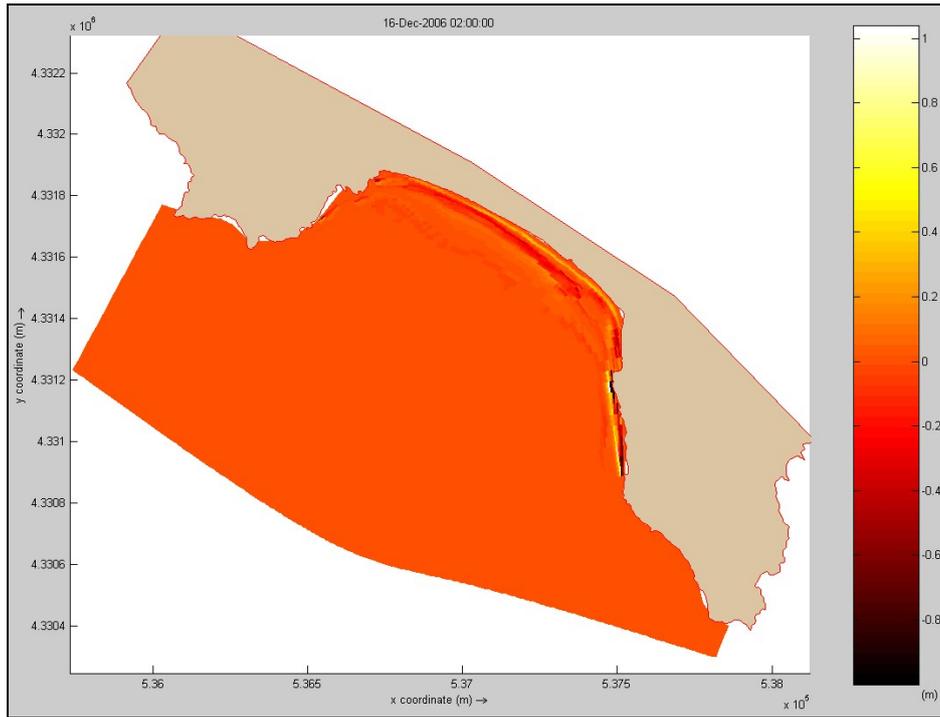


Fig. 245 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 14h di simulazione. Valori espressi in m. Al termine della simulazione (24 ore) si osserva la formazione di un terzo ordine di barre e un conseguente ampliamento della *surfzone* sino ad una distanza di circa 500 metri dalla linea di riva (Fig. 246).

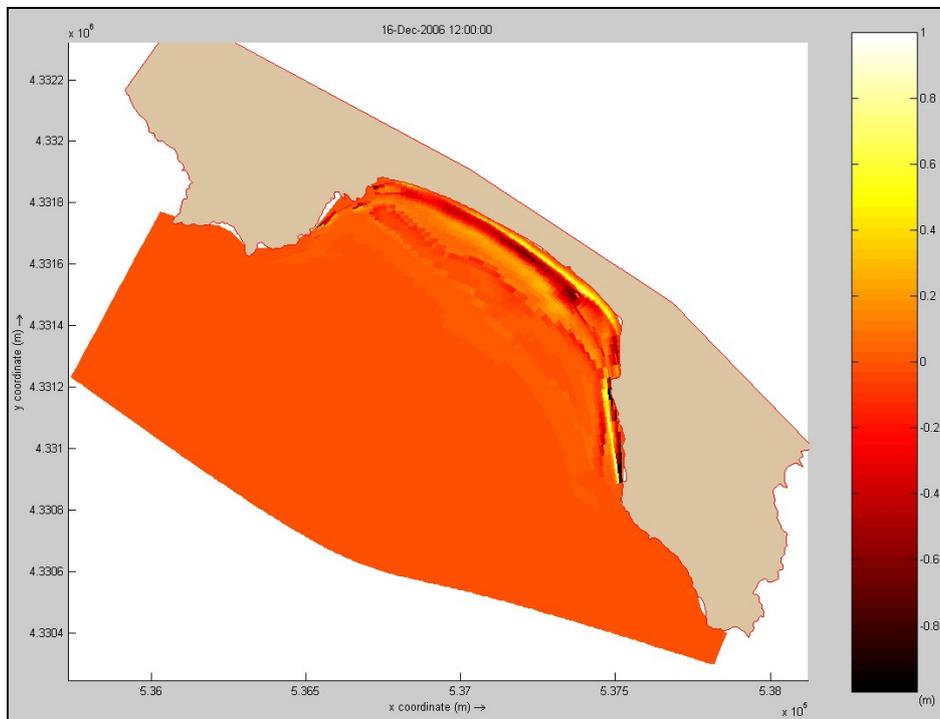


Fig. 246 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m.

SIMULAZIONE L07

Località:	Solanas (Sinnai)	
Evento Meteomarinò:	Direzione:	220° (Libeccio)
	Velocità (m/s):	25
	Durata (h):	24

Questa simulazione riproduce l'evento estremo di Libeccio.

I vettori d'onda al Tempo 0 intersecano la linea di riva mantenendo invariata la loro direzione (220°) (Fig. 247).

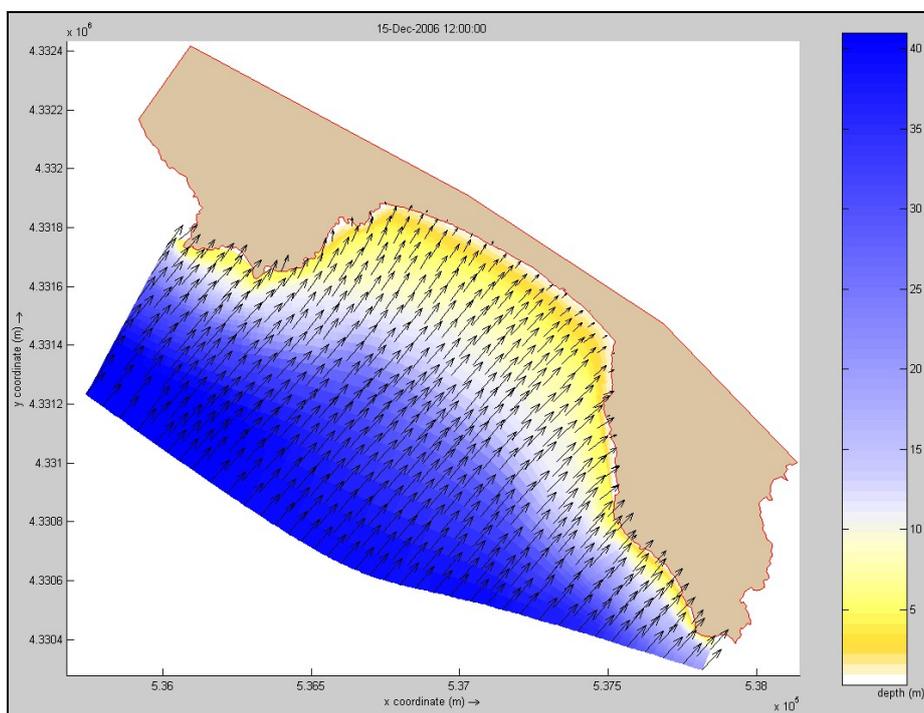


Fig. 247 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda a T=0. Valori di profondità espressi in metri.

Questa situazione si mantiene costante nell'arco delle 24 ore di simulazione (Figg. 248 e 249).

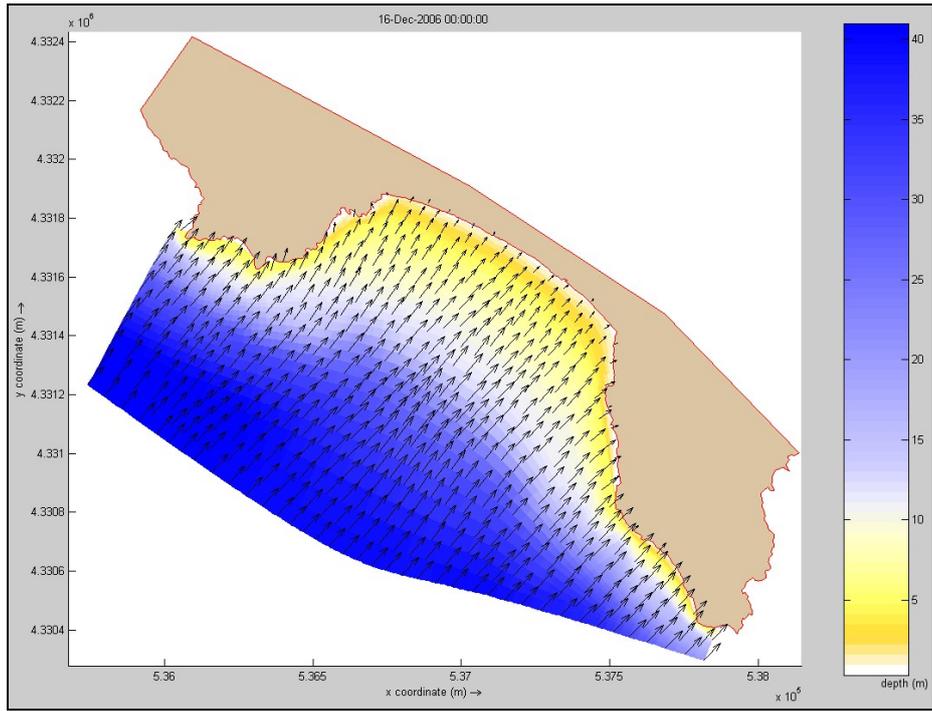


Fig. 248 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 12 ore di modellazione. Valori di profondità espressi in metri.

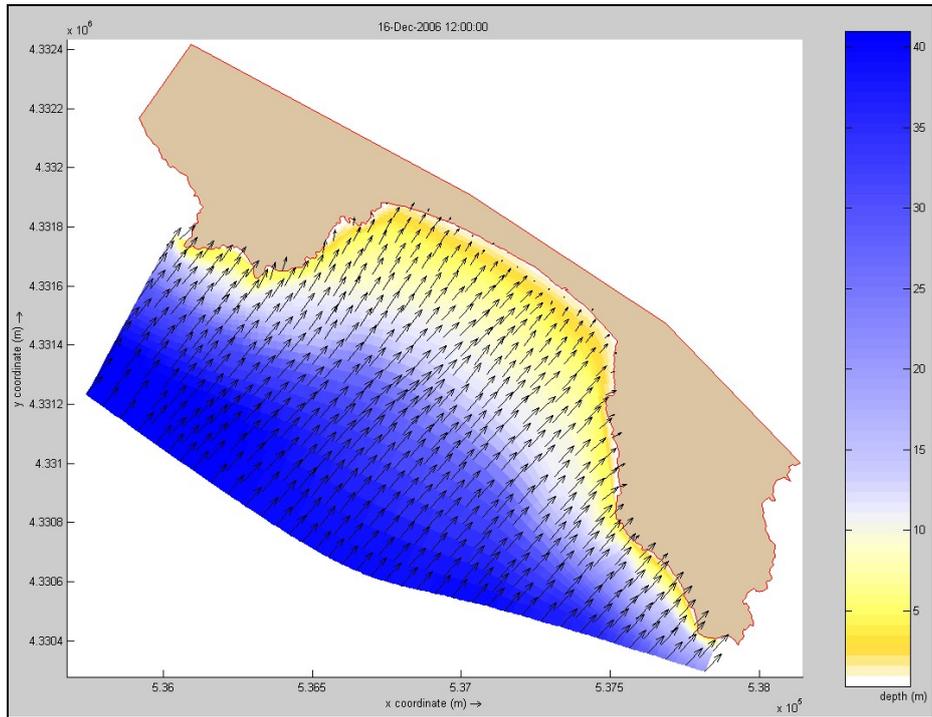


Fig. 249 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 24 ore di modellazione. Valori di profondità espressi in metri.

La simulazione idrodinamica mostra, dopo 2 ore, la formazione di una corrente *longshore* con direzione NW-SE che si rileva dal settore nord-occidentale sino al centro della spiaggia. Nel settore centrale si evidenzia la formazione di una *rip-current* asimmetrica che si estende in direzione SW per una distanza di oltre 1000 metri (Figg. 250 e 251).

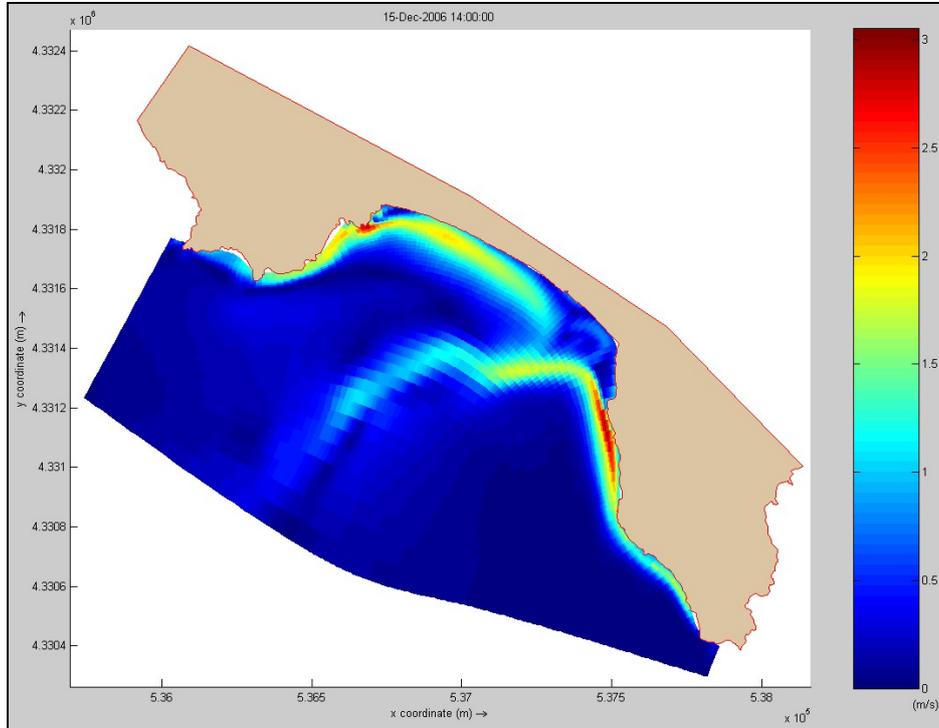


Fig. 250 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

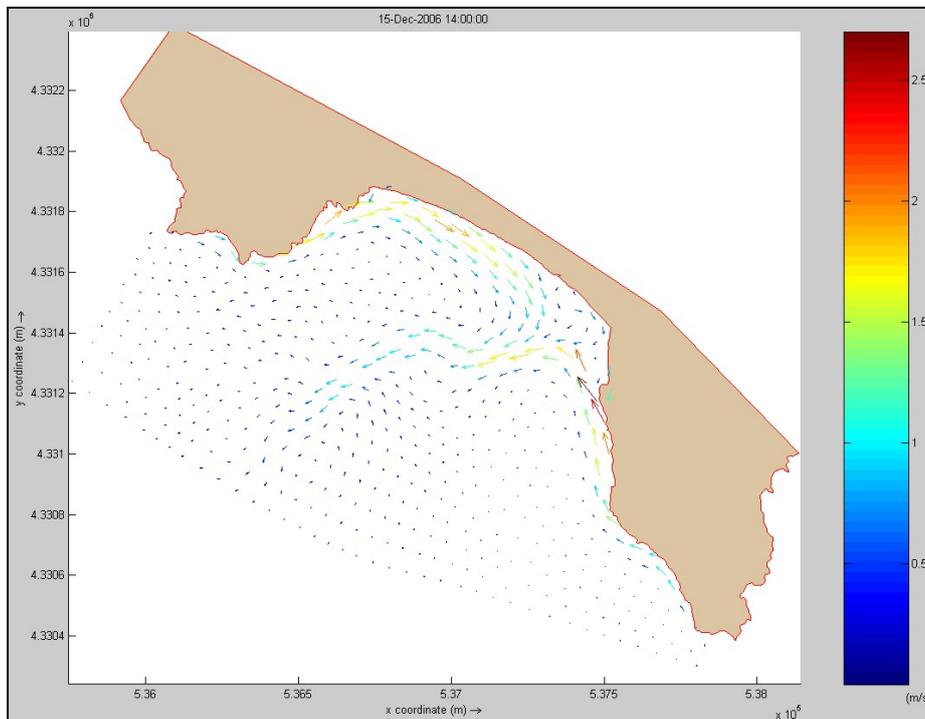


Fig. 251 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Dopo le prime 12 ore si osserva che la rip-current si posiziona la centro della spiaggia e la sua traiettoria si porta in direzione SSW ortogonalmente alle isobate (Figg. 252 e 253).

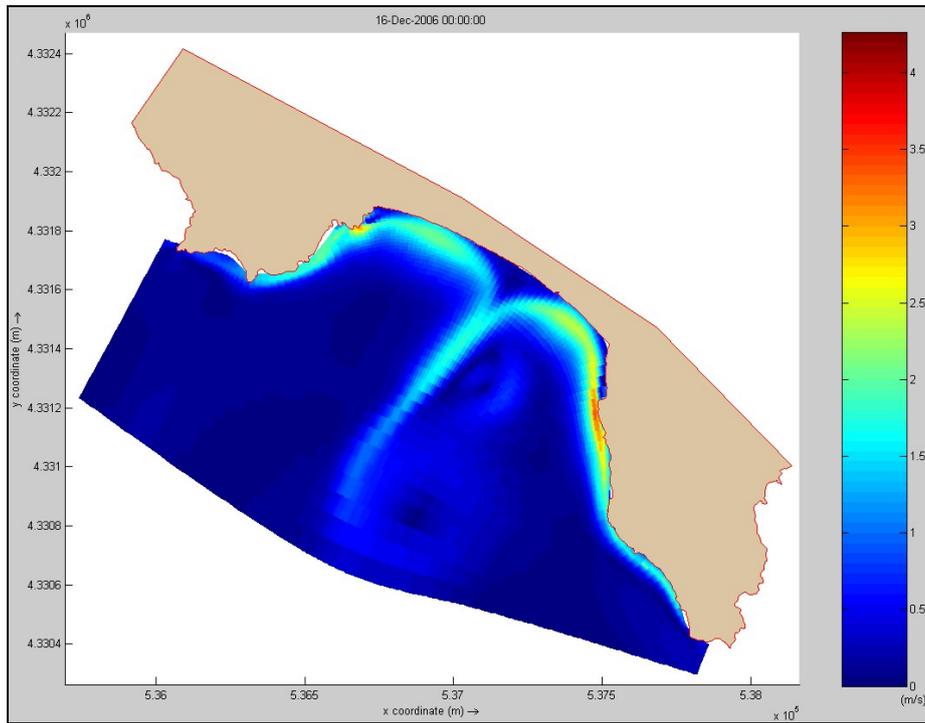


Fig. 252 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

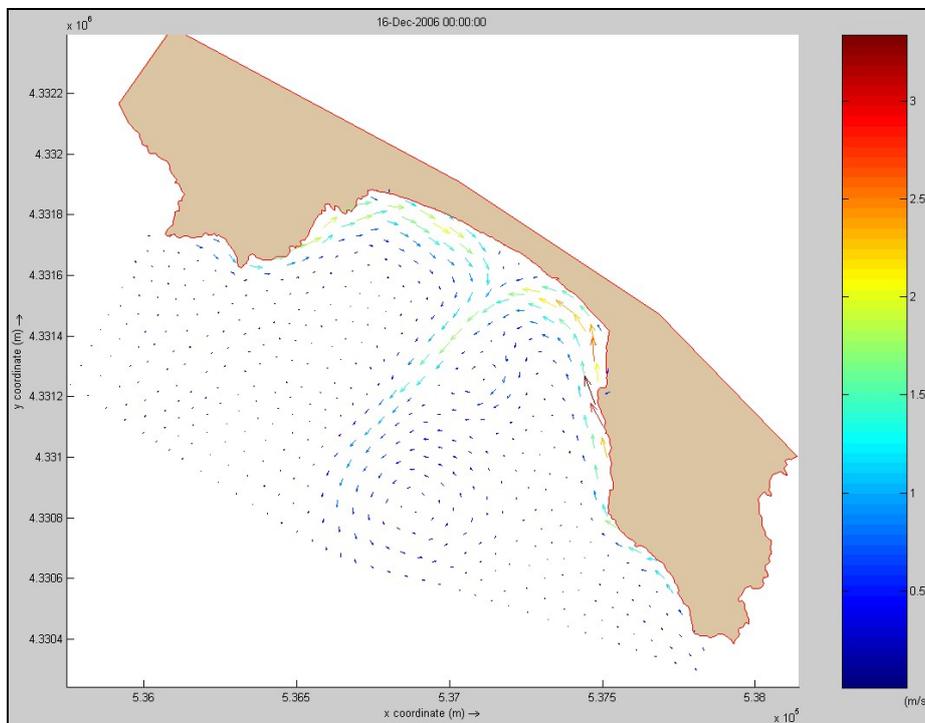


Fig. 253 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Al termine delle 24 ore di simulazione la *rip-current* risulta ancora in posizione centrale. La sua influenza si estende per quasi 2000 metri, evidenziando un potenziale trasporto sedimentario sino a profondità di 40 metri (Figg. 254 e 255). Questa condizione estrema trova riscontro nella distribuzione dei canali *intramatte* cartografati nell'area (cfr. Allegato 3).

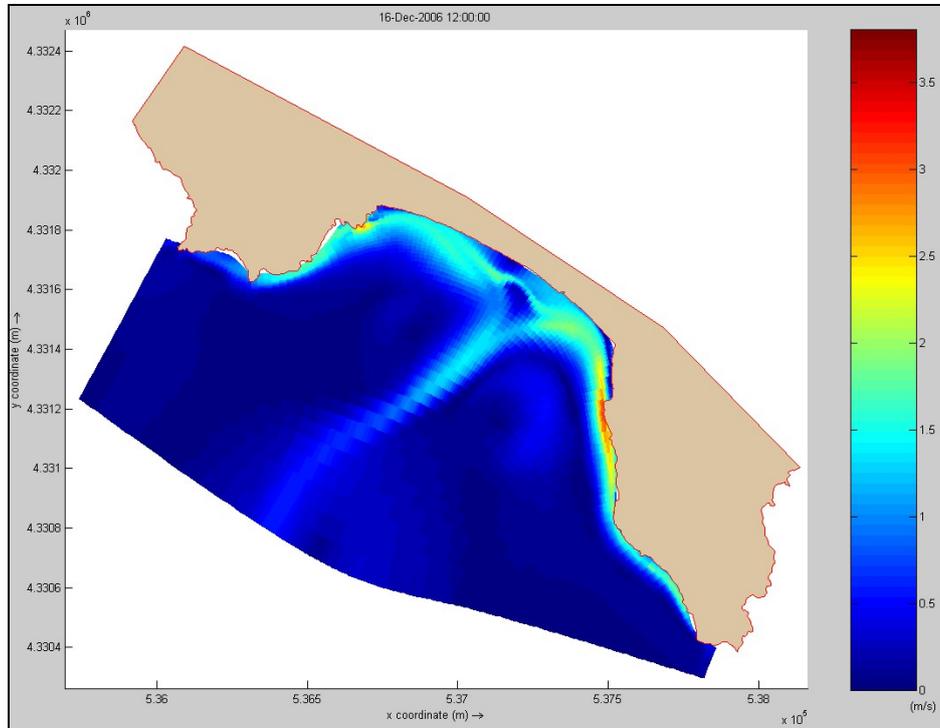


Fig. 254 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

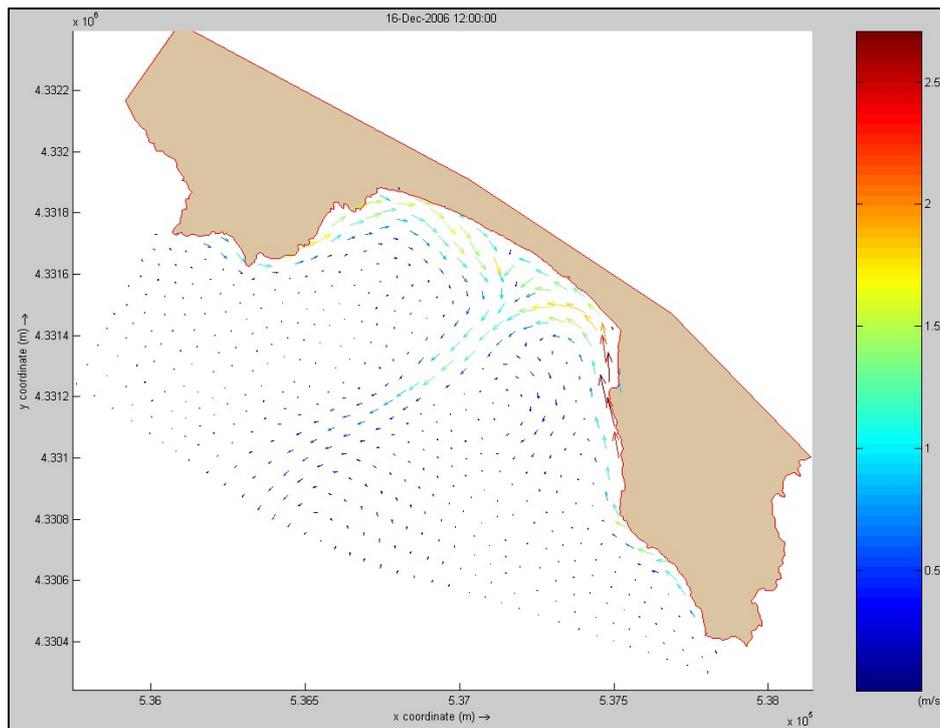


Fig. 255 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Si evidenzia un complesso sistema di truogoli e la formazioni di due cuspidi sabbiose posizionate nel settore centrale della spiaggia. La *surfzone* si estende per oltre 500 metri dalla linea di riva (Fig. 256).

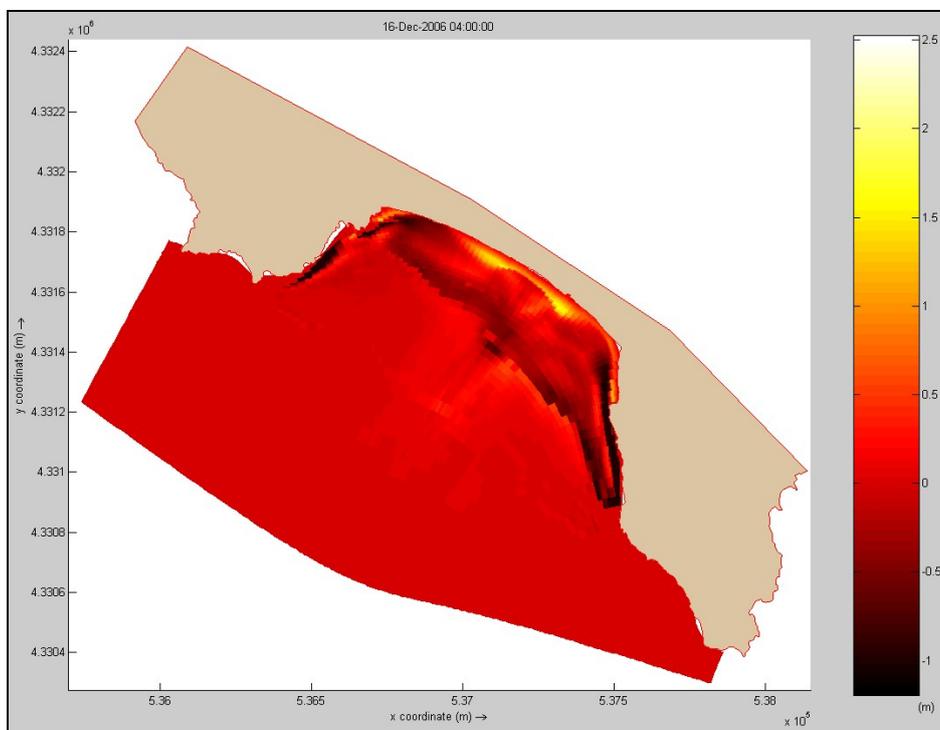


Fig. 256 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 16h di simulazione. Valori espressi in m.

Al termine della simulazione (24 ore) si osserva come le cuspidi siano aumentate di volume e come si sia creato un ampio truogolo parallelo a tutto il sistema spiaggia. Il sedimento di fondo risulta in

parte distribuito sulle cuspidi sabbiose e in parte distribuito su tutta la *surfzone* che nel settore centrale raggiunge un'estensione di quasi 1000 metri (Fig. 257).

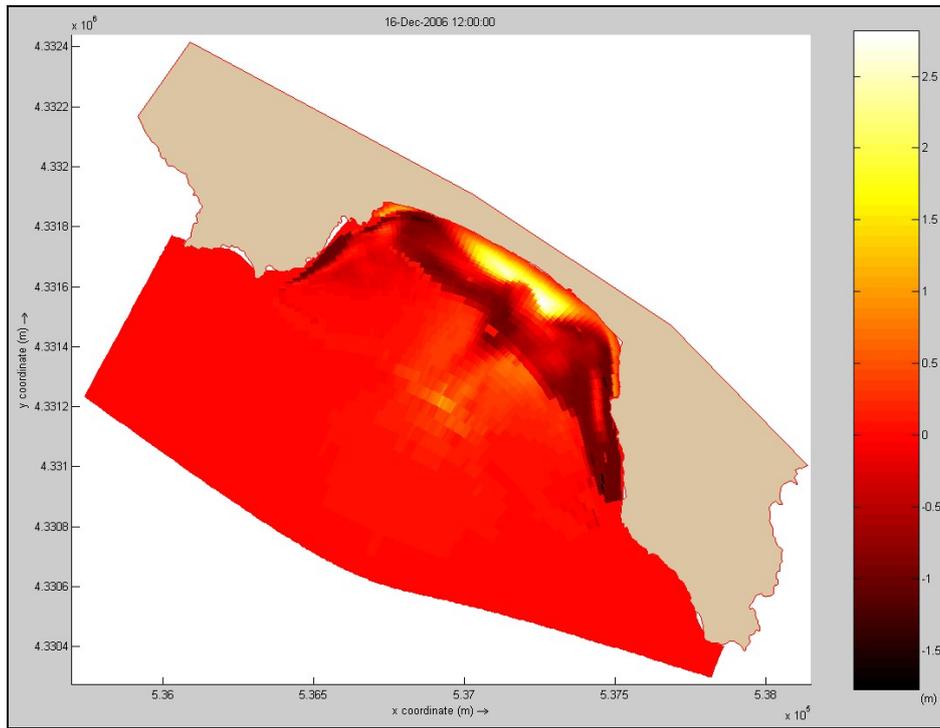


Fig. 257 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m.

SIMULAZIONE L10

Località:	Solanas (Sinnai)	
Evento Meteomarinò:	Direzione:	310° (Maestrale)
	Velocità (m/s):	10
	Durata (h):	24

Questa simulazione riproduce l'evento medio di Maestrale.

I vettori d'onda al Tempo 0 giungono dal largo con direzione da Ponente. Come intersecano l'isobata dei -15 metri iniziano processi di rifrazione che causano una rotazione graduale dei vettori. In particolare si osservano nel settore NW rotazioni di 45° verso Nord, che portano i vettori d'onda ad intersecare perpendicolarmente la linea di riva. Nel settore SE i vettori d'onda ruotano di circa 20° verso Nord intersecando la linea di riva con angoli di circa 60° (Fig. 258).

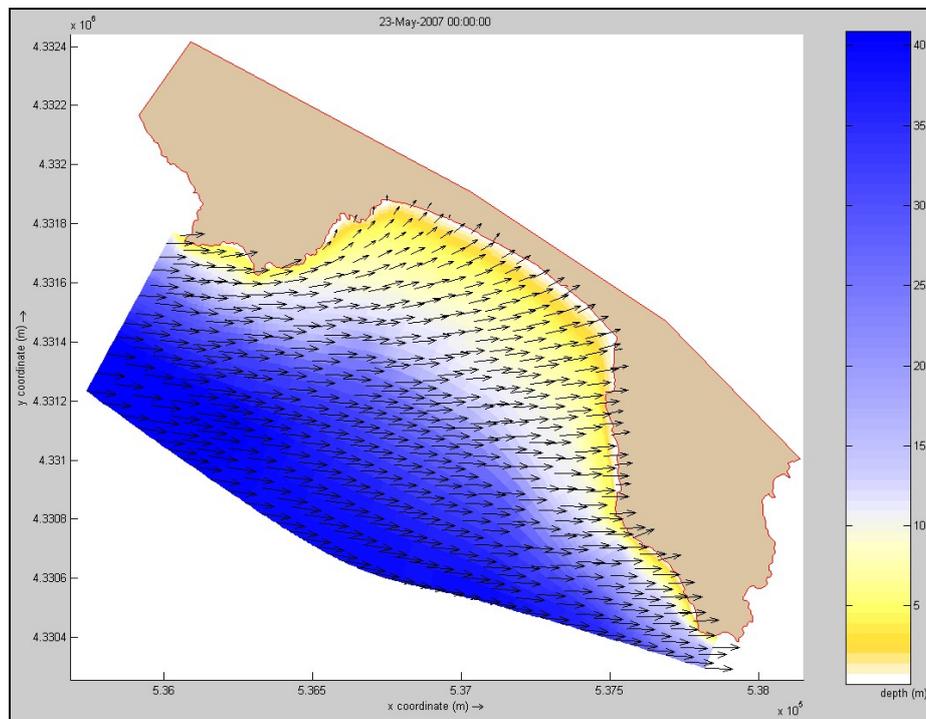


Fig. 258 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda a T=0. Valori di profondità espressi in metri.

Questa situazione si mantiene invariata nell'arco delle 24 ore di simulazione (Figg. 259 e 260).

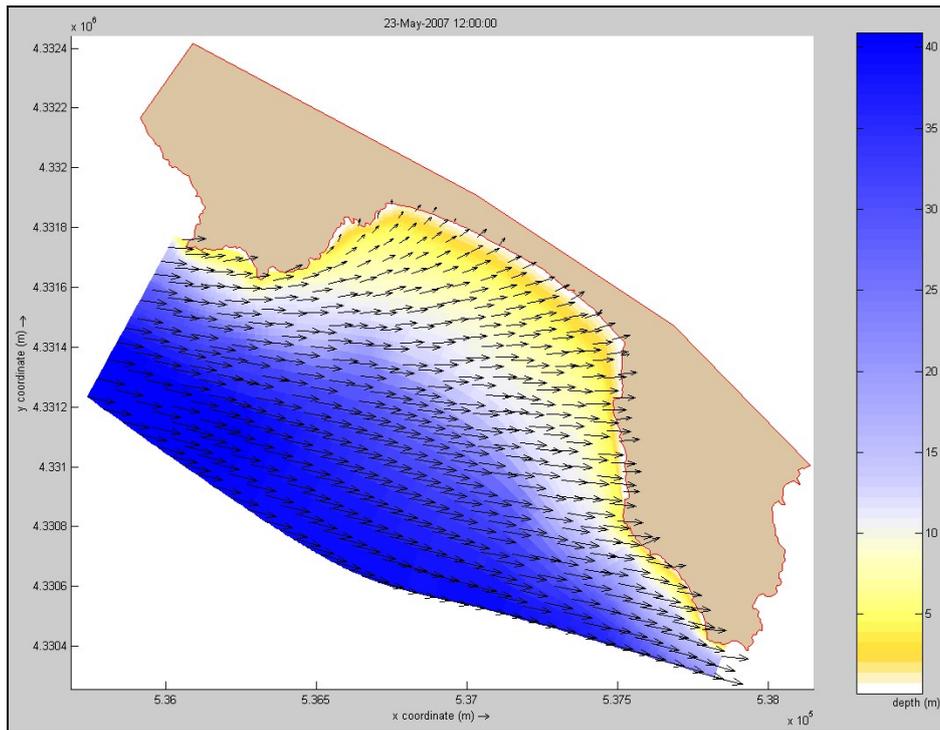


Fig. 259 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 12 ore di modellazione. Valori di profondità espressi in metri.

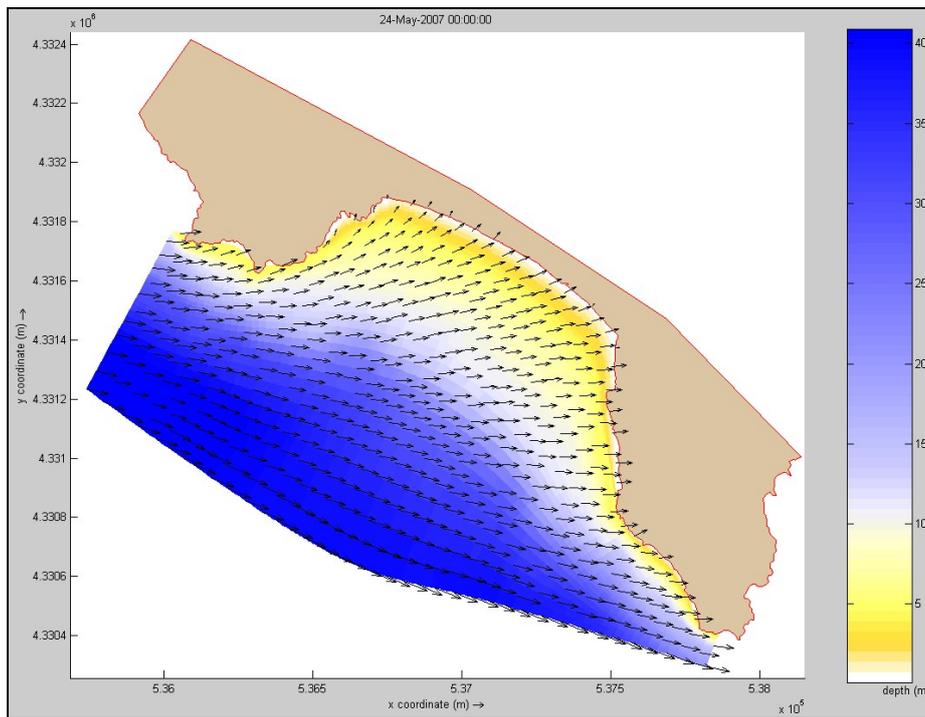


Fig. 260 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 24 ore di modellazione. Valori di profondità espressi in metri.

La simulazione idrodinamica mostra l'innesco di una corrente *longshore* con direzione NW-SE e, nel settore SE della spiaggia, l'innesco di una *rip-current* perpendicolare alla linea di riva (Fig. 261 e 262).

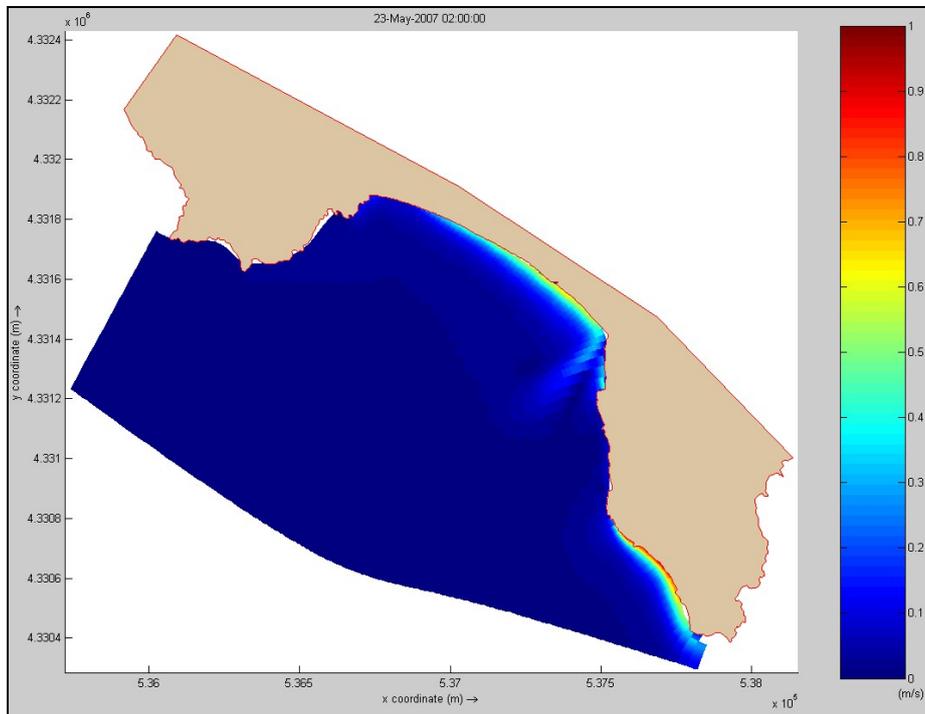


Fig. 261 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

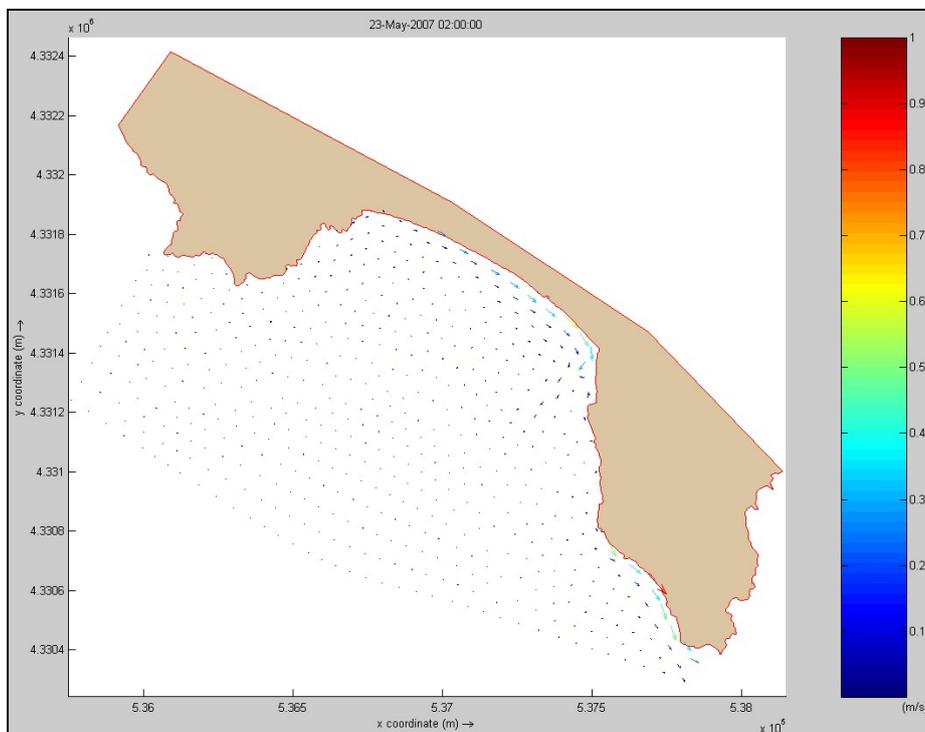


Fig. 262 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Dopo 12 ore di simulazione lo scenario idrodinamico si mantiene pressoché invariato (Figg. 263 e 264).

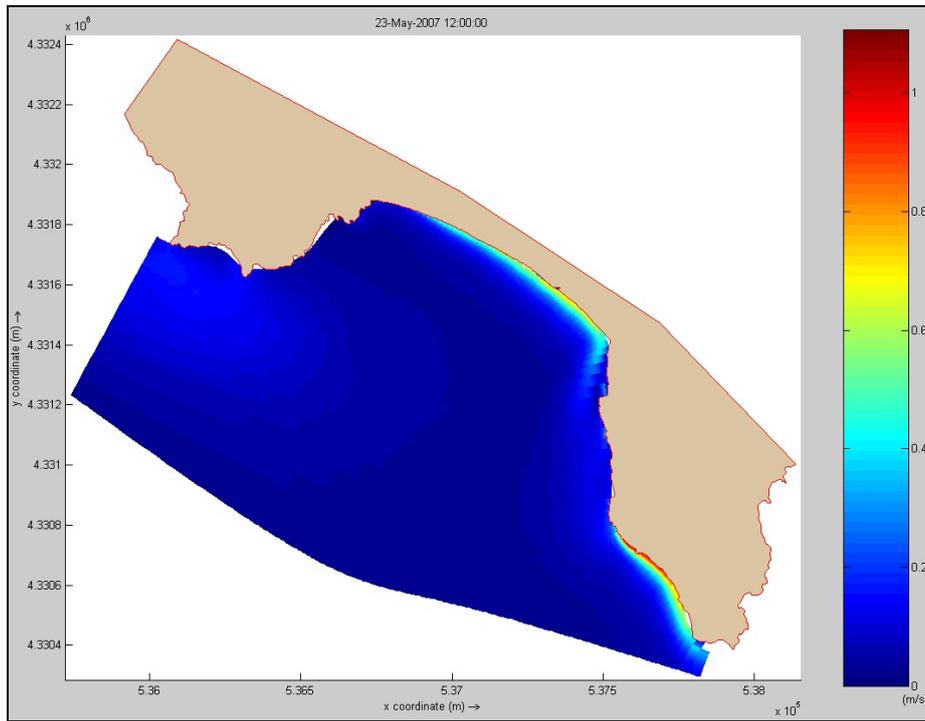


Fig. 263 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

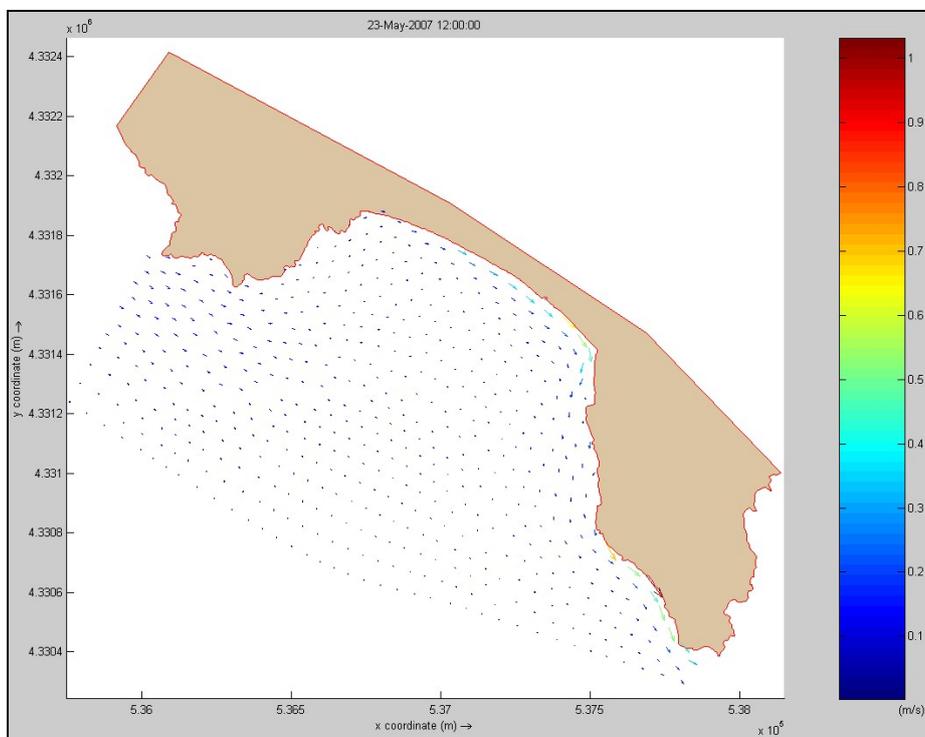


Fig. 264 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Dopo 24 ore si osserva un aumento della velocità al largo. Questo tuttavia non interessa le correnti sottocosta che mantengono il loro assetto (*longshore* e *rip-current* nel settore SE) (Figg. 265 e 266).

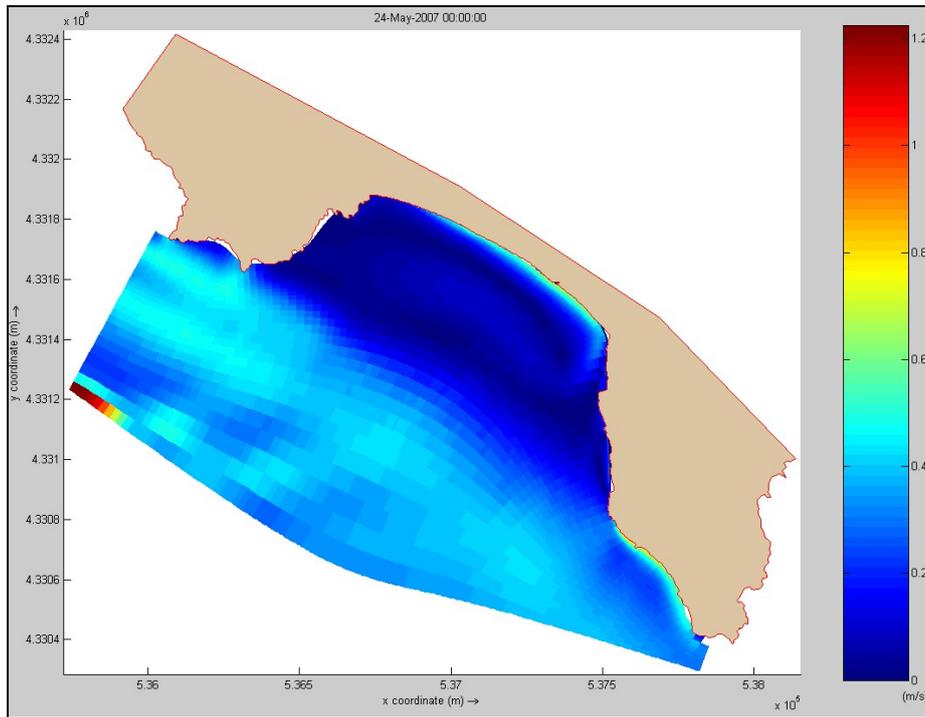


Fig. 265 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

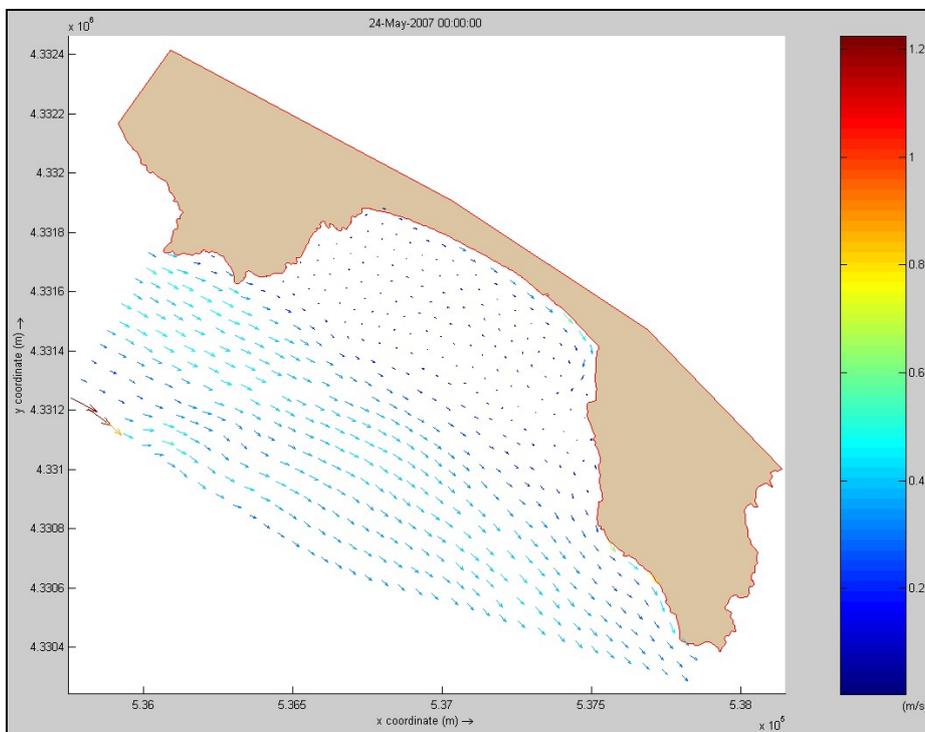


Fig. 266 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

L'assetto idrodinamico che si genera porta alla formazione di due ordini di barre e truogoli, localizzate nel settore centrale della spiaggia, che delineano una *surfzone* estesa fino a 100 metri dalla linea di riva. Queste strutture si mantengono costanti sino alla fine della modellizzazione (24 ore) (Figg. 267 e 268).

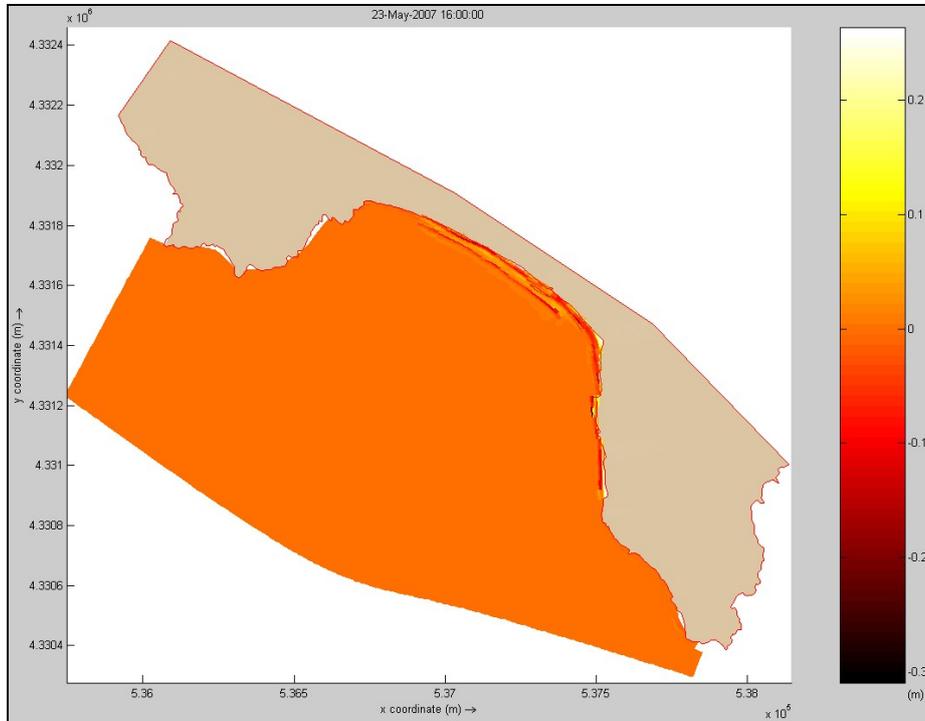


Fig. 267 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 14h di simulazione. Valori espressi in m.

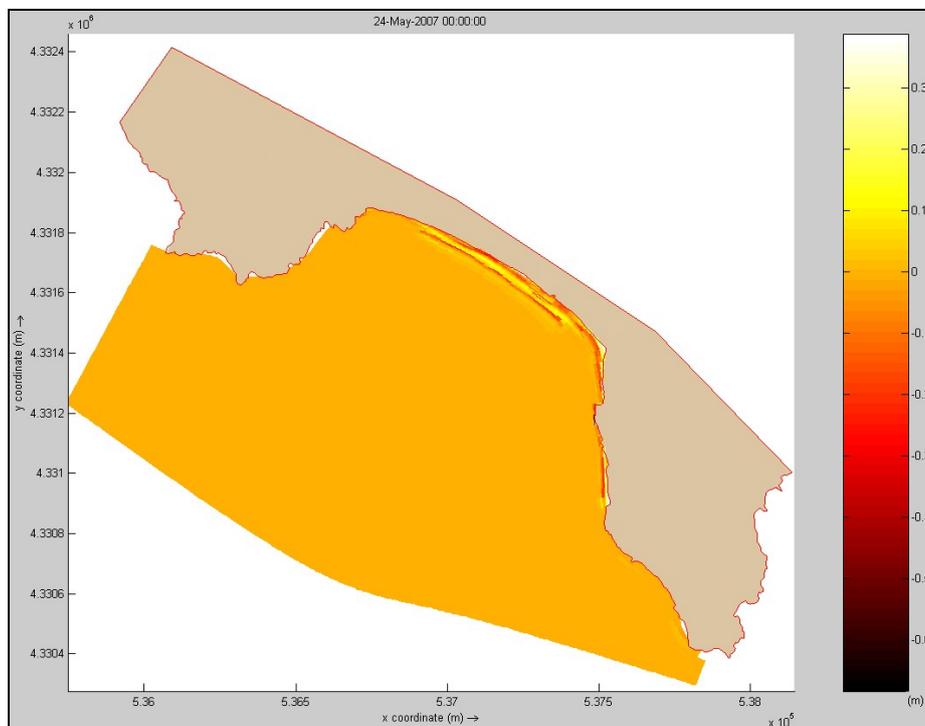


Fig. 268 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m.

SIMULAZIONE L11

Località:	Solanas (Sinnai)	
Evento Meteomarinò:	Direzione:	310° (Maestrale)
	Velocità (m/s):	25
	Durata (h):	24

Questa simulazione riproduce l'evento estremo da Maestrale.

I vettori d'onda, come nella modellizzazione con velocità a 10 m/s, al Tempo 0, provengono dal largo con direzione da Ponente (270°). All'intersezione con l'isobata dei -15 metri si attivano processi di rifrazione che causano una rotazione graduale dei vettori. In particolare si osservano nel settore NW rotazioni di 45° verso Nord, che portano i vettori d'onda ad intersecare perpendicolarmente la linea di riva. Nel settore SE i vettori d'onda ruotano di circa 20° verso Nord intersecando la linea di riva con angoli di circa 60° (Fig. 269).

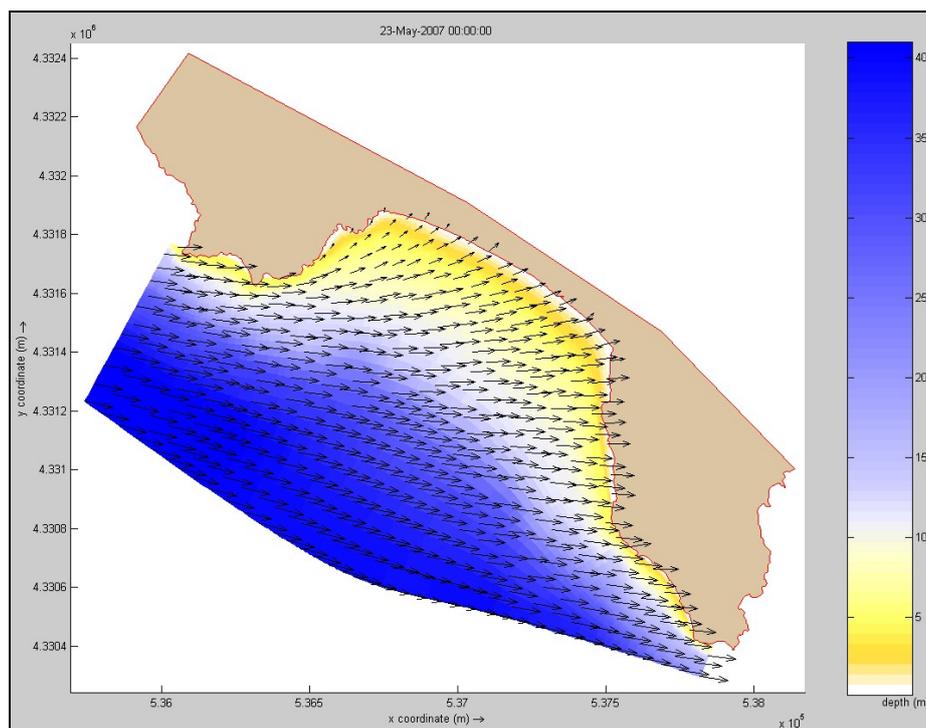


Fig. 269 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda a T=0. Valori di profondità espressi in metri.

Questa situazione si mantiene invariata nell'arco delle 24 ore di simulazione (Figg. 270 e 271).

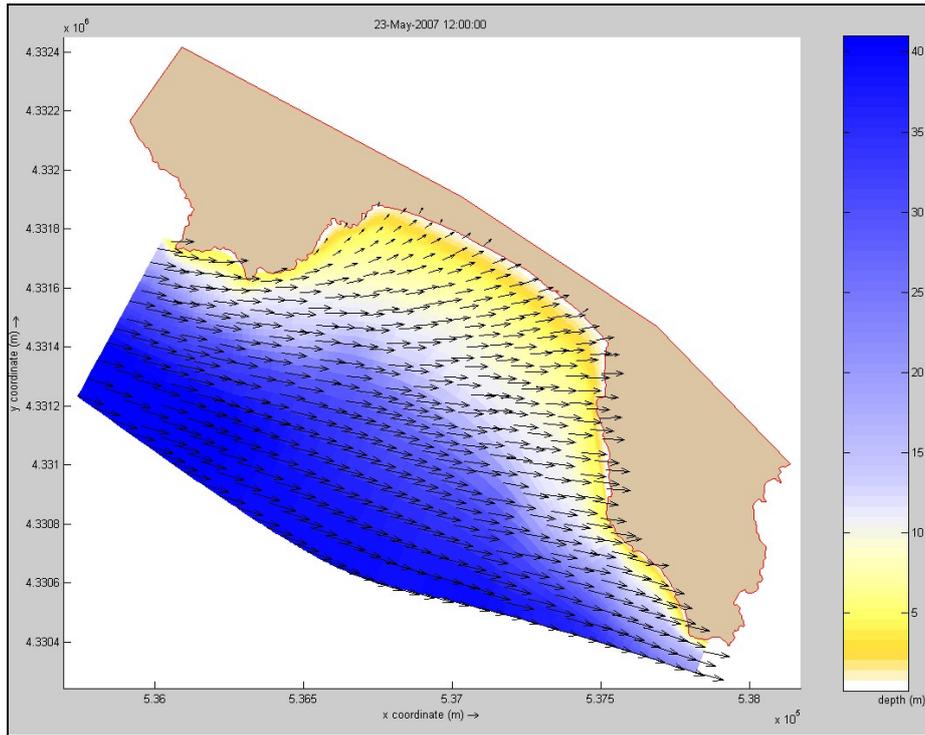


Fig. 270 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 12 ore di modellazione. Valori di profondità espressi in metri.

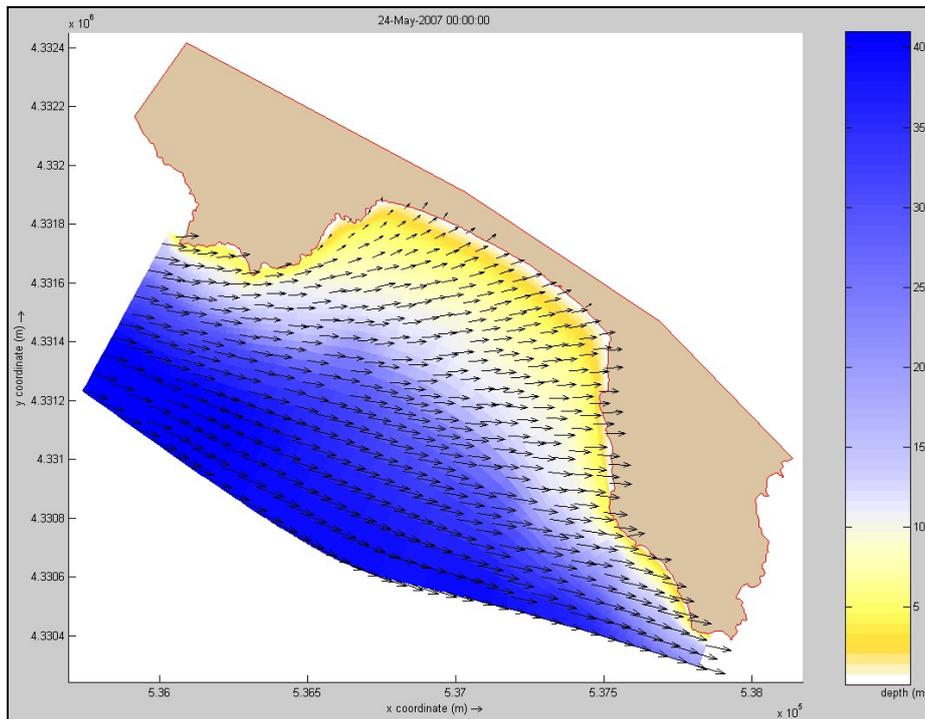


Fig. 271 - Rappresentazione della direzione dei vettori d'onda dopo 24 ore di modellazione. Valori di profondità espressi in metri.

L'effetto idrodinamico che ne consegue si visualizza con la formazione di una corrente *longshore* (settore nord-occidentale della spiaggia) con direzione verso SE. Nel settore SE invece si innesca una *rip-current* che si estende per circa 600 metri in direzione 190° (Figg. 272 e 273).

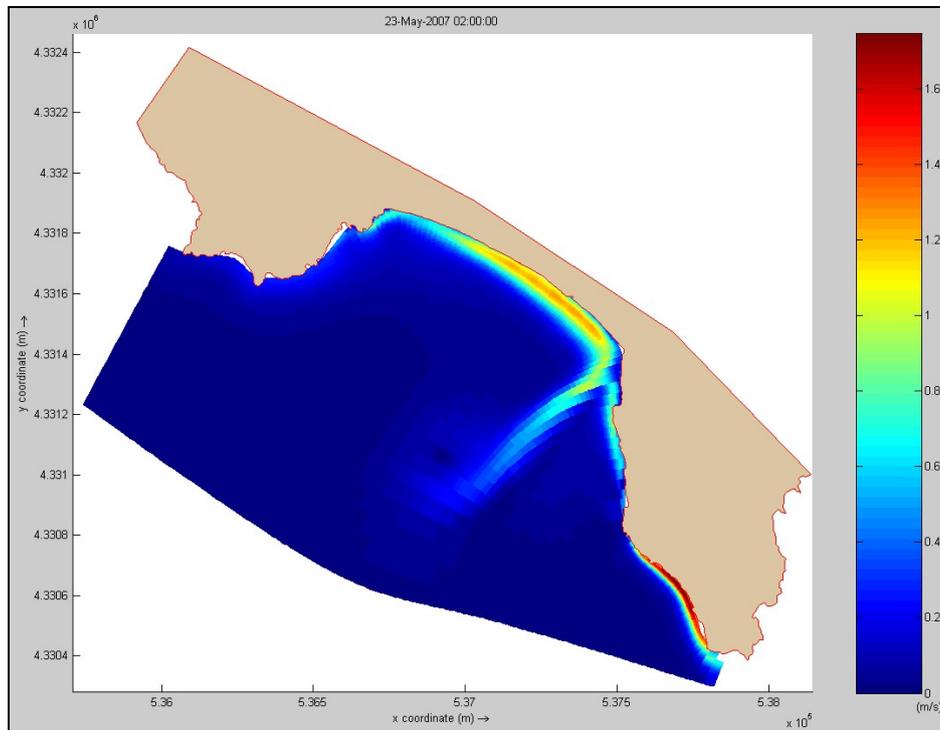


Fig. 272 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

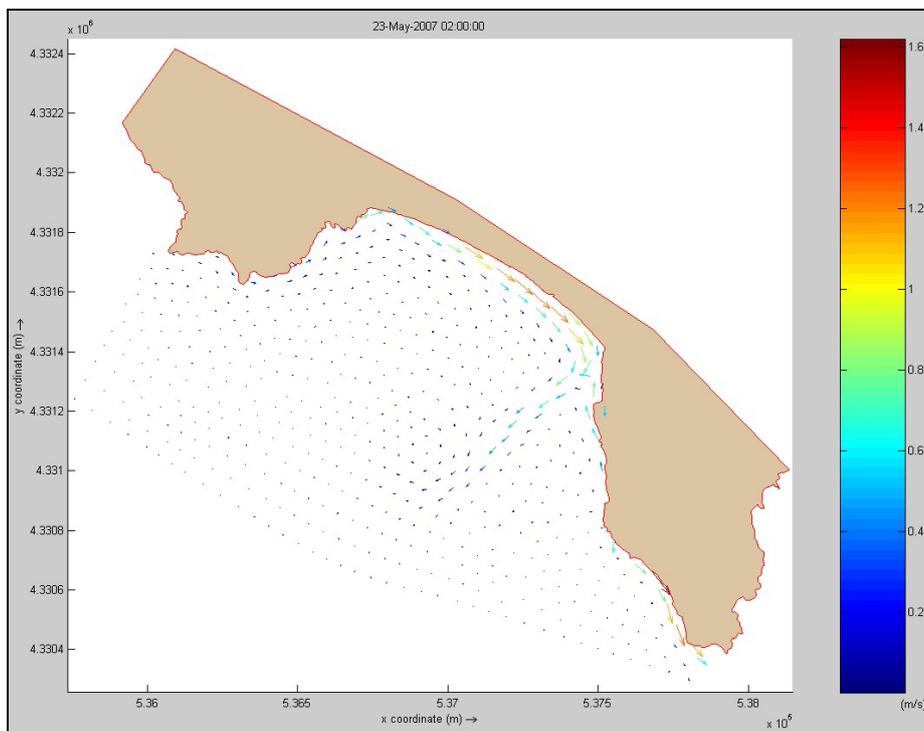


Fig. 273 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 2h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Dopo 12 ore si osserva che la *rip-current* deflette verso SE disponendosi parallelamente alla direzione generale dell'andamento idrodinamico. In conseguenza il suo areale di influenza diminuisce mentre rimane costante intensità e direzione della corrente *longshore* (Figg. 274 e 275).

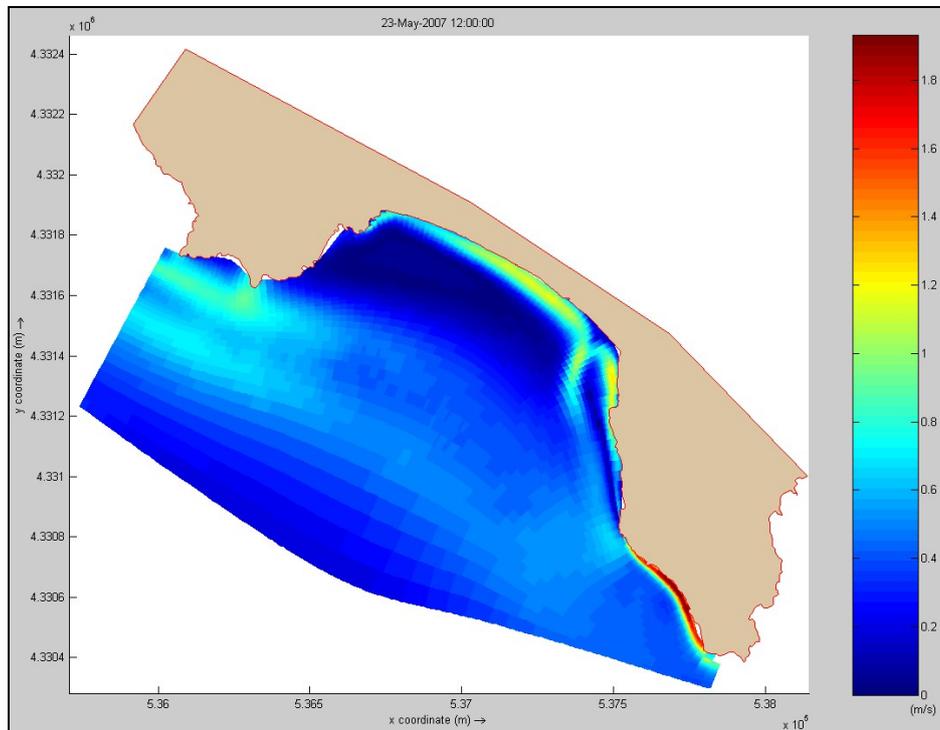


Fig. 274 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

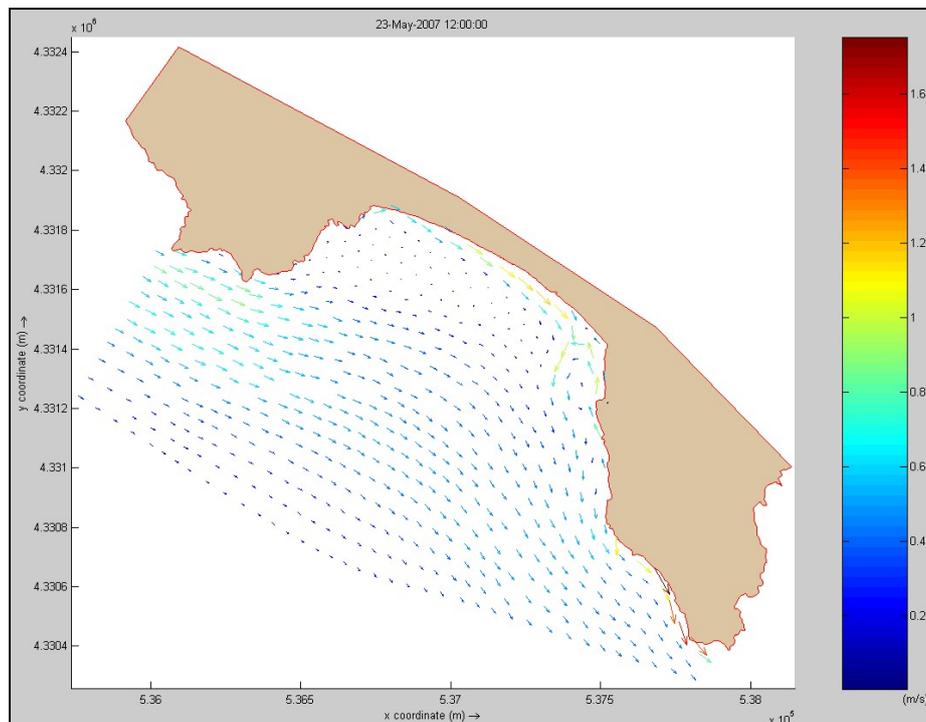


Fig. 275 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 12h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Al termine delle 24 ore di modellazione si osserva la formazione di una cella di circolazione nel settore di fronte al promontorio di Punta Cabudi che tuttavia non influisce sull'idrodinamica dello *shoreface*.

Sottocosta si mantiene la situazione precedentemente descritta con la corrente *longshore* parallela alla battigia e la *rip-current*, nel settore SE della spiaggia, asimmetrica, che segue la direzione NW-SE (Fig. 276 e 277).

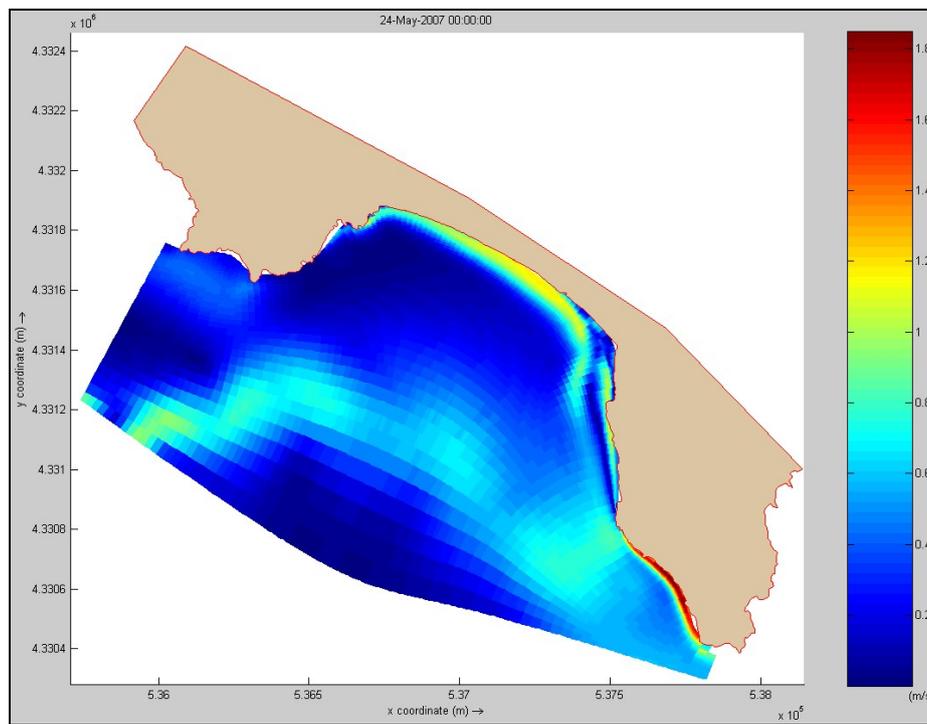


Fig. 276 - Rappresentazione della velocità mediata sulla colonna d'acqua che agisce sul fondo mare dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

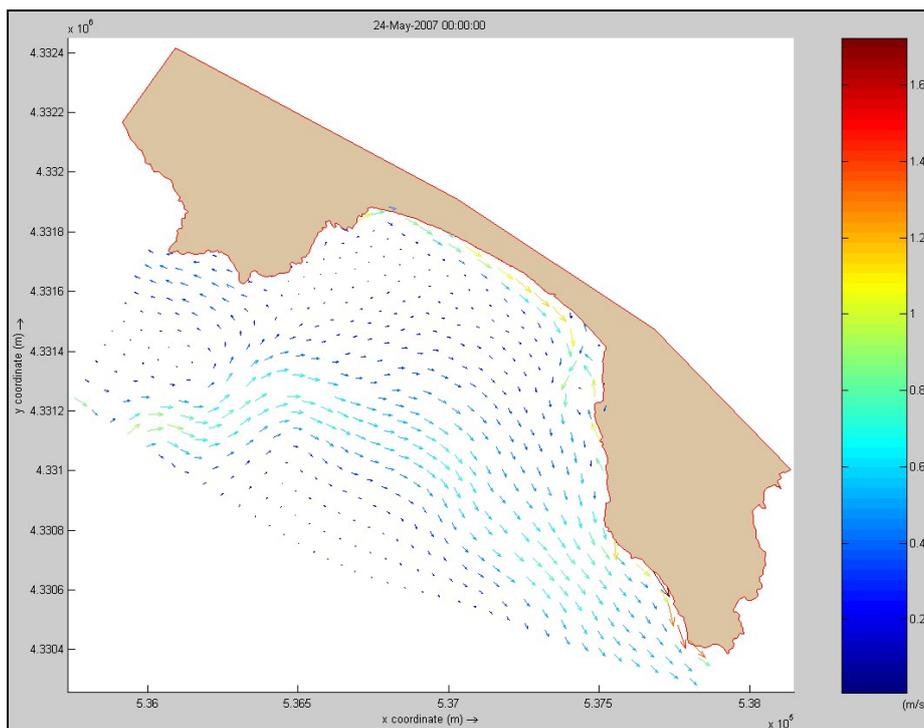


Fig. 277 - Rappresentazione dei vettori velocità mediata dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m/s.

Il processo innescato genera la formazione di tre ordini di barre e truogoli disposti parallelamente alla spiaggia delineando una surfzone ampia circa 400 metri nel settore SE e meno estesa (200 metri) nel settore NW (Fig 278).

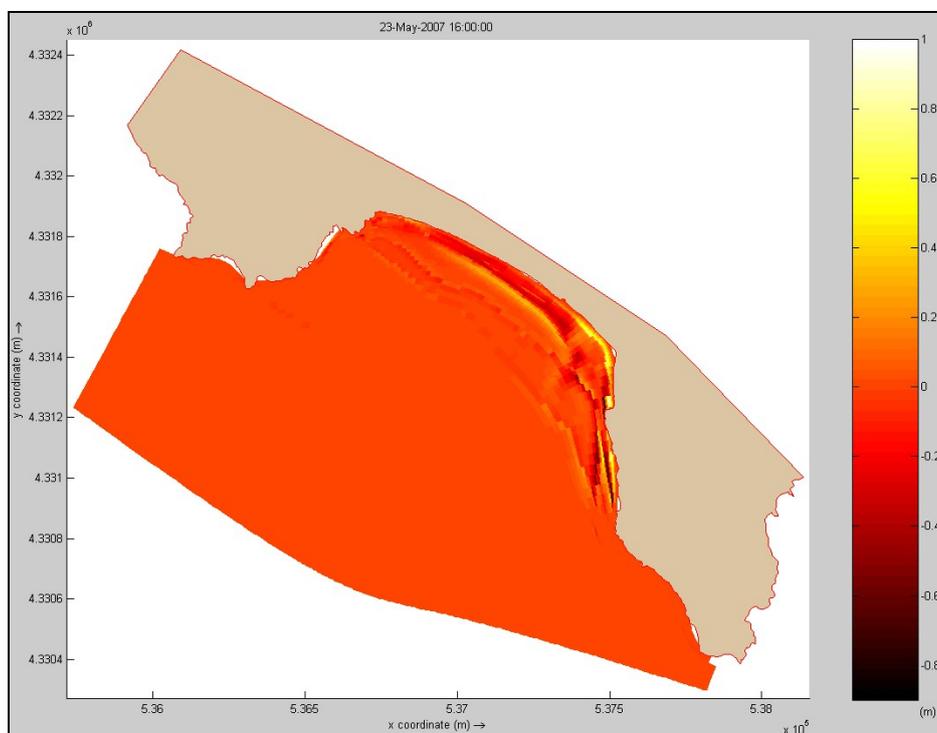


Fig. 278 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 14h di simulazione. Valori espressi in m.

Al termine della simulazione, dopo 24 ore, si osserva sempre il sistema con i tre ordini di barre e truogoli. L'ampiezza massima della *surfzone* si mantiene sempre intorno ai 400 metri dalla linea di battigia (Fig. 279).

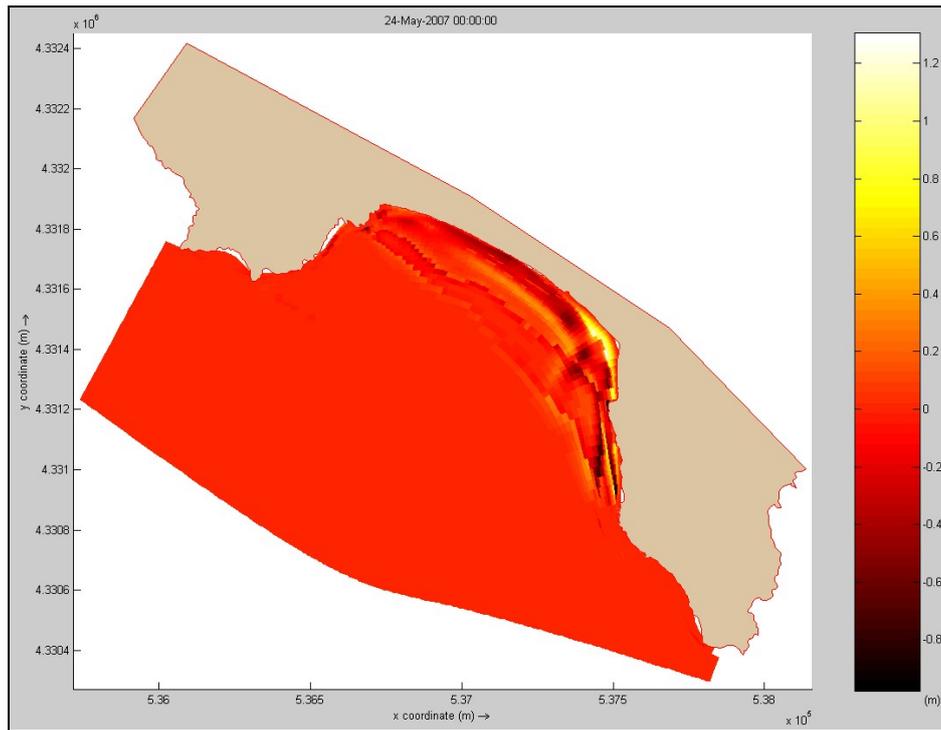


Fig. 279 - Rappresentazione delle aree di accumulo ed escavazione dopo 24h di simulazione. Valori espressi in m.

3.6 CONCLUSIONI PARTE II

L'applicazione del software di modellazione Delft3D ha permesso di simulare gli eventi meteomarini registrati nel Golfo di Cagliari e in particolare sulle due spiagge campione di Santa Margherita e Solanas e quindi valutare gli effetti prodotti sui sedimenti della spiaggia sottomarina delle zone studiate (zona più dinamica della spiaggia).

È stato possibile osservare e valutare la dinamica della zona a barre e truogoli (*surfzone*) e collegarne la strutturazione, ora per ora, all'idrodinamica innescata dai differenti eventi di moto ondoso, sia reali che individuati su base statistica.

Questa approfondita analisi basata su calcoli matematici fornisce un quadro completo delle modificazioni e dei processi di trasporto sedimentario legati all'innescamento di correnti di fondo ad opera del moto ondoso in acqua bassa (*shallow water*).

Dall'analisi delle successive immagini cartografiche (cfr. 163 figure), prodotte in successione ogni due ore, di ogni singolo evento studiato (spiaggia per spiaggia) è possibile osservare gli effetti nella strutturazione di barre e truogoli con differente andamento e il crescere o il decrescere dell'ampiezza della *surfzone* in funzione dello svilupparsi dell'evento meteomarino. È possibile inoltre entrare nel vivo della parametrizzazione numerica del variare delle intensità di correnti lungoriva (*longshore*) o trasversali (*rip-current*, *inshore-offshore* e *offshore-inshore*) in funzione del variare del moto ondoso durante l'evento scelto ed i conseguenti processi di erosione, trasporto, sedimentazione che strutturano di fatto la spiaggia sottomarina.

CONCLUSIONI GENERALI

1) Attraverso questa tesi di dottorato è stato rimesso in ordine il data set delle campagne di rilevamento svolte nell'area a partire dagli anni '80. I dati ecografici (*single-beam*, *multi-beam* e *Side Scan Sonar*), sismici (*Subbottom profiler* e *Sparker*) e sedimentologici sono stati analizzati, omogeneizzati, re-interpretati e integrati con nuovi rilevamenti nell'area di studio.

2) Sono stati consultati un totale di 360 NM di profili sismici (campagne *Placers*), 154,8 NM di profili ecografici *singlebeam*, fotomosaici *SideScanSonar* e strisciate singole per una copertura di 560 kmq, 18 NM di profili *multibeam* (nel settore di Solanas) e sono stati analizzate un totale di 218 stazioni di campionamento di cui 106 di provenienza bibliografica.

3) Sono stati prelevati e studiati 212 nuovi campioni di fondo.

4) Questo ha permesso di ottenere una visione aggiornata basata su nuove analisi composizionali (riconoscimento di *facies*), tessiturali (classificazioni di Udden-Wentworth, di Nota e di Folk) e statistiche (*Cluster Analysis*), ed una rappresentazione planimetrica delle conoscenze sui sedimenti superficiali del Golfo di Cagliari, sintetizzata nella "CARTA TESSITURALE E DELLE ASSOCIAZIONI DI FACIES DEI SEDIMENTI SUPERFICIALI DELLA PIATTAFORMA INTERNA DEL GOLFO DI CAGLIARI" in scala 1:50.000 (Allegato 1).

5) La carta fornisce una zonazione della piattaforma interna principalmente basata su 12 termini di legenda:

1. Sabbie medie e fini di spiaggia sottomarina, talvolta colonizzate da vegetazione discontinua, a composizione prevalentemente silicoclastica; Facies silicoclastiche di *shore-face*;
2. Ghiaie e Sabbie di *shore-face* con componente litica andesitica; Facies litico-bioclastiche di Punta Zavorra;
3. Fanghi e Sabbie fini del pendio e della depressione della piattaforma interna; Facies fangoso-sabbiose a lamellibranchi;
4. Limi organici della depressione della piattaforma interna; Facies a fanghi siltosi organico-carbonatici;
5. Sabbie e Sabbie ghiaiose terrigene a componente calcitica; Facies calcitiche di Capo S.Elia;

6. Ghiaie, Sabbie e Fanghi con copertura discontinua di *Posidonia oceanica* e altre Fanerogame marine; Facies miste bioclastico-terrigene associate alla Prateria discontinua (presenza di *intramatte*);
7. Prateria di *Posidonia oceanica* prevalentemente continua; Facies miste bioclastico-terrigene associate alla Prateria continua;
8. Ghiaie, Sabbie e Fanghi con vegetazione discontinua della transizione esterna del banco a *Posidonia*. Facies miste bioclastico-terrigene a lamellibranchi, briozoi e foraminiferi;
9. Sabbie ghiaiose mal classate con strutture a Sand waves; Facies bioclastico-terrigene ad alghe rosse e foraminiferi;
10. Ghiaie, Sabbie e Fanghi distali indifferenziati; Facies sabbioso fini-fangose a lamellibranchi e foraminiferi;
11. Roccia in posto, ghiaie e ciottoli di falesia indifferenziati;
12. Area ad influenza antropica. Fondali degradati e/o modificati da interventi antropici:
 - a. da dragaggi e/o opere di infrastrutturazione portuale;
 - b. ancoraggi e/o traffico marittimo;
 - c. ri-sospensione di sedimentazione di ghiaie, sabbie e silt con materiali da ripascimento.

6) In parallelo si sono attivati studi basati sull'osservazione e analisi delle condizioni meteomarine che hanno permesso, rapportandoli con lo schema batimetrico e sedimentologico, di ricostruire l'andamento del moto ondoso sull'area del Golfo di Cagliari.

Il prodotto della prima parte della tesi di dottorato è indispensabile e propedeutico per affrontare la seconda parte della ricerca finalizzata allo studio delle relazioni tra moto ondoso, correnti indotte e processi di sedimentazione sui sistemi di spiaggia campione e loro modellizzazione.

7) Lo studio di dettaglio sulle aree campione di Santa Margherita di Pula e di Solanas (Sinnai) è stato condotto, per la prima volta sulle spiagge del Golfo di Cagliari, applicando la metodologia di rilevamento ad alta precisione suggerita dal Progetto Pilota Interreg IIIA GERER (De Muro *et alii*, 2008).

8) I dati acquisiti con nuova strumentazione ed in formato digitale, georeferenziati mediante GPS Differenziale, hanno permesso di ricostruire la morfologia della spiaggia emersa e sottomarina e di realizzare un confronto tra gli assetti, invernale ed estivo.

9) Per la parte costiera sono state consultate foto aeree dal 1977 ad oggi e orto foto georeferenziate degli anni 1998, 2003 e 2006.

10) Per la parte a mare sono stati eseguiti ed interpretati una serie di profili ecografici per un totale di 21,9 NM per la spiaggia di Santa Margherita e 25,6 NM per la spiaggia di Solans. Inoltre sono stati raccolti ed analizzati 39 campioni per la spiaggia di Solanas, distribuiti in: 10 campioni di battigia, 15 nella spiaggia sottomarina e 14 sulle strutture di spiaggia emersa; e 41 per la spiaggia di Santa Margherita, distribuiti in: 9 campioni di battigia, 12 di spiaggia sottomarina e 20 sulle strutture di spiaggia emersa.

11) Le analisi sedimentologiche e cartografiche hanno portato alla realizzazione di una mappatura tessiturale superficiale delle due aree: carte morfo-sedimentologiche terra-mare in scala 1:10.000 (Allegati 2 e 3) secondo la classificazione di Udden-Wentworth.

12) Questa metodologia ha permesso, inoltre, di entrare nei dettagli relativi ai processi di sedimentazione connessi ai diversi eventi meteomarini e valutare il conseguente assetto e distribuzione dei volumi sedimentari sul sistema spiaggia (quote, pendenze, cresta duna, berme, battigia, barre, truogoli ecc.).

13) La banca dati di base realizzata rappresenta il punto di partenza per l'applicazione di formule matematiche necessarie per la ricostruzione del moto ondoso, delle correnti di fondo e dei processi idrodinamici e sedimentologici connessi.

I calcoli sono stati effettuati utilizzando dei software complessi di modellizzazione messi a punto presso l'Università di Delft (Olanda) e ri-tarati per il Golfo di Cagliari sulla base dei nuovi rilievi da noi effettuati.

14) L'applicazione del software di modellazione *Delft3D* ha permesso di simulare gli eventi meteomarini registrati nel Golfo di Cagliari e in particolare sulle due spiagge campione di Santa Margherita e Solanas e quindi valutare gli effetti prodotti sui sedimenti della spiaggia sottomarina delle zone studiate (zona più dinamica della spiaggia).

15) È stato possibile osservare e ricostruire la dinamica della zona a barre e truogoli (*surfzone*) e collegarne la strutturazione, ora per ora, all'idrodinamica innescata dai differenti eventi di moto ondoso, sia reali che individuati su base statistica.

Questa approfondita analisi basata su calcoli matematici fornisce un quadro completo delle modificazioni e dei processi di trasporto sedimentario legati all'innesco di correnti di fondo ad opera del moto ondoso in acqua bassa (*shallow water*).

17) Sono stati simulati per ogni spiaggia campione, gli eventi meteomarini osservati nel periodo antecedente i rilievi stagionali da noi eseguiti oltre ai principali eventi ricavati dalle analisi statistiche di moto ondoso.

18) Sono stati quindi creati 32 modelli d'onda (modulo SWAN) e relativi modelli idrodinamici (modulo FLOW) al fine di ricreare le condizioni caratterizzanti la mobilitazione dei sedimenti dello *shoreface* e la conseguente formazione/modificazione/evoluzione delle strutture sottomarine della *surfzone* (barre, truogoli ecc.).

Sono stati poi riportate le simulazioni degli eventi reali registrati e gli eventi maggiormente efficaci nelle due spiagge campione, ovvero venti di Scirocco e Levante, con intensità 10 e 25 m/s, per la spiaggia di Santa Margherita (M05, M09, M11, e M12) e vento di Libeccio e Maestrale, con intensità 10 e 25 m/s, per la spiaggia di Solanas (L05, L07, L10 e L11).

19) Dall'analisi delle successive immagini cartografiche (cfr. le 163 figure della Parte II, paragrafi 3.4 e 3.5) di ogni singolo evento studiato, spiaggia per spiaggia, è stato possibile descrivere e cartografare gli effetti della strutturazione di barre e truogoli con differente andamento, il crescere o il decrescere dell'ampiezza della *surfzone* in funzione dello svilupparsi dell'evento meteomarino. È stato possibile, inoltre, entrare nel vivo della parametrizzazione numerica del variare della intensità e direzione di correnti lungoriva (*longshore*) o trasversali (*rip-current*, *inshore-offshore* e *offshore-inshore*) in funzione del variare del moto ondoso durante l'evento scelto e di quantificare i conseguenti processi di erosione, trasporto e di sedimentazione che strutturano di fatto la spiaggia sottomarina.

20) Riflessioni sulle problematiche rimaste aperte e sugli sviluppi futuri della presente ricerca.

Le ricerche svolte sull'area del Golfo di Cagliari nell'ambito della presente Tesi di Dottorato hanno portato un nuovo contributo sulla conoscenza dei fondali marini della piattaforma prossimale e sui meccanismi di funzionamento dei sistemi di spiaggia campione. Vi sono aspetti innovativi rappresentati dalla nuova visione cartografica della distribuzione dei sedimenti superficiali (es. il forte controllo che esercita la prateria di posidonia sulla sedimentazione attuale, o i nuovi dati

numerici su provenienza, dispersione, accumulo dei sedimenti in acqua bassa, o l'avvio di ricerche sulla origine, età e scenari evolutivi connessi con i depositi cartografati come paleolinee di riva sommerse campionate a diverse quote).

Altri aspetti innovativi sono quelli che hanno già mostrato e che avranno in futuro significative ricadute applicative riguardanti la nuova conoscenza sulla evoluzione e dinamica dei sistemi di spiaggia, anche per i suggerimenti gestionali che ne potranno derivare e che si stanno valutando al momento della consegna dei dati relativi a questa fase della ricerca.

Inoltre, le ricerche fino ad oggi effettuate aprono nuovi orizzonti di approfondimento su argomenti di grande interesse scientifico (che naturalmente non si sono esauriti allo stato delle conoscenze attuali) e che saranno oggetto di approfondimento negli anni futuri.

Tra i tanti percorsi possibili, e che sempre si delineano alla fine di una "stagione" di ricerca, desideriamo evidenziarne alcuni che riguardano gli scenari geologici del passato e altri che interessano la vita e l'economia della nostra Isola nell'immediato futuro.

Un primo tema sul quale desideriamo fare dei progressi scientifici sarà quello della ricostruzione degli scenari legati alla risalita del mare durante l'Olocene (siamo in attesa di dati radiometrici su cementi e contenuti fossiliferi delle arenarie e dei conglomerati campionati a diverse profondità).

Un secondo argomento di grandissimo interesse, anche se maggiormente associabile agli aspetti applicativi, è la risposta dei sistemi costieri alla variazione climatica; valutazione e quantificazione delle tendenze evolutive delle spiagge che discrimini su base scientifica tra effetti prodotti dall'uomo e processi naturali. A questo si collega la necessità di valutazione delle possibili strade da percorrere e quali potranno essere le opzioni di adattamento alla variazione climatica in atto. Scelte e pianificazione che, riteniamo, debbano essere il più possibile basate sull'approfondita conoscenza scientifica dei processi in atto. Specialmente se queste scelte riguardano un bene ambientale che, per la Sardegna, assume un valore economico straordinario e dagli equilibri delicatissimi come il sistema costiero.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2004) – “PIANO URBANISTICO PROVINCIALE, PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO – NORMATIVA artt.1-11” – Provincia di Cagliari, Assessorato Programmazione e Pianificazione Territoriale.
- Adey W.H. e Macintyre I.G. (1973) – “CRUSTOSE CORALLINE ALGAE: A RE-EVALUATION IN THE GEOLOGICAL SCIENCES” - Geol. Soc. Am. Bull., 84, 883-904.
- Bacelle L. e Bosellini A. (1965) – “DIAGRAMMI PER LA STIMA VISIVA DELLA COMPOSIZIONE PERCENTUALE NELLE ROCCE SEDIMENTARIE”. Annali Univ. di Ferrara, sez. IX, vol. 16, 19-40.
- Barca S. e Palmerini V. (1973) – “CONTRIBUTO ALLA CONOSCENZA DEGLI AMBIENTI DI SEDIMENTAZIONE RELATIVI ALLA "FORMAZIONE DEL CIXERRI" (SARDEGNA SUD-OCCIDENTALE)” - Boll. Soc. Sarda Sc. Nat.:12, 13-50, Cagliari.
- Bijker E.W. (1971) – “LONGSHORE TRANSPORT COMPUTATIONS” - J. Wtrwy, Harbor & Coast. Engrg. Div., ASCE, 97(4), 687-701.
- Booij N., Ris R.C. e Holthuijsen L.H. (1999) – “A THIRD-GENERATION WAVE MODEL FOR COASTAL REGIONS - 1. MODEL DESCRIPTION AND VALIDATION” - Journal of Geophysical Research, Vol. 104, NO. C4, PAGES 7649–7666, APRIL 15, 1999
- Boudouresque C.F., Meinesz A. e Verlaque M. (1992) – “GUIDES DES ALGUE DES MERS D'EUROPEE. MÉDITERRANÉE” - Delachaux et Niestlé, 139-219.
- Brotzu P., Morbidelli L. e Traversa G. (1978) – “CARATTERI PETROGRAFICI E CHIMICI DELLE SIENITI DEL SARRABUS MERIDIONALE” – PERIOD. MIN., ROMA.
- Cabras M (2002) – “CARATTERISTICHE SEDIMENTOLOGICHE DELL'AREA MARINA COMPRESA TRA P.TA SARDEGNA E CAPO D'ORSO – ARCIPELAGO DI LA MADDALENA” – Tesi di Laurea inedita, Relatori Prof. S. De Muro e Prof. G.P.Fanzutti – Università degli Studi di Cagliari.
- 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. e Simone L. (1988) – “CARBONATE LITHOFACIES AS PALEOLATITUDE INDICATORS: PROBLEMS AND LIMITATIONS” - Sedimentary Geology, 60, 333–346.
- Carmignani L., Oggiano G., Barca S., Conti P., Salvadori I., Eltrudis A., Funedda A., Pasci S. (2001) - “MEMORIE DESCRITTIVE DALLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA – GEOLOGIA DELLA SARDEGNA” – Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.
- Carobene L. e Brambati A. (1975) – “METODO PER L'ANALISI QUANTITATIVA MORFOLOGICA DELLE SPIAGGE” – Boll. Soc. Geol. It., 94, pp. 479-793.
- Carta M., Del Fa' C., Ulzega A. e Uras I. (1986) – “LA PIATTAFORMA CONTINENTALE SARDA, STUDI GEOGIACIMENTOLOGICI, GEOFISICI, SEDIMENTOLOGICI E DI VALORIZZAZIONE DEI MINERALI CONTENUTI” – in P.F. Oceanografia e Fodni Marini, sottoprogetto Risorse Minerarie, Rapporto tecnico finale, CNR, Roma 1986, 1-35.
- Casula G., Cherchi A., Montadert L., Murru M. e 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.
- Catalisano S., Minucci E., Lipparini T., Maxia C. e Andreatta C. (1943) – “CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1:100.000 FOGLIO N° 234” – R. UFFICIO GEOLOGICO

- Cerrato E. e Evangelista G. (2003) – “IL RILIEVO GPS DIFFERENZIALE IN RTK: L’ESPERIENZA MATURATA DAL CIGA IN CAMPO OPERATIVO” – Atti della “7a Conferenza Nazionale ASITA: “L’Informazione Territoriale e la dimensione tempo” – Verona, 28-31 ottobre 2003.
- Cherchi A., Marini A., Murru M. e Ultzega A. (1978) – “MOVIMENTI TETTONICI DELLA SARDEGNA MERIDIONALE” – Mem. Soc. Geol. It., Roma.
- Cherchi A. e Montadert L. (1982) – “THE OLIGO-MIOCENE RIFT OF SARDINIA AND EARLY HISTORY OF THE WESTERN MEDITERRANEAN BASIN” - Nature, 298, pp.736-739.
- Cherchi A. e Murru M. (1985) – “PLIO-QUATERNARY CAMPIDANO GRABEN” - In Cherchi A. ed, European Micropal.. Coll. Sardinia Oct. 1-10 1985, 105-112.
- Coastal Engineering Research Center (1984) – “SHORE PROTECTION MANUAL (SPM), VOL. I” – C.E.R.C. Washington DC.
- Cocirca C. e Michon G. (1989) – “THE MAFIC MAGMATIC ENCLAVES OF SOME NORTHERN SARDINIA GRANITIDS, THE EXISTENCE OF TWO DIFFERENT ACID-BASIC ASSOCIATIONS” – Rend. Soc. It. Min. Petr., Milano
- Cossellu M. (2003) – “PRIMA ZONAZIONE TESSITURALE E COMPOSIZIONALE DEI SEDIMENTI ATTUALI DELLA PIATTAFORMA CONTINENTALE DEL GOLFO DI CAGLIARI (PARTE ORIENTALE)” – Tesi di laurea inedita, relatori Prof. L. Lecca e Prof. S. De Muro - Università degli Studi di Cagliari.
- Cossellu M. (2007) – “SEDIMENTOLOGIA E PROCESSI DEPOSIZIONALI DELLA PIATTAFORMA CONTINENTALE DI CAGLIARI DAL *LAST GLACIAL MAXIMUM* ALL’ATTUALE” – Tesi di Dottorato in Scienze della Terra, Università degli Studi di Cagliari.
- D’Amico C. (1960) – “LA MASSA DIORITICO-QUARZIFERA DI BITTI-ORANI (SARDEGNA)” – Acta Geol. Alpina, Bologna.
- D’Angelo G. e Gargiullo S. (1978) – “GUIDA ALLE CONCHIGLIE MEDITERRANEE” – Fabbri ed., Milano, 224 pp.
- De Falco G., Cancemi M., De Muro S. (2007) – “ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO DELLE SPIAGGE NEL CONTESTO DEL PROGETTO GERER” – Atti Conferenza Intermedia Progetto INTERREG IIIA GERER “Gestione ambientale integrata in località ad elevato rischio di erosione” Palau, 21 aprile 2007.
- De Muro S. e Dore G.P. (2008) – “DOVE INIZIA IL MARE” – Documentario prodotto dall’Osservatorio Coste E Ambiente Naturale Sottomarino (OCEANS) sul “DECALOGO PER LA GESTIONE DELLE SPIAGGE SARDE – COME SALVAGUARDARE E CONSERVARE QUESTO BENE AMBIENTALE” – Atti scientifici e divulgativi Interreg IIIA GERER - Osservatorio Coste E Ambiente Naturale Sottomarino (OCEANS) Palau (OT).
- De Muro S., De Falco G., Costa M. (2007) - “DECALOGO PER LA GESTIONE DELLE SPIAGGE SARDE – COME SALVAGUARDARE E CONSERVARE QUESTO BENE AMBIENTALE” – Atti Conferenza Intermedia Progetto INTERREG IIIA GERER “Gestione ambientale integrata in località ad elevato rischio di erosione” Osservatorio Coste E Ambiente Naturale Sottomarino (OCEANS) Palau (OT), 21 aprile 2007.
- De Muro S., De Falco G., Costa M. e Cancemi M., Batzella T., Bua S., Kalb C., Pusceddu N., Simeone S. e Tocco F. (2008) – “DATI E MANUALE SCIENTIFICO-TECNICO PER LO STUDIO E LA GESTIONE DELLE SPIAGGE DELLA SARDEGNA E DELLA CORSICA” – Volume atti conclusivi Progetto Interreg IIIA GERER “Gestione ambientale integrata in località ad elevato rischio di erosione” – Osservatorio Coste E Ambiente Naturale Sottomarino (OCEANS) Palau (OT) (volume in fase di stampa).
- 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. (2001) - “RAPPORTO TECNICO CAMPAGNA OCEANOGRAFICA GOLFO DI CAGLIARI” - Convenzione con il Corpo Forestale di Vigilanza Ambientale.
- De Muro S. e 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.
- Di Gregorio F., Ferrara C., Ibba A., Ricetto G., Ulzega A. (1998) – “ATLANTE NAZIONALE DELLE SPIAGGE - FOGLIO 234 CAGLIARI” – A cura del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) – SELCA, FIRENZE.
- Dubois R.N. (1988) – “SEASONAL CHANGES IN BEACH TOPOGRAPHY AND BEACH VOLUME IN DELAWARE” - *Mar. Geol.*, 81, 79-96.
- Fadda A.F. e Pala A. (1992) – “LE ACQUE DELLA SARDEGNA” - COEDISAR - ISBN: 8885966039.
- Fadda G.D. (1997) – “BILANCIO IDROGEOLOGICO ANNUALE DEL RIO PALACERIS (SANTA MARGHERITA DI PULA)” – Tesi di Laurea inedita, relatore Prof. A. Pala – Università degli Studi di Cagliari.
- Federici P., Ginesu S. e Oggiano G. (1987) – “EVOLUZIONE DELLA PIANA COSTIERA TURRITANA” - *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*: 10, 103-121, Torino.
- Finetti I.R., Del Ben A., Fais S., Forlin E., Klingele E., Lecca L., 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.
- Folk R.L. e Ward W. (1957) – “BRAZOS RIVER BAR: A STUDY IN THE SIGNIFICANCE OF GRAIN SIZE PARAMETERS” - *Journ. Sed. Pet.*, 27, 3-26
- 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.
- Gazale V. e Porcheddu A. (1993) – “GUIDA PRATICA ALLA FLORA E FAUNA MARINA DELLA SARDEGNA” - A.F.S., Nuoro.
- Ghezzi C., Guasparri G. e Sabatini G. (1973) – “RELAZIONE TRA ROCCE GRANITICHE E METAMORFICHE NELLA SARDEGNA CENTRO-SETTENTRIONALE. NOTA III: LE INTRUSIONI DELLA ZONA DI OROTELLI-BOLOTANA-BULTEI; RILEVAMENTO CON STUDIO MODALE” – *Mineralogica Et Petrographica Acta*, Bologna.
- Ghezzi C. e Orsini J.B. (1982) – “LINEAMENTI STRUTTURALI E COMPOSIZIONALI DEL BATOLITE ERCINICO SARDO-CORSO IN SARDEGNA” – In: Carmignani L., Cocozza T., Ghezzi C., Pertusati P.C. & Ricci C.A. (Eds) – *Guida alla geologia del Paleozoico sardo* – Soc. Geol. It. Guide Geologiche Regionali, Cagliari.
- I.G.M.I. (1994a) – “CARTA TOPOGRAFICA D’ITALIA – SERIE 25L SCALA 1:25.000” varie sezioni – Istituto Geografico Militare.
- I.G.M.I. (1994b) – “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.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.
- Interreg IIIA GERER “GESTIONE AMBIENTALE INTEGRATA IN LOCALITÀ AD ELEVATO RISCHIO DI EROSIONE” (2006) – Atti della conferenza di Avvio “GESTIONE SOSTENIBILE DEI SISTEMI DI SPIAGGIA” - 30/06/2006 - Osservatorio Coste E Ambiente Naturale Sottomarino (OCEANS) – Palau (OT).

- Interreg IIIA GERER “GESTIONE AMBIENTALE INTEGRATA IN LOCALITÀ AD ELEVATO RISCHIO DI EROSIONE” (2007) – Atti della conferenza Intermedia “DECALOGO PER LA GESTIONE SOSTENIBILE DELLE SPIAGGE” - 21/04/2007 – Osservatorio Coste E Ambiente Naturale Sottomarino (OCEANS) – Palau (OT).
- Issel A. (1914) – “Lembi fossiliferi quaternari e recenti osservati nella Sardegna meridionale dal Prof. D. Lovisato” – Rend. Acc. Naz. Lincei, Cl. Sc. Fis. Mat. Nat., 23:759-770, Roma.
- 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. e Adey W.H. (1965) – “STUDIES OF LITHOPHYLLUM AND RELATED ALGAL GENERA” - Golden, Colorado, Colorado School of Mines, vol. 60, 1, 1-105.
- Kalb C. (2002) – “BILANCIO SEDIMENTARIO E ZONAZIONE DELL’AREA COSTIERA E MARINA TRA TORRE DE SU FENUGU E CAPO BOI” – Tesi di Laurea inedita, Relatore Prof. S.De Muro – Università degli Studi di Cagliari.
- Lai A. (2008) – “STUDIO GEOMORFOLOGICO E TENDENZE EVOLUTIVE DEL LITORALE DI CAGLIARI-QUARTU SANT’ELENA” – Tesi di dottorato – Università degli Studi di Cagliari.
- Lecca L., De Muro S., Cossellu M. e Pau M. (2005) – “I SEDIMENTI TERRIGENO-CARBONATICI OLOCENICI DELLA PIATTAFORMA CONTINENTALE DEL GOLFO DI CAGLIARI” – Il Quaternario (Italian Journal of Quaternary Sciences) 18(2), 2005, pp.201-221.
- 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.
- Leone F., Postillo C. e Spano C. (1992) – “BENTONIC PALAEOCOMMUNITIES OF THE MIDDLE-UPPER MIOCENE LITHOSTRATIGRAPHIC UNITS FROM THE CAGLIARI HILLS (SOUTHERN SARDINIA, ITALY)” – Cont. to the Geology of Italy. Vol. I.
- Marini C. (1976) – “IL QUATERNARIO MARINO DEL CAMPIDANO DI CAGLIARI-QUARTU” – Bollettino della Società Sarda di Scienze Naturali, anno X – Vol. XVI.
- Massoli Novelli R. (1965) – “STUDIO GEOPETROGRAFICO DELLA ZONA DI SARROCH (CAGLIARI). NOTA I: LE ANDESITI”. Estr. Ric. Sc., 35 (Serie 2), pp.3-22.
- Maxia C. e Pecorini G. (1968) - “IL QUATERNARIO DELLA SARDEGNA. ATTI DEL X CONGRESSO INTERN. DI STUDI SARDI-SIMPOSIO SU QUATERNARIO DELLA SARDEGNA” - 59-69. Fossataro, Cagliari.
- Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio – Servizio difesa del mare (2002) – “MAPPATURA DELLE PRATERIE DI POSIDONIA OCEANICA LUNGO LE COSTE DELLA SARDEGNA E DELLE PICCOLE ISOLE CIRCOSTANTI” - Cooperativa Nautilus di Vibo Valentia - Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio – Servizio difesa del mare 1999-2002.
- Negretti G.C. (1966) – “RICERCHE PETROGRAFICHE SUL COMPLESSO GRANITOIDE DEL SETTORE DI BUSACHI (SARDEGNA CENTRALE)” – Boll. Serv. Geol. d’Italia, Roma.
- Orsini J.B. (1980) – “LE BATHOLITE CORSO-SARDE: ANATOMIE D’UN BATHOLITE HERCYNIEN. COMPOSITION, STRUCTURE, ORGANISATION D’ENSEMBLE. SA PLACE DANS LA CHAÎNE VARISQUE FRANÇAISE” – Phd Thesis, Univ. Aix-Marseille.
- Orton G.J e Reading H.G. (1993) – “VARIABILITY OF DELTAIC PROCESSES IN TERMS OF SEDIMENT SUPPLY WITH PARTICULAR EMPHASIS ON GRAIN SIZE” – Sedimentology, 40, pp.475-512.
- Pala A., Pecorini G., Porcu A. and Serra S. (1982) – “GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA DEL CAMPIDANO” - CNR-PFE-RF 10: 87-103

- Pau M. (2003) – “PRIMA ZONAZIONE TESSITURALE E COMPOSIZIONALE DEI SEDIMENTI ATTUALI DELLA PIATTAFORMA CONTINENTALE DEL GOLFO DI CAGLIARI (PARTE OCCIDENTALE)” – Tesi di laurea inedita, Relatori Prof. L. Lecca e Prof. S. De Muro – Università degli Studi di Cagliari.
- 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. e Pomesano Cherchi A. (1969) – “RICERCHE GEOLOGICHE E BIOSTRATIGRAFICHE SUL CAMPIDANO MERIDIONALE (SARDEGNA)” - Mem. Soc. Geol. It., 8, 421-451.
- Pérès J.M. e Picard J. (1964) – “NOUVEAU MANUEL DE BIONOMIE BENTHIQUE DE LA MER MEDITERRANEE” - Rec. Trav. Sta. Mar. Endoume, Bull., 31, 59–63.
- Picazzo M., Tedeschi D. e Vannucci G. (1981) – “ANALISI DEI SEDIMENTI MARINI SUPERFICIALI DELLA SARDEGNA MERIDIONALE” – Quad. Ist. Geol. Chim. Univ. Genova. 2(2), 39-60.
- Porcu A. (2006) – “ANALISI DINAMICA CLIMATICA DELL' OLOCENE BASATA SU DIFFERENTI METODI (BIOTICI E ABIOTICI) DI RICOSTRUZIONE RICAVATA DAGLI ARCHIVI SEDIMENTARI DEL GOLFO DI CAGLIARI” – Tesi di Dottorato in Scienze della Terra, Università degli Studi di Cagliari, 140pp.
- Puddu E. (2006) – “I SEDIMENTI TERRIGENO-CARBONATICI DELLA PIATTAFORMA CONTINENTALE DEL GOLFO DI CAGLIARI CIRCOSTANTE IL CAPO SANT'ELIA” – Tesi di laurea inedita, Relatori Prof. L. Lecca e Prof. S. De Muro – Università degli studi di Cagliari.
- Reading H.G. e Collinson J.D. (1996) – “CLASTIC COASTS” in Reading H.G. “SEDIMENTARY ENVIRONMENTS - PROCESSES, FACIES AND STRATIGRAPHY – THIRD EDITION” – Blackwell Science ISBN 0-632-03627-3, pp.161-162.
- Regione Autonoma della Sardegna – Assessorato Turismo Artigianato e Commercio (1987) – “STUDI DI PIANO PER IL RECUPERO, SALVAGUARDIA E VALORIZZAZIONE AI FINI TURISTICI DELLE FASCE COSTIERE DELLA SARDEGNA” – Progensar SPA Cagliari – Novembre 1987.
- Regione Autonoma della Sardegna (1998) – “CARTA TECNICA REGIONALE DELL'ASSESSORATO DEGLI ENTI LOCALI, FINANZE, URBANISTICA – Servizio Informatico e Cartografico - scala 1:10.000” - Area Golfo di Cagliari, varie sezioni.
- Ricci Lucchi F. (1980) - “SEDIMENTOLOGIA: MATERIALI E TESSITURE DEI SEDIMENTI” - C.L.U.E.B., Bologna.
- Riedl R. (1991) – “FAUNA UND FLORA DES MITTERLMEERES“ – Verlag Paul Parey, Hamburg –Berlin, 777 pp.
- Ris R.C., Holthuijsen L.H. Booij N. (1999) – “A THIRD-GENERATION WAVE MODEL FOR COASTAL REGIONS 2. VERIFICATION” - Journal of Geophysical Research, Vol. 104, NO. C4, PAGES 7667–7681, APRIL 15, 1999.
- Roelvink J.A. e Van Banning G.K.F.M. (1994) – “DESIGN AND DEVELOPMENT OF DELFT3D AND APPLICATION TO COASTAL MORPHODYNAMICS” - Hydroinformatics 1994, Verwey, Minns, Babovic & Maksimovic (eds.), Balkema, Rotterdam, pp. 451-455.
- Segre A.G. (1969) – “LINEE DI RIVA SOMMERSE E MORFOLOGIA DELLA PIATTAFORMA CONTINENTALE ITALIANA RELATIVE ALLA TRASGRESSIONE MARINA VERSILIANA” - Quaternaria XI, pp. 141-154.
- Servizio Geologico d'Italia (2005) – “CARTA GEOLOGICA D'ITALIA, SCALA 1:50.000 – FOGLIO 557 CAGLIARI” – SELCA 2005.
- Spano C. (1980) – “FAUNA DEL TIRENIANO TIPO DI IS MESAS-CALAMOSCA” – “Excursion-Table Ronde sur le Tyrrhénien de Sardaigne” - 21-28 Aprile 1980, 65-101, Cagliari.
- Stuiver M. e Polach H.A. (1977) – “DISCUSSION: REPORTING OF 14C DATA” - RADIOCARBON Vol. 19: pp. 355-363.
- Swanson R.G. (1985) – “SAMPLE EXAMINATION MANUAL” - AAPG, 35 pp.

- Terrosu Asole A., Pracchi R. (1980) – “ATLANTE DELLA SARDEGNA ” (a cura di), ed. Kappa, Roma 1980.
- Tilocca G. (1984) – “GEOLOGIA DELLA PIATTAFORMA MERIDIONALE SARDA DAL GOLFO DI PALMAS A CAPO PULA” – Tesi di laurea inedita – Università di Cagliari, 1-120.
- Ulzega A. e Hearty P.J. (1986) – “GEOMORPHOLOGY, STRATIGRAPHY, OF LATE QUATERNARY MARINE DEPOSITS IN SARDINIA” – Z.Geomorph. N.F – Suppl- Bd.62 pp.119-129.
- Ulzega A., Leone F. e Orrù P. (1986) – “GEOMORPHOLOGY OF SUBMERGED LATE QUATERNARY SHORELINES ON THE SOUTH SARDINIAN CONTINENTAL SHELF” – Journal of coastal research, SI (1), 73-82.
- Ulzega A. e Ozer A. (1982) – “COMPTES-RENDUS DE L’EXCURSION-TABLE RONDE SUR LE TYRRHENIEN DE SARDAIGNE” - INQUA: pp.110, Cagliari.
- 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.
- U.S. Army Corps of Engineers (1995) – “ENGINEERING AND DESIGN COASTAL GEOLOGY” - Washington, DC - 31 January 1995
- Ward J.H. (1963) – “HIERACHICAL GROUPING TO OPTIMIZE AN OBJECTIVE FUNCTION” – J. Am. Statist. Assoc. 58, 236-244.
- Wright L.D. e Short A.D. (1984) “MORPHODYNAMIC VARIABILITY OF SURF ZONES AND BEACHES: A SYNTHESIS” - Marine Geology, v. 56, p. 93-118.
- Wright L.D., Chappell J., Thom B.G., Bradshaw M.P., Cowell P. (1979) – “MORPHODYNAMICS OF REFLECTIVE AND DISSIPATIVE BEACH AND INSHORE SYSTEMS: SOUTHEASTERN AUSTRALIA” - Mar. Geol., 32, 105-140.

RINGRAZIAMENTI

“Ho passato diverso tempo a pensare a tutte le persone da ringraziare al termine di questi tre anni di dottorato e devo dire che sono davvero tante, tutte importanti.

Ora, in questo treno di pensieri, spero di non dimenticare nessuno e nel caso questo accadesse, spero che ne nessuno si offenda.

In primo luogo ringrazio tutta la mia famiglia che mi ha sempre sostenuto sia moralmente che economicamente in questi miei anni di studio e che soprattutto ha sopportato il mio modo di essere e di fare!

Ringrazio il Prof. Sandro De Muro che mi ha voluto come suo collaboratore, da quel lontano giorno dell'autunno 2001 in cui mi propose una tesi di laurea in Geologia Marina, e che oggi mi ha davvero dato la possibilità di capire quanto è importante il MARE.

I miei compagni d'avventura in questi anni: il Dott. Nicola Pusceddu, aiuto fondamentale per questioni tecniche, ma soprattutto valido amico sul cui contare in qualsiasi occasione e con il quale è sempre un piacere bere una birra; la Dott.ssa Tiziana Batzella, un supporto e un'amica sempre presente; il Dott. Francesco Tocco per tutto l'aiuto in laboratorio, in garage e all'aperto e per la cara amicizia e il sostegno di tutti questi anni; la Dott.ssa Silvia Bua per il preziosissimo aiuto per il trattamento dei campioni e le analisi composizionali, per l'amicizia sempre presente e per avermi condotto alla Via del BaGuaZhang; il Dott. Michele Cossellu per l'amicizia, l'aiuto durante questi anni e per la musica che ha animato il nostro laboratorio.

Ringrazio poi il Prof. Luciano Lecca per tutto l'aiuto e per tutto quello che in questi anni mi ha insegnato, oltre che per le chiacchierate sulla scienza e sul mondo.

L'Ing. Alessandro Lai per il preziosissimo aiuto con il Delft3D e con la modellistica.

Ancora ringrazio: il Prof. Antonello Pala per il materiale vario che mi ha fornito, il Dott. Giosuè Loj per tutto il materiale aerofotogrammetrico, il Prof. Marcello Franceschelli e il Dott. Gabriele Cruciani per le analisi mineralogiche, il Dott. Salvatore Carboni, la Dott.ssa Concetta Ferrara, il Dott. Angelo Ibba, il Dott. Luca Costamagna, la Prof. Antonietta Cherchi, il Prof. Luca Fanfani, il Dott. Mauro Pau, i tecnici del Dipartimento di Scienze della Terra, in particolare Salvatore Vacca, Salvatore Noli e Sandro Mameli, il Dott. Simone Simeone e il Dott. Gianni De Falco dell'IMC per la collaborazione in vari settori, il Dott. Maurizio Costa e Criteria, la Dott.ssa Maddy Cancemi, lo staff Sartec del Progetto Golfo di Cagliari, i tecnici e l'amministrazione del Comune di Palau e tutti i collaboratori al Progetto Interreg IIIA, il Dott. Alessandro Spiga e lo staff BigBlue, l'equipaggio della Motovedetta CP2100 della Guardia Costiera, le Scienze Naturali, gli studenti del Tirocinio in “Campionamento e Analisi Sedimentologica”, l'amico Ing. Marco Dessì per l'aiuto con i 3D, l'amico Gianpiero Dore per le preziose fotografie e le chiacchierate musicali.

Ultimi, ma non meno importanti, TUTTI i miei amici che in questi anni sono stati accanto a me, con i miei alti e bassi, e che mai si son tirati indietro ed in particolare, un ringraziamento va a tutti i Boghes de Bagamundos nuovi e vecchi nella speranza che il furgone ci porti ancora lontano...

...a loro tutti voglio dedicare queste righe:

"Se esiste una parola per dire i sentimenti dei sardi nei millenni di isolamento fra nuraghe e bronzetti forse è felicità.

Passavamo sulla terra leggeri come acqua che scorre, salta, giù dalla conca piena della fonte. scivola

e serpeggia fra muschi e felci, fino alle radici delle sughere e dei mandorli o scende scivolando sulle pietre, per i monti e i colli fino al piano, dai torrenti al fiume, a farsi lenta verso le paludi e il mare, chiamata in vapore dal sole a diventare nube dominata dai venti e pioggia benedetta"

(S. Atzeni)

APPENDICE 1 – ARCHIVIO FOTOGRAFICO DELLE SEZIONI SOTTILI DEI CAMPIONI

A titolo di supporto illustrativo delle analisi delle sezioni sottili dei campioni prelevati in immersione subacquea, vengono di seguito mostrate le fotografie al microscopio a luce polarizzata.

CAMPIONI SUB

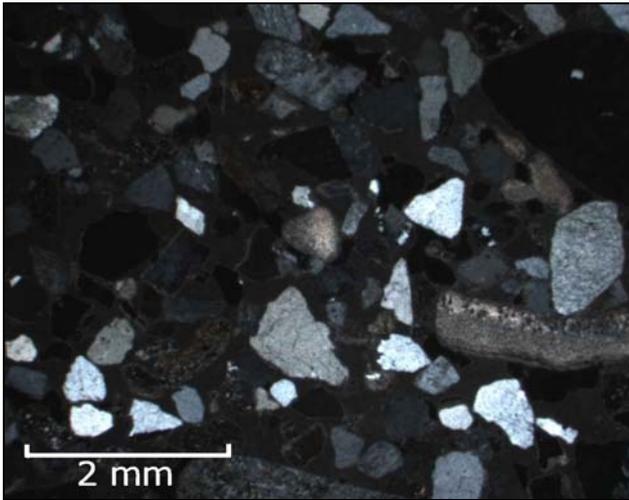


Foto 1 - Campione SUB01, 1.25x NI.

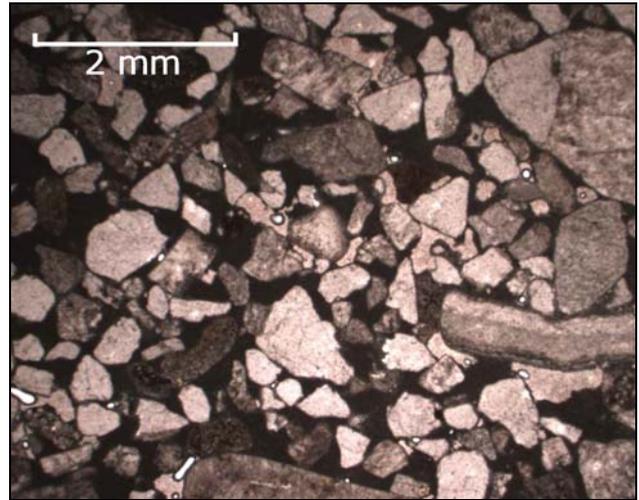


Foto 2 - Campione SUB01, 1.25x NP.

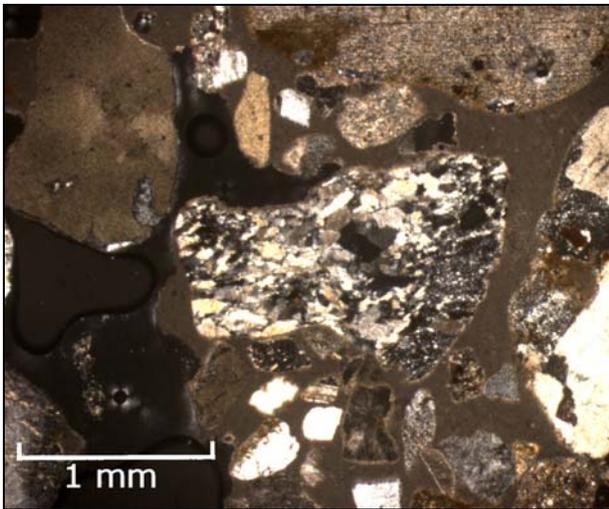


Foto 3 - Campione SUB01 – Frammento di litoclasto granitoide, 2.25x NI.

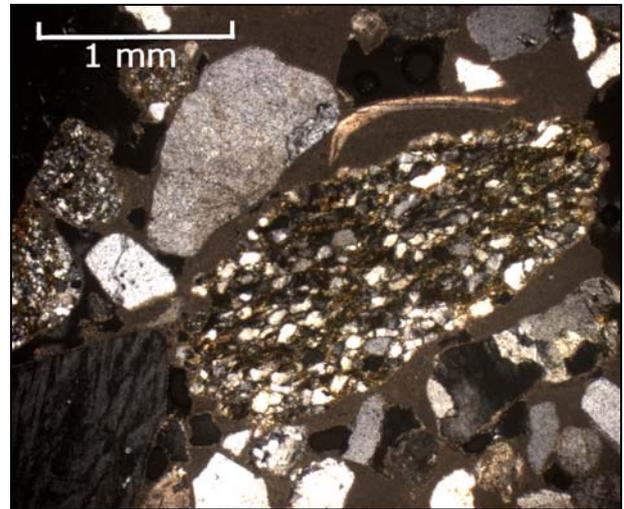


Foto 4 - Campione SUB01 – Frammento di litoclasto metamorfico (gneiss), 2.25x NI.

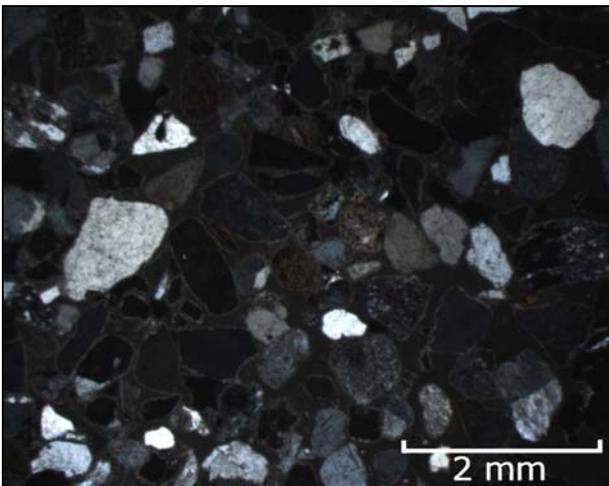


Foto 5 - Campione SUB02, 1.25x NI.

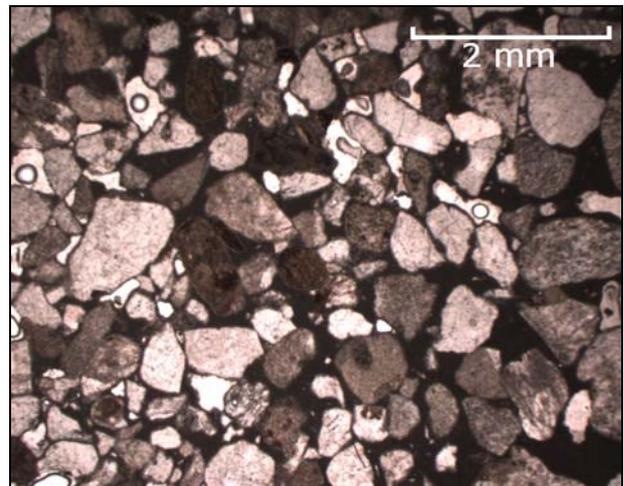


Foto 6 - Campione SUB02, 1.25x NP.

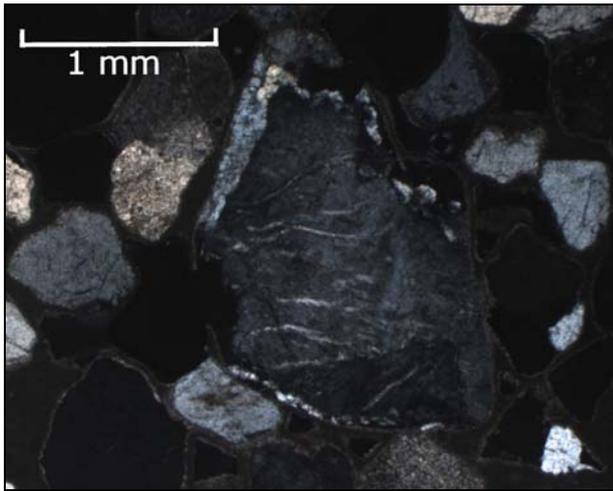


Foto 7 - Campione SUB02, minerale di K-feldspato con pertiti 2.5x NI.

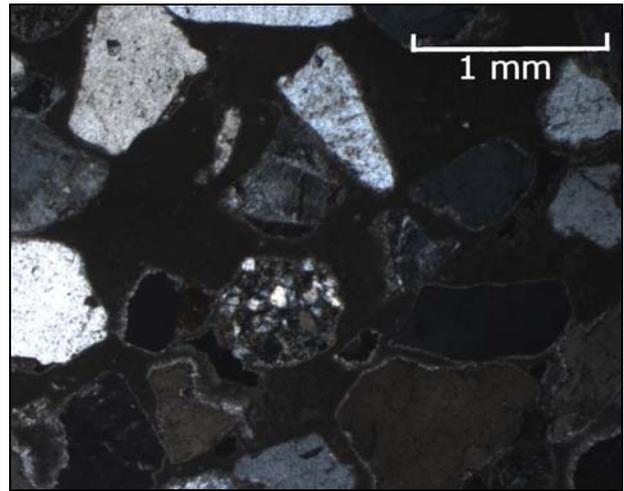


Foto 8 - Campione SUB02, frammento litico granitoide equigranulare 2.5x NI.

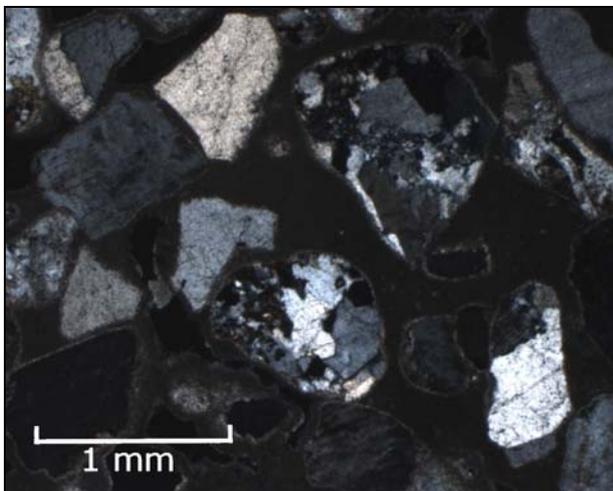


Foto 9 - Campione SUB02, frammento litico granitoide inequigranulare 2.5x NI.

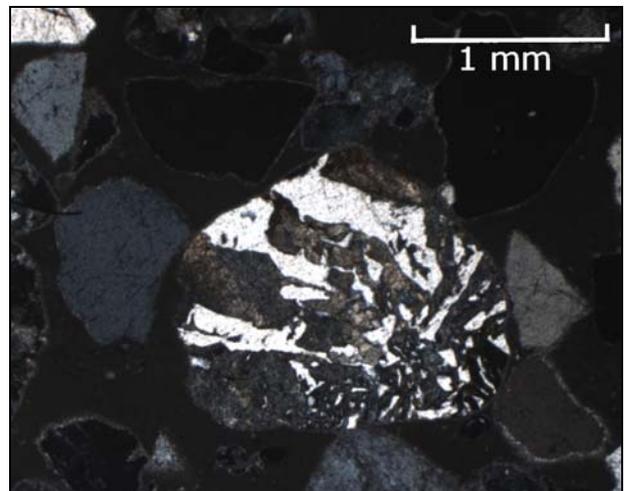


Foto 10 - Campione SUB02, Mirmekite 2.5x NI.

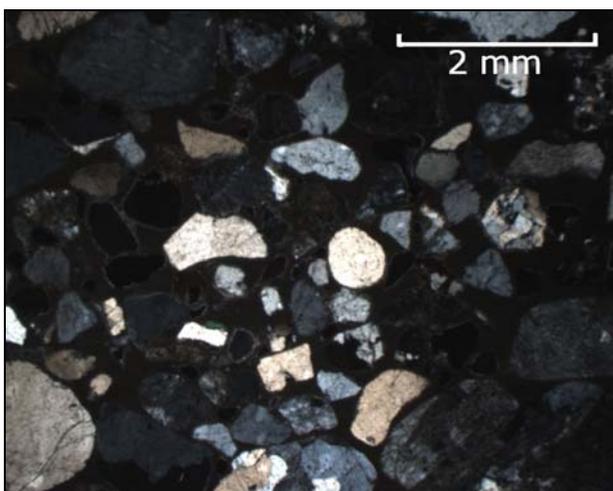


Foto 11 - Campione SUB05, 1.25x NI.

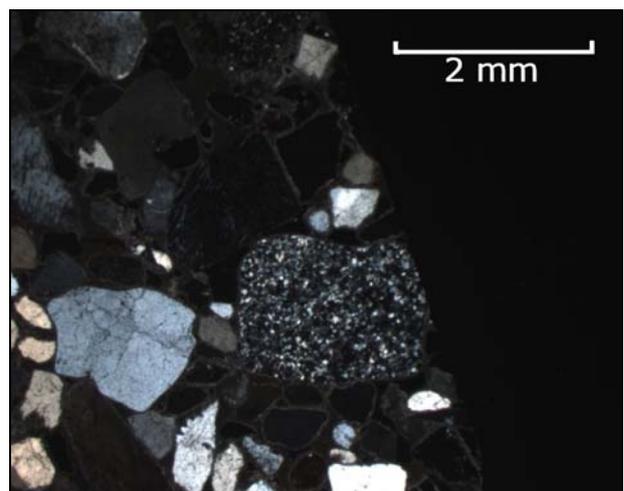


Foto 12 - Campione SUB05, clasto granitoide 1.25x NI.

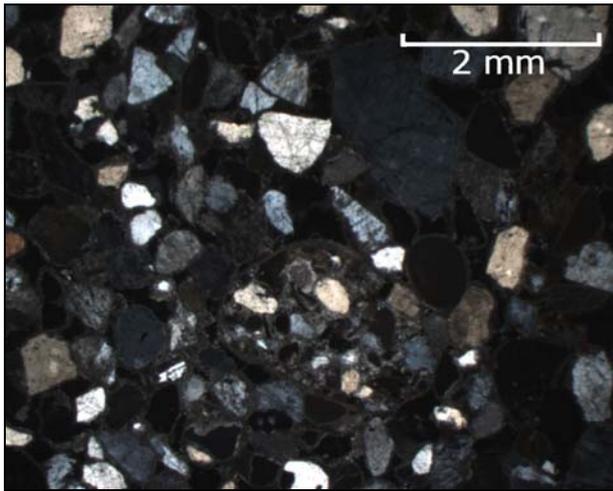


Foto 13 - Campione SUB05, clasto metamorfico (metaconglomerato) 1.25x NI.

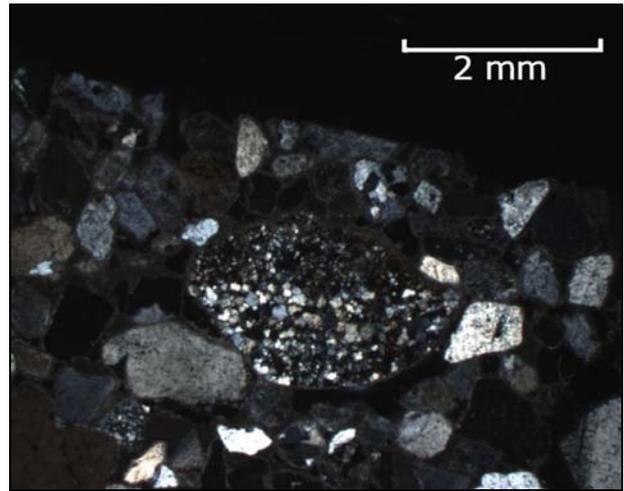


Foto 14 - Campione SUB05, clasto metamorfico (metarenaria) 1.25x NI.

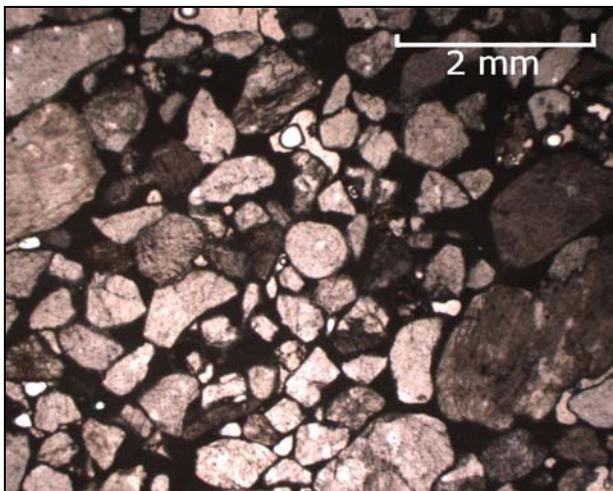


Foto 15 - Campione SUB05, 1.25x NP.

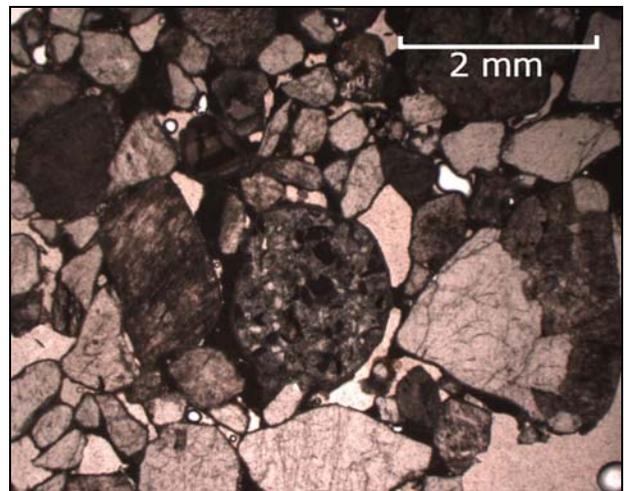


Foto 16 - Campione SUB05, conglomerato 1.25x NP.

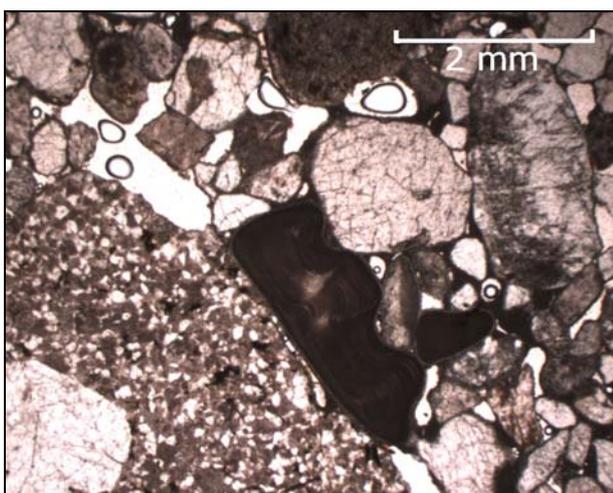


Foto 17 - Campione SUB05, bioclasto 1.25x NP.



Foto 18 - Campione SUB05, litocalsto metamorfico 1.25x NP.

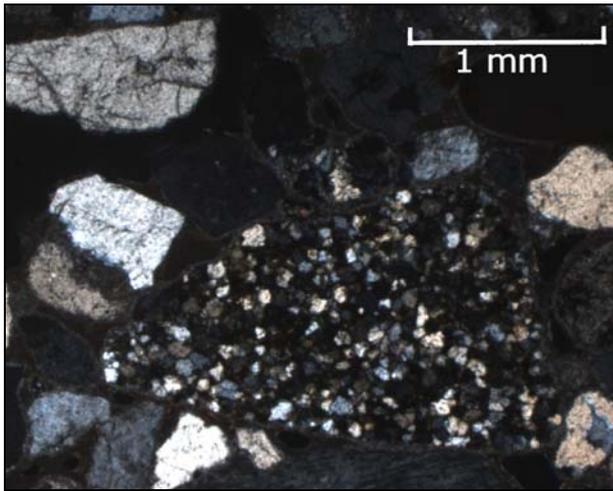


Foto 19 - Campione SUB05, litoclasto granitoide e K-feldspato 2.5x NP.

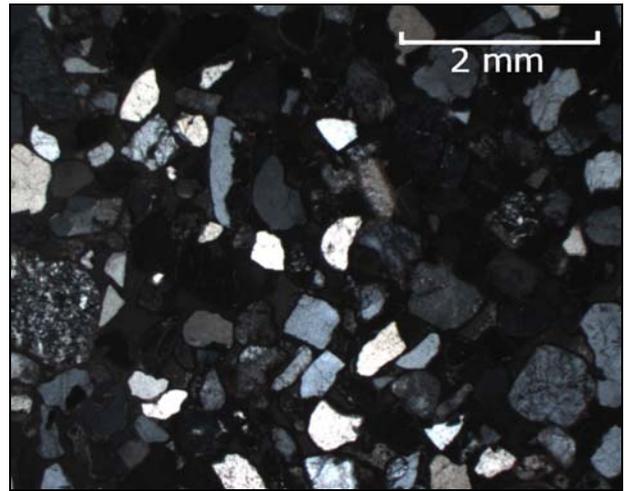


Foto 20 - Campione SUB06, 1.25x NI.

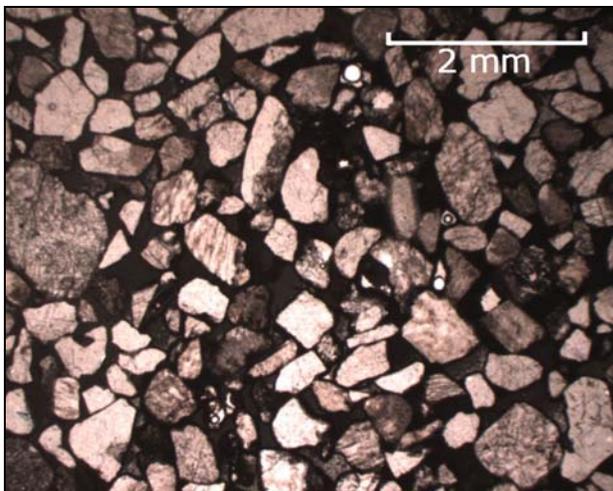


Foto 21 - Campione SUB06, 1.25x NP.

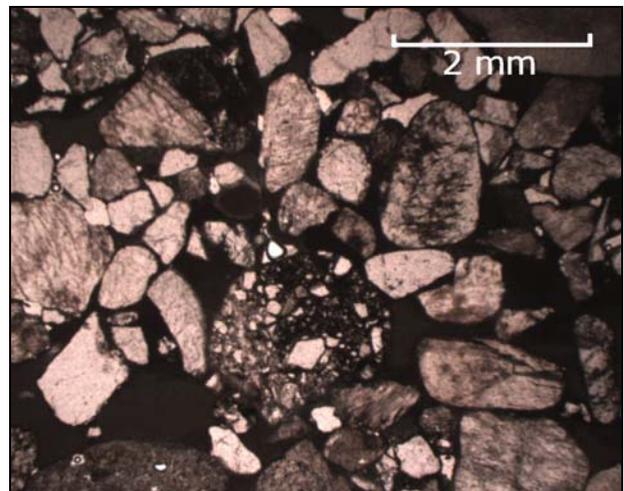


Foto 22 - Campione SUB06, conglomerato 1.25x NP..

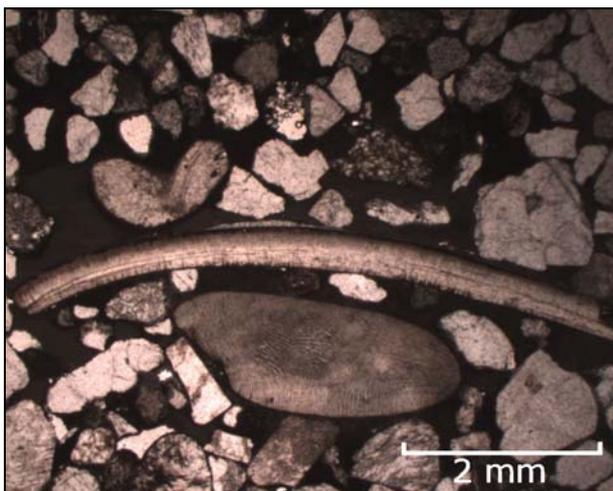


Foto 23 - Campione SUB06, bioclasti e fossili 1.25x NP

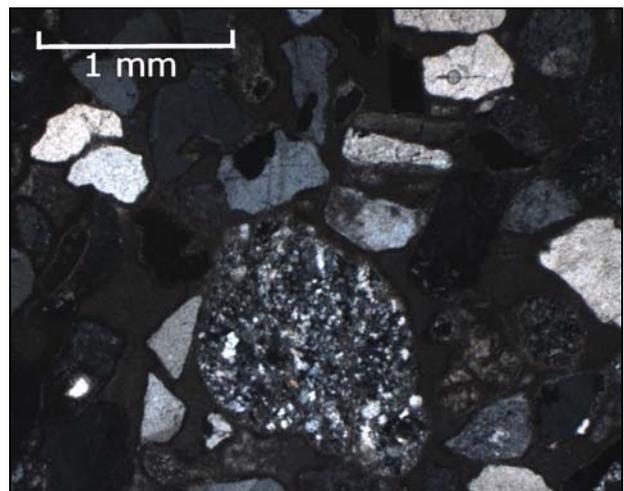


Foto 24 - Campione SUB06, clasto granitoide 2.5x NI.

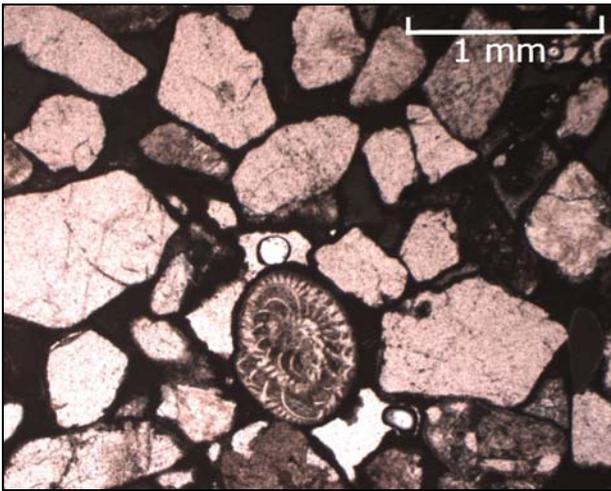


Foto 25 - Campione SUB06, foraminifero benthico rotariforme 2.5x NP.

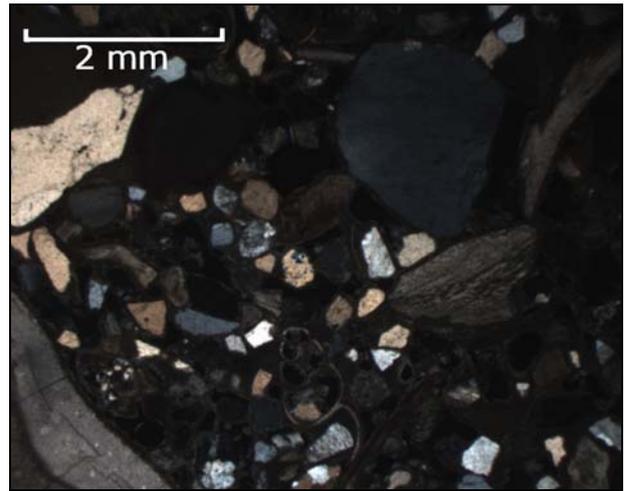


Foto 26 - Campione SUB14, 1.25x NI.

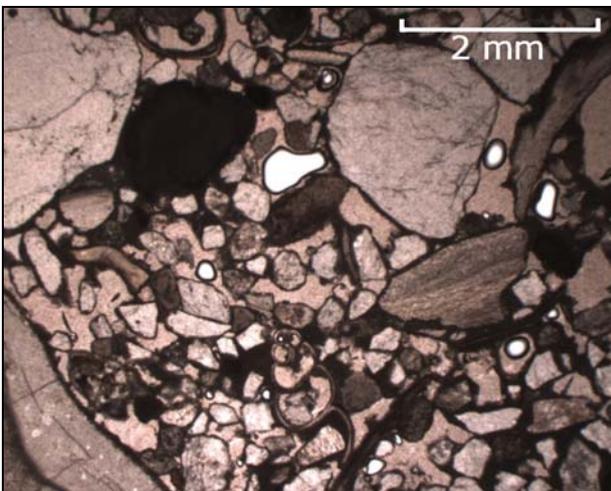


Foto 27 - Campione SUB14, 1.25x NP.



Foto 28 - Campione SUB14, gasteropode 1.25x NP.

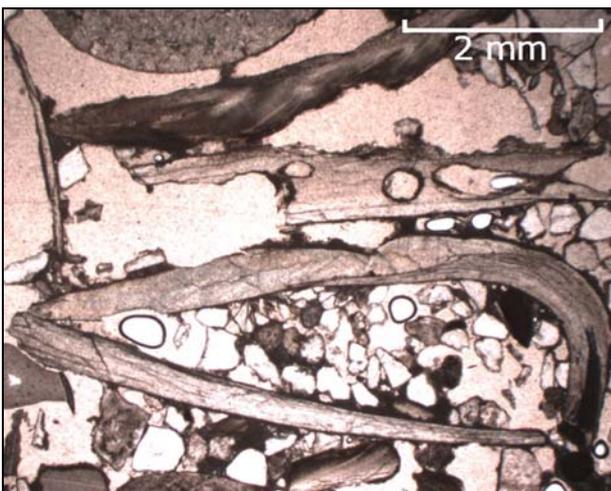


Foto 29 - Campione SUB14, bivalve 1.25x NP.

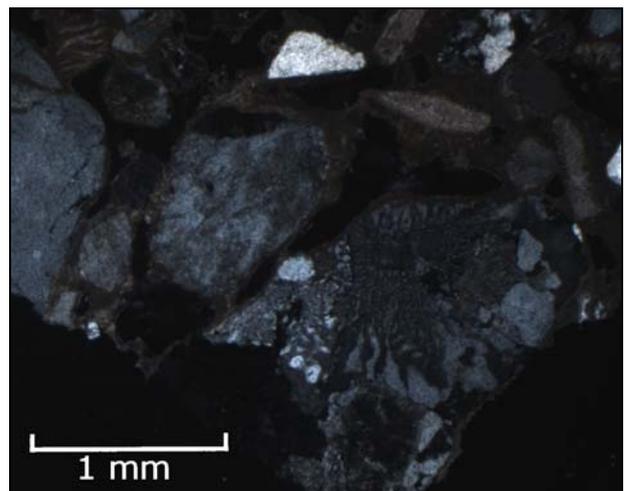


Foto 30 - Campione SUB14, Mirmekite nei feldspati 2.5x NI.

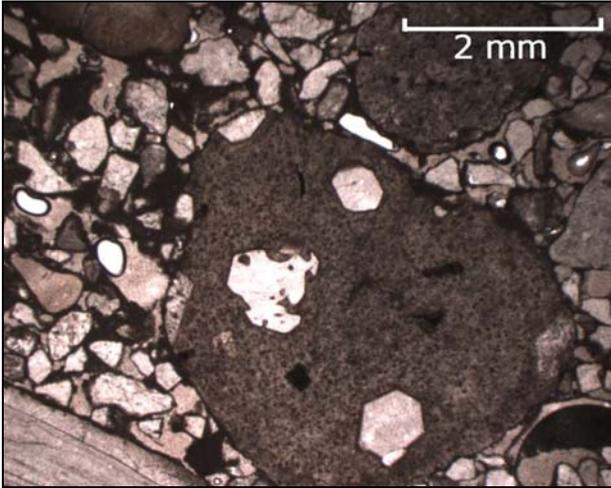


Foto 31 - Campione SUB14, litoclasto vulcanico con cristalli di Quarzo 1.25x NP.

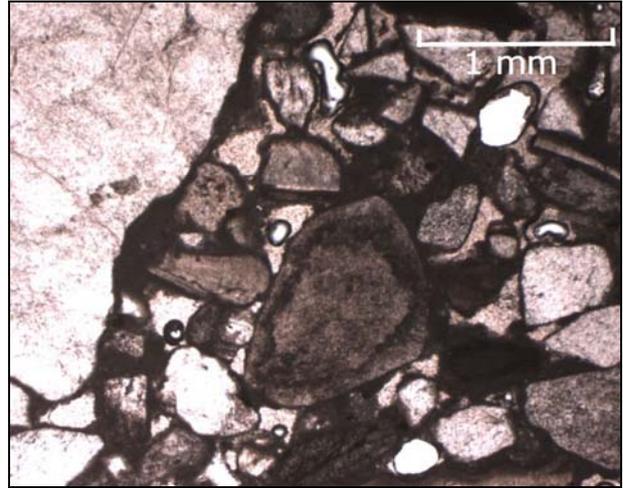


Foto 32 - Campione SUB14, Plagioclasio zonato 2.5x NP.

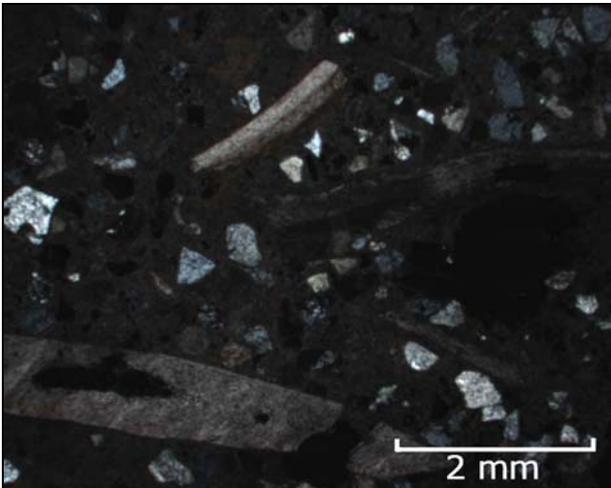


Foto 33 - Campione SUB15, 1.25x NI.

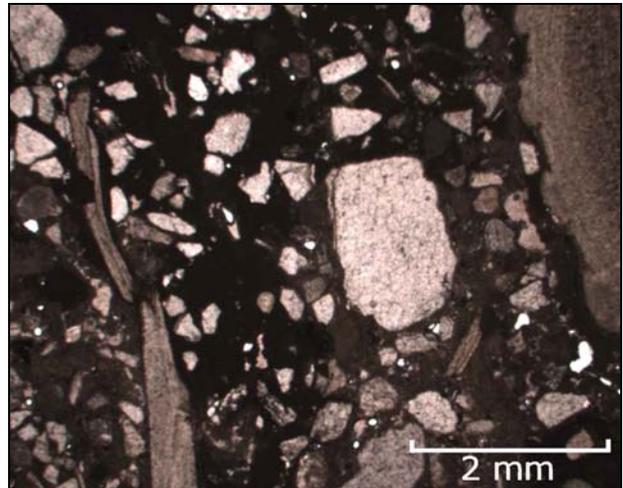


Foto 34 - Campione SUB15, 1.25x NP.

SEZIONI SOTTILI DELLE SABBIE

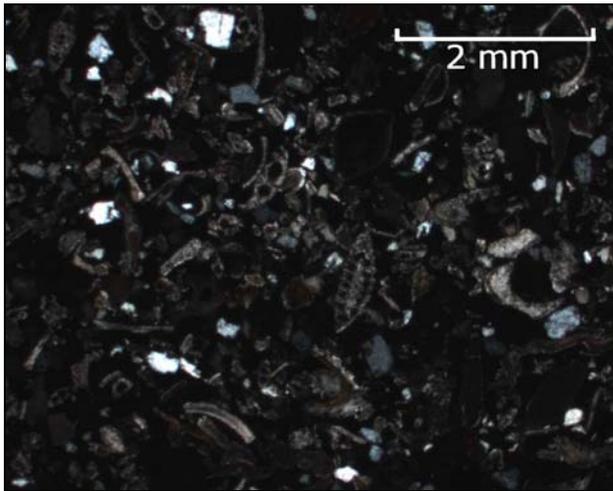


Foto 35 - Campione ST44, 1.25x NI.

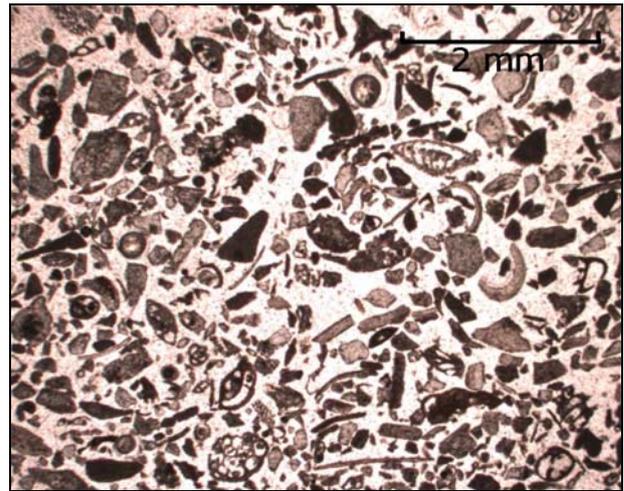


Foto 36 - Campione ST44, 1.25x NP.

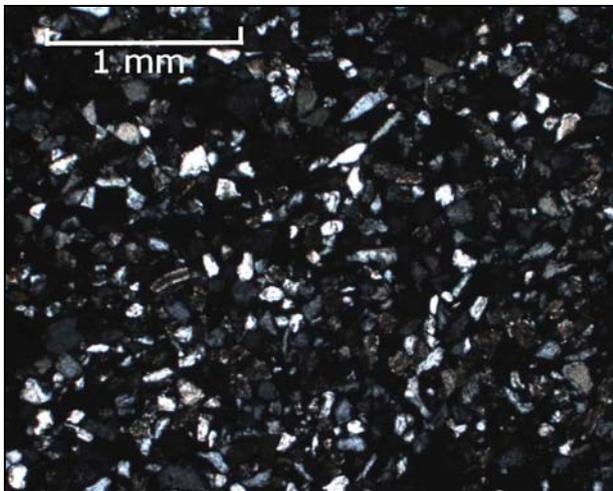


Foto 37 - Campione ST56, 1.25x NI.

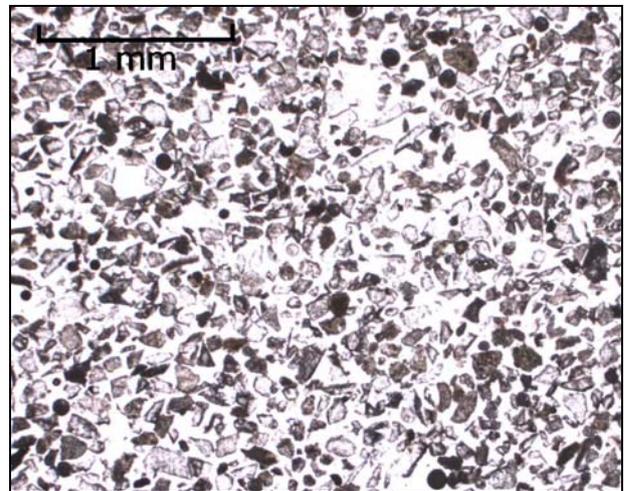


Foto 38 - Campione ST56, 1.25x NP.

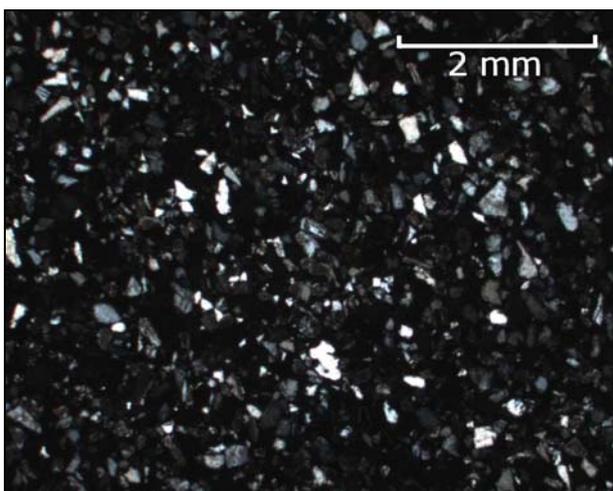


Foto 39 - Campione ST77, 1.25x NI.

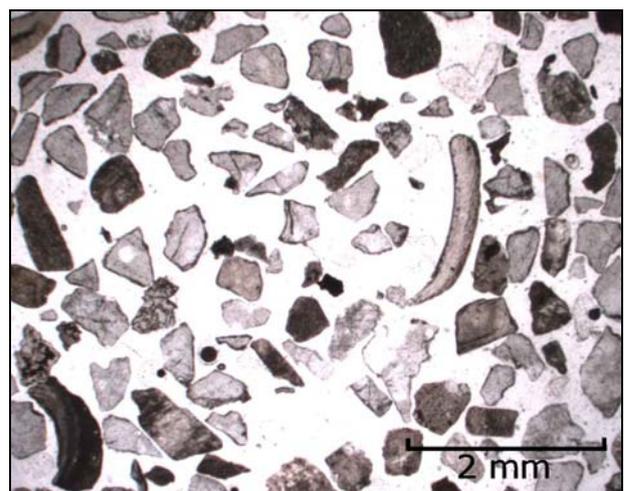


Foto 40 - Campione ST77, 1.25x NP.

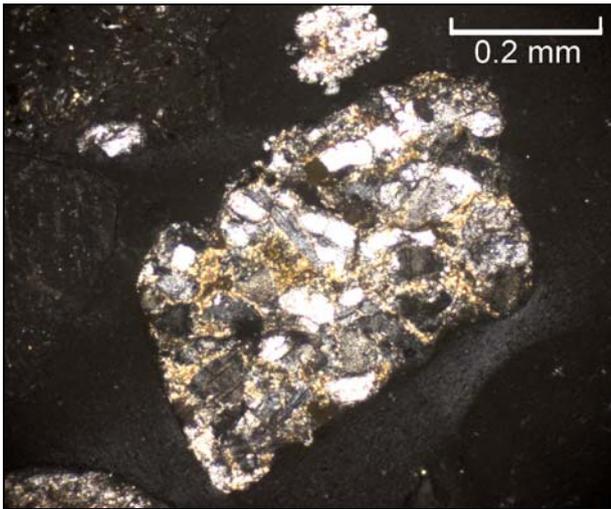


Foto 41 – Campione ST77, litoclasto metamorfico 10x NI.

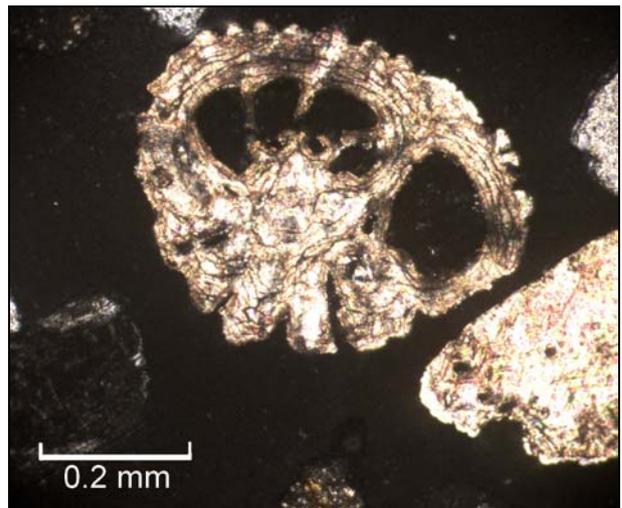


Foto 42 – Campione ST77, bioclasto 10x NI.

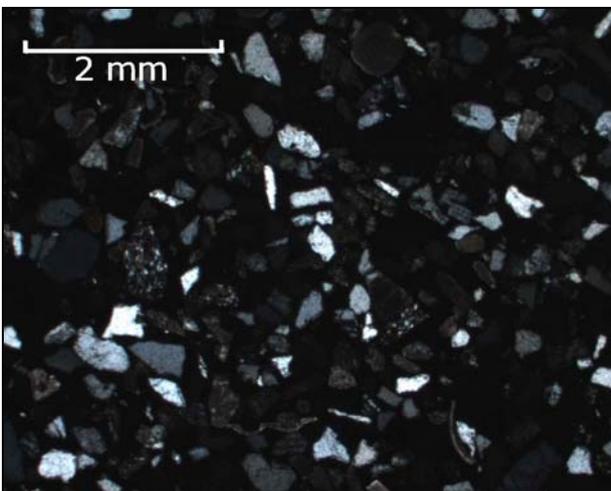


Foto 43 – Campione ST86, 1.25x NI.

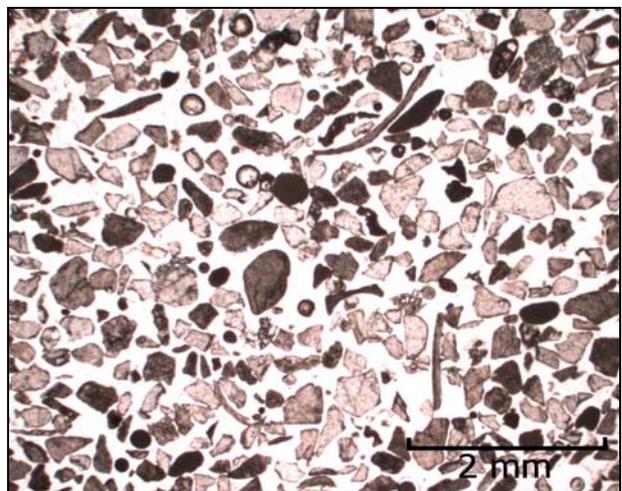


Foto 44 – Campione ST86, 1.25x NP.

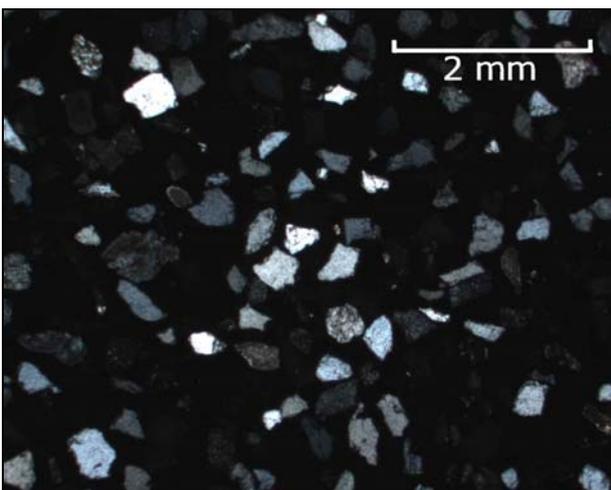


Foto 45 – Campione ST92, 1.25x NI.

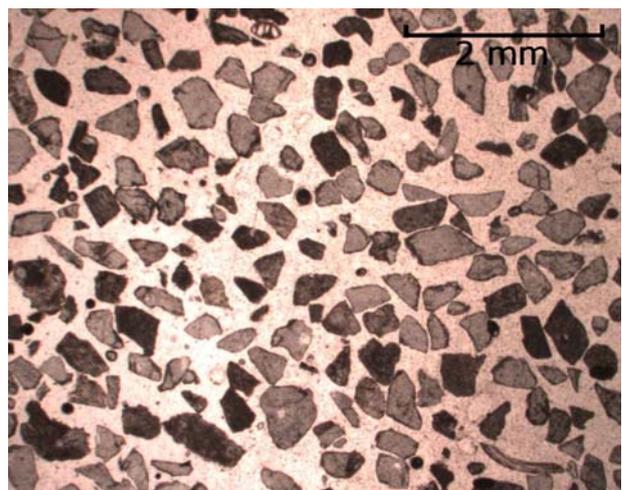


Foto 46 – Campione ST86, 1.25x NP.

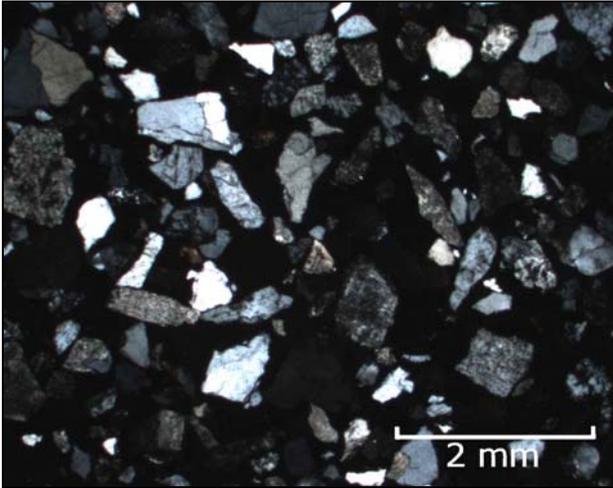


Foto 47 – Campione ST116, 1.25x NI.

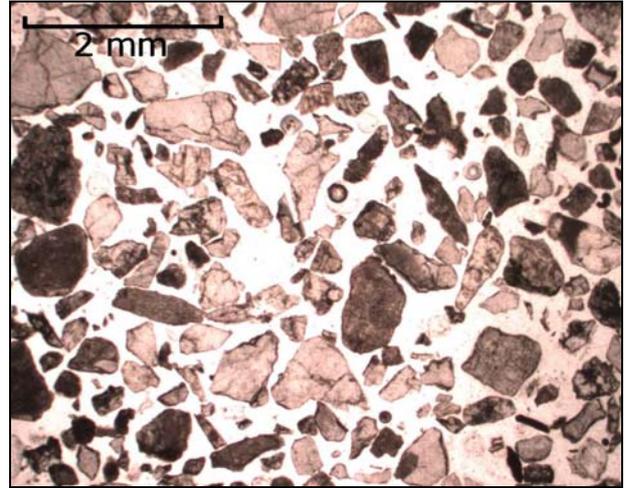


Foto 48 – Campione ST116, 1.25x NP.



Foto 49 – Campione ST116, Pirosseno 10x NI.

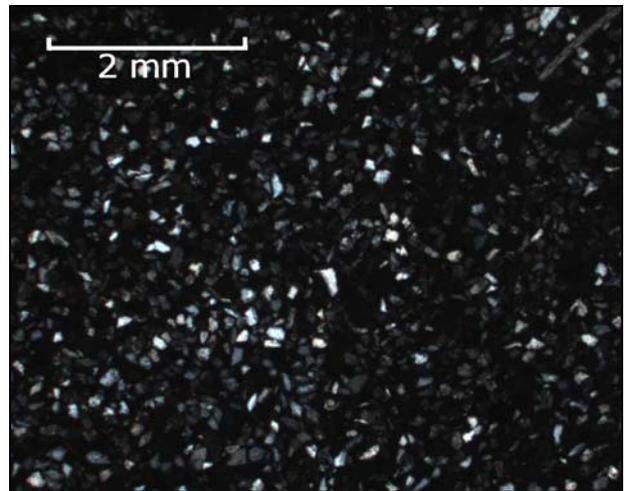


Foto 50 – Campione ST120, 1.25x NI.

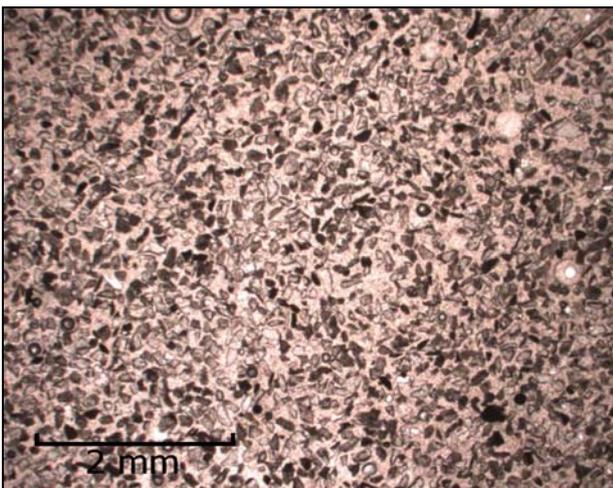


Foto 51 – Campione ST120, 1.25x NP.



Foto 52 – Campione ST-C6, bioclasto 1.25x NI.

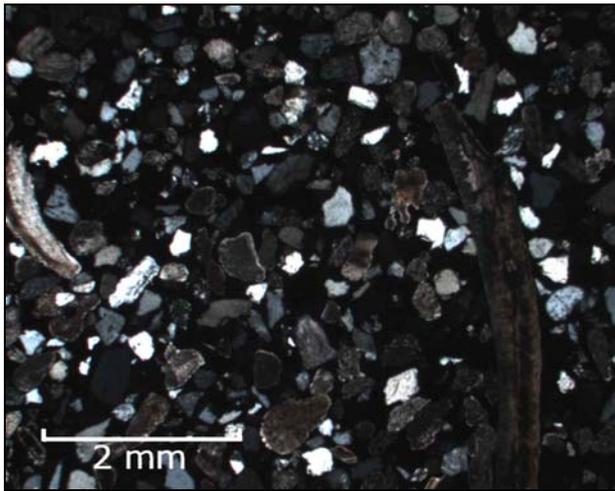


Foto 53 – Campione ST-C6, 1.25x NI.

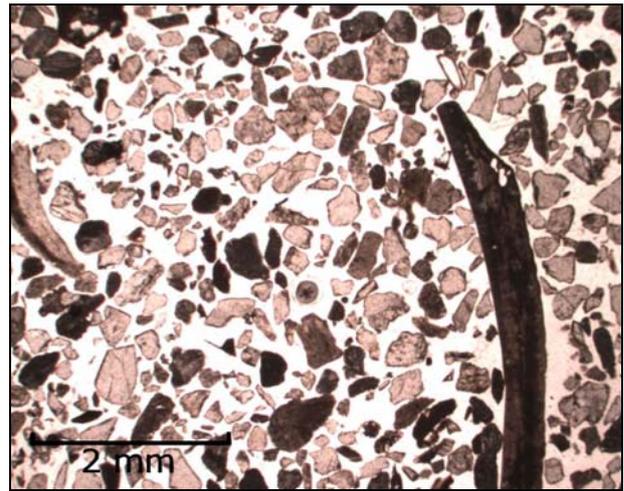


Foto 54 – Campione ST-C6, 1.25x NP.

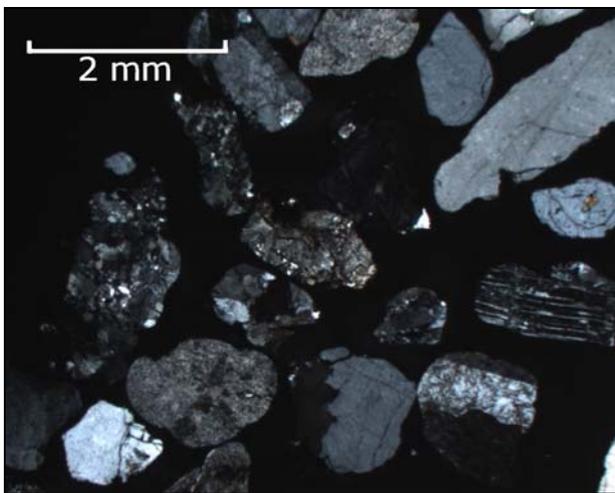


Foto 55 – Campione C24, 1.25x NI.

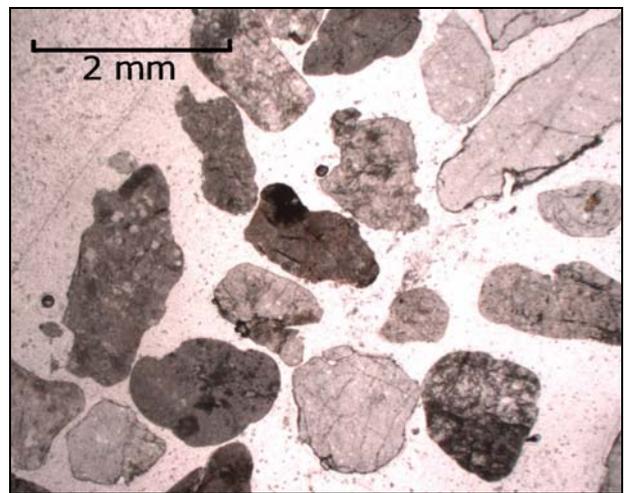


Foto 56 – Campione C24, 1.25x NP.

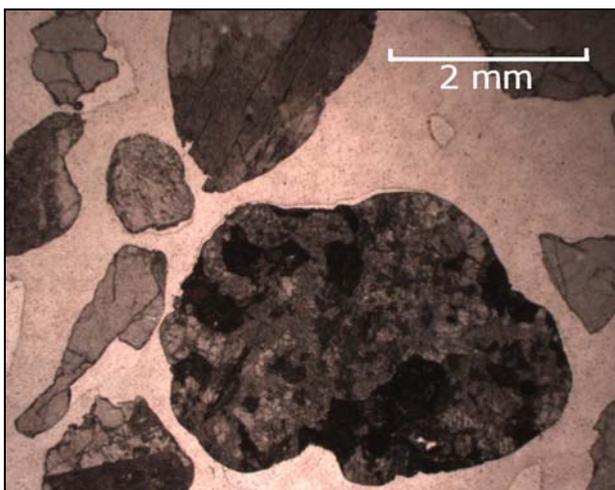


Foto 57 – Campione C24, litoclasto con Anfibolo e Biotite 1.25x NP.

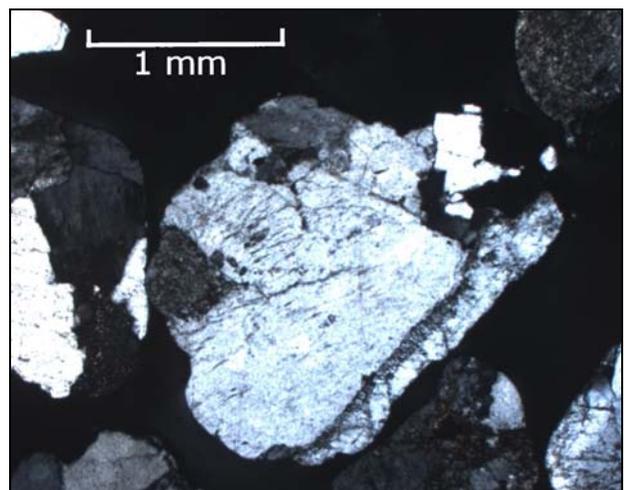


Foto 58 – Campione C24, Mirmekite tra Plagioclasti e K-Feldspati 2.5x NI.

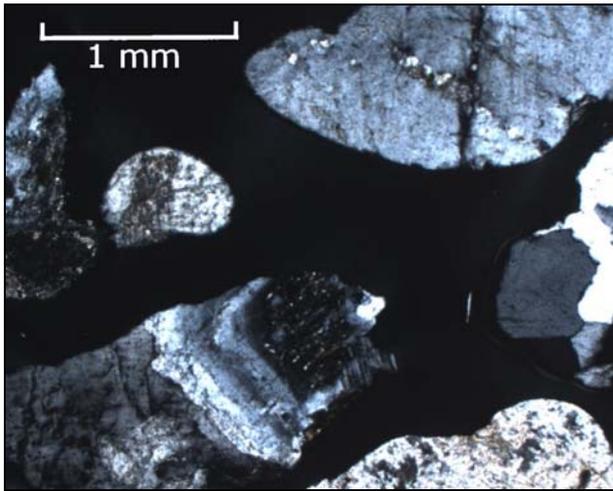


Foto 59 – Campione C24, Plagioclasio con zonatura concentrica 2.5x NI.

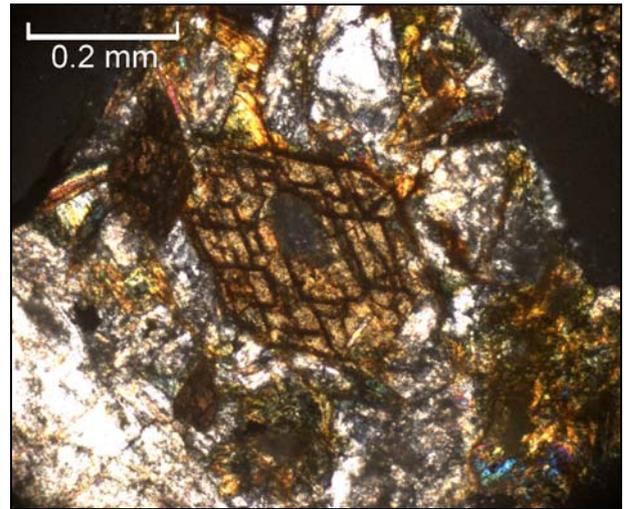


Foto 60 – Campione C24, Anfibolo 10x NI.

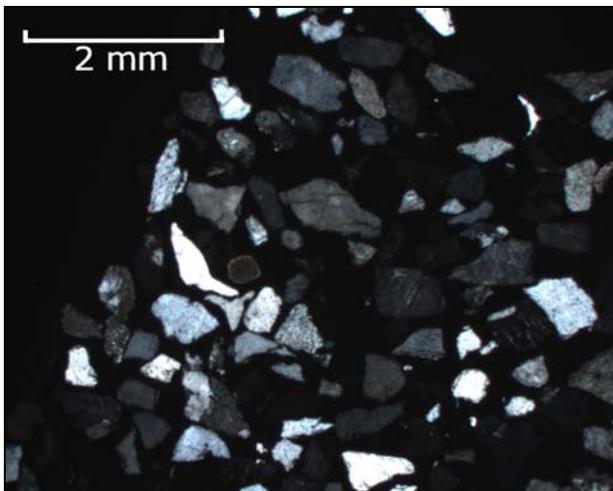


Foto 61 – Campione SM13, 1.25x NI.

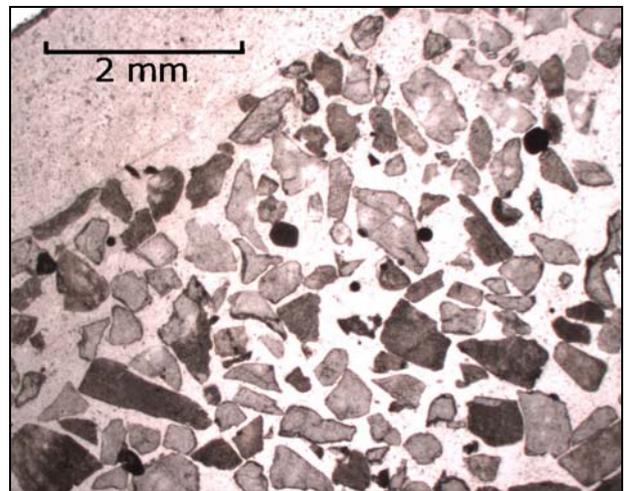


Foto 62 – Campione SM13, 1.25x NP.

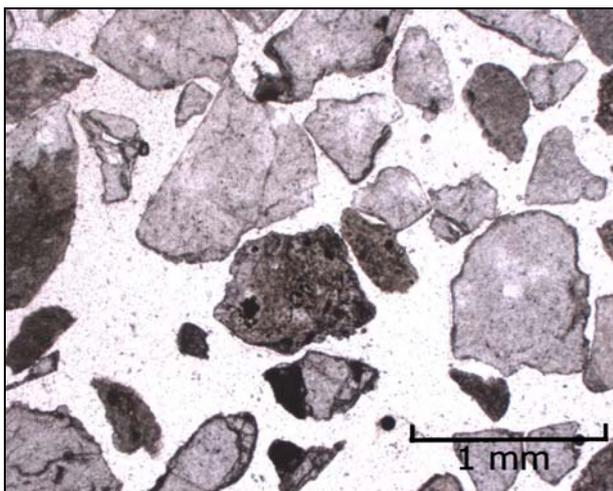


Foto 63 – Campione SM13, litoclasto vulcanico 2.5x NP.

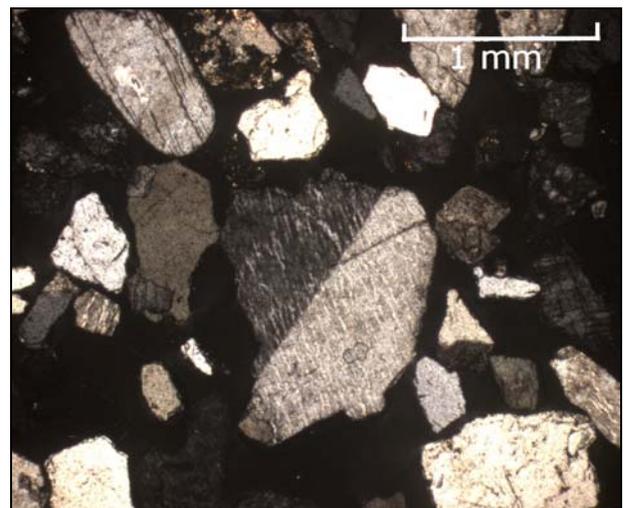


Foto 64 – Campione SM13, Microclino 2.5x NI.

APPENDICE 2 – GRAFICI DEI DATI METEO-MARINI OSSERVATI

NOVEMBRE 2006

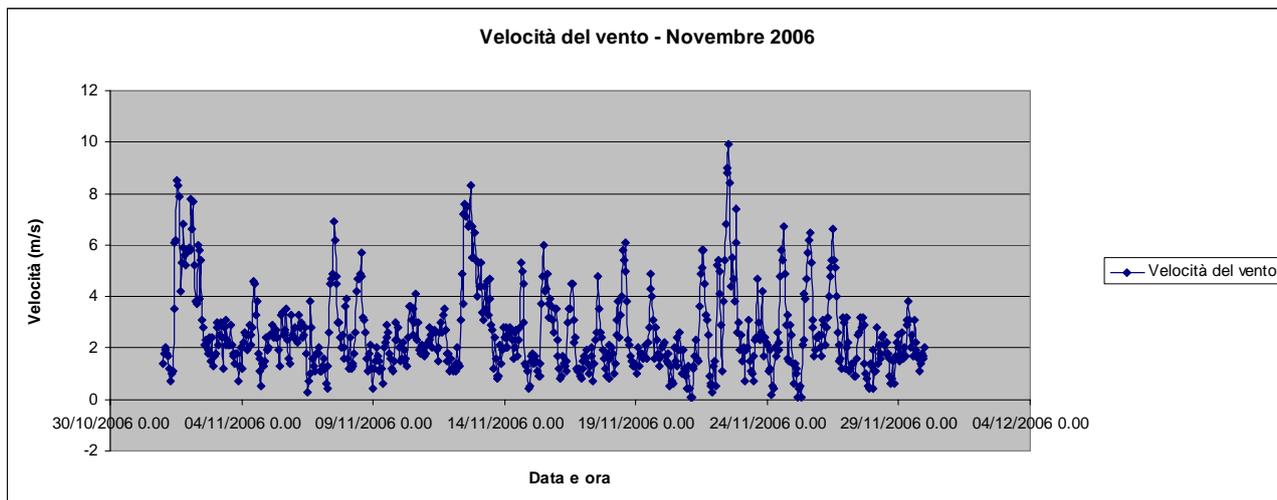


Grafico 1 - Rappresentazione dei picchi di vento (espressi in m/s) registrati giornalmente (dati da Apat – Rete Mareografica Nazionale).

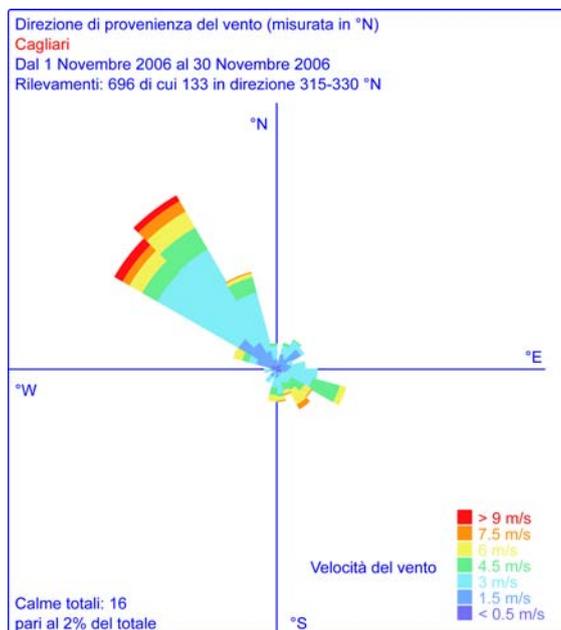


Grafico 2 - Rappresentazione della direzione di provenienza del vento (da Apat – Rete Mareografica Nazionale).

DICEMBRE 2006

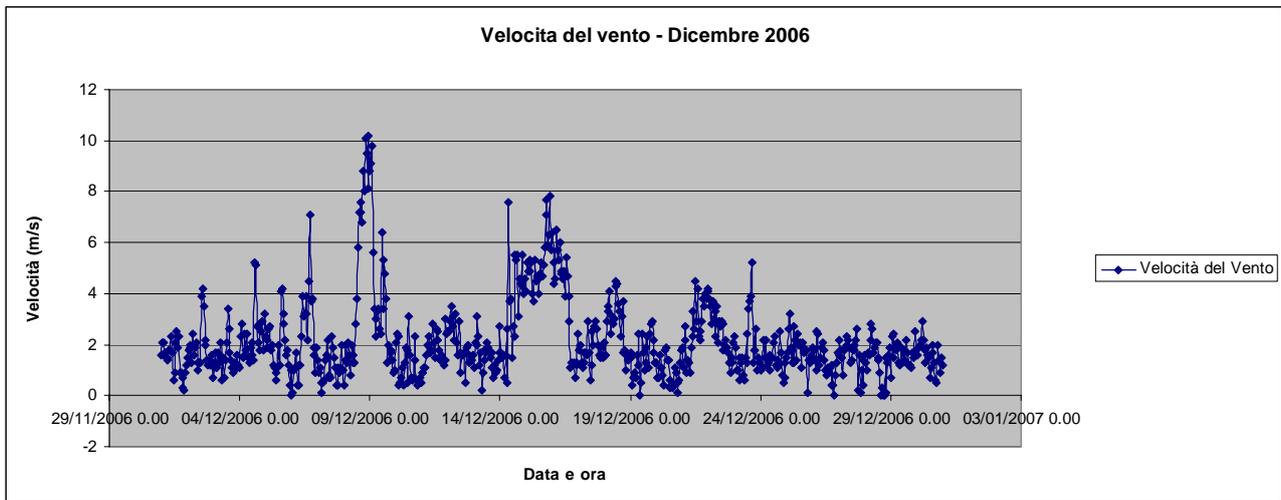


Grafico 3 - Rappresentazione dei picchi di vento (espressi in m/s) registrati giornalmente (dati da Apat – Rete Mareografica Nazionale).

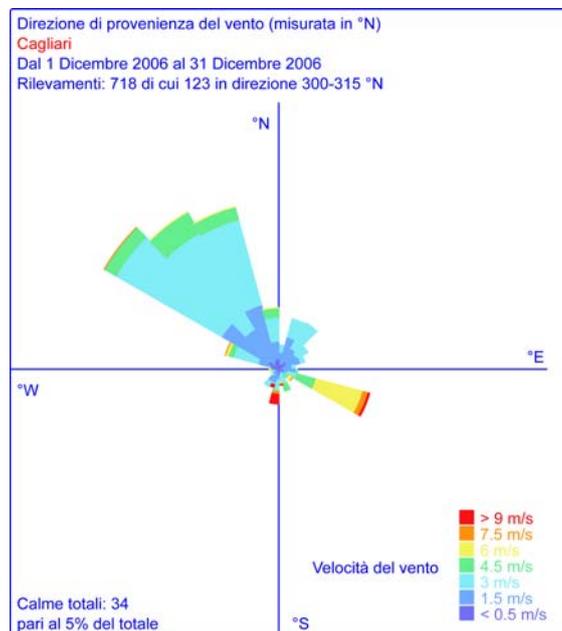


Grafico 4 - Rappresentazione della direzione di provenienza del vento (da Apat – Rete Mareografica Nazionale).

GENNAIO 2007

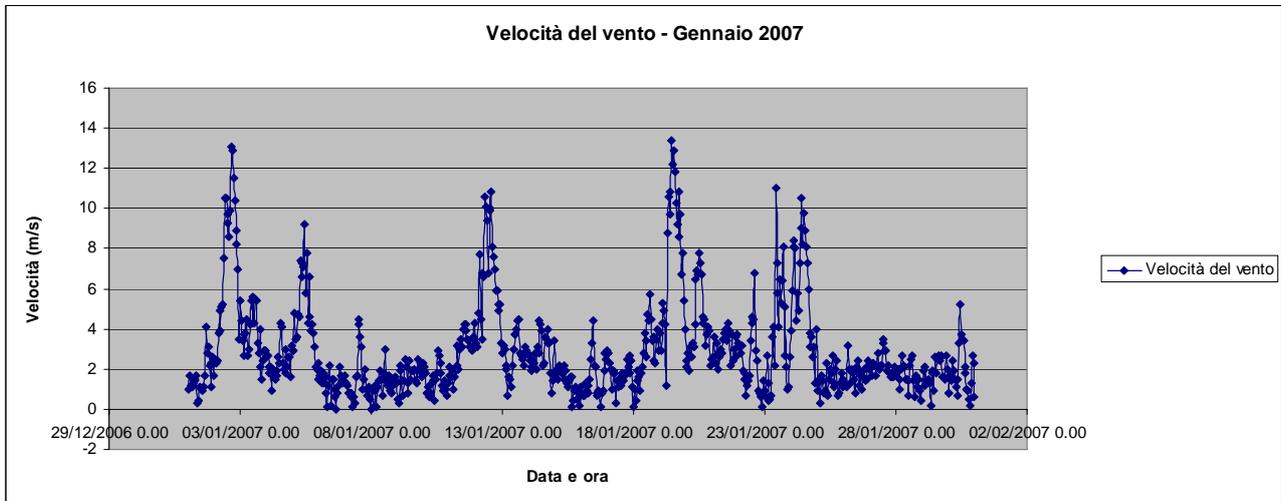


Grafico 5 - Rappresentazione dei picchi di vento (espressi in m/s) registrati giornalmente (dati da Apat – Rete Mareografica Nazionale).

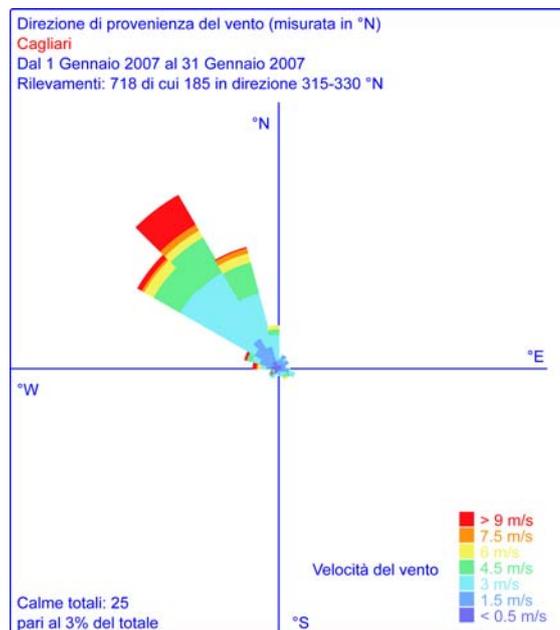


Grafico 6 - Rappresentazione della direzione di provenienza del vento (da Apat – Rete Mareografica Nazionale).

FEBBRAIO 2007

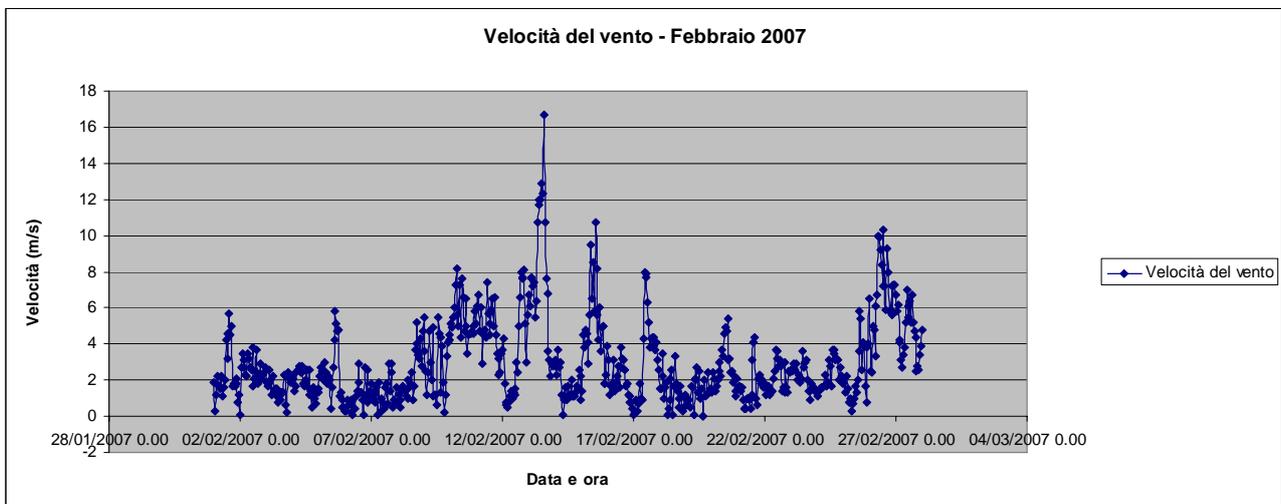


Grafico 7 - Rappresentazione dei picchi di vento (espressi in m/s) registrati giornalmente (dati da Apat – Rete Mareografica Nazionale).

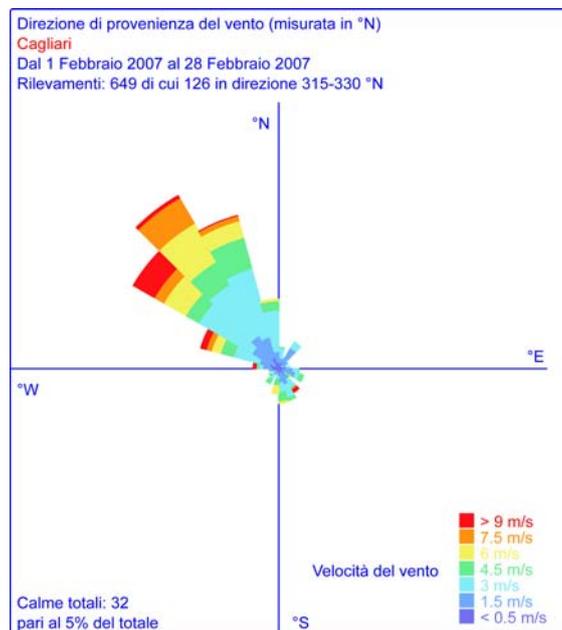


Grafico 8 - Rappresentazione della direzione di provenienza del vento (da Apat – Rete Mareografica Nazionale).

MARZO 2007

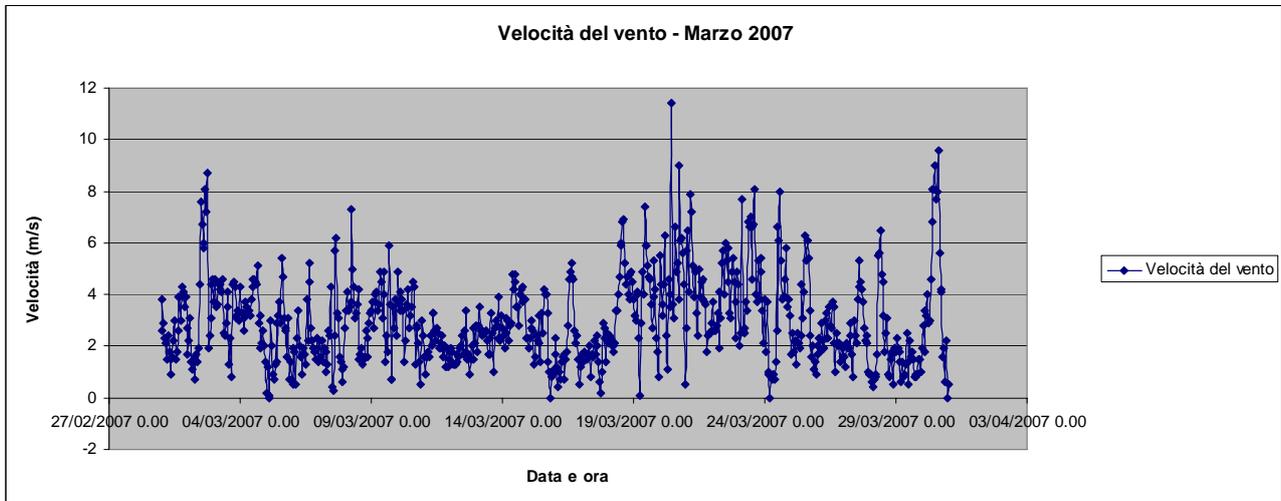


Grafico 9 - Rappresentazione dei picchi di vento (espressi in m/s) registrati giornalmente (dati da Apat – Rete Mareografica Nazionale).

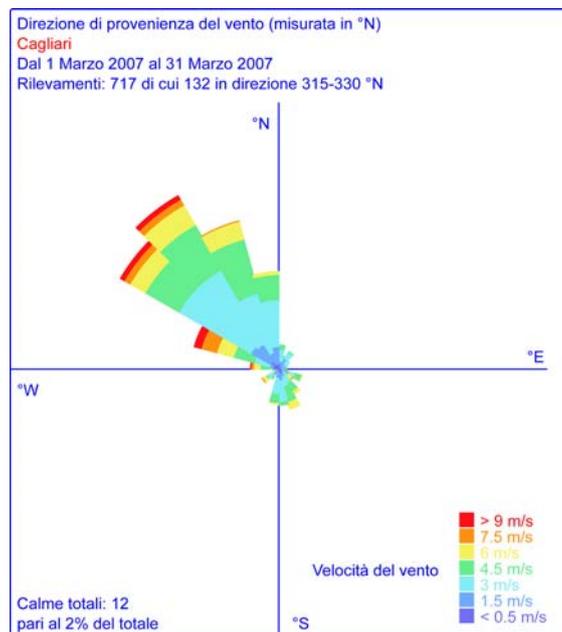


Grafico 10 - Rappresentazione della direzione di provenienza del vento (da Apat – Rete Mareografica Nazionale).

APRILE 2007

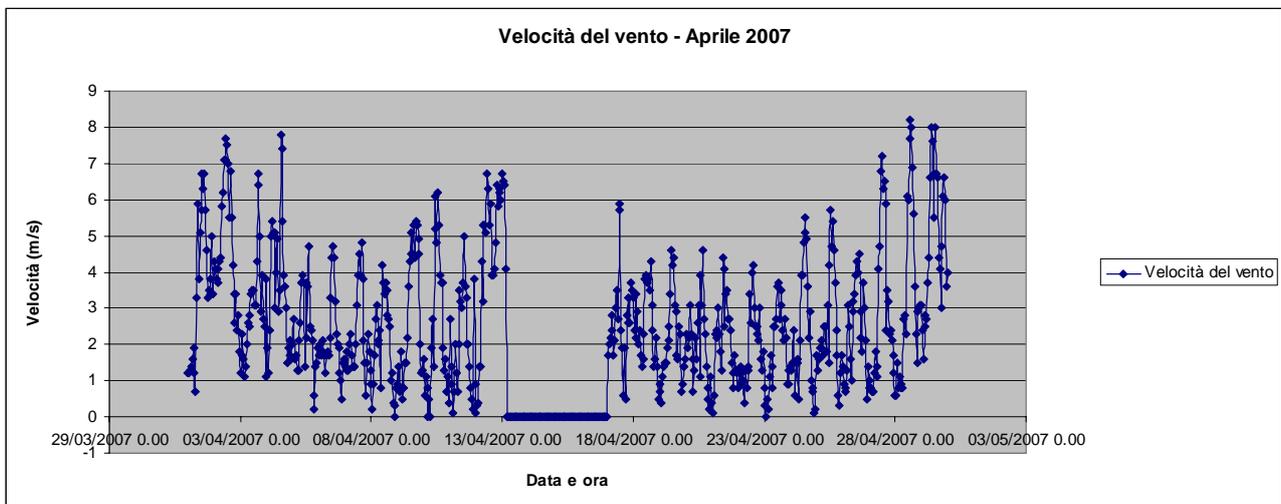


Grafico 11 - Rappresentazione dei picchi di vento (espressi in m/s) registrati giornalmente (dati da Apat – Rete Mareografica Nazionale).

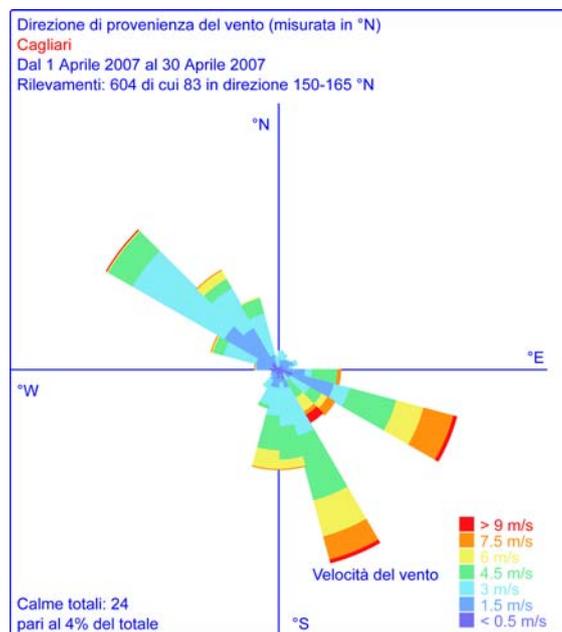


Grafico 12 - Rappresentazione della direzione di provenienza del vento (da Apat – Rete Mareografica Nazionale).

MAGGIO 2007

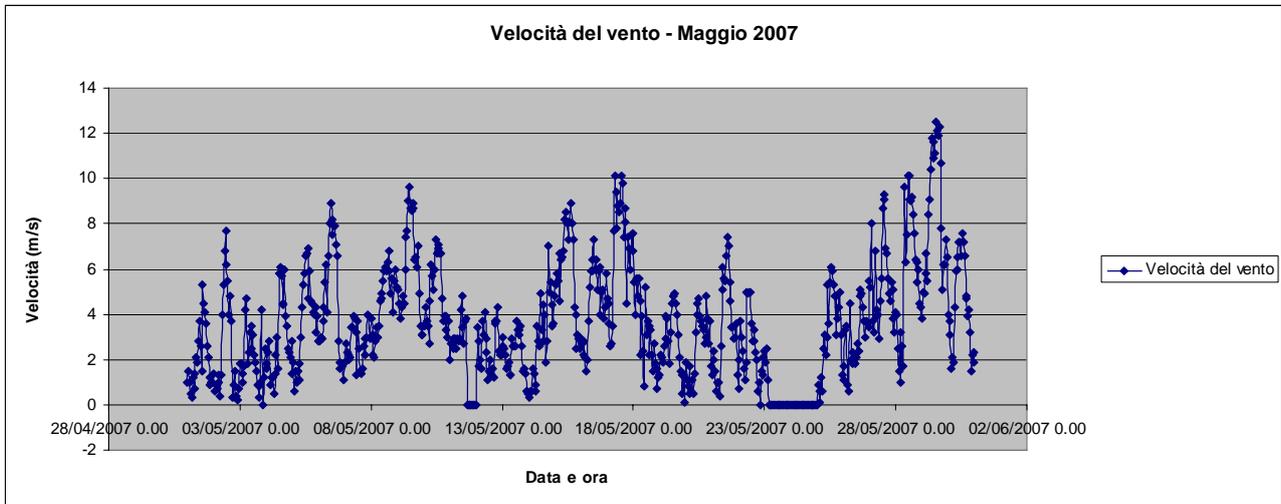


Grafico 13 - Rappresentazione dei picchi di vento (espressi in m/s) registrati giornalmente (dati da Apat – Rete Mareografica Nazionale).

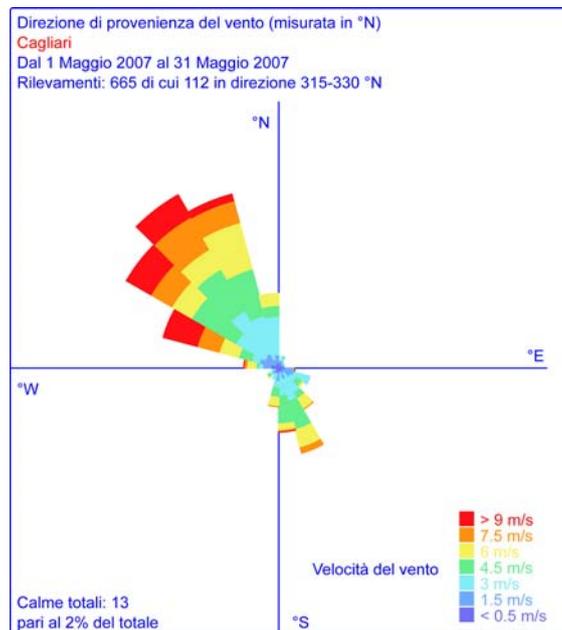


Grafico 14 - Rappresentazione della direzione di provenienza del vento (da Apat – Rete Mareografica Nazionale).

GIUGNO 2007

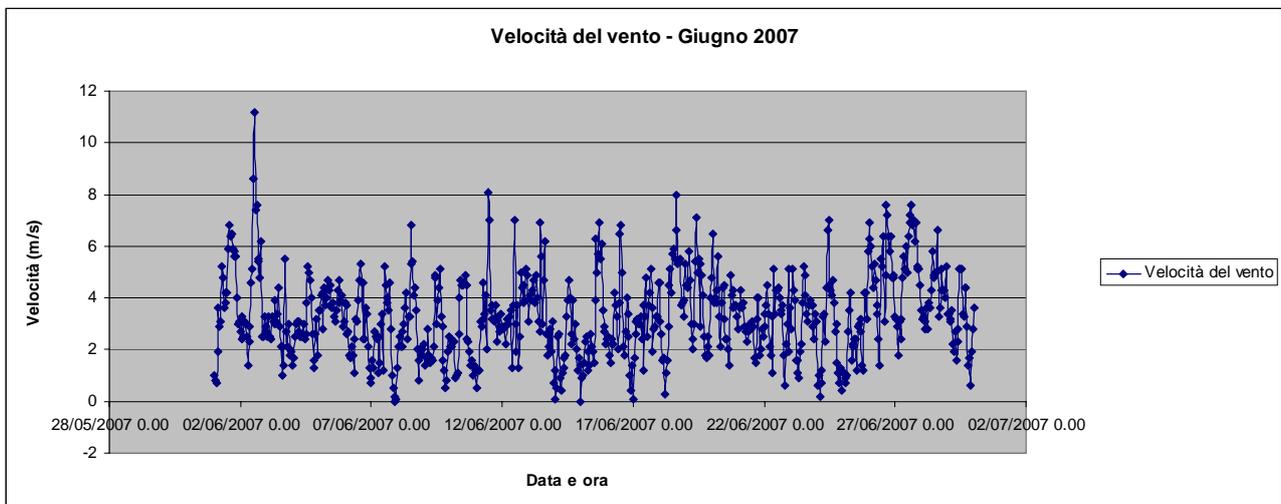


Grafico 15 - Rappresentazione dei picchi di vento (espressi in m/s) registrati giornalmente (dati da Apat – Rete Mareografica Nazionale).

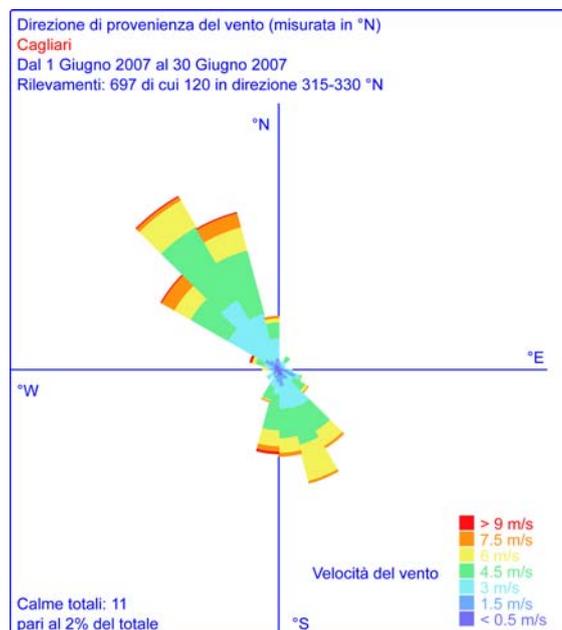


Grafico 16 - Rappresentazione della direzione di provenienza del vento (da Apat – Rete Mareografica Nazionale).

LUGLIO 2007

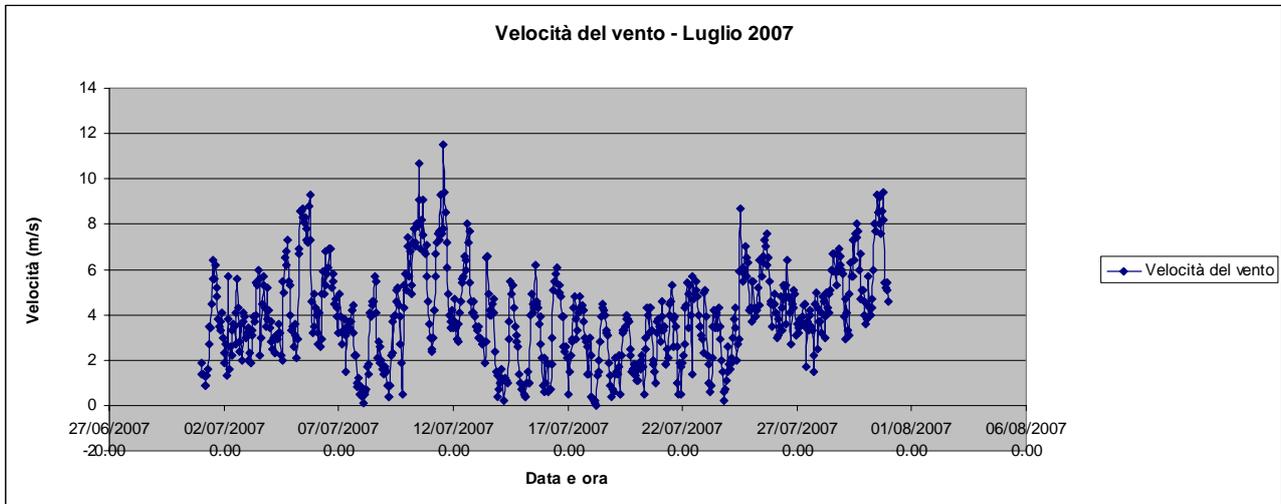


Grafico 17 - Rappresentazione dei picchi di vento (espressi in m/s) registrati giornalmente (dati da Apat – Rete Mareografica Nazionale).

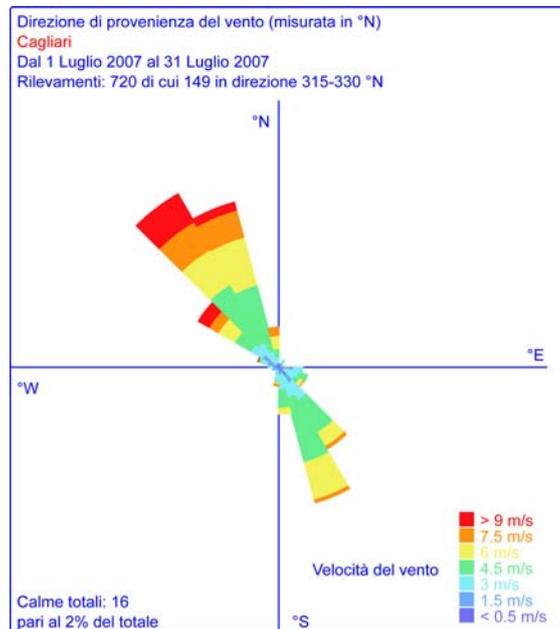


Grafico 18 - Rappresentazione della direzione di provenienza del vento (da Apat – Rete Mareografica Nazionale).