

Caratteri sedimentologici e dinamica delle spiagge e della piattaforma interna tra Capo Testa e Punta di li Francesi (Sardegna settentrionale)

Sandro DeMuro, Concetta Ferrara, Roberto Follesa e Angelo Ibba

Università degli Studi di Cagliari, Dipartimento di Scienze della Terra
Via Trentino, 51 - 09100 Cagliari

Riassunto

Vengono esposti i risultati dello studio sedimentologico delle spiagge e della piattaforma interna comprese tra Capo Testa e Punta di li Francesi (Sardegna settentrionale) con lo scopo di individuare la provenienza, la dispersione e la dinamica dei sedimenti. Nei tratti di costa orientati nordest-sudovest (spiagge di La Liccia, Rena Maiore, Buredaggia, Lu Litarroni, Naracu Nieddu, Lu Tuvunatu) dall'analisi del diametro medio lungo la battigia si evidenzia una tendenza alla dispersione dei sedimenti da nordest verso sudovest, mentre a profondità di 10 metri essa risulta essere prevalentemente di verso opposto in accordo con lo studio dei flussi di energia incidente.

Trasferendo in carta questi dati si delinea una dispersione controllata da celle a circolazione oraria la cui forma, estensione e dinamica, alla scala dell'osservazione stagionale, sono fortemente condizionate dalla conformazione del fondale e dipendenti dalle condizioni meteomarine. Nelle unità fisiografiche orientate nordovest-sudest (spiagge di Vignola e di La Colba) prevale un trasporto parallelo alla costa orientato da sudest verso nordovest. Nel settore compreso tra Capo di M.ti Russu e Punta di li Francesi, inoltre, alla batimetria dei 20 metri i parametri sedimentologici evidenziano l'esistenza di sedimenti relitti in scarsa relazione con la dispersione attuale.

Mediante lo studio dei minerali pesanti è stata riconosciuta una provenienza da rocce magmatiche intrusive, effusive e metamorfiche. È stata osservata una netta predominanza di Epidoto, nonché di Anfiboli (Orneblenda verde) e Pirosseni.

Trasversalmente alle spiagge si osservano percentuali elevate di minerali pesanti sulla cresta della duna, con diminuzione sulle berme e un relativo aumento sulla battigia. Nella spiaggia sottomarina i valori di concentrazione più elevati sono stati osservati sul piede della barra. Alla battigia si osservano, in linea generale, valori percentuali crescenti da nord verso sud.

Parole chiave: sedimentologia; dinamica litorale; Olocene; Sardegna settentrionale.

Abstract

The results of a sedimentological study on beaches and the inner shelf between Capo Testa and Punta di li Francesi are herein reported. The aim of the work was to understand provenance, dispersion and sediment dynamics.

In the littoral parts oriented NE-SW (beaches of La Liccia, Rena Maiore, Buredaggia, Lu Litarroni, Naracu Nieddu, Lu Tuvunatu) a tendency of dispersion in direction NE-SW is evident from the analysis of the mean size along the shoreline, whereas this direction is opposite at a depth of 10 meters, according to the results of the study of the energy fluxes.

By mapping these data, dispersion controlled by clockwise circulation cells, whose form and extension are strongly conditioned by the conformation of the sea-floor, is delineated. In the physiographic units oriented NW-SE (beaches of Vignola, and La Colba) longshore transport oriented SE-NW prevails. Furthermore, in the sector between Capo di M.ti Russu and Punta di li Francesi, the sedimentological parameters indicate the existence of relict sediments at a bathymetric depth of 20 meters, that are scarcely related to the present dispersion.

By means of heavy mineral analysis lithogenic provenance of sediments was recognised to be from intrusive, volcanic and metamorphic rocks.

A clear predominance of Epidote, in its most diffuse variety Pistacite, on Clinzoisite, as well as Amphiboles (Green Hornblende) and Pyroxenes was observed. Other minerals present in minor amounts are: Granates, Zircon, Picotite, Anatase, Andalusite, Staurolite, Sillimanite, Olivine, Tourmalin, Titanite, Rutile and Brookite, with low percentages of Apatite.

High percentages of heavy minerals are observed on the top of the dunes, diminishing on the berms and relatively increasing on the shoreline, if transects perpendicular to the beach are considered. In the submerged beach the highest concentrations have been observed at the foot of the bars. On the shoreline, in general, an increase in percentage can be observed from North to South.

Key words: sedimentology, littoral dynamics, Holocene, Northern Sardinia.

Introduzione e metodologie.

Questo lavoro prosegue nelle ricerche effettuate da Brambati e DeMuro (1992 a, b, c) sulla dinamica dei litorali e sulla geologia della piattaforma prossimale della Sardegna settentrionale. Obiettivo è la caratterizzazione tessiturale e mineralogica dei sistemi deposizionali compresi tra Capo Testa a nord e Punta di li Francesi a sud-ovest (Fig. 1), oltrechè l'individuazione delle direzioni di dispersione dei sedimenti.

L'area in esame comprende circa 22 Km di linea di costa di cui 10 di litorale sabbioso, 5 di costa bassa e rocciosa e 7 di costa alta e rocciosa. Essa è stata suddivisa, per esigenze espositive in settore settentrionale, compreso tra Capo Testa e Capo di Monti Russu, e in settore meridionale compreso tra Capo di Monti Russu e Punta di li Francesi. Al primo appartengono le spiagge di La Colba, La Licia, Rena Majori e Bureddaggia; al secondo quelle di La Piana, Lu Litarroni, Naracu Nieddu, Lu Tuvunatu e Vignola.

La fascia costiera indagata è estremamente dinamica e soggetta a modificazioni stagionali molto marcate, sia dal punto di vista morfologico, sia dal punto di vista granulometrico. Queste modificazioni sono naturalmente in stretta relazione all'intensità e alla direzione del moto ondoso e, in definitiva, dipendenti dalle condizioni meteomarine generali delle Bocche di Bonifacio. Sono state effettuate ottanta stazioni di rilevamento nelle quali si è proceduto alla campionatura dei sedimenti superficiali.

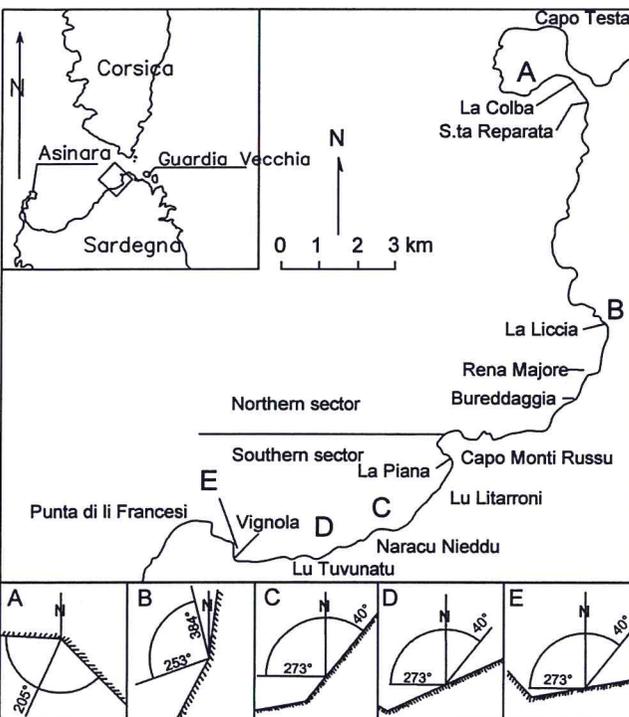


Figura 1 - Inquadramento geografico dell'area di studio.

Le campionature sono state effettuate lungo profili trasversali alla linea di costa su cresta della prima duna (CD), piede della prima duna (PD), ripiano di metà spiaggia (MS), berma di tempesta (BT), berma ordinaria (BO), battigia (B), gradino (G), piede del gradino (PG), truogolo (T), barra (BR), piede della barra (PB) (Carobene e Brambati, 1975), fino alla profondità di 20 metri. In totale sono stati raccolti e studiati 136 campioni di sabbie e ghiaie.

I sedimenti sono stati sottoposti ad analisi granulometriche eseguite con setacciatura ad $1/4 \varphi$; i risultati sono stati rappresentati graficamente mediante le curve di distribuzione granulometrica; per la caratterizzazione tessiturale sono stati utilizzati i parametri di Folk e Ward (1957) e Folk (1980) (Mz , Sk_1 , K_G e σ_1 ; Tab. 1).

L'elaborazione dei dati granulometrici è stata utilizzata per valutare le caratteristiche della sedimentazione attuale e le direzioni di trasporto, sia lungo riva che verso il largo (McLaren, 1981).

Per individuare le aree di provenienza e le direzioni di dispersione dei sedimenti è stata inoltre effettuata al microscopio ottico un'analisi mineralogica

Orsini, 1982; Ricci, 1992). Su tale basamento si appoggiano in successione sedimenti marini miocenici, depositi alluvionali terrazzati, depositi eolici (eolianiti plio-quadernarie) e depositi di spiaggia, incoerenti (attuali) e cementati (*beach rock* oloceniche), che, a diverse profondità e distanza dalla costa, orlano l'attuale linea di riva (Brambati e DeMuro, 1992 a, b, c).

I bacini idrografici dei principali corsi d'acqua alimentatori (Tav. 1) si sviluppano essenzialmente sul basamento granitico e sui prodotti del suo disfacimento, e solo nell'ultimo tratto localmente interessano i depositi sabbiosi delle dune costiere; i corsi d'acqua, lungo le cui aste sono assenti dighe e/o sbarramenti artificiali, sfociano in mare solo in occasione delle piene più importanti, durante le quali, tuttavia, immettono grandi quantità di materiale (DeMuro, 2003). Il sedimento è costituito essenzialmente da sabbie a grana grossa quarzoso feldspatiche, peliti e ciottolame eterometrico prevalentemente granitico. La morfologia della spiaggia sommersa è controllata dal basamento affiorante con filoni e/o da *beach rock*, queste ultime si sviluppano parallelamente alla costa attuale; i filoni e le *beach rock* sono tutti localizzati sia sottoriva che a poche centinaia di metri; essi determinano rallentamenti, deviazioni dei fronti d'onda e smorzamenti della loro energia, con interruzioni, deviazioni, variazioni di intensità delle correnti di deriva litorale ed innesco di celle di circolazione asimmetriche che determinano una dispersione non omogenea e irregolare dei sedimenti lungo costa anche con la locale formazione di trappole sedimentarie (Fig. 3). Le spiagge emerse sono morfologicamente e stratigraficamente ben strutturate con corpi dunari la cui estensione può essere limitata all'immediato retrospiaggia (La Colba, Vignola) o svilupparsi per chilometri nell'entroterra (spiagge di La Licia, Rena Majore, Bureddaggia e di Lu Litarroni).

Analisi delle caratteristiche tessiturali delle spiagge

Le curve granulometriche dei campioni analizzati sono spesso bi- o polimodali per la presenza di popolazioni ghiaiose nei punti di campionatura (Tab. 1). L'analisi dei valori dei parametri tessiturali (Tab. 1) mostra che lungo le traverse, i sedimenti tendono a diventare più fini dalla battigia verso il piede della barra e verso la cresta della duna. Nelle medesime direzioni si ha anche un miglioramento della selezione e la prevalenza delle distribuzioni asimmetriche positive nella spiaggia emersa. I valori del parametro K_G indicano la prevalenza delle distribuzioni mesocurtiche; la presenza di distribuzioni fortemente platicurtiche sulla battigia, sul piede del gradino di alcune traverse, oltreché su qualche campione a -10 e a -20 metri, è da correlare con il mescolamento di ghiaie percentualmente rilevanti in quei punti di campionatura.

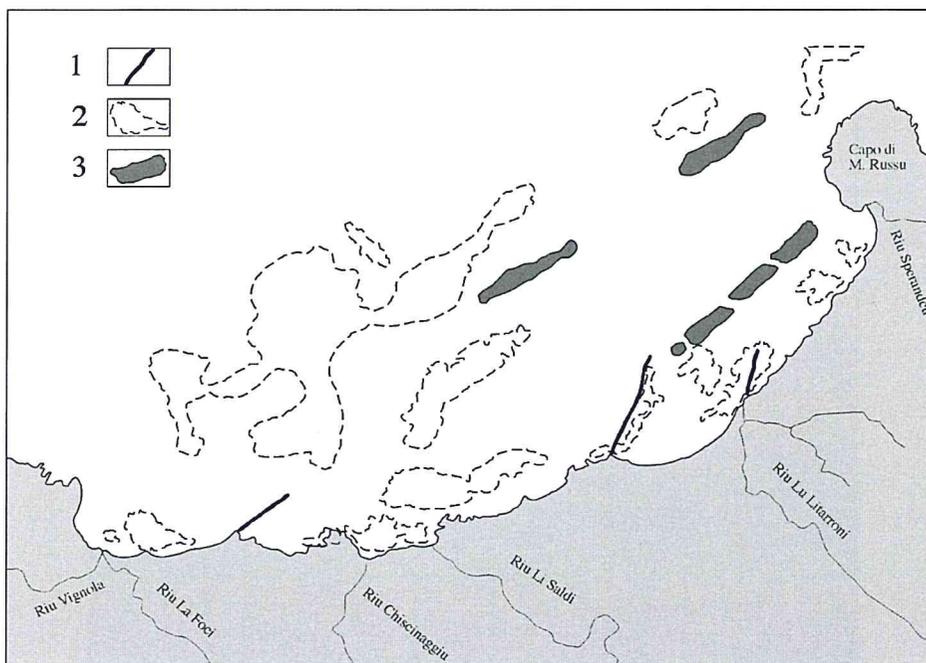


Figura 3 - Principali elementi geologico-morfologici che condizionano la dinamica costiera nel settore ad ovest di Capo di Monti Russu (da DeMuro, 1990; modificata): 1) corteo filoniano; 2) limite basamento cristallino; 3) *beach rock*. Scala 1:50.000

Tabella 1 - Valori percentuali delle componenti granulometriche e parametri tessuturali di Folk e Ward (1957), valori percentuali dei minerali pesanti.

Unità Morf	Sigla	% min pes	C (um)	Md (um)	Mz (phi)	SK	KG	s	% Sand	% Gravel	
La Colba	CD 52		767	338	1.61	0.06	1.13	0.4	100	0	
	PD 53		1252	446	1.12	-0.1	0.84	0.68	100	0	
	MS 54		1859	786	0.46	0.20	1.0	0.74	99.8	0.2	
	BT 55		3186	1376	-0.42	0.17	0.97	0.39	97.7	2.3	
	BO 56		1930	1137	-0.08	0.36	1.16	0.59	9.7	0.3	
	B 57		1944	823	0.29	0.09	1.07	0.73	99.6	0.4	
	PG 58		3237	1269	-0.3	0.18	0.93	0.45	97.7	2.3	
La Colba	CD 59	0.1	1782	671	0.64	0.1	0.85	0.79	100	0	
	PD 60	0.2	1713	718	0.55	0.11	0.88	0.074	100	0	
	MS 61	0.1	1673	891	0.24	0.22	1.08	0.64	100	0	
	BT 62	0.2	1981	866	0.34	0.23	0.98	0.82	99.2	0.8	
	BO 63		1657	719	0.55	0.14	0.95	0.68	99.9	0.1	
	B 64	0.2	5972	761	0.33	-0.09	1.04	0.95	93.9	6.1	
La Liccia	CD 66	0.2	844	383	1.31	-0.21	1.09	0.48	100	0	
	PD 67	1.1	1796	613	0.71	-0.05	0.93	0.71	99.9	0.1	
	MS 68	1.8	1881	560	0.83	-0.11	0.97	0.65	99.6	0.4	
	BT 69	0.2	1185	445	1.13	-0.09	1.05	0.59	100	0	
	BO 70	0.9	7645	1802	-0.64	1.19	0.28	0.94	60	40	
	B 71	1.2	7503	1701	-0.7	1.3	0.44	0.66	72.4	27.6	
	PG 128	0.4									
	T 129	0.3	579	191	2.33	-0.15	1.10	0.42	100	0	
	BR 130	0.5	778	232	2.14	-0.0	1	0.42	100	0	
	PB 131	0.5	786	228	2.11	-15.0	1.05	0.50	100	0	
Rena Majori	CD 73		1009	506	0.98	0.01	0.85	0.46	100	0	
	PD 74		848	482	1.05	-0.03	0.92	0.44	100	0	
	MS 75	0.9	1174	521	0.93	-0.06	0.88	0.54	100	0	
	BT 76	0.5	1775	577	0.75	-0.15	1.07	0.64	100	0	
	BO 77	0.5	1421	498	0.99	-0.09	0.97	0.5	100	0	
	B 78	0.6	6863	1173	-0.18	-0.02	1.21	0.78	91.6	8.4	
	PG 132	1.4									
	T 133	0.3	720	261	1.94	-0.04	0.90	0.54	100	0	
	BR 134	0.9	505	204	2.26	-0.11	1	0.43	100	0	
	PB 135	0.	585	209	2.23	-0.11	1.04	0.46	100	0	
Burreddaggia	CD 80	0.2	1196	697	0.56	0.1	1.31	0.37	100	0	
	PD 81		1604	812	0.27	-0.08	0.95	0.4	100	0	
	MS 82		1880	727	0.41	-0.17	1.59	0.42	99.6	0.4	
	BT 83	0.3	3286	850	0.16	-0.2	1.04	0.52	98.1	1.6	
	BO 84		6321	1148	-0.21	-0.14	1.06	0.66	91.7	8.3	
	B 85	5.2	1803	754	0.34	-0.17	1.23	0.47	100	0	
	G 136	0.2									
	T 137	0.7	378	180	2.47	-0.01	1.22	0.42	100	0	
	BR 138	1.8	390	183	2.43	-0.03	1.14	0.42	100	0	
	PB 139	1.	436	172	2.53	-0.01	0.97	0.53	100	0	
La Piana	PG 124	0.2	7363	1962	-1.18	-2.17	0.23	0.19	54.6	45.4	
	T 125	0.2	7416	1706	-0.73	1.05	0.75	0.67	74.7	25.3	
	BR 126	0.7	1372	266	1.78	-0.32	1.25	0.73	100	0	
	PB 127	0.1	1859	747	0.58	0.24	0.84	0.92	99.8	0.2	
Lu Litarroni	CD 87	0.9	1989	387	1.31	-0.15	1.37	0.49	99	1	
	PD 88	0.4	779	416	1.25	-0.07	0.74	0.33	100	0	
	MS 89	0.5	836	503	0.99	-0.01	1.16	0.38	100	0	
	BT 90	0.3	832	486	0.83	-0.35	1.44	0.61	100	0	
	BO 91	0.1	816	476	1.11	-0.07	1.57	0.41	100	0	
	B 92	0.4	997	502	0.99	-0.02	1.18	0.	100	0	
	PG 140		7623	1106	-0.43	0.47	0.30	0.79	76.1	23.9	
	T 141	0.3	727	329	1.66	0.14	1.06	0.39	100	0	
	BR 142	0.8	490	203	2.25	-0.26	0.90	0.39	100	0	
	PB 143	0.8	490	203	2.25	-0.26	0.90	0.39	100	0	
Naracu Nieddu	CD 94	0.9	894	563	0.82	0.05	0.89	0.39	100	0	
	PD 95	0.3	1126	527	0.9	-0.03	0.98	0.41	100	0	
	MS 96	0.1	987	499	1.01	0.01	1.34	0.33	100	0	
	BT 97	0.3	1126	527	0.9	-0.03	0.98	0.41	100	0	
	BO 98	0.1	1459	643	0.68	0.18	0.78	0.33	100	0	
	B 99	0.2	7613	843	-0.22	0.02	0.3	0.83	77.3	22.7	
Vignola est	CD 108		1950	1006	0.00	0.05	0.92	0.54	99.8	0.2	
	P D 109		3792	1262	-0.24	0.23	0.93	0.68	94.1	5.9	
	MS 110		7053	1925	-1.14	-2.59	-0.15	0.27	58.2	41.8	
	BT 111		7564	1925	-1.14	-2.59	-0.15	0.27	58.2	41.8	
	PG 144		1660	65	1.03	0.42	0.53	1.00	100	0	
	T 145		642	181	2.45	-0.12	1.11	0.56	100	0	
Vignola ovest	CD 101		7206	882	0.06	0.26	0.5	0.62	89.4	10.6	
	P D 102		6893	942	-0.02	-0.22	1.11	0.9	88.8	11.2	
	M S 103		3754	884	0.07	-0.17	0.88	0.66	95.7	4.3	
	B T 104		1994	712	0.55	0.09	1.22	0.69	99	1	
	BO 105		6423	1661	-0.07	0.54	0.79	1.38	79.4	20.	
	B 106		7075	1682	-0.74	-4.05	0.13	0.35	77.7	22.3	
Isobata dei -10m	Vignola	1	3.7	1793	145	2.54	-0.58	0.81	0.69	99.7	0.3
	Vignola	2	2.7	3604	871	0.57	0.65	0.63	0.9	93.4	6.6
	Vignola	3	8.9	3352	903	0.18	0.01	1.3	0.51	96.1	3.9
	Vignola	5	5.9	1732	588	0.7	-0.24	0.91	0.47	99.5	0.5
	Naracu Nieddu	6	5.2	809	374	1.4	0	0.96	0.44	100	0
	Naracu Nieddu	7	0.6	1674	885	0.2	0.08	1.04	0.46	99.7	0.3
	Lu Litarroni	147	1.0	558	221	1.19	-0.02	1.0	0.44	100	0
	Monti Russu W	9	93.9	1235	350	1.51	-0.12	1.39	0.52	99.8	0.2
	Monti Russu W	10	1.4	1027	316	1.69	0.05	1.09	0.47	99.9	0.1
	Monti Russu E	11	0.1	589	270	1.84	-0.13	1.06	0.43	100	0
	Cala Pischina	12	1.7	1999	1296	-0.33	0.22	1.04	0.47	99	1
	La Liccia	14	0.4	839	368	1.43	-0.01	1.01	0.46	100	0
	La Liccia Nord	15	0.8	587	256	1.9	0.0	1.1	0.43	100	0
Isobata dei -20m	Vignola	24	0.3	666	373	1.38	-0.29	1.14	0.27	100	0
	Vignola	21	0.5	3162	1130	-0.24	-0.06	0.98	0.5	97	3
	Vignola	23		3534	1090	-0.22	0.46	0.68	0.37	94.4	5.6
	Naracu Nieddu	22		3338	987	0.17	0.64	0.47	0.54	94.4	5.6
	Naracu Nieddu	8	1.4	1114	380	1.36	-0.13	1.12	0.52	100	0
	Monti Russu W	20	0.9	3644	1227	-0.27	0.74	0.75	0.5	92.6	7.4
	Monti Russu N	19	3.9	984	274	1.85	-0.87	1.08	0.5	100	0
	Cala Pischina	18	0.5	2075	397	1.27	-0.21	1.29	0.55	98.9	1.1
	Burreddaggia	17	5.6	614	214	2.22	-0.04	1.06	0.46	100	0
	La Liccia Nord	16	0.7	518	148	2.64	-0.23	0.91	0.66	100	0
	La Colba	30	0.1	530	245	2.04	0.02	1.13	0.41	100	0
	La Colba	29	1.1	1340	262	1.9	-0.21	1.38	0.57	99.7	0.3
Battigia inverno	Vignola	25	2.5	2058	1309	-0.35	0.11	0.8	0.36	99	1
	Vignola	26	2.5	1577	365	1.36	-0.31	1.52	0.61	99.9	0.1
	Vignola	34	2.3	492	257	1.92	0.97	1.23	0.37	100	0
	Vignola	49		477	245	2.03	-0.01	1	0.43	100	0
	Vignola	35	0.6	1865	308	1.69	-0.18	1.32	0.55	99.5	0.5
	Lu Tuvunatu	41	0.7	3132	1176	-0.2	0.22	1.24	0.54	97.2	2.8
	Naracu Nieddu	0	99.2	542	217	2.18	-0.17	0.91	0.42	100	0
	Naracu Nieddu	33	2.1	1167	314	1.72	0.11	1.14	0.51	99.6	0.4
	Lu Litarroni	32	0.3	703	369	1.4	-0.11	1.23	0.36	100	0
	Lu Litarroni	31	0.5	752	384	1.33	-0.25	0.85	0.31	100	0
	La Colba	28	0.3	1737	814	0.4	0.23	0.93	0.62	100	0
	La Colba	27	0.1	1162	271	1.87	-0.06	1.05	0.49	99.8	0.2
Battigia primavera	La Colba	57		1944	823	0.29	0.09	1.07	0.73	99.6	0.4
	La Colba	64	0.2	5972	761	0.33	-0.09	1.04	0.95	93.9	6.1
	La Liccia	71	1.2	7503	1701	-0.7	1.3	0.44	0.66	72.4	27.6
	Rena Majori	78	0.6	6863	1173	-0.18	-0.02	1.21	0.78	91.6	8.4
	Burreddaggia	85	5.2	1803	754	0.34	-0.17	1.23	0.47	100	0
	Lu Litarroni	92	0.4	997	502	0.99	-0.02	1.18	0.4	100	0
	Naracu Nieddu	99	0.2	7613	843	-0.22	0.02	0.3	0.83	77.3	22.7
	Vignola	106		7075	1682	-0.74	-4.05	0.13	0.35	77.7	22.3

Tali parametri sono stati inoltre utilizzati per l'individuazione del verso del trasporto sedimentario; il diametro medio (Mz) e subordinatamente la selezione (σ_1) hanno dato le maggiori indicazioni a questo riguardo. La battigia è l'unità morfologica su cui è stata rappresentata graficamente la variazione dell'Mz perché sempre presente in tutti i profili studiati e più fittamente campionata nelle unità fisiografiche.

Nord di Capo Monte Russu - Aree A e B**Spiaggia di La Colba (Area A)**

I sedimenti presentano caratteristiche tessiturali differenti, sintetizzate nelle Figure 4a e 5.

I campioni del settore nord-occidentale sono omogenei, con curve granulometriche caratterizzate da sabbie a grana grossa (Mz tra 0,64 e 0,33 ϕ) (Tab. 1) passante a molto grossa nel piede del gradino (Mz -0,42 ϕ); i sedimenti di metà spiaggia, berma di tempesta e berma ordinaria sono asimmetrico positivi (Sk_k compreso tra 0,14 e 0,23) e gli altri quasi simmetrici (Sk_k compreso tra -0,09 e 0,11), tutti i sedimenti sono moderatamente selezionati e mesocurtici (Tab. 1).

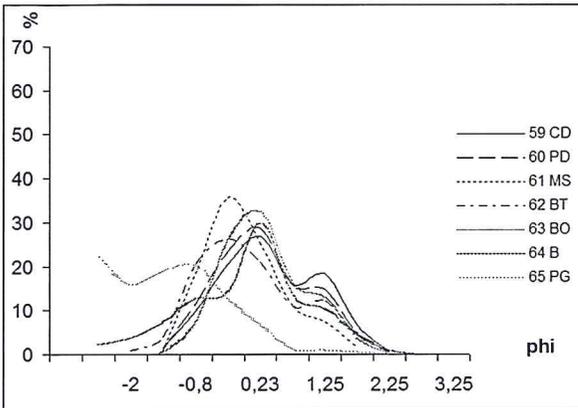


Figura 4a - La Colba W, curve di frequenza di sedimenti delle unità morfologiche nella spiaggia emersa.

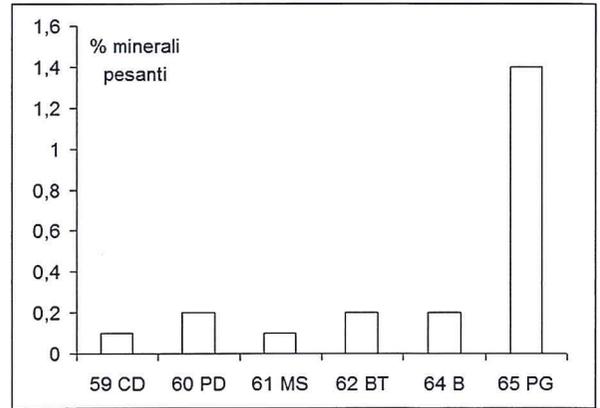


Figura 4b - La Colba W, percentuali dei minerali pesanti nelle varie unità morfologiche della spiaggia emersa.

Nel settore sud-orientale, invece, i sedimenti relativi all'alta e bassa spiaggia sono tendenzialmente bimodali, per miscelazione con quelli dunari (Fig. 5).

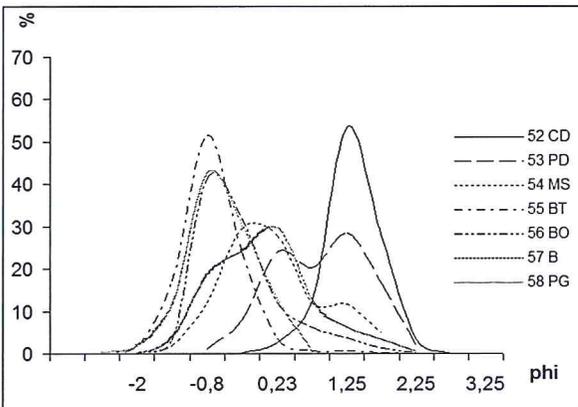


Figura 5 - La Colba E, curve di frequenza dei sedimenti delle unità morfologiche nella spiaggia emersa.

Il sedimento della cresta della duna è invece unimodale (sabbie medie; $Mz = 1,61 \phi$) così come quello delle berme ordinaria e di tempesta anche se a granulometria maggiore ($Mz = -0,42 \phi$).

Dalla comparazione delle due traverse emerge che il corpo della spiaggia medio-bassa è il medesimo con leggere differenze a livello di berme, mentre una differenza sostanziale riguarda i corpi dunari, che, nella traversa orientale, presentano una granulometria più fine ed un grado migliore di selezione. La miscelazione di sedimenti eolici con quelli di spiaggia è stata rilevata anche con osservazioni morfoscopiche ed esoscopiche al S.E.M. (Brambati et al., 1992) sui granuli di quarzo; esse hanno evidenziato la contemporanea presenza dei caratteri tipici dei due ambienti, come del resto riscontrato anche in altri sistemi costieri del sud Sardegna (Di Gregorio et al., 1999; Cannillo et al., 1997).

La campionatura primaverile sulla battigia indica una dispersione verso NO, meglio evidenziata in quella invernale dai valori più positivi di M_z (Figg. 6 e 7), migliori della selezione e più negativi dell'asimmetria (Tab. 1). Sulla piattaforma prossimale, per l'affioramento del basamento terziario a -10 m, si sono potuti campionare sedimenti terrigeni solo a -20 metri; si tratta di sabbie fini, ben selezionate (M_z intorno a 2ϕ e Sk_1 da 0,02 a -0,21 e σ_1 da 0,57 a 0,41 ϕ) interpretabili come il prodotto della sedimentazione attuale (Tab. 1; Tav. 1). Le percentuali totali di minerali pesanti nella spiaggia emersa sono comprese tra 0,1 e 0,2% (Tab.1; Fig. 4b) rimanendo nell'ambito delle normali percentuali (0,1-1,0 %) indicate da Folk (1980), mentre sul piede del gradino si osserva un leggero arricchimento pari all'1,4%. I due campioni della piattaforma prossimale, C30 e C29, hanno rispettivamente valori di 0,1%, e 1,1%, quest'ultimo ha una pronunciata coda di sabbie a grana grossa.

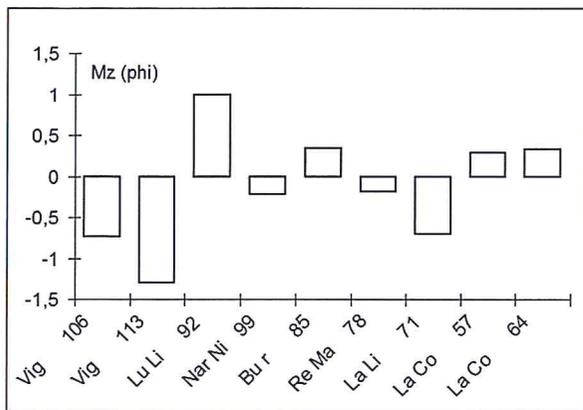


Figura 6 - Valori di M_z relativi alla campionatura primaverile della battigia nelle diverse spiagge (da SW a NE).

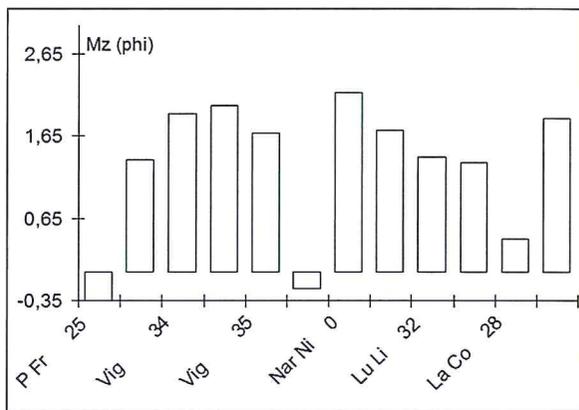


Figura 7 - Valori di M_z relativi alla campionatura invernale della battigia nelle diverse spiagge (da SW a NE).

Spiagge di La Liccìa, Rena Majore, Bureddaggia (Area B)

Questo settore comprende tre spiagge separate da affioramenti del basamento granitico, ma che possono essere considerate come un'unica unità fisiografica.

La Liccìa

In accordo con le condizioni idrodinamiche presenti nell'ambiente costiero si osservano le granulometrie a grana più grossa e fortemente bimodali sul piede del gradino (73% sabbia e 27% di granuli, $Sk_1 = 1,95$) (Tab.1; Figg. 8a, 9a), sulla battigia (72% sabbia e 28% di granuli, $Sk_1 = 1,30$) e sulla berma ordinaria (60% sabbia e 40% di granuli, $Sk_1 = 1,19$) (M_z da -0,81 a -0,64 ϕ). I sedimenti più fini e unimodali sono ubicati sia verso la cresta della duna, con valori nell'ambito delle sabbie medie ($M_z = 1,31\phi$), sia nella spiaggia

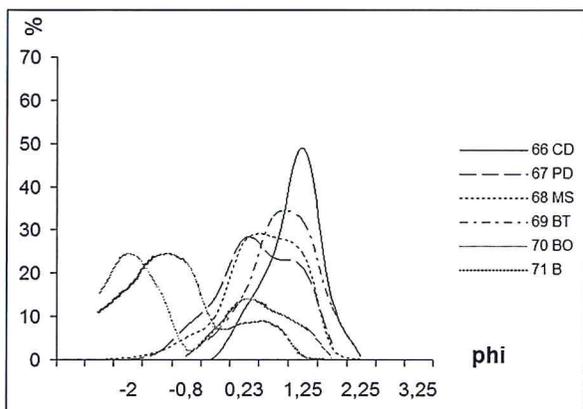


Figura 8a - La Liccìa, curve di frequenza dei sedimenti delle unità morfologiche nella spiaggia emersa.

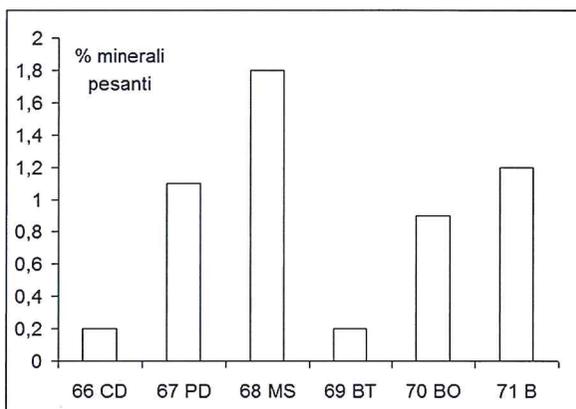


Figura 8b - La Liccìa, percentuali dei minerali pesanti nelle varie unità morfologiche della spiaggia emersa.

sommersa sul truogolo, sulla barra e nel piede della barra (M_z compreso tra 2,33 e 2,11 ϕ , nell'ambito delle sabbie fini). Sulla battigia la moda principale ricade nell'ambito delle sabbie a grana molto grossa e quella secondaria in quello delle sabbie medie.

I campioni della spiaggia emersa che presentano le percentuali minori di minerali pesanti nei sedimenti appartenenti alla berma di tempesta e alla cresta della duna (Fig. 8b), mostrano curve granulometriche spiccatamente unimodali e leptocurtiche ($K_G > 1$); ai campioni relativamente più ricchi di minerali pesanti (da 1,8 a 0,9%) corrispondono sedimenti caratterizzati da una bimodalità più o meno marcata per l'incremento dei sedimenti più fini.

Nella spiaggia sottomarina i valori percentuali dei minerali pesanti sono bassi, pressochè uguali (0,3÷0,5%), ed associati a materiali granulometricamente più fini e unimodali (Fig. 9b).

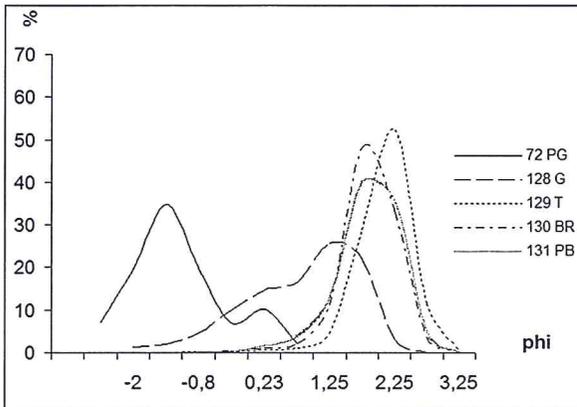


Figura 9a - La Liccia, curve di frequenza dei sedimenti delle unità morfologiche nella spiaggia sommersa.

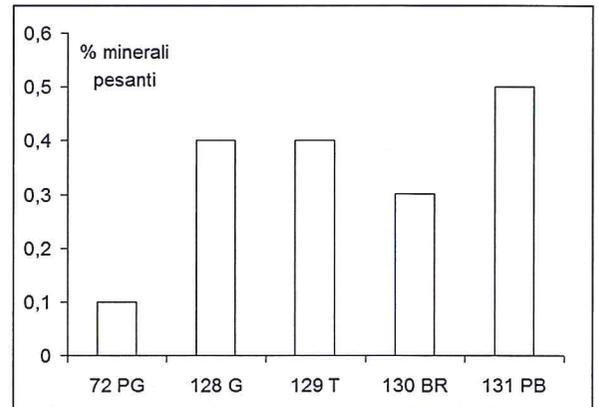


Figura 9b - La Liccia, percentuali dei minerali pesanti nelle varie unità morfologiche della spiaggia sommersa.

Rena Majori

I sedimenti di questa unità fisiografica sono costituiti da sabbie fini prevalentemente unimodali (Figg. 10a, 11a) in tutti i punti di campionatura tranne che nella battigia (M_z -0,18 ϕ , sabbie a grana molto grossa) (Tab.1), caratterizzata invece dalla presenza di una coda ben pronunciata di ghiaie. Si osserva una decisa uniformità granulometrica sulla spiaggia emersa (M_z tra 1,05 e 0,75 ϕ ; Sk_1 tra 0,01 e -0,15), meno evidente su quella sommersa (M_z tra 2,26 e 0,42 ϕ ; Sk_1 tra 0,01 e -0,11) dove permane la tendenza alla diminuzione di M_z verso il largo.

Le percentuali di minerali pesanti, comprese tra 0,3 e 1,4 (Figg. 10b, 11b), si discostano poco dai normali tenori, con i valori maggiori presenti su piede del gradino e sul piede duna, che non sembrano comunque legati a variazioni tessiturali, data l'assenza di mode secondarie e/o code fini.

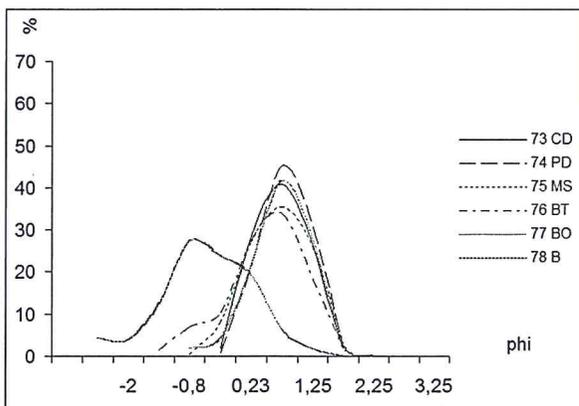


Figura 10a - Rena Majori, curve di frequenza dei sedimenti delle unità morfologiche nella spiaggia emersa.

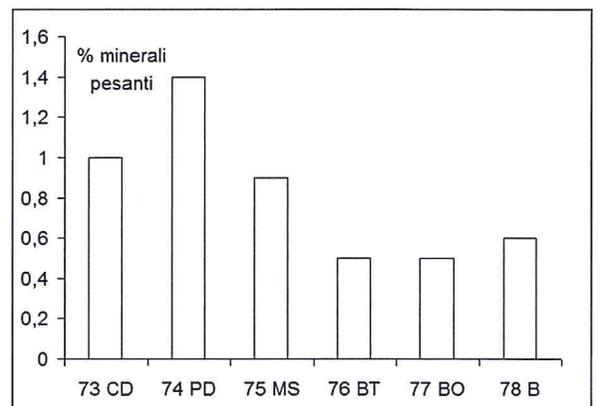


Figura 10b - Rena Majori, percentuali dei minerali pesanti nelle varie unità morfologiche della spiaggia emersa.

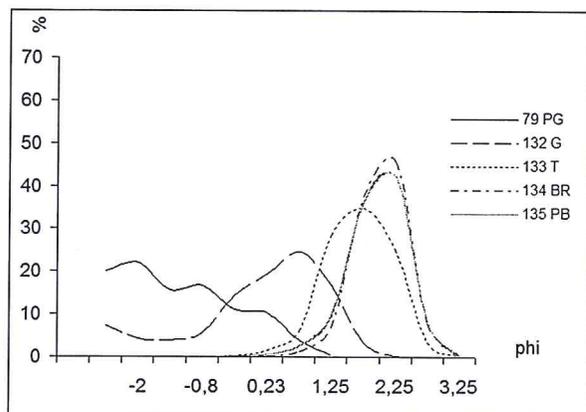


Figura 11a - Rena Majori, curve di frequenza delle unità morfologiche nella spiaggia sommersa.

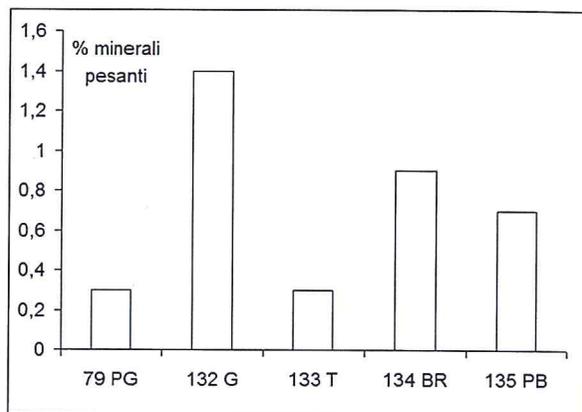


Figura 11b - Rena Majori, percentuali dei minerali pesanti nelle varie unità morfologiche della spiaggia sommersa.

Bureddaggia

I sedimenti sono costituiti da sabbie grosse prevalentemente unimodali sulla parte emersa (Mz tra 0,56 e 0,16 ϕ ; Sk_1 tra 0,10 e -0,20) e fini su quella sommersa (Mz tra 2,53 e 2,47 ϕ ; Sk_1 tra -0,01 e -0,03) (Figg. 12a, 13a; Tab. 1). Nella spiaggia sommersa il piede del gradino mostra invece una marcata bimodalità (79% sabbia e 21%

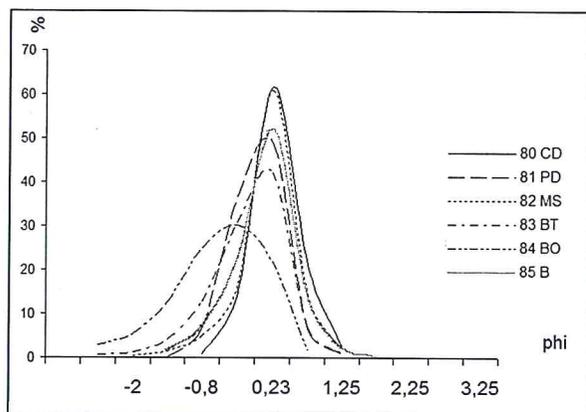


Figura 12a - Bureddaggia, curve di frequenza dei sedimenti delle unità morfologiche nella spiaggia emersa.

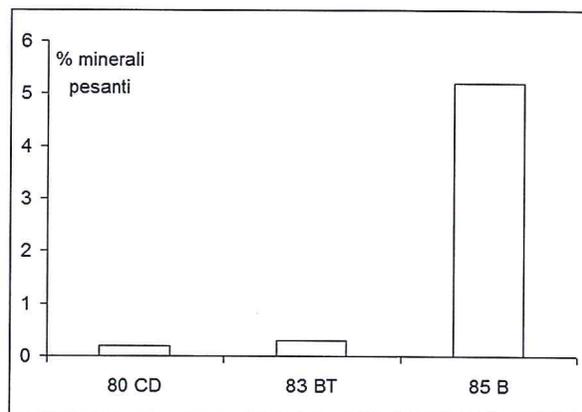


Figura 12b - Bureddaggia, percentuali dei minerali pesanti nelle varie unità morfologiche della spiaggia emersa.

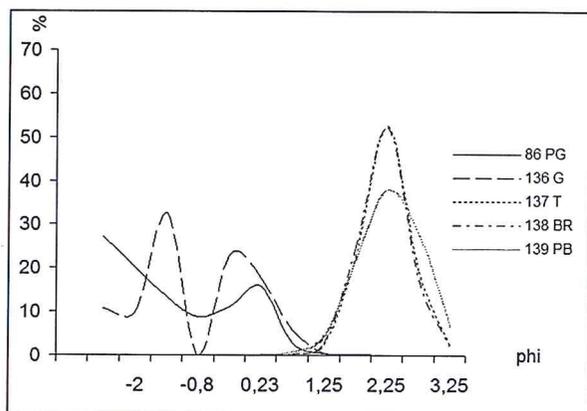


Figura 13a - Bureddaggia, curve di frequenza dei sedimenti delle unità morfologiche nella spiaggia sommersa.

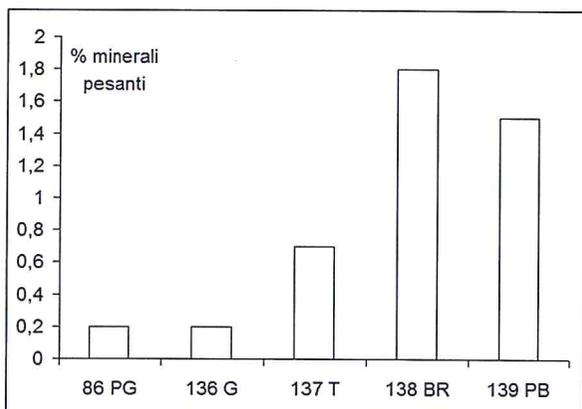


Figura 13b - Bureddaggia, percentuali dei minerali pesanti nelle varie unità morfologiche della spiaggia sommersa.

granuli; $Mz = -0,59 \phi$), più evidente che nelle altre spiagge di questo settore, con mode nell'ambito delle sabbie a grana grossa e granuli; non vi è variazione di Mz nelle unità distali.

Sulla battigia la percentuale di minerali pesanti è di 5,2% (Figg. 12b, 13b), di gran lunga superiore a quanto rilevato nelle spiagge immediatamente a nord. Anche nella spiaggia sommersa si nota un aumento nella presenza dei minerali pesanti verso il largo e rispetto alle altre spiagge, con tenori di 1,8% e 1,5% rispettivamente sulla barra e sul piede della barra.

Dall'analisi delle caratteristiche tessiturali emerge che la maggiore variazione granulometrica si osserva sulla battigia con il passaggio da sabbie a grana molto grossa a grossa, meglio selezionate, più leptocurtiche e asimmetrico negative, da La Liccia a Bureddaggia (Tab. 1 e Fig. 6), suggerendo un trasporto diretto verso sudovest.

I valori di Mz su barra e piede della barra evidenziano una debole diminuzione granulometrica verso sudovest ($2,43 \pm 2,14 \phi$, $2,53 \pm 2,11 \phi$) seguita da variazioni di σ_1 , Sk_1 e K_G , in accordo con la tendenza più evidente sulla battigia, ed associata all'approfondimento delle barre nella stessa direzione (Brambati e DeMuro, 1992). Nella spiaggia emersa i valori di Mz lungo le singole unità morfologiche sono omogenei ad eccezione della cresta della duna, dove i diametri medi diminuiscono invece verso oriente, secondo la direzione dei venti dominanti.

Tale carattere è tuttavia associato ad un peggioramento della selezione e a una forte asimmetria negativa, probabilmente dovuti a mescolamento con sedimenti più grossi provenienti dalla spiaggia emersa.

I tenori dei minerali pesanti vanno in generale aumentando verso sudovest, sui sedimenti della battigia e della spiaggia sommersa, in accordo con la diminuzione del diametro medio

I campioni prelevati alle isobate di 10 e 20 metri sono caratterizzati da sabbie medio-fini (Mz tra 1,50 e 2,20 ϕ). All'isobata 10 m (Tab. 1; Tav. 1) il diametro medio diminuisce, come sottoriva, verso sudovest; all'isobata 20 m tale variazione è opposta, in accordo con lo studio dei flussi di energia incidente (DeMuro et al., 2002; DeMuro, 2003). Plottando in carta questi dati si delinea una dispersione controllata da celle a circolazione oraria la cui forma ed estensione sono marcatamente condizionate dalla conformazione del fondale (Tav. 1).

Sud di Capo Monti Russu - Aree C, D e E

Spiagge di La Piana, Lu Litarroni, Naracu Nieddu (Area C)

A sud del Capo M.ti Russu (La Piana, Fig. 1) la spiaggia emersa è costituita da ghiaie; nella parte sommersa il valore di Mz è decisamente negativo non solo sul piede del gradino, unimodale e ben selezionato ($Mz = -1,18 \phi$), ma anche nel truogolo dove i sedimenti, costituiti da ghiaie e sabbie molto grosse ($Mz = -0,73 \phi$) sono bimodali e mal selezionati; tali caratteristiche sono attribuibili alla redistribuzione locale degli apporti grossolani del Rio Sperandeu.

Sulla barra si trovano invece i normali sedimenti medio-fini unimodali, asimmetrico negativi e poco selezionati (Mz fino a 1,78, $Sk_1 = -0,32$, $\sigma_1 = 0,73$). Sul piede della barra i sedimenti sono invece costituiti da sabbie a grana grossa, asimmetrico positive e mal selezionate ($Mz = 0,58 \phi$, $Sk_1 = 0,24$, $\sigma_1 = 0,92$) per la presenza di una seconda moda nell'ambito dei sedimenti fini (Tab. 1; Fig. 14a).

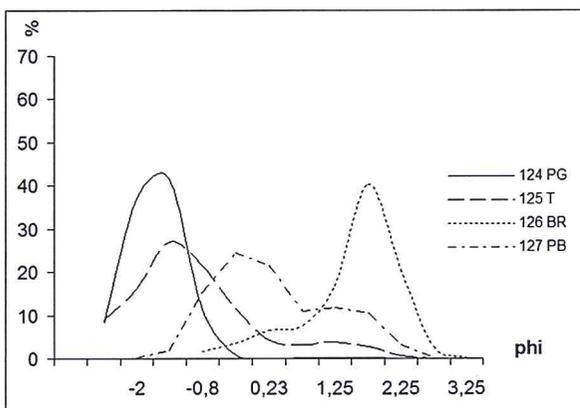


Figura 14a - La Piana, curve di frequenza delle unità morfologiche nella spiaggia sommersa.

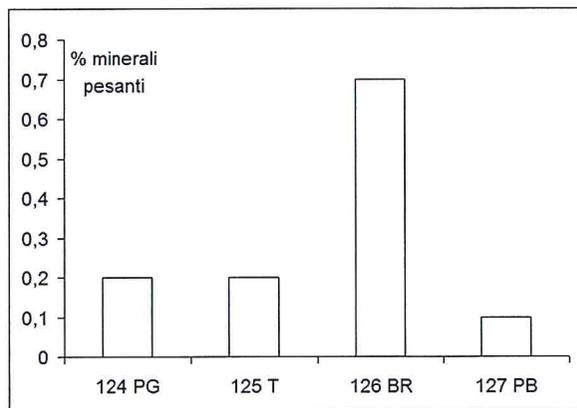


Figura 14b - La Piana, percentuali dei minerali pesanti nelle varie unità morfologiche della spiaggia sommersa.

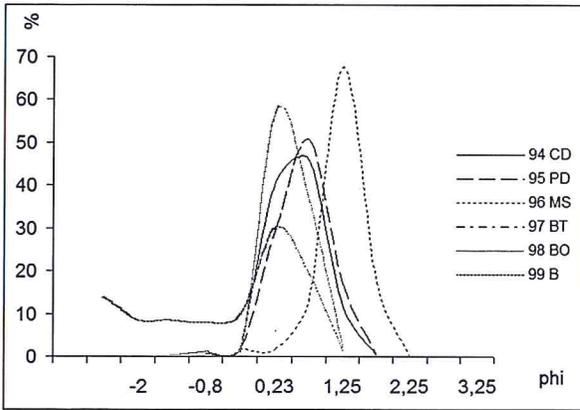


Figura 15a - Lu Litarroni, curve di frequenza dei sedimenti delle unità morfologiche nella spiaggia emersa.

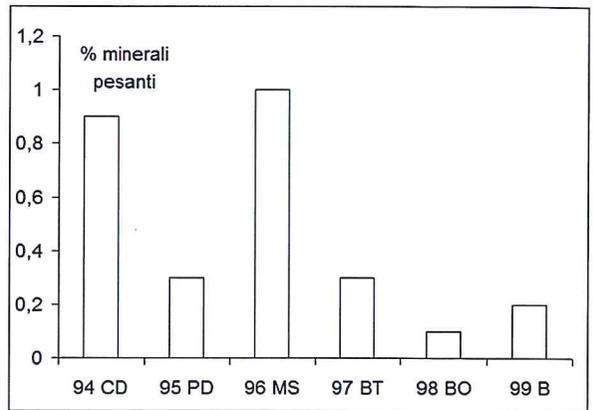


Figura 15b - Lu Litarroni, percentuali dei minerali pesanti nelle varie unità morfologiche della spiaggia emersa.

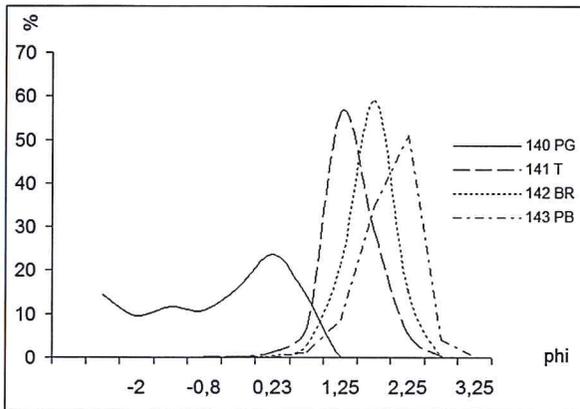


Figura 16a - Lu Litarroni, curve di frequenza dei sedimenti delle unità morfologiche nella spiaggia sommersa.

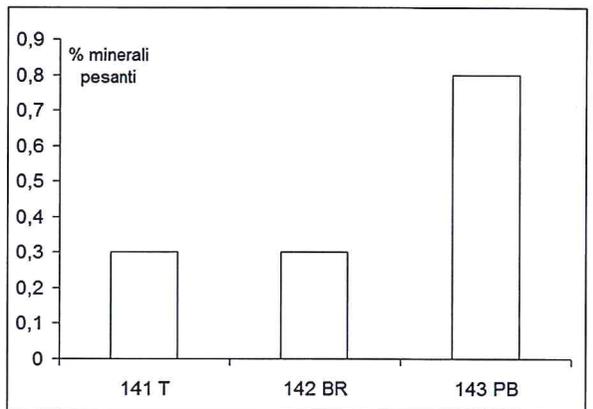


Figura 16b - Lu Litarroni, percentuali dei minerali pesanti nelle varie unità morfologiche della spiaggia sommersa.

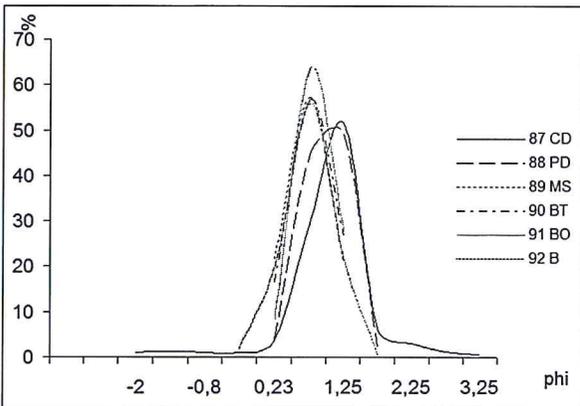


Figura 17a - Naracu Nieddu, curve di frequenza dei sedimenti delle unità morfologiche nella spiaggia emersa.

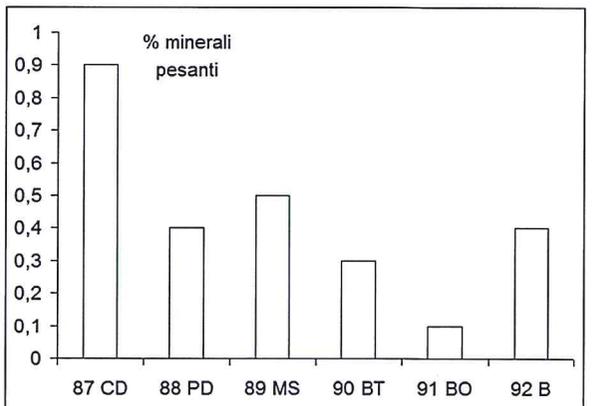


Figura 17b - Naracu Nieddu, percentuali dei minerali pesanti nelle varie unità morfologiche della spiaggia emersa.

A Lu Litarroni nella spiaggia emersa i valori di Mz ricadono nell'ambito delle sabbie a grana grossa (Mz tra 1,01 e 0,6 ϕ ; Tab. 1; Fig. 15a) con i sedimenti a granulometria maggiore localizzati su berma ordinaria e cresta della duna, e i più fini a metà spiaggia.

Le curve granulometriche sono unimodali, tranne quella della battigia, e caratterizzate da una coda pronunciata di sabbie molto grosse. Nella spiaggia sommersa, a parte i sedimenti del piede del gradino, decisamente

te a grana grossa e poco selezionati perché bimodali ($Mz = -0,43 \phi$, $\sigma_1 = 0,79$, $Sk_1 = 0,47$; Tab. 1; Fig. 16a), quelli delle altre unità mostrano solo una diminuzione del diametro medio procedendo verso il largo: Mz da 1,66 a 2,25 ϕ - da sabbie fini a molto fini.

All'isobata 10 m i valori di Mz (Tab 1, Tav. 1) sono compresi tra 2,19 e 0 ϕ , quelli di Sk_1 tra -0,24 e 0,65 e σ_1 da 0.44 a 0.90 ϕ ; si nota la tendenza alla diminuzione del granulo medio verso nordest accompagnata da un miglioramento della selezione.

A Naracu Nieddu, l'affioramento del basamento, seppur discontinuo, non permette la formazione di barre ben strutturate per cui la campionatura è limitata alla parte emersa; nessuna differenziazione tessiturale di rilievo è presente tra le unità morfologiche (sabbie medie unimodali ed Mz compreso tra 0,83 e 1,11 ϕ) (Fig. 16a). I valori dei diametri medi dei campioni prelevati in battigia evidenziano la dispersione verso sudovest (Tav. 1). Questo trend è in accordo con la direzione di trasporto lungo costa indicata dall'applicazione del modello SMB (DeMuro et al., 2002; DeMuro, 2003); sottoriva, invece, è opposto, ad indicare l'esistenza anche in quest'area di celle di circolazione a rotazione oraria.

Da Capo di Monti Russu fino alla foce del Vignola, lungo un allineamento orientato nord-est sud-ovest, parallelo all'attuale linea di costa, si osservano alla profondità di circa -20 metri sabbie molto grosse (Mz da 0,17 a -0,27 ϕ) (Tab. 1; Tav. 1), caratterizzate da un discreto grado di bimodalità e di accentuati valori positivi di Sk_1 (fino a 0,74).

Questi sedimenti sono tipici della fascia di transizione compresa tra il piede del gradino e le berme. Potrebbe dunque trattarsi di sedimenti relitti associabili alle paleo linee di riva oloceniche già ricostruite da Brambati e DeMuro (1992), parzialmente rielaborati dalla intensa dinamica attuale (DeMuro et al., 2002; DeMuro, 2003).

In tutta l'area, nell'intero corpo di spiaggia, i tenori dei minerali pesanti rimangono al di sotto del 1%, con i valori relativamente più elevati in corrispondenza della cresta della duna e di metà spiaggia, in concomitanza con l'incremento delle frazioni fini (Figg. 16b, 17b).

Lungo la battigia si ha l'incremento dei valori verso l'estremità sud-occidentale, con notevole arricchimento nei due campioni a granulometria più fine (C33 = 2,1%, C0 = 99,4%), indicanti l'esistenza nella spiaggia di Naracu Nieddu di un'area di accumulo (Tab. 1; Fig. 18).

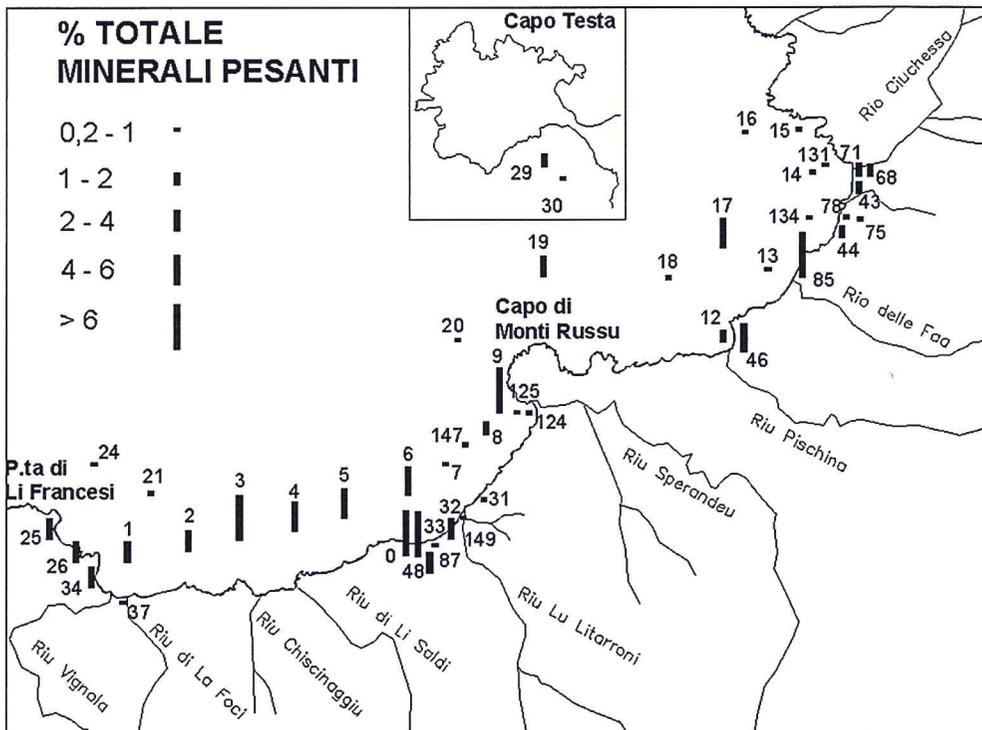


Figura 18 - Ubicazione dei campioni utilizzati per l'analisi mineralogica e sintesi della distribuzione delle percentuali totali dei minerali pesanti.

Spiaggia di Lu Tuvunatu (Area D)

La spiaggia emersa è costituita da ghiaie e ciottoli. Nella parte sommersa all'isobata 10 metri i valori di Mz (C3, C5, Tab. 1, Tav. 1) sono compresi tra 0,18 e 0,7 ϕ , quelli di Sk_f tra 0,01 e -0,24 e quelli di σ_1 tra 0,47 e 0,51 ϕ ; si nota ancora la tendenza alla diminuzione del granulo medio verso nordest insieme al miglioramento della selezione e ad un incremento della negatività dell' Sk_f . Su questi campioni i tenori di minerali pesanti (Tab. 1; Fig. 18) sono piuttosto elevati (C3 = 8,9, C5 = 5,9%).

Spiaggia di Vignola (Area E)

Sulla spiaggia emersa orientale si hanno sedimenti a granulometria molto grossa, bimodali sulla berma ordinaria (Fig. 19a). I valori del diametro medio sono compresi tra 0,0 ϕ sulla cresta della duna e -1,14 ϕ sulla berma di tempesta (Tab. 1). Le sabbie del piede del gradino sono fortemente bimodali con la moda principale nel campo delle sabbie a grana grossa e l'altra nel campo delle sabbie fini.

Nella traversa occidentale, presso la foce del Vignola, il diametro medio diminuisce dalla battigia ($Mz = -0,74 \phi$) alla cresta della duna ($Mz = 0,06 \phi$); è evidente la netta bimodalità nella berma ordinaria (Fig. 20), con la moda principale a grana leggermente più grossa rispetto alla battigia, e quella secondaria nettamente spostata su frazioni più fini, peraltro non presenti in quantità significative sulle altre unità di spiaggia emersa.

L'analisi delle caratteristiche tessiturali dei campioni di battigia provenienti dalle due traverse eseguite in primavera, e di quelli prelevati durante l'inverno (Figg. 6, 7, Tab. 1), indica che i sedimenti diventano più fini, meglio selezionati e asimmetrico negativi procedendo verso nordovest. La stessa tendenza è rilevabile nelle stazioni di -10 m di quest'area.

La percentuale di minerali pesanti (Tab. 1; Fig. 18), stimata su alcuni campioni di battigia ubicati prevalentemente a nordovest della foce del Rio Vignola, mostra tenori del 2,5%. All'isobata di 10 metri si hanno valori pari a 3-4%, mentre in quella di 20 metri rimangono al di sotto dell'1%.

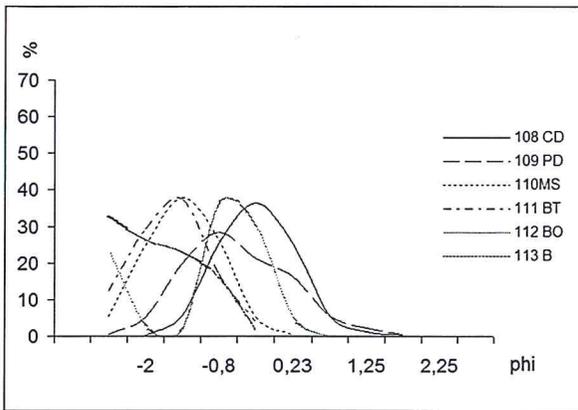


Figura 19a - Vignola E, curve di frequenza dei sedimenti delle unità morfologiche nella spiaggia emersa.

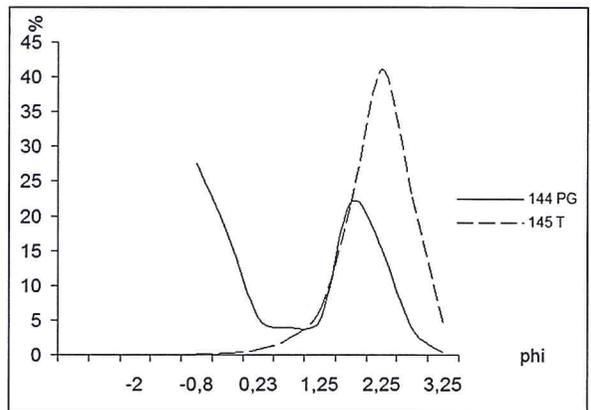


Figura 19b - Vignola E, curve di frequenza dei sedimenti delle unità morfologiche nella spiaggia sommersa.

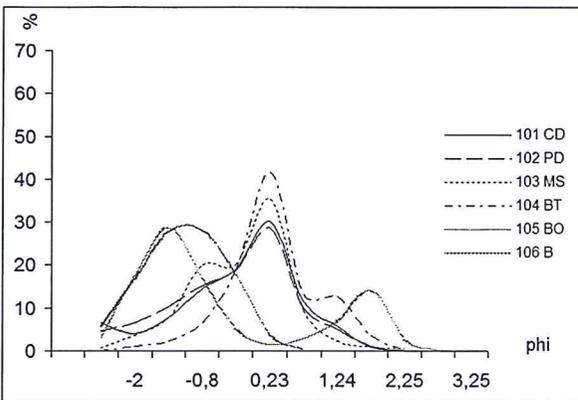


Figura 20 - Vignola W, curve di frequenza delle unità morfologiche nella spiaggia emersa

Composizione mineralogica della frazione pesante.

L'analisi della composizione mineralogica della frazione pesante evidenzia che circa la metà dei campioni non si discosta molto dai tenori normali (0,1-1,0%) indicati da Folk (1980), mentre i restanti mostrano una certa variabilità con percentuali che in due casi superano il 90% (C9 = 94%, C0 = 99%). I campioni C9 e C10 fanno parte della cella C (Tav. 1): questo settore risulta morfologicamente il più complesso dell'area.

Il basamento cristallino affiora con il corteo filoniano delineando delle barriere diagonali rispetto alla spiaggia orientate sudovest nordest (Fig. 3), che generano di fatto delle trappole sedimentarie per la frazione fine nelle quali i minerali pesanti originano dei veri e propri *placers*. Inoltre, verso mare il sistema di paleospieggie

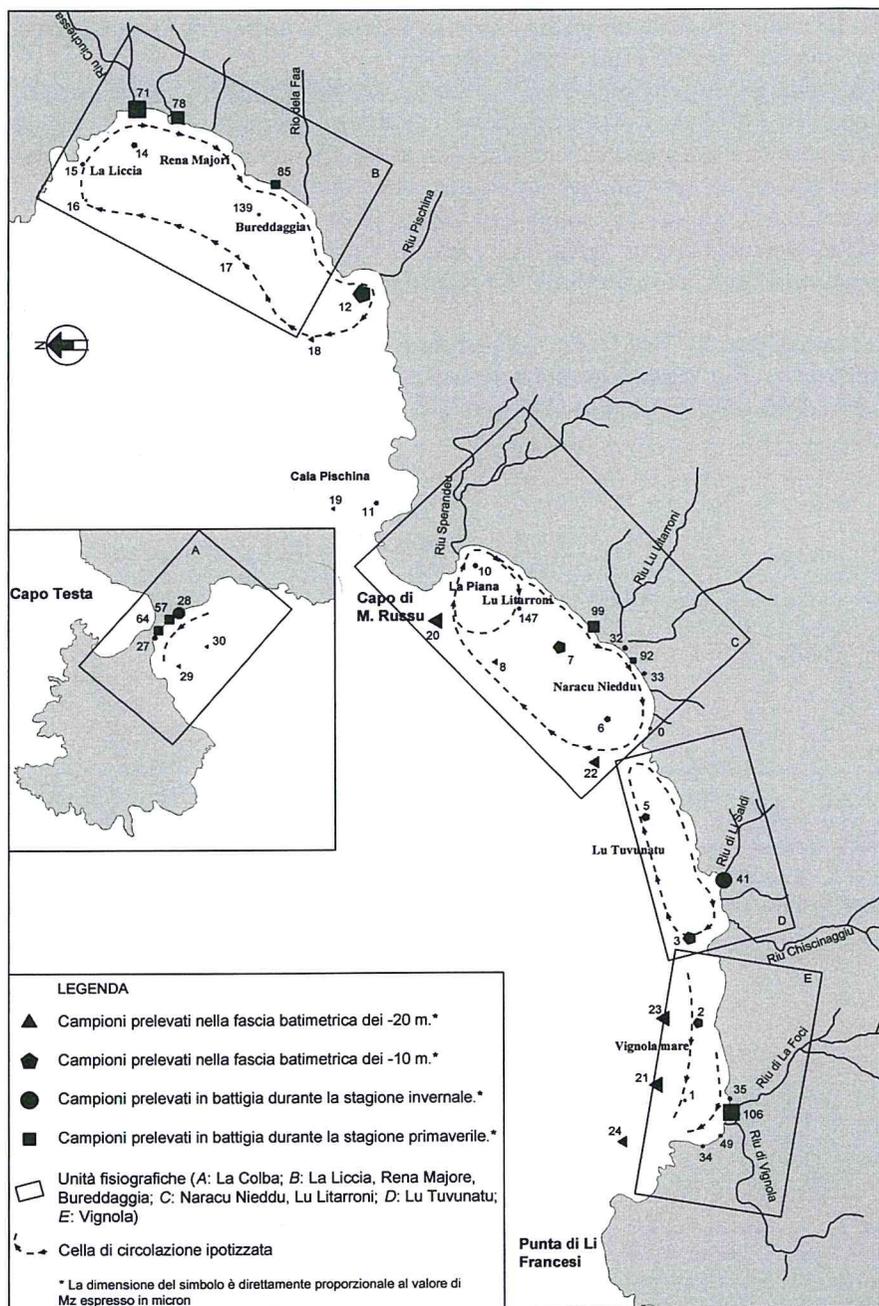


Tavola 1 - Schema della dispersione dei sedimenti lungo la battigia e nella spiaggia sommersa dell'area in studio.

disposto parallelamente alla attuale linea di costa controlla e delimita ulteriormente la circolazione e lo scambio *inshore - offshore*, confinando di fatto le facies sedimentarie terrigene tra 0 e -20 metri (Fig. 3).

I minerali che sono stati riscontrati in quantità arealmente significativa sono i seguenti: Epidoto (Pistacite), Pirosseni (Augite, Iperstene), Anfiboli (Orneblenda), Granato, Andalusite, Sillimanite, Staurolite,

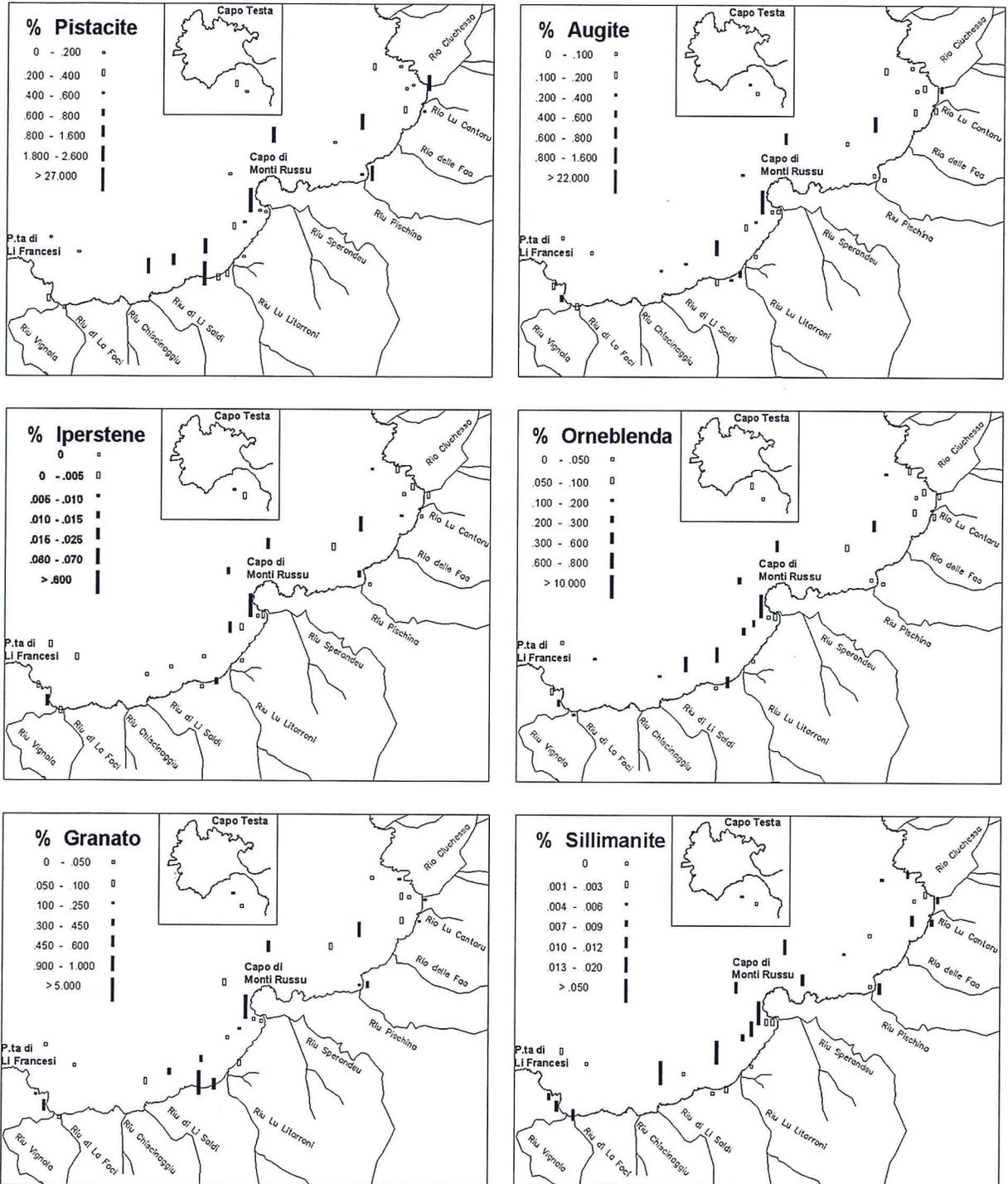


Figura 21a - Ubicazione dei campioni utilizzati per l'analisi mineralogica e sintesi della distribuzione delle percentuali dei vari minerali studiati.

Tormalina, Zircon e altri presenti in percentuali rilevanti solo in alcuni campioni (Tab. 2-3). La loro distribuzione è visualizzata nelle Figure 21a e 21b.

Le specie mineralogiche riconosciute sono del tutto compatibili con la mineralogia dei bacini dei corsi d'acqua che si riversano nell'area studiata.

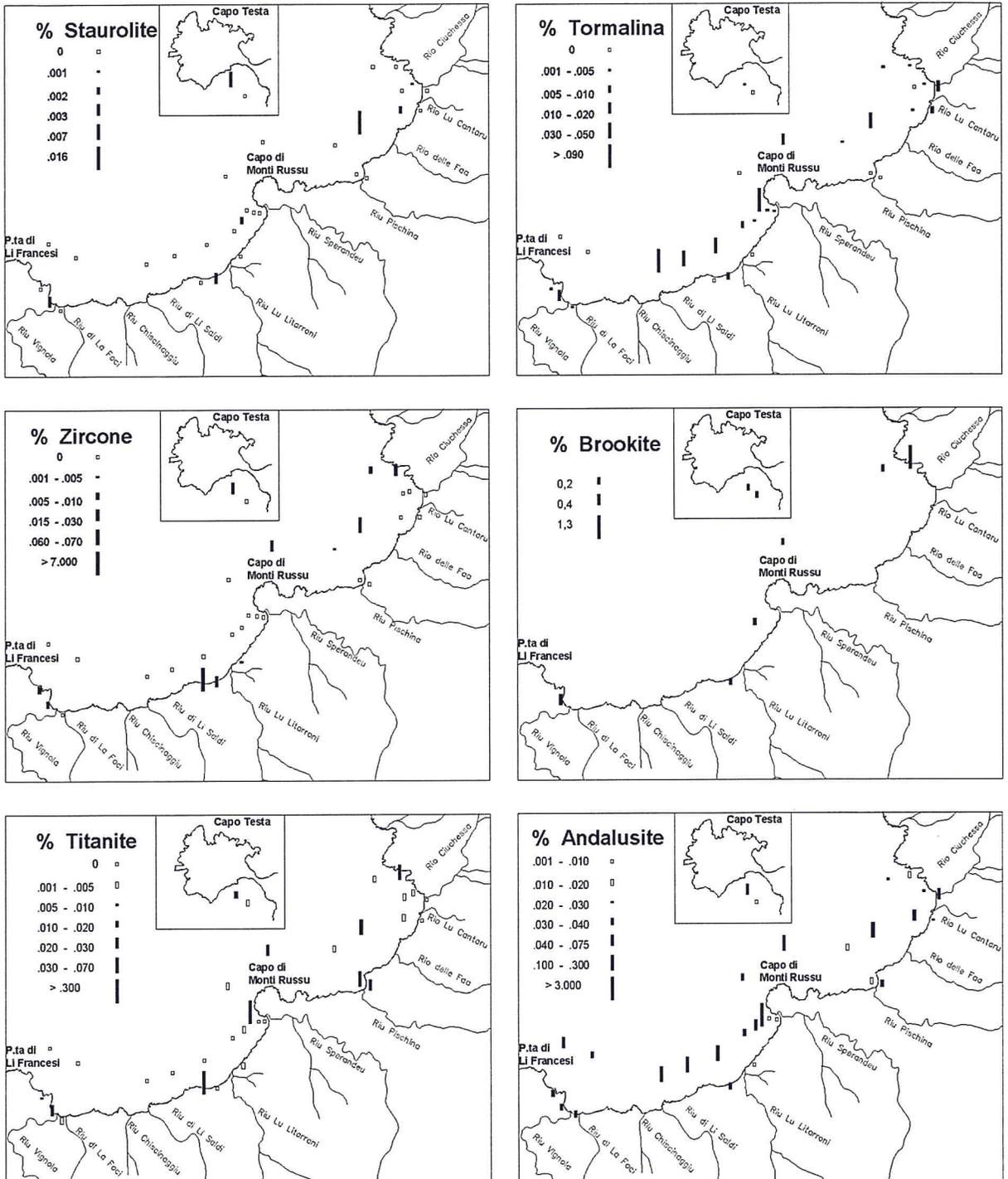


Figura 21b - Ubicazione dei campioni utilizzati per l'analisi mineralogica e sintesi della distribuzione delle percentuali dei vari minerali studiati.

Conclusioni.

Le spiagge studiate sono da ritenersi sostanzialmente in equilibrio naturale. Modificazioni nel profilo longitudinale e trasversale avvengono in concomitanza con le normali fasi ripascitive ed erosive, che consentono movimentazione e redistribuzione di grandi quantità di sabbie, sia longitudinalmente che trasversalmente, all'interno di ciascuna unità fisiografica e delle singole celle.

Gli apporti sedimentari sono assicurati alle diverse unità dai corsi d'acqua e dai depositi eolici pleistocenici e olocenici. In alcuni casi l'azione del moto ondoso è efficace fino alla base della duna, che costituisce un elemento morfologico e sedimentario indispensabile al fine di garantire nuovi apporti al sistema. Tra questi sedimenti avvengono fenomeni di mescolamento con scambi continui tra terra e mare e viceversa in occasione degli eventi meteomarinari più significativi; si generano sedimenti bimodali e polimodali in alcune unità morfologiche; si tratta principalmente delle berme e della battigia nella spiaggia emersa, e del piede del gradino nella spiaggia sottomarina.

Il parametro Mz, che meno risente della polimodalità presente in parte dei sedimenti analizzati, è quello che meglio ha permesso di individuare lungo la battigia, nelle traverse complete e alle batimetriche di 10 m e 20 m, alcune tendenze di dispersione dei sedimenti, localmente indicate anche dagli altri parametri granulometrici e dalle percentuali totali di minerali pesanti.

Tabella 2 - Composizione mineralogica del contenuto in minerali pesanti nei sedimenti analizzati.

Campione	C0	C4	C5	C6	C8	C9	C12	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C24	C26
% su totale campione	99,2	4,5	5,9	5,2	1,4	93,9	1,7	0,4	0,8	0,7	5,6	0,5	3,9	0,9	0,5	0,3	2,5
PISTACITE	30,462	2,562	1,622	1,930	0,478	27,269	0,501	0,017	0,200	0,272	1,512	0,098	0,815	0,187	0,075	0,111	0,376
AUGITE	0,125	0,260	0,332	0,863	0,294	22,476	0,038	0,019	0,089	0,110	0,945	0,086	0,702	0,213	0,078	0,030	0,158
IPERSTENE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,661	0,013	0,000	0,003	0,007	0,066	0,002	0,022	0,012	0,003	0,001	0,005
ENSTATITE	0,000	0,000	0,000	0,023	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ORNEB.V.	0,000	0,180	0,737	0,795	0,214	11,899	0,025	0,024	0,079	0,120	0,559	0,061	0,601	0,229	0,122	0,016	0,084
PICOTITE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
ANATASIO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
ANDALUSITE	0,000	0,140	0,258	0,182	0,049	3,305	0,013	0,000	0,019	0,021	0,156	0,018	0,135	0,039	0,034	0,009	0,037
STAUROLITE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SILLIMANITE	0,000	0,060	0,000	0,091	0,017	0,661	0,006	0,000	0,007	0,004	0,000	0,005	0,017	0,010	0,000	0,002	0,009
GRANATO	5,641	0,100	0,405	0,477	0,148	7,106	0,146	0,084	0,101	0,037	1,027	0,080	0,562	0,091	0,034	0,048	0,121
OLIVINA	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
TORMALINA	0,000	0,100	0,037	0,045	0,005	0,661	0,000	0,000	0,003	0,004	0,033	0,004	0,017	0,000	0,000	0,000	0,005
ZIRCONO	7,521	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,007	0,066	0,001	0,022	0,000	0,000	0,000	0,009
TITANITE	3,886	0,000	0,000	0,000	0,002	0,331	0,032	0,002	0,035	0,001	0,066	0,004	0,022	0,001	0,000	0,000	0,009
RUTILO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
BROOKITE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,007	0,001	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000
APATITE	0,000	0,000	0,037	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
PISTACITE	63,9	75,3	47,3	43,8	39,4	36,7	64,8	11,8	35,7	46,4	34,0	27,3	27,9	23,7	21,6	51,3	46,3
AUGITE	0,3	7,6	9,7	19,6	24,2	30,2	4,9	13,2	15,8	18,8	21,3	24,1	24,0	27,1	22,5	13,7	19,4
IPERSTENE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,9	1,6	0,0	0,6	1,1	1,5	0,5	0,8	1,5	1,0	0,3	0,6
ENSTATITE	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ORNEB.V.	0,0	5,3	21,5	18,0	17,6	16,0	3,3	16,2	14,2	20,4	12,6	17,1	20,6	29,1	35,3	7,3	10,3
PICOTITE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
ANATASIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
ANDALUSITE	0,0	4,1	7,5	4,1	4,0	4,4	1,6	0,0	3,3	3,6	3,5	5,0	4,6	5,0	9,8	4,3	4,6
STAUROLITE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SILLIMANITE	0,0	1,8	0,0	2,1	1,4	0,9	0,8	0,0	1,3	0,7	0,0	1,5	0,6	1,3	0,0	1,0	1,1
GRANATO	11,8	2,9	11,8	10,8	12,2	9,6	18,9	57,4	18,0	6,3	23,1	22,3	19,2	11,5	9,8	22,0	14,9
OLIVINA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
TORMALINA	0,0	2,9	1,1	1,0	0,4	0,9	0,0	0,0	0,6	0,7	0,7	1,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,6
ZIRCONO	15,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	1,1	1,5	0,2	0,8	0,0	0,0	0,0	1,1
TITANITE	8,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	4,1	1,5	6,3	0,2	1,5	1,0	0,8	0,2	0,0	0,0	1,1
RUTILO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BROOKITE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	1,3	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
APATITE	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Totale Trasparenti	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
TRASPARENTI	48,02	75,6	58,1	84,7	86,7	79,2	45,5	36,6	70,1	83,9	79,4	71,5	74,9	87,5	69,4	72,3	32,5
OPACHI	51,08	11,1	19,4	11,8	7,1	10,4	32,8	48,9	25,4	9,9	21,7	18,1	19,9	6,5	15	13,5	65,3
TORBIDI	0	13,3	22,5	3,5	6,2	10,4	21,6	14,5	4,5	6,3	3,3	10,5	5,2	6	15,6	14,2	2,2

Nei tratti di costa orientati nordest-sudovest (spiagge di La Liccia, Rena Maggiore, Bureddaggia, Lu Litarroni, Naracu Nieddu, Lu Tuvunatu) dall'analisi del diametro medio lungo la battigia si evidenzia la dispersione da nordest verso sudovest mentre alle profondità maggiori di 10 metri la dispersione risulta di verso opposto in accordo con lo studio dei flussi di energia incidente (DeMuro et al., 2002; DeMuro, 2003). Trasferendo in carta questi dati si delinea una dispersione controllata da celle a circolazione oraria la cui forma, estensione e dinamica, alla scala dell'osservazione stagionale, sono fortemente condizionate dalla conformazione del fondale e dipendenti dalle condizioni meteomarine (Fig. 3 e Tav 1) che hanno preceduto la campionatura. Nelle unità fisiografiche orientate nordovest-sudest (spiagge di Vignola e di La Colba) sembra che prevalga un trasporto parallelo alla costa orientato da sudest verso nord ovest.

Nel settore compreso tra Capo di M.ti Russu e Punta di li Francesi, inoltre, alla batimetria dei 20 metri, lungo un allineamento orientato nord-est sud-ovest, parallelo alla attuale linea di costa, i parametri sedimentologici evidenziano l'esistenza di sedimenti relitti in scarsa relazione con la dispersione attuale. I caratteri tessiturali riscontrati, elevati valori di M_z (da -0,27 a 0,17 j), discreto grado di bimodalità e accentuati valori positivi di Sk_f (fino a 0,74), sono tipici della fascia di transizione nonchè compresa tra il piede del gradino e le berme. Potrebbe dunque trattarsi di sedimenti relitti riferibili alle paleolinee di riva oloceniche già ricostruite da Brambati e DeMuro (1992), e rielaborati dalla intensa dinamica attuale (DeMuro et al., 2002; DeMuro, 2003), che di fatto rimangono confinati dall'affioramento delle *beach rocks* (Fig. 3).

Tabella 3 - Composizione mineralogica del contenuto in minerali pesanti nei sedimenti analizzati.

Campione	C29	C30	C31	C33	C34	C37	C46	C68	C75	C87	C124	C125	C131	C134	C147	C149
% su totale campione	1,1	0,1	0,5	2,1	2,3	0,5	4,9	1,8	0,9	0,9	0,2	0,2	0,5	0,9	1	2,7
PISTACITE	0,312	0,029	0,040	0,208	0,356	0,102	1,183	0,737	0,420	0,363	0,027	0,098	0,184	0,365	0,281	0,395
AUGITE	0,270	0,033	0,003	0,284	0,593	0,119	0,000	0,498	0,145	0,101	0,026	0,006	0,104	0,187	0,178	0,426
IPERSTENE	0,007	0,001	0,000	0,015	0,020	0,001	0,000	0,004	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,008	0,019	0,009
ENSTATITE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ORNEB.V.	0,095	0,012	0,004	0,132	0,261	0,118	0,000	0,096	0,057	0,032	0,061	0,029	0,055	0,082	0,212	0,269
PICOTITE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ANATASIO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ANDALUSITE	0,042	0,004	0,001	0,018	0,034	0,031	0,032	0,075	0,026	0,025	0,009	0,007	0,025	0,043	0,035	0,074
STAUROLITE	0,007	0,000	0,000	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000
SILLIMANITE	0,005	0,000	0,000	0,003	0,010	0,010	0,011	0,008	0,008	0,000	0,002	0,002	0,003	0,012	0,009	0,000
GRANATO	0,130	0,008	0,087	0,545	0,461	0,017	0,330	0,218	0,119	0,161	0,006	0,008	0,043	0,078	0,044	0,539
OLIVINA	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
TORMALINA	0,005	0,000	0,000	0,009	0,020	0,003	0,000	0,013	0,008	0,000	0,003	0,001	0,005	0,003	0,010	0,013
ZIRCONI	0,026	0,000	0,002	0,026	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,043
TITANITE	0,016	0,002	0,001	0,000	0,030	0,001	0,021	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,004	0,002	0,000	0,026
RUTILO	0,004	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
BROOKITE	0,002	0,000	0,000	0,003	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
APATITE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
PISTACITE	33,9	32,0	28,9	16,7	19,7	25,2	75,0	44,7	53,3	53,0	19,8	65,2	43,1	46,8	35,6	22,0
AUGITE	29,3	37,3	2,1	22,8	32,8	29,5	0,0	30,2	18,4	14,7	19,1	3,7	24,3	24,0	22,6	23,7
IPERSTENE	0,8	1,5	0,0	1,2	1,1	0,2	0,0	0,3	0,0	0,0	1,5	0,0	0,6	1,0	2,4	0,5
ENSTATITE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ORNEB.V.	10,3	13,4	2,6	10,6	14,4	29,3	0,0	5,8	7,2	4,6	44,3	19,3	12,8	10,5	26,9	15,0
PICOTITE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ANATASIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ANDALUSITE	4,6	4,5	0,5	1,4	1,9	7,8	2,0	4,6	3,3	3,7	6,9	4,3	5,7	5,5	4,5	4,1
STAUROLITE	0,8	0,2	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0
SILLIMANITE	0,6	0,0	0,0	0,2	0,6	2,6	0,7	0,5	1,0	0,0	1,5	1,2	0,8	1,6	1,1	0,0
GRANATO	14,1	8,7	63,4	43,7	25,5	4,3	20,9	13,2	15,1	23,5	4,6	5,6	10,2	9,9	5,6	30,0
OLIVINA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
TORMALINA	0,6	0,4	0,0	0,7	1,1	0,9	0,0	0,8	1,0	0,0	2,3	0,6	1,1	0,4	1,3	0,7
ZIRCONI	2,9	0,2	1,5	2,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4
TITANITE	1,7	1,7	1,0	0,0	1,7	0,2	1,4	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	1,0	0,2	0,0	1,4
RUTILO	0,4	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
BROOKITE	0,2	0,2	0,0	0,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
APATITE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Totale Trasparenti	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
TRASARENTI	83,6	89,5	27,4	59,4	78,5	80,6	32,2	91,6	87,6	76,1	68,6	75,2	85,3	86,8	78,8	66,6
OPACHI	14,2	7,9	70,8	37,8	15,9	5,7	54,9	3,5	8,6	20,4	13,6	6,5	8,3	5,2	6,5	29,1
TORBIDI	2,2	2,5	1,8	2,8	5,6	13,7	12,9	4,9	3,7	3,5	17,8	18,2	6,4	8	14,7	4,3

Dallo studio dei minerali pesanti è stata riconosciuta una provenienza da rocce magmatiche intrusive, effusive e metamorfiche. E' stata osservata una netta predominanza di Epidoto, nella sua varietà più diffusa Pistacite, rispetto alla Clinozoisite, nonché di Anfiboli (Orneblenda verde) e Pirosseni. Sono presenti inoltre subordinatamente: Granati, Zircone, Picotite, Anatasio, Andalusite, Staurolite, Sillimanite, Olivina, Tormalina, Titanite, Rutilo e Brookite, con basse percentuali di Apatite.

Trasversalmente alle spiagge si osservano percentuali elevate di minerali pesanti sulla cresta della duna, con diminuzione sulle berme e un relativo aumento sulla battigia. Nella spiaggia sottomarina i valori di concentrazione più elevati sono stati osservati sul piede della barra e in particolari zone di accumulo che vanno a costituire veri e propri *placers*. Sulla battigia si osservano, in linea generale, valori percentuali crescenti da nord verso sud.

Allo stato attuale delle ricerche la distribuzione delle differenti specie mineralogiche pesanti non consente di individuare direzioni di dispersione preferenziali. Il loro utilizzo come traccianti è infatti limitato dalla omogeneità di apporti in termini di specie minerali dei bacini idrografici che alimentano il settore costiero in esame. Invece la distribuzione delle percentuali totali, sia lungoriva che in piattaforma interna, mostra una maggiore possibilità di utilizzo ai fini delle modalità di dispersione.

Ringraziamenti

Lavoro eseguito nell'ambito del Progetto Interreg III "Geologia e geomorfologia terrestre e marina dell'insieme Corsica-Sardegna e della Toscana e applicazioni" e del Progetto MPI 60% " Ricostruzioni paleoclimatiche e paleogeografiche pleistocenico-oloceniche da sedimenti marini e continentali della Sardegna".

Bibliografia

- Bralia A., Ghezzi C., Guasparri G. e Sabatini G. (1982) - *Aspetti genetici del batolite sardo-corso*. Rend. Soc. Min. e Petr., 38, 2: 701-764.
- Brambati A. e DeMuro S. (1992) - *Dynamics of the bar and trough zone between Capo Testa e Punta di li Francesi*. Northern Sardinia. Boll. Oceanol. Teor. Appl., Trieste, 10: 165-179.
- Brambati A. e DeMuro S. (1992b) - *Notes on the geomorphological map of the area between Capo Testa and Punta di li Francesi (Northern Sardinia, Italy)*. Boll. Oceanol. Teor. e Appl., 10, 2-3-4: 133-148.
- Brambati A. e DeMuro S. (1992c) - *Submerged coastlines in the sector between Capo Testa and Punta di li Francesi (northern Sardinia)*. Geomorphological and Sedimentological aspects. Boll. Oceanol. Teor. Appl., Trieste, 10: 149-164.
- Brambati A., DeMuro S. e Forti S. (1992) - *L'utilisation de la Microscopie Electronique à Balayage pour l'étude morphoscopique et exoscopique des quartz appliquée à l'identification des environnements de paléo-plages. Recherches dans le secteur compris entre Capo Testa et Punta di li Francesi (Sardegna Septentrionale)*. Rapp. Comm. int Mer Médit., 33, pp. 120.
- Cannillo C., Di Gregorio F., Ferrara C. e Ibba A. (1997) - *Caratteristiche geoambientali delle dune costiere della baia di Porto Pino*. Mem. Descr. Carta. Geol. d'It., LII: 191-206.
- Carmignani ed. (1966) - *Carta geologica della Sardegna scala 1:200.000*. Serv. Geol. Naz., L.A.C., Firenze.
- Carobene L. e Brambati A. (1975) - *Metodo per l'analisi morfologica quantitativa delle spiagge*. Boll. Soc. Geol. It., 94: 479-493.
- DeMuro S. (1990) - *Carta geomorfologica del settore compreso tra Capo Testa e Punta di li Francesi*. Tesi di dottorato in "Oceanografia geologica e risorse", Trieste.
- DeMuro S. (2003) - *Erosion case study. Lu Littarroni, La Liscia - Isle of Sardegna, Italy*. Wp 4.1 report of UAB Pilot Sites Erosion, www.euroasion.org, <http://www.euroasion.org/shoreline/table.htm>.
- DeMuro S., Ferrara C. e Ibba A. (2002) - *Caratteristiche sedimentologiche delle spiagge tra Capo Testa e Punta di li Francesi - Nord Sardegna*. Proceeding International Congress: Environment and Identity in the Mediterranean, Tome 4: 559-575.
- DeMuro S., Follesa R. e Ibba A. (2002) - *Regime, dynamics and balance on the coast between punta di li Francesi and Capo Testa - Northern Sardinia*. Proceeding International Congress: Environment and Identity in the Mediterranean, Tome 4: 577-589.
- Di Gregorio F., Ferrara C. e Ibba A. (1999) - *Geoenvironmental features and human impact in a transitional system in SW Sardinia (Italy)*. Spec. vol. EUCC, pp. 22.

- Folk R.L. (1980) - *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill's, Austin, Texas: pp. 184.
- Folk R.L. e Ward W.C. (1957) - *Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters*. J. Sediment. Petrol., 27: 3-26.
- Ghezzi C. e Orsini J.B. (1982) - *Lineamenti strutturali e composizionali del batolite ercinico sardo-corso in Sardegna*. In: Guida alla Geologia del Paleozoico sardo. Guide Geologiche Regionali. Soc. Geol. It.: 165-181.
- Krumbein W.C. e Pettijohn F.J. (1938) - *Manual of sedimentary petrography*. Appleton Century Crofts, New York, pp. 549.
- McLaren P. (1981) - *An interpretation of trends in grain size measures*. J. Sediment. Petrol., 51: 611-624.
- Milner H.B. (1962) - *Methods in sedimentary petrography. Principles and applications*. Vol. 2, pp. 715. New York. Macmillan.
- Ricci C. A. (1992) - *From structural thickening to exhumation: petrological, structural and geochronological records in the crystalline basement of the northern Sardinia*. In: Contribution to the Geology of Italy with special regards to the Paleozoic basement. A volume dedicated to Tommaso Coccozza. L. Carmignani e F. P. Sassi. Eds, IGCP n° 276, Newsletter, 5: 187-197.

Manoscritto ricevuto il 15/12/2003, accettato il 20/5/2004.