



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

COMUNE DI PULA

PROGETTO DI MANUTENZIONE PERIODICA DEL LITORALE ANTISTANTE IL FORTE VILLAGE RESORT INTERVENTO DI RIPASCIMENTO ANNUALE DI MEDIA ENTITA' AI SENSI DEL D.M. 173/2016

A

RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA

RIF. ELABORATO: 17-006

REVISIONI	DATA		OGGETTO
	00	30-10-2017	
	01		
	02		
	03		
RED.: FP VER.: FR APPR.: AR			

ESECUZIONE PROGETTO:



Viale Trieste, 65/1 - 09123 Cagliari - Italy
Tel. +39 070 6848202 - Fax +39 070 6404743
www.martech.it e-mail: info@martech.it



PROGETTISTA:



Ing. Andrea Ritossa

Dott. Ing. ANDREA RITOSSA

COMMITTENTE:

PROGETTO ESMERALDA S.R.L.

Il presente progetto, o parte di esso, non può essere riprodotto in alcuna forma, in alcun modo e per nessuno scopo, senza autorizzazione.
Ogni infrazione sarà perseguita a termini di legge.

Indice

1	Premessa	1
2	Inquadramento dell'area e situazione attuale	2
3	Cause di arretramento del litorale in oggetto.....	7
4	Analisi descrittiva del profilo trasversale e Trattazione analitica sulla connotazione granulometrica	9
5	Inquadramento meteomarinario del sito	18
5.1	Moto ondoso.....	18
5.2	Risultati delle simulazioni compiute con i modelli numerici.....	21
6	Caratterizzazione ambientale dei fondali e monitoraggi pregressi	23
6.1	Caratterizzazione delle Comunità Bentoniche di fondi molli	29
7	Informazioni sulle caratteristiche chimico fisiche della colonna d'acqua	30
8	Lavori previsti in progetto	30
8.1	Le alternative progettuali	37
9	Conto economico	39
10	Elenco autorizzazioni.....	40

1 Premessa

Il presente progetto è stato commissionato dalla società Progetto Esmeralda S.r.l., proprietaria della struttura alberghiera "Forte Village Resort" per porre rimedio alle condizioni in cui versa il litorale antistante il litorale nel periodo estivo.

La spiaggia in oggetto ha subito negli ultimi 25 anni un considerevole arretramento dovuto alle cause che saranno descritte in un successivo paragrafo.

Oltre l'arretramento generale del litorale, nella stagione estiva 2017 si è verificato un ulteriore fenomeno che ha comportato un significativo impoverimento della spiaggia che si presentava significativamente ridotta di profondità rispetto alle stagioni estive precedenti.

Tale situazione è dovuta al fatto che il regime delle mareggiate invernali, protrattesi anche durante la primavera, ha fatto sì che la spiaggia avesse un profilo di tipo "invernale" caratterizzato da una spiaggia emersa notevolmente ridotta e da un'ampia berma sommersa con diffusa riduzione del tirante idrico, in alcuni casi anche oltre il metro, come rappresentato nell'elaborato grafico n.5 dove sono riportati i rilievi batimetrici effettuati nella stagione estiva 2017 e quelli risalenti allo stesso periodo dell'anno 2011.

Sostanzialmente durante la stagione invernale si forma una berma sommersa spostando di fatto i volumi di sabbia dalla parte emersa alla parte sommersa della spiaggia.

Durante il periodo primaverile ed estivo avviene invece un ripascimento naturale in prevalenza, nel litorale in oggetto, con eventi lievi di libeccio.

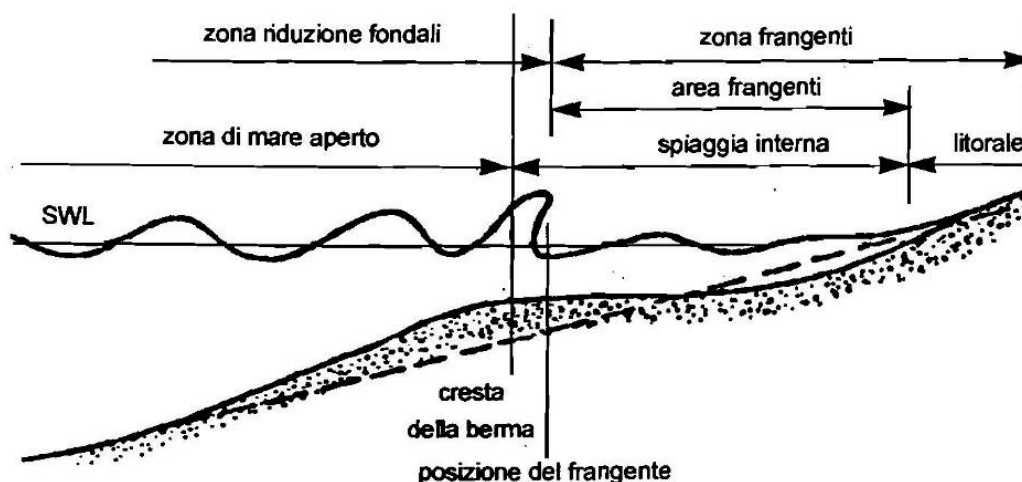


Figura 1 profilo a Barra (fonte: U.Tomasicchio, Manuale di Ingegneria Portuale e costiera)

Per far fronte a tale situazione che nella stagione estiva del 2017 ha creato numerosi problemi di gestione del litorale, la struttura alberghiera ritiene utile ed opportuno presentare il presente progetto di ripascimento stagionale che consiste semplicemente nella ricostruzione del profilo estivo della spiaggia effettuando un trasferimento di sabbia dalla spiaggia sommersa a quella emersa prelevando il sedimento dagli specchi acquei antistanti il litorale in oggetto.

Il progetto si configura come un lavoro marittimo volto a modificare la costa (punto 7 lett. M allegato B1 alla DELIBERAZIONE N. 45/24 DEL 27.9.2017 della Regione Sardegna) avendo carattere manutentivo con efficacia esclusivamente per una stagione estiva in quanto le mareggiate del periodo autunnale riporteranno il litorale nelle condizioni precedenti all'intervento.

L'intervento è pertanto soggetto alla procedura di verifica di Impatto ambientale secondo la su citata Deliberazione.

L'intervento ricade nella tipologia di "Interventi di media entità" definiti dal DM 173/2016 come ".... interventi annuali di entità complessiva superiore a 5.000 m³ e fino a 40.000 m³ di materiale ...".

Si precisa come il presente progetto è stato elaborato in uno scenario ascrivibile alla situazione in cui il litorale si trovava nel periodo maggio-agosto 2017 e pertanto l'intervento in oggetto sarà realizzato per la stagione 2018 nel caso in cui permangano dette condizioni. Si ritiene che l'intervento possa essere ripetuto anche nelle successive stagioni previa verifica ed accertamento dello stato dei luoghi. Nella fattispecie l'intervento il presente progetto si configura come una manutenzione programmata del litorale.

Sarà cura infatti della società che propone l'intervento effettuare un nuovo rilievo batimetrico e topografico nel mese di marzo di ogni anno al fine di accertare le condizioni in cui versa il litorale e poter determinare la necessità o meno di procedere con l'esecuzione dei lavori o apportarvi dei correttivi.

Nello specifico il progetto prevede al movimentazione di circa 27.000,00 metri cubi di sedimento che consentiranno di effettuare un avanzamento effettivo a regime di circa 15 metri rispetto alla linea di riva della passata stagione 2017 riportando pertanto il tratto di spiaggia a condizione di tipo ordinario di regime estivo come da trend degli ultimi anni di osservazione.

I sedimenti, come già riferito, saranno prelevati dagli specchi acquei antistanti, con l'utilizzo di una mezzo marittimo dotato di pompa aspirante e refluyente, da un'area avente una superficie pari a circa 80.000,00 metri quadri, prelevando pertanto esclusivamente uno strato superficiale di sedimento.

Si precisa come il paraggio interessato dal presente progetto sia stato oggetto di numerosi studi e monitoraggi e nello specifico:

- "Progetto di ripristino del litorale antistante il Forte Village Resort" (2003) che prevedeva un ripascimento con sabbia di cava per 15.000,00 mc circa dei quali sono stati sversati solo 1.500,00 mc; per l'esecuzione di tali lavori sono state effettuate esaustive indagini geologiche, granulometriche e mineralogiche.
- "Progetto per la messa in sicurezza del litorale antistante il Forte Village Resort" (2006) che ha riguardato la realizzazione di 7 barriere soffolte realizzate in geotubi riempiti di sabbia proveniente da idonea cava. Il progetto è stato preceduto da due anni di monitoraggio correntometrico ed ondometrico e a seguito della sua realizzazione nel 2009 è stato effettuato un monitoraggio per tre anni delle caratteristiche morfologiche ed ambientali del sito.
- "Progetto per la rimozione delle opere di protezione del litorale antistante il Forte Village Resort con contestuale riporto della sabbia residua nella spiaggia emersa - intervento localizzato a seguito dei danni provocati dalla mareggiata del 1-7 marzo 2013" realizzato nel 2014 e nel 2017 con la movimentazione complessiva di circa 1400 mc (800 nel 2015 e 600 nel 2017) del sedimento proveniente dai geotubi di cui al punto precedente ormai danneggiati; durante i lavori è stato eseguito un monitoraggio delle componenti ambientali del sito.

Si sottolinea come i monitoraggi, allegati al presente progetto, non abbiano evidenziato impatti negativi sull'ambiente.

Il presente progetto è stato redatto in conformità del DM 173/2016 - "Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo dei fondali marini" che disciplina le informazioni progettuali che devono essere fornite sia sul sito di prelievo che sul sito di deposito con particolare riferimento anche alle aree di spiaggia da sottoporre a ripascimento.

2 Inquadramento dell'area e situazione attuale

La spiaggia di Santa Margherita di Pula, intesa come il tratto di litorale compreso tra il porticciolo di Cala Verde ed il complesso turistico Pinus Village, si estende per circa tre chilometri lungo la costa sud occidentale della Sardegna configurandosi, ai fini del trasporto del sedimento, come un'unità fisiografica a se stante¹. Essa, infatti, a causa della presenza dei due piccoli promontori e della posidonia oceanica, che la limita longitudinalmente e trasversalmente, non ha significativi scambi di sedimento con i tratti di litorale limitrofi.

1 ATLANTE DELLE SPIAGGE DELLA SARDEGNA, DI GREGORIO, FEDERICI, FIERRO, GINESU ED. SELCA. CNR-MU.R.S.T.-R.A.S



Figura 2: Vista Zenitale del litorale di Santa Margherita di Pula.

Sono disponibili numerosi rilievi plano-alimetrici e batimetrici che in aggiunta alle analisi granulometriche e petrografiche effettuate a più riprese sull'arenile di Santa Margherita, consentono di definire precisamente le caratteristiche quali-quantitative del corpo spiaggia. Tra il 2005 ed il 2012 sono state effettuate infatti numerose campagne idrografiche e monitoraggi con riferimento agli interventi citati in premessa.

Morfologicamente, il litorale si inquadra come "spiagge intercalate da coste rocciose" caratterizzate plano-altimetricamente dalla presenza di una berma di bordo spiaggia intercalata da una scarpa che lascia spazio alla cresta della berma prospiciente la linea di riva a cui segue un profilo regolare che si modella, a secondo delle condizioni meteo-marine, con la presenza di una barra (dopo una mareggiata) o dalla presenza di una depressione in corrispondenza dei frangenti durante le fasi di ripascimento naturale, che avviene in prevalenza con eventi lievi di libeccio.

Il tratto centrale del litorale, nella zona di intervento, ha un morfotipo caratterizzato dalla quasi assenza di una riconoscibile e netta berma di bordo spiaggia (vedi sezioni elaborato grafico 6 e 7) e da una pendenza pressoché costante del profilo di spiaggia fino al limite di battigia ove, in condizioni di *profilo estivo* (ovvero a gradoni) si riconosce una appena accennata cresta della berma. Durante le mareggiate invernali o autunnali, il tratto di spiaggia è caratterizzato dal classico profilo a barra che ha il suo limite di *uprush* ossia di risalita massima dell'onda, in corrispondenza delle strutture di confine del Forte Village Resort. La cresta della berma sommersa limite di tale barra si colloca sulla batimetria degli 0.8 – 1 m.

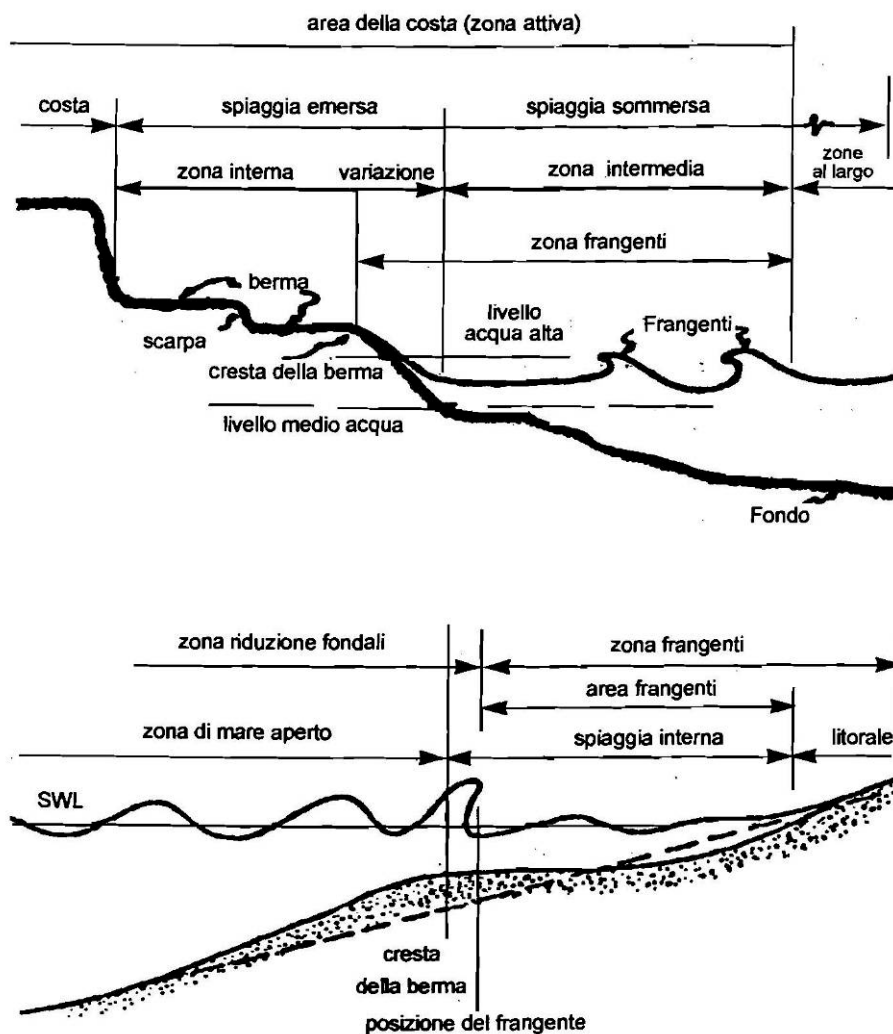


Figura 3: In alto il tipico profilo a gradoni. In basso, profilo a Barra (fonte: U.Tomasicchio, Manuale di Ingegneria Portuale e costiera

E' importante tuttavia notare come nella dinamica attuale sia costante l'avanzato stato di sofferenza dell'arenile in corrispondenza del Forte Village dove durante le più importanti mareggiate si nota la quasi scomparsa di gran parte della spiaggia emersa rendendo alquanto difficile una rigorosa definizione e rappresentazione del morfotipo trasversale *invernale* (vedi Figura 4).



Figura 4: Il profilo “*invernale*” della spiaggia di Santa Margherita nel tratto antistante il Forte Village.

Come già riferito nella stagione estiva 2017 la spiaggia si presentava con caratteristiche morfologiche più simili ad un profilo invernale che ad una situazione di tipo estivo registrando un arretramento, rispetto alle condizioni estive rilevate tra il 2005 ed il 2012 pari a circa 15 metri.



Figura 5 Fot del 17/06/2016 - si noti il pontile che solitamente risulta radicato a terra



Figura 6 Foto del 02/07/2017



Figura 7 Foto del 29/06/2017

3 Cause di arretramento del litorale in oggetto

La spiaggia è un elemento *in fieri* della costa frutto di una dinamica litoranea in continua evoluzione. Essa rappresenta la risultante di più fattori che contribuiscono al raggiungimento di un equilibrio che, per definizione, è sempre instabile.

Una spiaggia in apparente equilibrio, infatti, non è altro che un corpo sabbioso sottoposto a continui ricarichi, prelievi e rimaneggiamenti. Se il bilancio di questi ultimi movimenti è positivo, la spiaggia si accresce, se il bilancio è negativo la spiaggia decresce (ovvero *si erode*) infine, se il bilancio è pari a zero, la spiaggia si definisce *stabile*.

Le cause che portano all'apporto/prelievo di sedimento dal corpo della spiaggia, possono essere di carattere *naturale* o *antropico* ove per naturale si intendono quelli che, senza alterazioni o interazioni dell'uomo, agiscono sulla falcata della spiaggia: apporti di sedimento da corsi d'acqua, erosione della scarpa costiera con relativo rilascio di materiale fino per rimaneggiamento, azione del mare e del vento, eventi piovosi ecc. Tutte le altre cause sono da ricondursi all'azione più o meno consapevole dell'uomo.

Tra le principali ricordiamo i prelievi di sedimento a terra o mare a fini di attività edilizie, antropizzazione delle terre a monte della spiaggia con relativa alterazione del normale ciclo di ricarica del corpo spiaggia, le opere trasversali alla linea di spiaggia che alterano il normale dinamica costiera, le opere di imbrigliamento e/o canalizzazione dei corsi d'acqua che insistono sul bacino di influenza e apporto, la modificata presenza di *posidonia oceanica* dovuta ad inquinamento ecc.

Nel caso in esame, si può sicuramente parlare di un'alterazione del *naturale* ciclo di ricariche/prelievi dovuto a cause *antropiche*.

L'analisi storica della linea di riva dell'intera spiaggia di Santa Margherita (vedi elaborato grafico n.4) ha portato all'evidenza di un arretramento del corpo sabbioso emerso negli ultimi 60 anni stimabile in 5-10 metri nella parte sud-occidentale (Pinus Village), di 20 metri nella sua parte centrale per poi arrivare a punte di 25-30 metri nella parte di fronte al Forte Village Resort. Negli ultimi anni si peraltro registrato un avanzamento della linea di riva della parte più settentrionale del litorale che va dal Forte Village fino al porto di Cala Verde con un avanzamento medio di circa 20 metri.

Le cause di questo arretramento sono senz'altro riconducibili alla fortissima antropizzazione a cui è stata sottoposta la costa di Santa Margherita: tutto il litorale è infatti edificato e le opere di urbanizzazione e risistemazione del territorio che hanno profondamente cambiato gli equilibri prima in essere.

Le opere di imbrigliamento dei corsi d'acqua, le strade, le canalizzazioni e le opere rigide poste a difesa delle *scarpate* di bordo spiaggia ove insistono le lottizzazioni hanno infatti contribuito alla riduzione di apporto solido di materiale sabbioso. Nulla si può dire a riguardo di un eventuale depauperamento dell'arenile a seguito d'attività di cava a scopo edificatorio: non ci sono testimonianze documentali a riguardo, anche se si può immaginare che esse abbiano avuto luogo, seppur non in proporzioni tali da causare di per sé l'arretramento della spiaggia emersa registrato.

Si può escludere, alla luce dei rilievi e delle indagini basate sull'analisi delle foto aeree, l'arretramento della linea di riva dovuto ad un aumento dell'energia del moto ondoso per arretramento della prateria di *posidonia oceanica*; essa, infatti, risulta in buona salute continuando ad occupare pressoché le medesime posizioni di 60 anni fa (foto 1943)

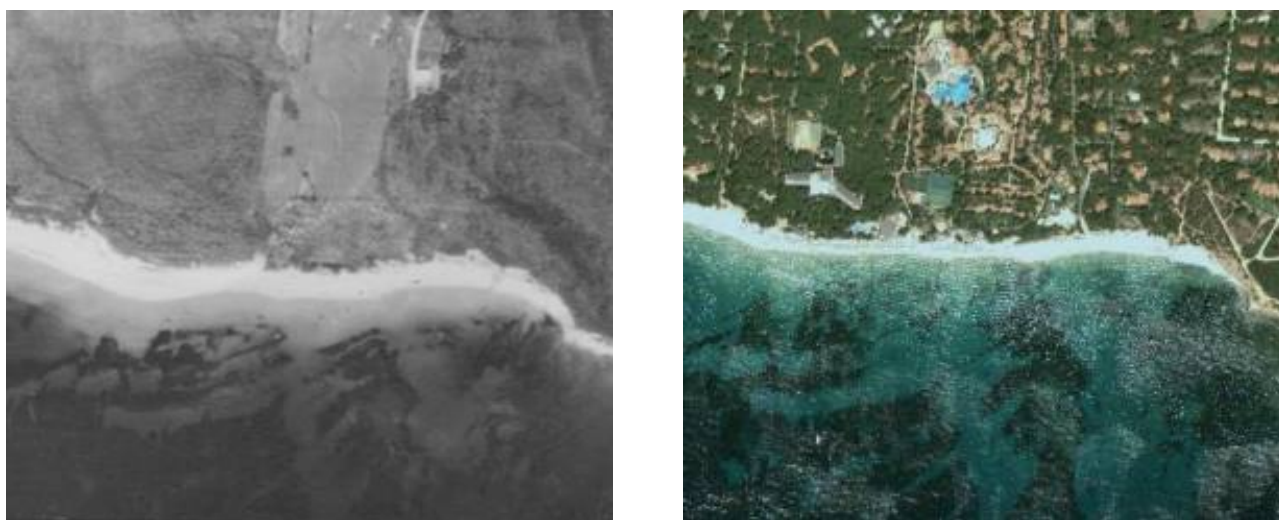


Figura 8: immagini 1943 (sin.) e attuale (destra). E' evidente l'antropizzazione del litorale di Santa Margherita e l'arretramento dell'arenile. La prateria di posidonia è pressoché immutata.

Non sono stimabili gli effetti di un possibile fenomeno di subsidenza che, in ogni caso, non sarebbero apprezzabili per il periodo preso in considerazione. Il fenomeno dell'innalzamento dei livelli idrici, pur significativo nell'ultimo secolo a livello globale (15-20 cm) risulta pressoché costante negli ultimi trenta nel mare mediterraneo² e quindi non determinante del fenomeno erosivo registrato finora.

L'analisi storica delle variazioni delle linee di riva riportato nell'apposito elaborato grafico, ha consentito di fornire ampie evidenze circa l'evoluzione storica della linea di riva.

L'arretramento evidente della linea di riva riscontrato attraverso l'analisi storica stessa (dal 1943 al 2017), alla luce delle ragioni su esposte ed al fatto che ci troviamo ad operare in una unità fisiografica a se stante, suggerisce che vi è sicuramente un deficit di apporto di sedimenti. D'altra parte tale deficit, riconducibile al mancato sversamento di apporto solido dal ruscellamento proveniente dai terreni facenti parte del bacino idrografico che *sfocia* sulla spiaggia all'imbrigliamento e limitazione del ruscello una volta sfociante in corrispondenza del porticciolo di Cala Verde, è difficilmente stimabile a causa di una mancanza di osservazioni oggettive sui volumi di acqua effettivamente avuti oltre che di coefficienti credibili da applicarsi nelle note formule per il calcolo del trasporto solido nei corsi d'acqua.

A questo bisogna aggiungere che l'applicazione di tali formule risulterebbe alquanto imprecisa in ragione della estrema variabilità delle condizioni al contorno che hanno profondamente inciso sulle caratteristiche del bacino afferente. In altri termini: i coefficienti della formula legati alle caratteristiche morfologiche del bacino sono variate nel tempo in funzione della trasformazione subita dal territorio. Ciò comporta un'incertezza di calcolo che in questa fase abbiamo superato registrando in maniera oggettiva le variazioni planimetriche dell'estensione dell'arenile.

² CNR (BRUNETTI M. ET AL., 2006)

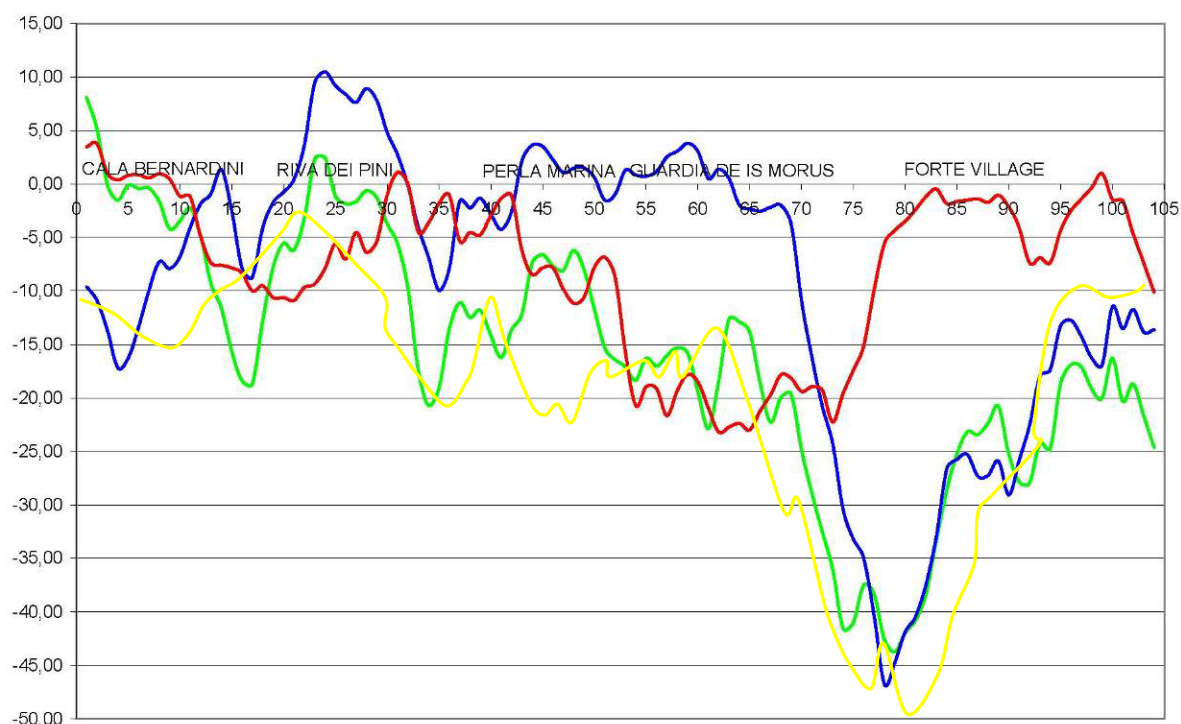


Figura 9: Grafico degli avanzamenti – arretramenti della linea di riva. In verde, confronto 1943-2006; in blu, 1943-1998; in rosso, il confronto 1998-2005; in giallo, il confronto 1943-2017. In ascisse, il numero di settore (ognuno ampio 25 m), inizio a sw (cala Bernardini) . In ordinate le variazioni espresse in metri.

Partendo da un'evidenza oggettiva misurabile grazie all'analisi storica della foto aerea, dei rilievi fotogrammetrici e topografici a disposizione, si è arrivati alla stima degli ammanchi di sedimento per tutta la spiaggia di Santa Margherita di Pula.

Operativamente³ si è proceduto alla suddivisione dell'arenile in 94 settori ognuno dei quali lungo 25 m. Per ogni settore si è calcolata l'area sottesa dalla linea di riva presa in considerazione (nel nostro caso: 1943, 1986, 1998, 2005, 2006, 2017) ed una linea base di riferimento. In base ai risultati ottenuti è stato possibile, per differenze relative, ottenere l'arretramento della linea di riva.

In Figura 9 sono riportati gli avanzamenti ed arretramenti avutisi dal 1943 al 2017: si nota come a fronte di un arretramento medio generalizzato di circa 16 m, vi siano delle zone a più alta erosione.

In particolare l'area di fronte davanti al Forte Village, nella stagione estiva 2017, faceva registrare un arretramento massimo di quasi 50 m a cui corrispondono circa 100.000 mc di sedimento circa il 50 % dell'ammontare di tutto l'ammanco della Spiaggia di Santa Margherita stimabile in circa 200.000 mc.

Analizzando più in dettaglio (vedi Figura 9) l'andamento della dinamica erosiva del litorale, si può notare come la maggior parte dell'erosione nella zona nord-orientale sia avvenuta nei decenni 1943-1998, tuttavia nel 2017 si è registrata una forte azione erosiva nel tratto Guardia Is Morus/Perla Marina e Forte Village mentre, come già detto, si registra una crescita del litorale nella porzione antistante la località Cala Verde.

4 Analisi descrittiva del profilo trasversale e Trattazione analitica sulla connotazione granulometrica

Particolarmente utili alla determinazione della compatibilità del sedimento costituente la sabbia emersa con quello della sabbia sommersa che vi sarà riversato sono i risultati della apposita campagna di campionamento ed analisi compiuta nel 2008.

³ METODO RIPIPORTATO NEL QUADERNO 3° BEACHMED – PROGETTO EUROPEO PER IL RECUPERO AMBIENTALE E MANTENIMENTO DEI LITORALI IN EROSIONE[...] - CALCOLO EROSIONE IN AREE COSTIERE MESSO A PUNTO DAL DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA – UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE

La proposta di movimentazione del sedimento, così come indicato nell'apposito piano di caratterizzazione Allegato B, sarà oggetto dell'istruttoria tecnica svolta dalla Provincia di Cagliari in sede di autorizzazione ai sensi dell'art. 109 del D.Lgs. 152/06. Le indagini per la caratterizzazione saranno svolte ai sensi del DM 173/2016.

La carta allegata "Punti di prelievo campioni" mostra l'ubicazione dei 20 prelievi effettuati. Le quattro sezioni prese in esame, sono rappresentative dell'intero corpo sabbioso sia emerso che sommerso. Per ognuna delle 4 sezioni si è provveduto al prelievo di 5 campioni di sedimento, in particolare 1 sulla berma sommitale, una sulla berma della spiaggia emersa, uno nella battigia, le restanti due nella spiaggia sommersa alle profondità di -2 m e -4.5 m (profondità di chiusura della spiaggia).

Le analisi di laboratorio⁴ hanno permesso la costruzione delle varie curve granulometriche rappresentate nelle figure seguenti, oltre alla determinazione di alcuni indici statistici quali media e coefficiente di ripartizione.

Punti di prelievo campioni Coordinate (WGS84 - UTM32)			
Nome campione	Nord	Est	Quota
A/1	492978.0	4308331.5	1.9
A/2	492987.0	4308324.8	1.2
A/3	493003.4	4308312.0	0.1
A/4	493071.9	4308259.8	-2.0
A/5	493142.7	4308209.6	-4.7
B/1	493658.5	4308946.1	1.9
B/2	493662.1	4308938.9	1.2
B/3	493681.2	4308910.0	0.1
B/4	493711.8	4308856.8	-2.0
B/5	493749.7	4308799.4	-4.5
C/1	494233.1	4309310.6	1.5
C/2	494237.0	4309306.7	0.9
C/3	494246.7	4309298.9	0.1
C/4	494304.0	4309245.6	-2.0
C/5	494387.5	4309170.4	-4.5
D/1	494455.9	4309537.6	1.6
D/2	494461.7	4309530.6	1
D/3	494477.1	4309515.2	0.1
D/4	494504.6	4309482.4	-2.0
D/5	494609.0	4309371.3	-4.5

Tabella 1 coordinate Punti di Prelievo

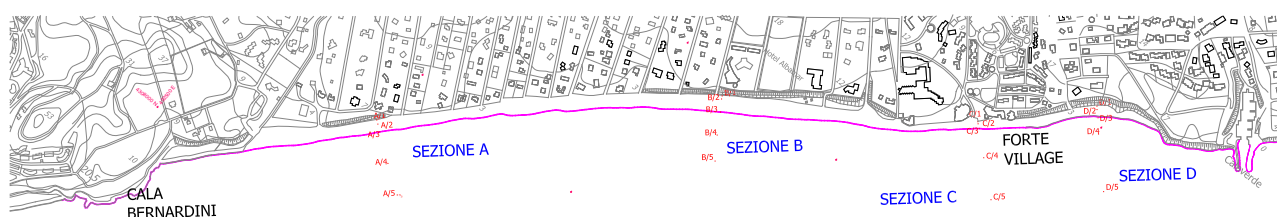


Figura 10: ubicazione sezione e punti di prelievo

⁴ Analisi compiute dal Laboratorio Geosystem in data 09/12/2008

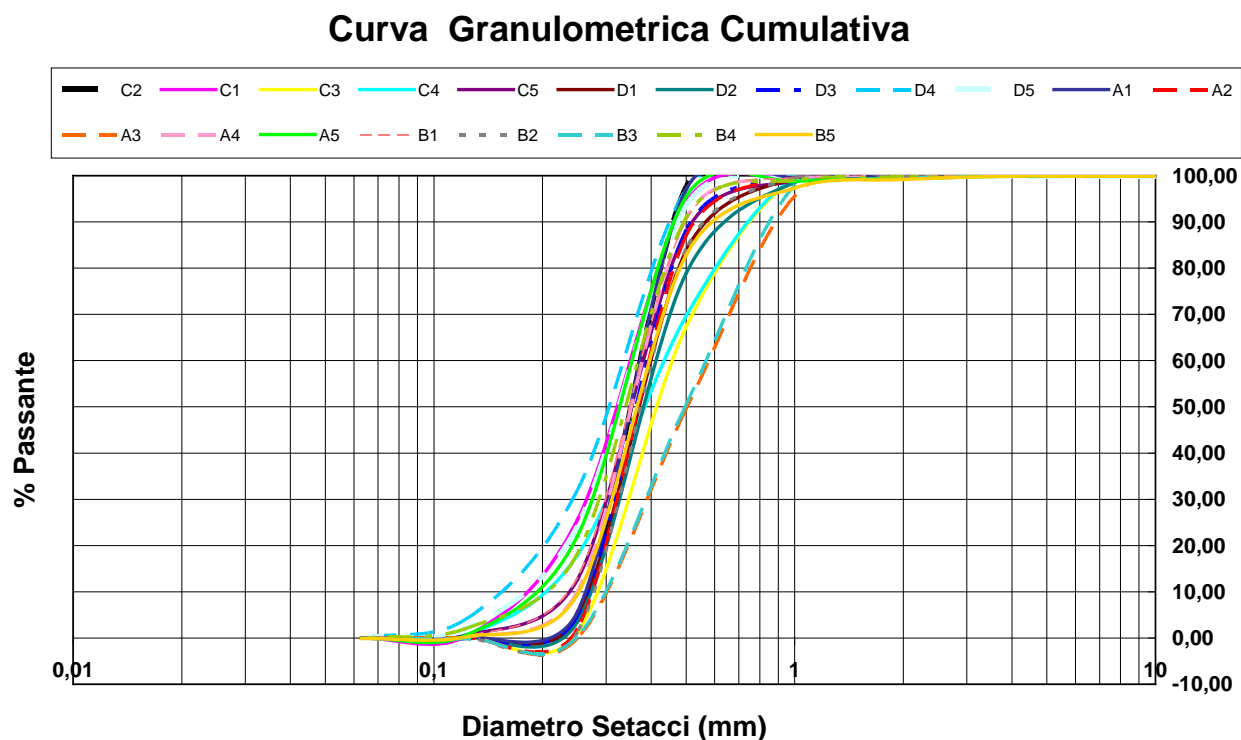


Figura 11: Diagramma della distribuzione granulometrica a curva cumulata granulometrica. In ascisse, diametro dei setacci, in ordinate, percentuale di passante in peso.

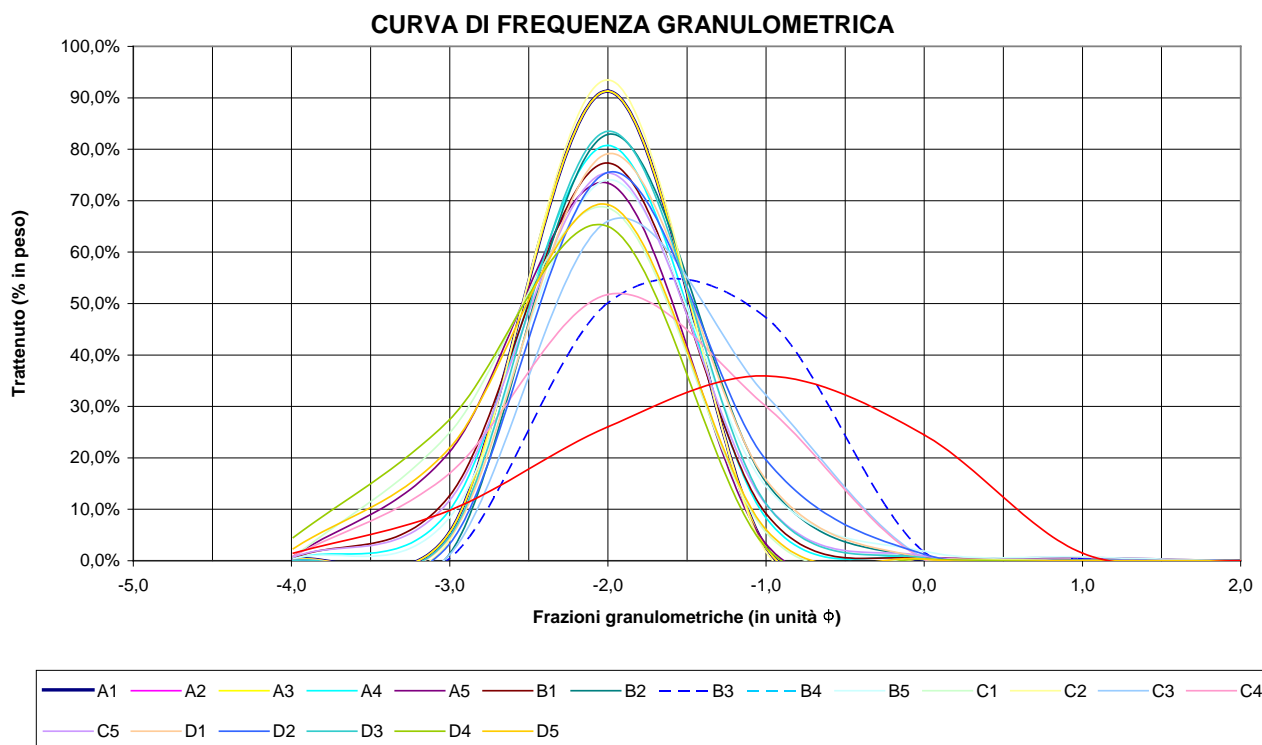


Figura 12: Curva di frequenza Granulometrica. In ascisse, le frazioni granulometriche espresse in unità Φ ; in ordinate, la percentuale di occorrenza per singola frazione espresso in percentuale sul peso.

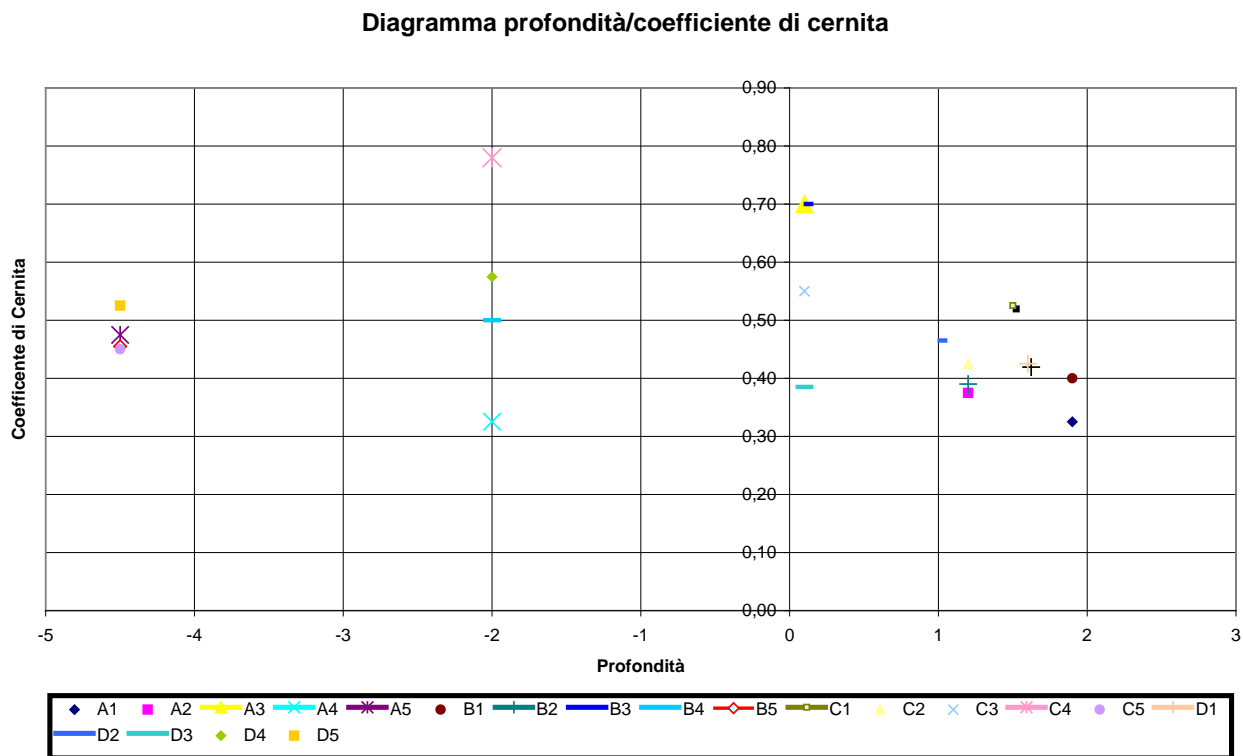


Figura 13: Diagramma Coefficiente di Cernita/Profondità.

I diagrammi su riportati mostrano una notevole omogeneità del corpo sabbioso lungo tutta la falcata di spiaggia esaminata mostrando una marcata cassazione del sedimento in quale si caratterizza, per la stragrande maggioranza dei campioni (vedi Figura 13), da coefficienti di cernita⁵ inferiori a 0.6, con la sola eccezione del campione C4 che comunque risulta inferiore a 0.8 (sedimento discretamente classato).

I campioni di battigia e profondità hanno valori di ripartizione leggermente superiori a quelli della spiaggia emersa. Ciò è dovuta alla maggiore selezione del materiale di berma effettuato dall'azione eolica ed alla presenza del moto ondoso atto a trasportare e trattenere materiale leggermente più grossolano.

Dal punto di vista della analisi descrittiva trasversale si può concludere che l'intero corpo spiaggia presente valori omogenei di ripartizione, risultando nella sua interezza caratterizzato da valori di 0.5 con l'eccezione del campione C4 che, comunque ha valore inferiore a 0.8.

Gli angoli di deposito del materiale variano a seconda che si sia in fase asciutta o satura. Essi sono omogenei lungo la prima spiaggia emersa (7.5÷8%) e sommersa (1.4÷ 1.7 %).

E' stato inoltre valutato il peso specifico del materiale costituente la spiaggia emersa e quella sommersa ed i risultati mostrano una perfetta sovrapposibilità tra i campioni C5 e C2, confermando la sostanziale continuità tra il materiale sommerso e quello emerso attualmente in sito.

Campione	C5	C2
Massa Campione (grammi)	370	370
Massa Volumica Apparente dei granuli (kg/m ³)	2613.7	2604.7
Massa Volumica dei granuli pre-essiccati in stufa (kg/m ³)	2526.0	2528.2

⁵ OTTENUTI SECONDO LA FORMULA PROPOSTA DA INMAN (1952)

Massa Volumica dei granuli in condizioni di saturazione a superficie asciutta (kg/m ³)	2559.6	2557.6
Percentuale di assorbimento %	1.33	1.16
Massa Volumica in mucchio (kg/m ³)	1314.5	1363.0
Porosità %	49.71	47.67

E' possibile, infatti, attraverso alcune note formule, determinare parametri quali la ripartizione (o deviazione), asimmetria, e media se espressi in unità Φ dove $\Phi = -\log_2 D$ e D è il diametro espresso in mm al fine di una più agevole interpretazione circa le dinamiche in atto lungo il litorale. La corrispondenza tra le due misure si ottiene immediatamente attraverso il legame $D = 2^{-\Phi}$ (vedi Tabella 2).

D	Tabella di corrispondenza tra D in mm e unità Φ											
mm	64	19	4.76	4	2	1	0.5	0.42	0.25	0.125	0.074	0.062
Φ	-6	-4.25	-2.25	-2	-1	0	1	1.25	2	3	3.75	4

Tabella 2: Tabella di corrispondenza tra diametri in mm e unità Φ .

La Tabella 3 racchiude i dati analitici desunti dalla analisi dei campioni riportando Media, Mediana, Moda, Deviazione e Asimmetria. Tutte quantità sono espresse in unità Φ .

Le quantità Moda (espressa in unità Φ) e Mediana (coincidente con D_{50} ed espresso in mm) sono state desunte per via grafica, la

Media secondo la formula proposta da Folk e Ward (1957) ovvero: $D_{\Phi M} = \frac{D_{\Phi 16} + D_{\Phi 50} + D_{\Phi 84}}{3}$; la Deviazione Standard

secondo la formula suggerita da Inman (1952) ovvero: la Asimmetria secondo la formula di Folk e Ward (1957) ovvero:

$$S_{AI} = \frac{D_{\Phi 16} + D_{\Phi 84} - 2D_{\Phi 50}}{2(D_{\Phi 84} - D_{\Phi 16})} + \frac{D_{\Phi 95} + D_{\Phi 5} - 2D_{\Phi 50}}{2(D_{\Phi 84} - D_{\Phi 16})}.$$

Nome Campione	Media (unità Φ)	Moda (per classi di Φ)	Mediana (=D ₅₀ in mm)	Deviazione (f. Inman 1952)	Asimmetria (f. Folk e Ward 1957)
A1	1.52	2	0.36	0.33	-0.01
A2	1.43	2	0.38	0.38	0.06
A3	1	1	0.50	0.7	0.07
A4	1.51	2	0.35	0.63	-0.04
A5	1.65	2	0.32	0.48	-0.24
B1	1.54	2	0.35	0.4	-0.07
B2	1.42	2	0.38	0.39	0.17
B3	1	1.5	0.50	0.7	0.03
B4	1.58	2	0.34	0.45	-0.24
B5	1.43	2	0.38	0.46	0.17
C1	1.65	2	0.32	0.53	-0.29

C2	1.48	2	0.35	0.43	0.11
C3	1.18	2	0.41	0.55	0.23
C4	1.42	2	0.38	0.78	-0.04
C5	1.50	2	0.35	0.45	-0.07
D1	1.43	2	0.37	0.43	0.11
D2	1.38	2	0.38	0.47	0.2
D3	1.42	2	0.37	0.39	0.03
D4	1.78	2	0.30	0.58	-0.42
D5	1.65	2	0.32	0.53	-0.37

Tabella 3: Valori statistici dei campioni della spiaggia di S.Margherita di Pula

L'analisi dei parametri ottenuti dall'elaborazione statistica e dall'incrocio dei coefficienti, pone in evidenza un sedimento generalmente caratterizzato da una mediana (inteso come il passante D_{50}) = 0.37 mm, da un coefficiente di cernita pari a 0.5 corrispondente ad un sedimento bel classato (come già emerso dalle analisi morfometriche) e da un'Asimmetria media pari a -0.03 ovvero da distribuzioni quasi simmetriche della curva di distribuzione.

Scendendo più nel dettaglio si possono notare importanti indizi sulle dinamiche litorali. Nella Figura 14, si notano già delle curve che si discostano seppur di poco, dalle altre. In particolare le curve corrispondenti ai campioni A3, B3, D4, C3, D5 mostrano una certa dissomiglianza dalle altre nella loro forma. Le curve B3 e A3 mostrano valori modali diversi da tutte le altre.

Tali valori vengono meglio posti in evidenza nella Figura 15 dove, si può meglio notare la presenza di valori di mediana (D_{50}) superiori in corrispondenza delle batimetrie prossime alla battigia, dove, evidentemente le azioni dinamiche delle onde si fanno più intense e frequenti.

L'analisi dei parametri ottenuti dall'elaborazione statistica e dall'incrocio dei coefficienti, pone in evidenza un sedimento generalmente caratterizzato da una mediana (inteso come il passante D_{50}) = 0.37 mm, da un coefficiente di cernita pari a 0.5 corrispondente ad un sedimento bel classato (come già emerso dalle analisi morfometriche) e da un'Asimmetria media pari a -0.03 ovvero da distribuzioni quasi simmetriche della curva di distribuzione.

Scendendo più nel dettaglio si possono notare importanti indizi sulle dinamiche litorali. Nella Figura 14, si notano già delle curve che si discostano seppur di poco, dalle altre. In particolare le curve corrispondenti ai campioni A3, B3, D4, C3, D5 mostrano una certa dissomiglianza dalle altre nella loro forma. Le curve B3 e A3 mostrano valori modali diversi da tutte le altre.

Tali valori vengono meglio posti in evidenza nella Figura 15 dove, si può meglio notare la presenza di valori di mediana (D_{50}) superiori in corrispondenza delle batimetrie prossime alla battigia, dove, evidentemente le azioni dinamiche delle onde si fanno più intense e frequenti.

Si nota come in genere i valori superiori di Φ (e quindi di granulometria più fine) sono quelli corrispondenti alla sezione D ossia quella posta più ad est.

L'analisi del diagramma Deviazione standard/Media (Figura 16) mostra nuovamente una certa omogeneità di valori dovuta ad un classamento del sedimento per azione meccanica di mare e vento. Tuttavia anche qui è chiara la presenza di *outlayers* appartenenti alla fascia più attiva della battigia oltre al campione C4. Esaminando la Figura 18: Diagramma Deviazione standard/Asimmetria, nonostante l'allineamento conseguente alla concentrazione dei campioni lungo valori simili sulla media, non appaiono univoci indicazioni sulle dinamiche costiere che, invece, appaiono più chiare nella Figura 19: Diagramma profondità/coefficiente di cernita. In tale diagramma, si nota come a profondità di -2 m il coefficiente di cernita più elevato è sempre del campione C4.

L'analisi dei campioni ha mostrato una certa uniformità di valori d'assortimento e granulometria lungo tutta la falcata di spiaggia, sia essa emersa che sommersa.

Si registrano valori più elevati di granulometria in corrispondenza della linea di battigia ove risultano leggermente più elevati nella parte ovest. In corrispondenza della spiaggia sommersa est, si registrano valori di deviazione standard più elevati, indice di una certa più elevata dinamica generata da eventi estremi.

Incrociando le analisi granulometriche con i rilievi della linea di riva, le simulazioni numeriche e i rilievi effettuati con le sonde ondamiche e correntometriche utilizzate durante gli interventi elencati in premessa, si può supporre un trasporto longitudinale di

modesta entità da ovest verso est che, in presenza di eventi estremi inverte il suo senso di trasporto da est verso ovest, senza trascurare un più consistente trasporto trasversale verso il largo del sedimento.

L'elaborato "H-Certificati granulometria sabbie Forte Village" contiene i certificati delle analisi utilizzati per la trattazione di cui al presente paragrafo.

Per quanto riguarda gli aspetti mineralogici si rimanda alle apposite analisi riportate in consulenza geologica (2008) a firma del dott. geol. Mario Strinna,

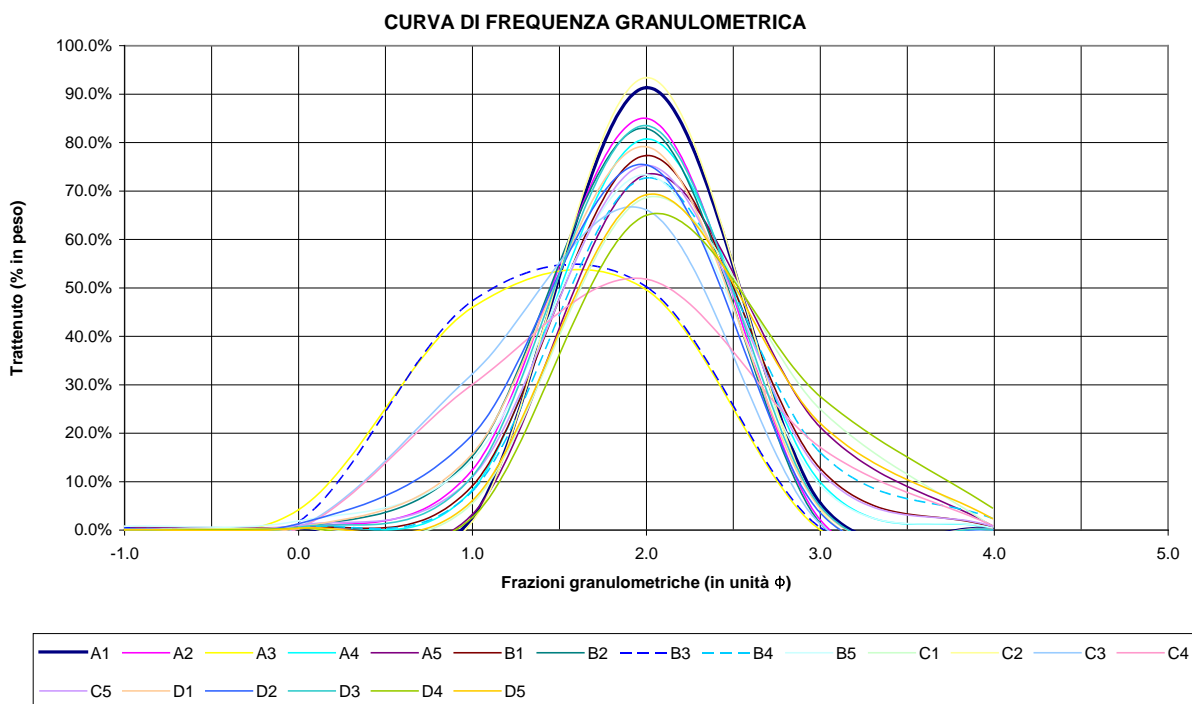


Figura 14: curva di frequenza granulometrica: in ascisse

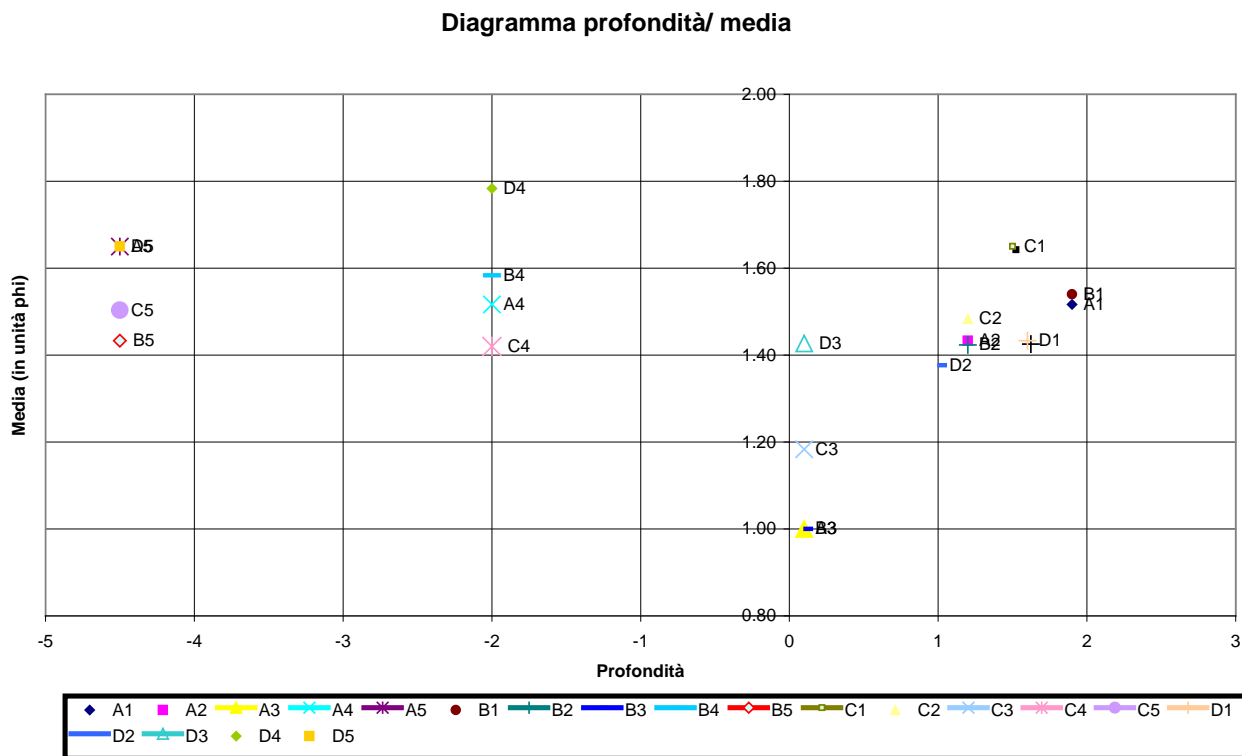


Figura 15: Diagramma Profondità/Media (Media espressa in unità Φ)

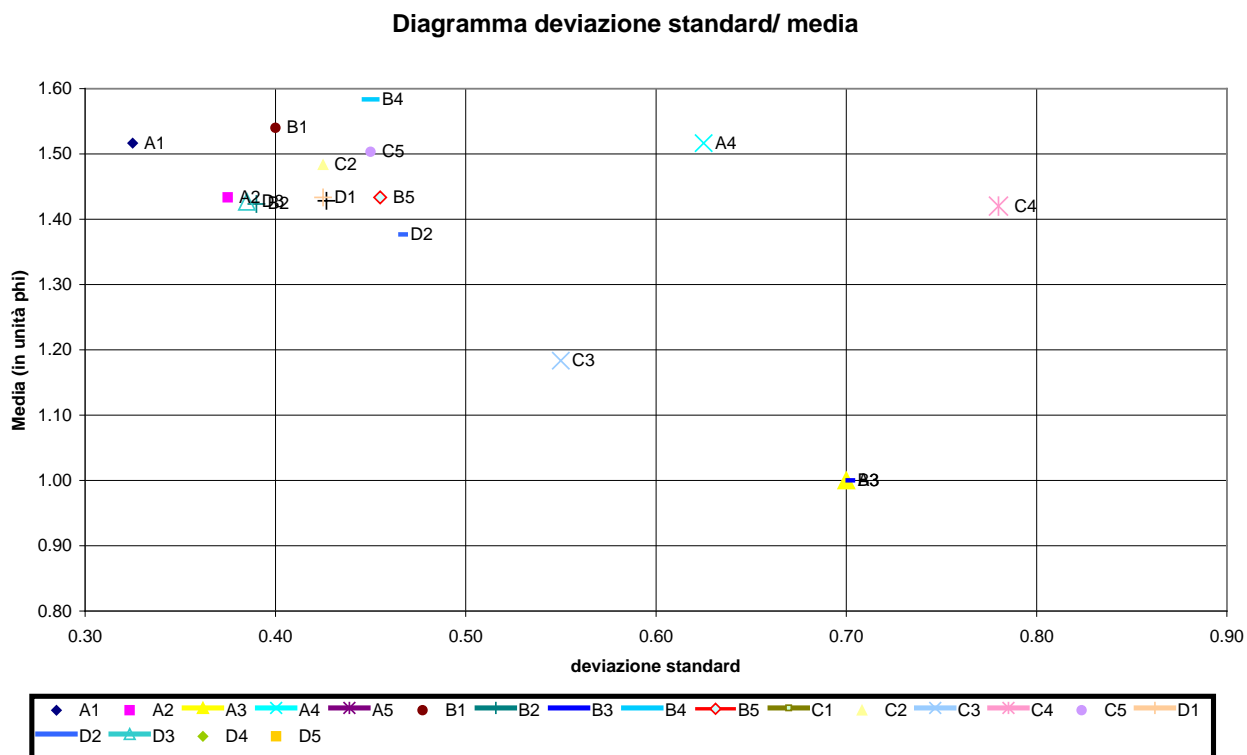


Figura 16: Diagramma Deviazione standard/Media (espressa in ϕ)

Diagramma media/asimmetria

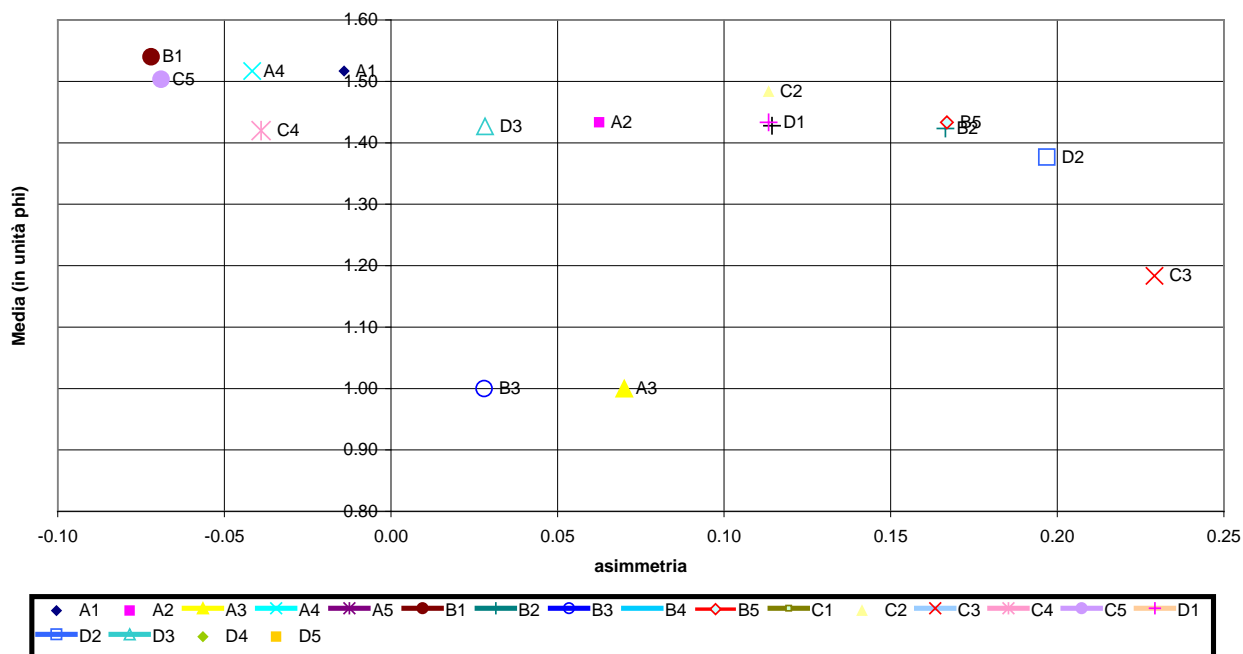


Figura 17: Diagramma Media/Asimmetria

Diagramma deviazione standard/ asimmetria

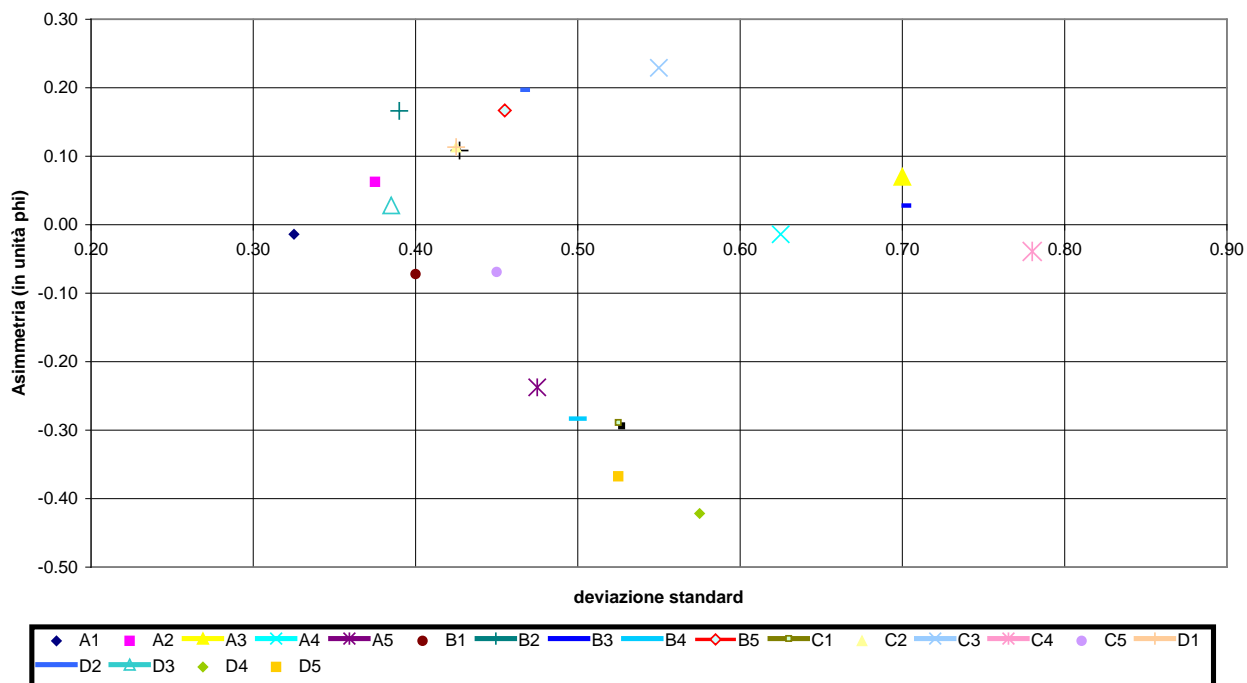


Figura 18: Diagramma Deviazione standard/Asimmetria

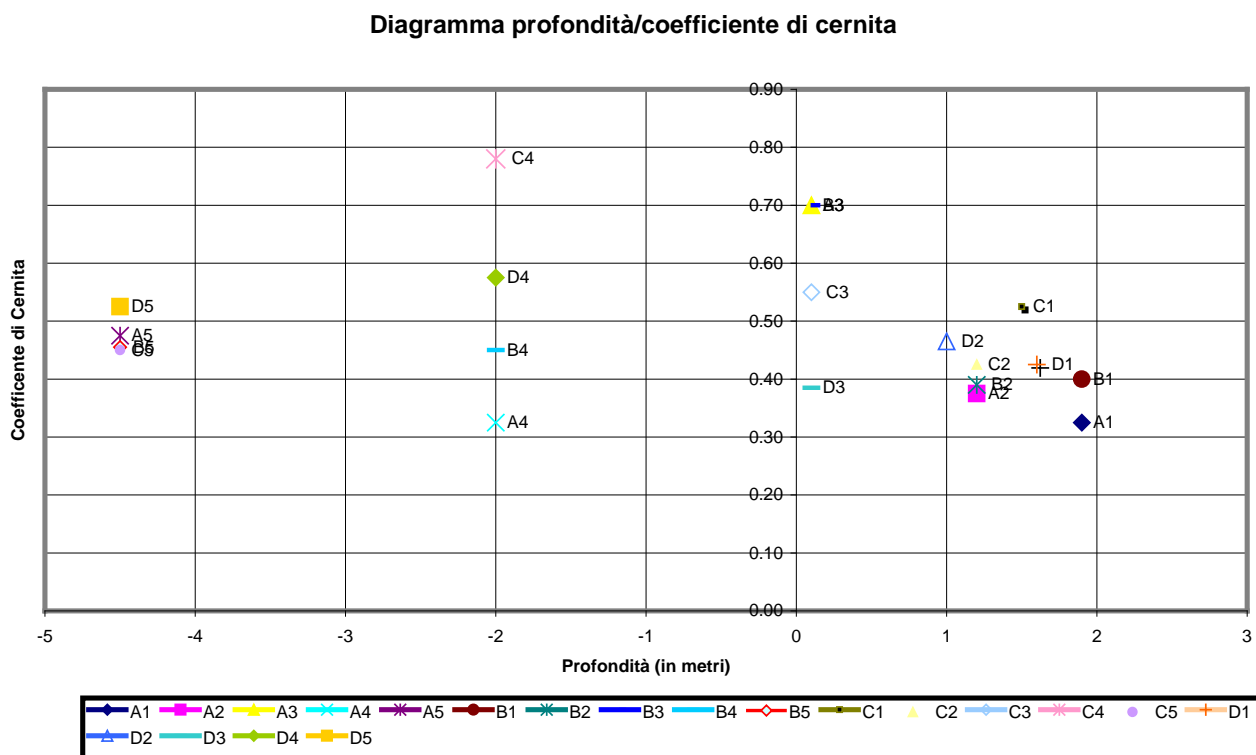


Figura 19: Diagramma profondità/coefficiente di cernita.

5 Inquadramento meteomarinario del sito

La redazione del "Progetto di ripristino del litorale antistante il Forte Village Resort" (2003) e del "Progetto per la messa in sicurezza del litorale antistante il Forte Village Resort" (2006) con successivo monitoraggio effettuato dal 2009 al 2012, hanno fornito sufficienti opportunità di verifica per l'intervento in oggetto.

In quelle occasioni, infatti, si è proceduto all'effettuazione diverse campagne di rilievo plano-altimetrico della spiaggia emersa e sommersa. Inoltre è stata posizionata una sonda ondometrica e correntometrica che ha permesso la determinazione inequivoca del clima ondoso che interessa il tratto di litorale antistante. All'interno dello stesso, si è potuto ampliare la base statistica e bibliografica dei dati raccolti ed elaborati in precedenti studi o campagne di rilievo.

Gli studi, dei quali si riporta un estratto, hanno consentito di poter caratterizzare il paraggio marittimo di Santa Margherita, approfondendo e affinando i contenuti puntuali della trasformazione delle onde e della dinamica costiera anche attraverso l'utilizzo di opportuni modelli numerici impostati su effettivi climi ondosi e caratteristiche di sedimento riscontrate durante le campagne di rilievo.

5.1 Moto ondoso

La determinazione corretta del clima meteo-marino ed in particolare degli eventi di mare che investono il litorale di Santa Margherita è fondamentale per una corretta impostazione del problema e per il successivo settaggio dei modelli di tipo idromorfodinamico utili alla comprensione dei fenomeni in atto e possibili a seguito degli interventi che si intendono adottare.

La presenza di misure dirette del moto ondoso effettuate attraverso una apposite campagne di misure ondometriche e correntometriche, ha permesso di ridurre notevolmente il processo di ricostruzione indiretta che in genere caratterizza gli studi costieri a causa della mancanza degli stessi.

I dati onda metrici a largo utilizzati sono stati: i dati U.K.M.O. e quelli del METEOMER. A questi dati sono stati aggiunti quelli provenienti dalla Stazione Semaforica di Cagliari del I.I.M.I., l'analisi degli studi effettuati dal prof. Atzeni (Valutazione dei regimi di

moto ondoso nel Golfo di Cagliari, 1986), e del prof. Leopoldo Franco nell'ambito del progetto " Ampliamento del porto turistico di Calaverde".

Il clima ondoso risultante è il frutto di un settore di traversia piuttosto ampio: 170° estendendosi dai 50°N fino ai 220°N.

Gli eventi più frequenti sono concentrati nei settori di Scirocco e Libeccio

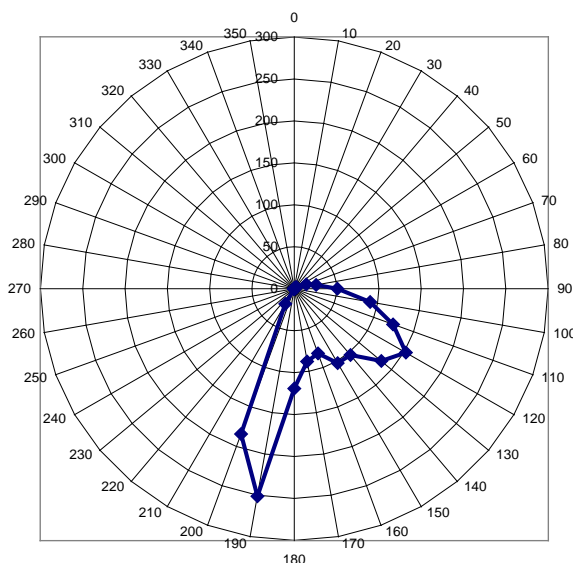


Figura 20: distribuzione statistica delle frequenze di ricorrenza del moto ondoso espresso in termini percentuali. (dati provenienti da misure dirette 2005-2006).

Questi dati sono in sostanziale accordo con quelli già a disposizione alla luce delle opportune considerazione da farsi sulle specificità locali del paraggio.

settores [°N]		Classi d'altezza d'onda Hs [m]						
		0/0.5	0.5/1	1/1.5	1.5/2	2/2.5	2.5/3	3/3.5
0	10							
10	20	1						
20	30							
30	40							
40	50							
50	60	3						
60	70	3						
70	80	6	9					
80	90	9	14	2	1			
90	100	14	25	11	1			
100	110	23	42	14	8	4		
110	120	33	41	23	13	11	3	
120	130	42	59	34	8	8	1	
130	140	53	46	23	8	4		
140	150	68	24	11				
150	160	79	19	4				
160	170	68	13	1				
170	180	73	15					
180	190	103	15	1				
190	200	151	95	5				
200	210	81	95	8				
210	220	9	12					

220	230							
Totali		819	524	137	39	27	4	0

Tabella 3: Dati sintetici di campionamento del moto ondoso effettuato tramite misure ondametriche dirette.

L'analisi della Tabella 3 mette in evidenza la sostanziale bimodalità della distribuzione statistica ed energetica degli eventi, ovvero una forte presenza di eventi estremi nel settore di Scirocco ed una dinamica costiera più frequentemente diretta da ovest verso est per effetto degli eventi di libeccio.

Ciò va in accordo con le osservazioni effettuate sui campioni di sedimento prelevati nell'arenile.

Gli eventi regnanti (libeccio) e dominanti (scirocco) sono generati dai gradienti di barico che si vengono a creare nell'area mediterranea. In particolare la depressione della Penisola Iberica e mediterraneo sud – occidentale origina gli eventi di scirocco che investono in maniera imponente il litorale in esame dopo aver percorso un fetch sostanzialmente coincidente con il tratto di mare compreso tra la Sardegna e il canale di Sicilia. Esso s'innesca, quando si viene a creare una depressione di sottovento nel Golfo Ligure o del Leone che genera un forte gradiente barico con il mediterraneo occidentale producendo notevoli correnti in corrispondenza della Sardegna.

Le formazioni depressionarie associate a fronti quasi stazionari o molto lenti nel mediterraneo occidentale, a S del 40° di latitudine N, o nella zona a S della catena dell'Atlante o depressioni che, nelle suddette zone, provengono dall'Atlantico, generano il tempo e il clima ondoso di Libeccio. Tali condizioni hanno una maggiore frequenza nel periodo primaverile ed invernale⁶.

Oltre agli eventi generanti il moto ondoso si devono tenere presenti gli altri contributi al moto ondoso nella sua evoluzione del fetch. In generale essi sono di natura dissipativi ed hanno origine dall'approccio dell'onda verso la costa. In particolare si fa riferimento all'effetto shoaling (o rifrazione) delle onde che, procedendo su fondali sempre più bassi, *sentono* il fondale, tendendo a riorientarsi con i fronti d'onda parallelamente alle isobate costiere e a concentrarsi in corrispondenza dei promontori. A questo bisogna aggiungere: l'effetto di interazione onda-onda che crea effetti di trasformazione dello spettro d'onda, i fenomeni dissipativi del "*cappucciamento*", di diffrazione delle onde dovute alla presenza di opere o ostacoli che garantiscono un effetto riduttore nell'approccio dell'onda stessa verso la costa (presenza di isole, barriere naturali ecc.). La presenza di forti correnti litoranee o di profondità o di gradienti di salinità può modificare in maniera sostanziale la forma delle onde. Tuttavia questi ultimi casi non ricadono nell'ambito di applicazione presente a causa della loro trascurabile entità.

L'applicazione di modelli numerici, ha permesso una più veloce e precisa trattazione del fenomeno di trasformazione dell'onda da largo verso riva.

In particolare, nello studio 2006 si è fatto utilizzo dei modelli numerici per la trasformazione del moto ondoso SWAN⁷ e idromorfodinamico DELFT3D per lo studio della dinamica litorale e dell'evoluzione morfologica dei tratti di costa.

Tali simulazioni, riportate nelle pagine seguenti, hanno così permesso di descrivere meglio le dinamiche che si vengono a creare con diverse situazioni di moto ondoso. Le simulazioni effettuate, infatti, permettono di poter stimare con una buona verosimiglianza, quale sia l'energia ondosa dissipata ed il trasporto litoraneo con relativi sti di deposito ed erosione del fondale

⁶ ATLANTE DELLA SARDEGNA CURA DI PRACCHI E ASOLE, 1980

⁷ Sviluppato dal politecnico di Delft, Olanda

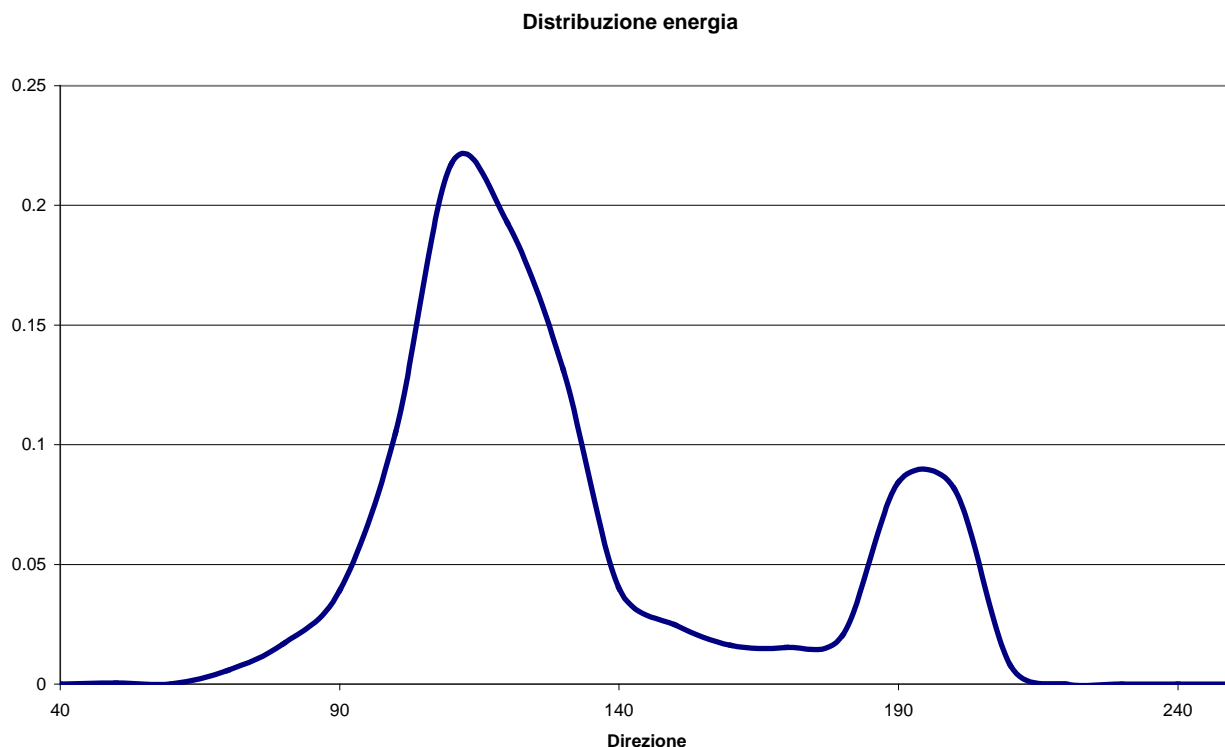


Figura 21: Distribuzione dell'energia totale. In ordinate il valore normalizzato di energia, in ascisse la classe di direzioni.

5.2 Risultati delle simulazioni compiute con i modelli numerici

Tra le simulazioni effettuate sono pertinenti quelle che riguardano le condizioni di sedimento attuale in significative condizioni meteorologiche.

In particolare le forzanti scelte per l'esecuzione delle simulazioni sono: Onda 1 ($H_s=0.7$ m, $T_p=6.1$ s, $Dir=137.15^\circ$) ovvero l'onda morfologica o equivalente rappresentativa della somma di tutti i contributi energetici forniti dal clima ondoso generale; Onda 2 ($H_s=3.75$ m, $T_p=7.8$ s, $Dir=130^\circ$ N) ovvero l'evento estremo con tempo di ritorno annuale. L'onda equivalente è stata calcolata attraverso il

sistema delle due note formule: $\sum H_i^2 T_i = H_e^2 T_e$; $\sum \frac{H_i}{T_i^2} = \frac{H_e}{T_e^2}$. La batimetria e le caratteristiche del sedimento sia in

termini qualitativi (Mediana= D_{50} , Ps) che quantitativi (disposizione planimetrica dello stesso), sono state desunte dalle tavole e dalle analisi riportate in allegato.

Le simulazioni numeriche sfruttano due distinti moduli (i già citati SWAN e DELFT3D) che, attraverso una procedura iterativa modellano il processo morfodinamico innescato dalla forzanti d'onda imputate.

Numero Simulazione	Condizione d'onda	Configurazione	Mediana ovvero D_{50} (mm)	Ps (Kg/m ³)
100	$H_s=0.7$ m $T_p=6.1$ s $Dir=137.15^\circ$ N	Attuale	0.38	2613
200	$H_s=3.75$ m $T_p=7.8$ s	Attuale	0.38	2613

	Dir=130°N			
--	-----------	--	--	--

Tabella 4: Dati di input delle simulazioni numeriche effettuate.

Le figure che seguono, forniscono una chiara ed efficace lettura della dinamica litoranea.

In particolare appare chiaro una mareggiata di tipo estivo, caratterizzata dalla simulazione 100, comporti una movimentazione di sedimento in modo particolare in prossimità della battigia mentre le mareggiate più gravose, come quella rappresentata nella simulazione 200, interessino un ambito si fondale maggiore che si estende fino alla profondità di chiusura della spiaggia. Tale situazione di profonda modifica della distribuzione diffusa dei sedimenti è stata appunto riscontrata con i rilievi batimetrici del 2017 dai quali è emerso un tirante idrico molto minore delle precedenti stagioni estive anche ad una profondità di 4,5 metri.

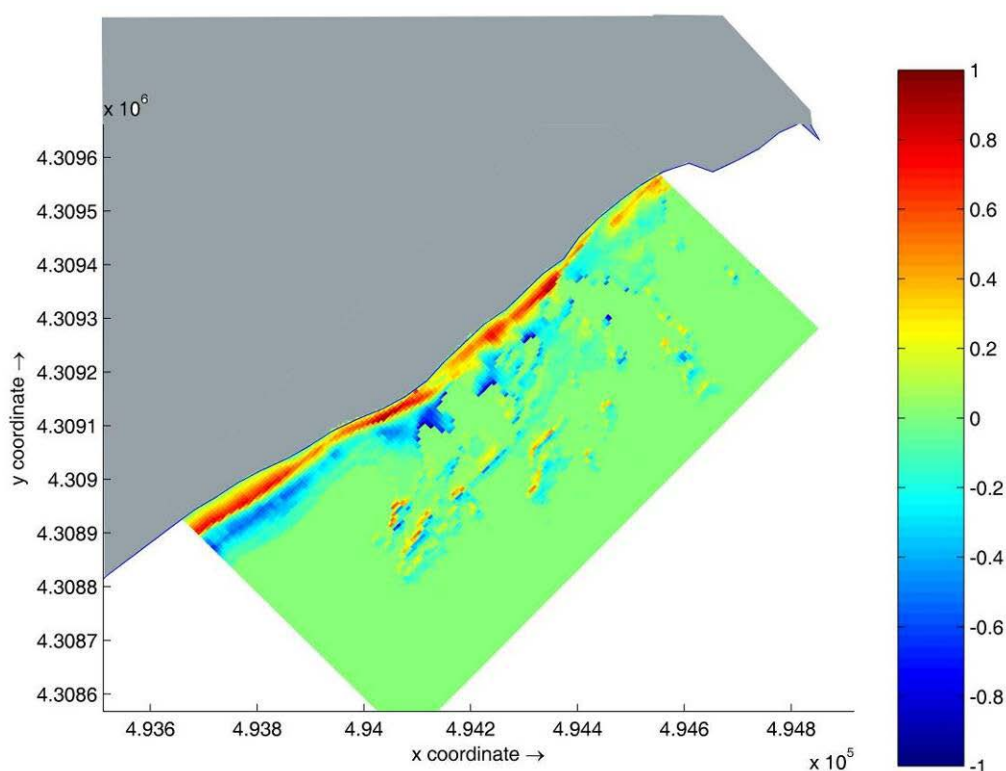


Figura 22: simulazione n. 100. In rosso le zone di accumulo, in blu le zone in erosione.

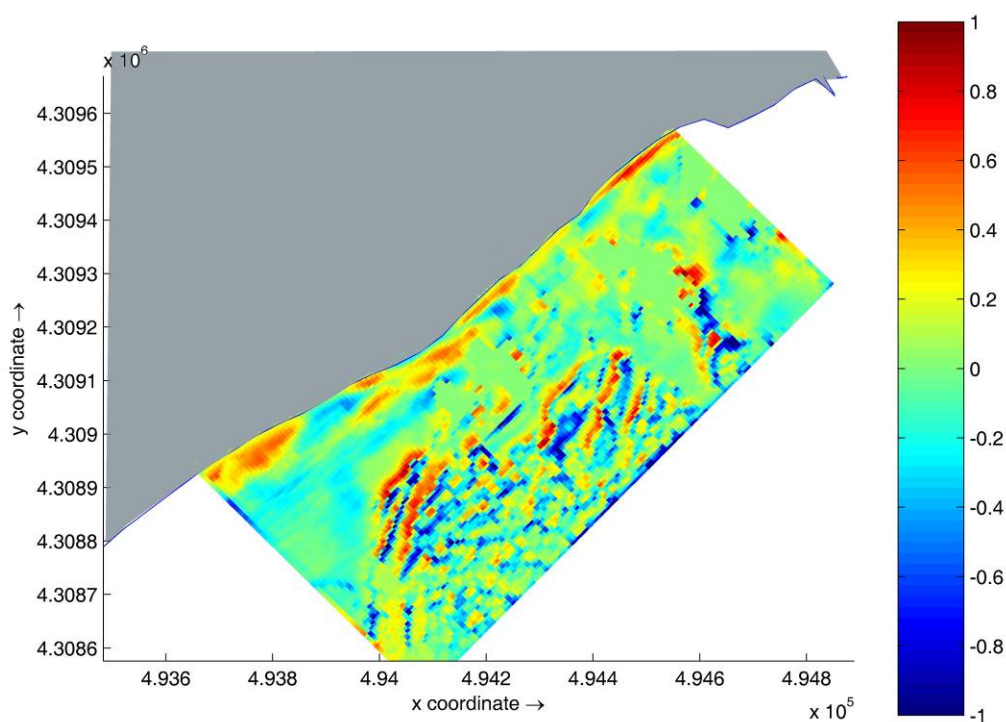


Figura 23: Simulazione 200. In rosso le zone di accumulo, in blu le zone in erosione.

6 Caratterizzazione ambientale dei fondali e monitoraggi pregressi

Come già riferito il litorale in oggetto è stato interessato da numerosi studi e monitoraggi.

Prima di procedere alla stesura di ogni elaborato progettuale era stata effettuata una mappatura delle biocenosi presenti nel sito, mappatura effettuata nuovamente nell'anno 2017 in occasione della rimozione delle barriere soffolte.

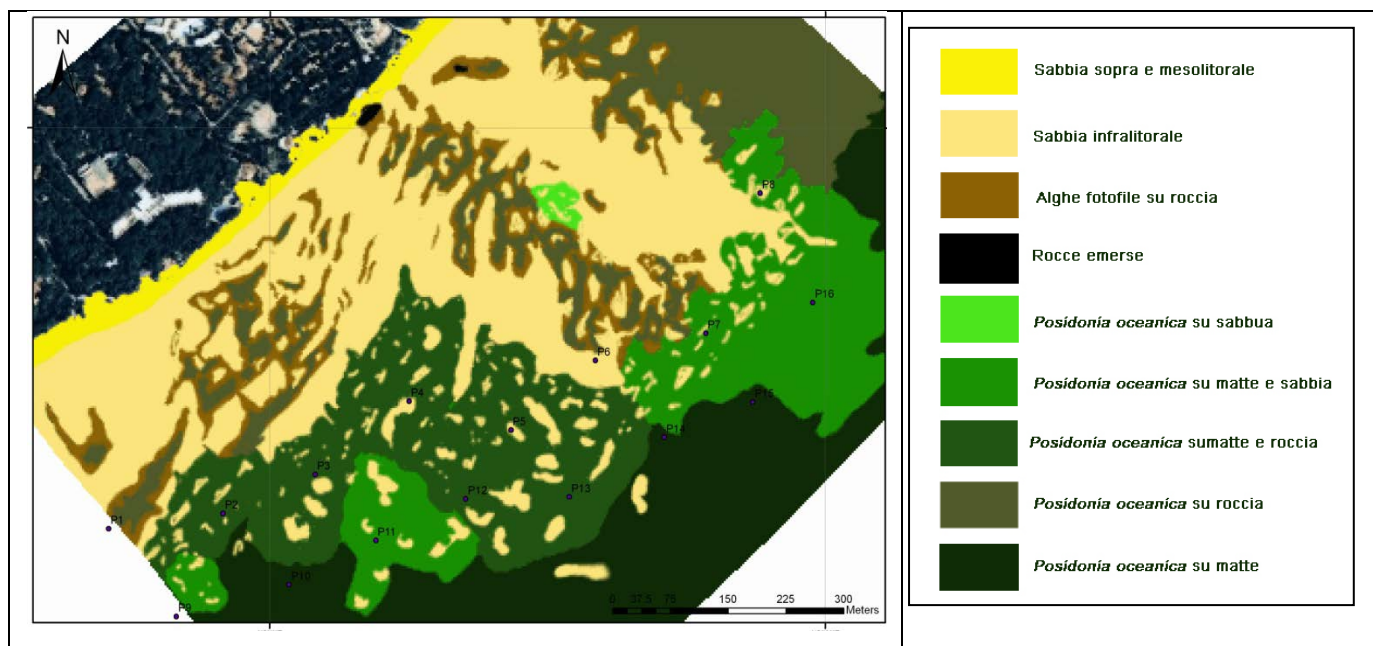


Figura 24 Mappatura biocenosi

In occasione della realizzazione delle barriere soffolte di protezione del litorale fu effettuato un monitoraggio della durata di tre anni nel quale venivano analizzati i seguenti parametri:

Tabella 5 Monitoraggio 2009-2012

Parametro	Descrizione sintetica	Frequenza (mesi)	Durata complessiva (anni)	N. Campionamenti
Studio fisionomia prateria	Rilevato in situ lungo transeiti perpendicolari a costa, visualizzati da cime decamtrate adagiate sul fondo	3	3	12
Natura e profondità del limite superiore	Rilevati in situ attraverso protocolli descrittivi (natura) e misure strumentali al decimetro (profondità)	3	3	12
Copertura prateria	Rilevata in situ attraverso una stima percentuale della porzione di fondale ricoperta da posidonia	3	3	12
Densità	Rilevata in situ tramite conteggio del numero di fasci per m ² su almeno 5-10 repliche non contigue	3	3	12
Densità globale	Descrittore efficace della struttura della prateria, combina copertura e densità	3	3	12
Coefficiente A	Corrisponde alla proporzione percentuale di apici fogliari rotti (su 20 ciuffi campionati con tecniche casuali)	3	3	12
Mz	Parametro statistico (diametro medio)	3	3	12
So	Parametro statistico (coefficiente di Sortine)	3	3	12
Sk	Parametro statistico (coefficiente di asimmetria)	3	3	12
Ku	Parametro statistico (coefficiente Kurtosis)	3	3	12
% carbonati	Contenuto in carbonati nei sedimenti (valore in %)	3	3	12
Dati AWAC	Registrazione dei dati ondametrici e correntometrici	Ogni 3 ore	2	1
Dati Acquadopp	Registrazione dei dati correntometrici	Ogni 3 ore	2	1
Rilievi batimetrici	Rilievi eseguiti tramite scandaglio tipo Single Beam	3	3	12

Rilievi linea di riva	Rilievi eseguiti tramite GPS tipo Trimble 5700 Total Station con metodologia RTK	3	3	12
Temperatura	Rilevata in situ tramite Sonda Valeport Midas SVX	3	3	12
Ossigeno disciolto	Rilevata in situ tramite Sonda Valeport Midas SVX	3	3	12
BOD	Esami di laboratorio	3	3	12
COD	Esami di laboratorio	3	3	12
Torbidità	Rilevata in situ tramite sensore OBS-3+	3	3	12

Di tale monitoraggio si riportano le conclusioni dell'ultima fase dell'aprile del 2012.

La conclusione della campagna di monitoraggio, iniziata nel marzo del 2009 e protrattasi per 3 anni con l'effettuazioni di molteplici attività scansionate ad intervalli regolari, consente di potere fornire delle valide indicazioni sull'effetto che l'inserimento delle barriere soffolte ha avuto sull'ambiente circostante.

Lo scopo principale del monitoraggio era quello di rilevare possibili interferenze negative sugli equilibri del litorale per consentire, eventualmente, rapide modifiche o interventi di ripristino. Oltre a ciò, esso aveva lo scopo di verificare l'efficacia delle barriere soffolte per consentire la definizione di ulteriori interventi futuri.

L'esame cumulato di tutti i parametri registrati consente di affermare, senza alcun dubbio che non vi è stata alcuna alterazione sulla prateria della posidonia: il suo stato di conservazione non ha mai fatto riscontrare variazioni significative delle densità della prateria in prossimità delle opere sommerse. Le variazioni presenti, come dimostrato nei monitoraggi precedenti, mostrano un andamento dovuto principalmente alla variabilità spaziale della densità della prateria stessa.

Stesse evidenze sono emerse per la sedimentologia: dal confronto fra i dati acquisiti si nota una piccola variazione di alcuni parametri sedimentologici tra il primo e le altre campagne di rilievo, in particolare; il valore del sorting risulta leggermente diminuito, si fa notare però come la popolazione rimanga nella classe scarsamente e/o moderatamente classata; il contenuto di sedimenti fini (frazione < 63 micron) che risulta minore nelle campagne successive alla prima. Il diametro medio risulta compreso nei valori delle sabbie.

Si ricorda in questa sede che la variabilità delle spiagge, in particolare nel mediterraneo, è legata a sporadici, ma intensi eventi meteoclimatici marini (mareggiate a elevata energia) che con la loro intensità possono modificare radicalmente l'assetto delle spiagge (Gometz Pujol et al 2008).

I parametri biologici registrati con BOD5 e COD hanno costantemente mostrato una sostanziale assenza di fenomeni proliferativi di origine biologica.

I rilievi batimetrici e topografici al termine dei tre anni mostrano, seppure è presente una ciclicità di arretramento ed avanzamenti dovuti alla stagionalità degli eventi meteo marini, un sostanziale miglioramento delle condizioni di stabilità del tratto di litorale protetto dalle barriere.

Il rilievo topografico effettuato nel Giugno 2012 mostra, nel complesso, un ritorno alle posizioni registrate all'inizio della campagna di monitoraggio ossia è presente un avanzamento del tratto di litorale protetto dalle barriere di circa 8 metri rispetto alla situazione ante opera.

L'accumulo di sedimento registrato nel 2010 nelle aree limitrofe Abamar e Cala Verde appare rientrato ai valori precedenti ossia ai livelli del 2009.

Le ispezioni visive effettuate sulle barriere esistenti hanno evidenziato alcune lacerazioni con conseguenti cedimenti strutturali che necessitano un'opera urgente di manutenzione e ripristino delle condizioni di progetto, eventualmente attraverso il posizionamento di nuovi geotubi sopra quelli già in opera.

Come precedentemente evidenziato l'assenza di un ripristino delle condizioni di progetto delle barriere sta progressivamente attenuando gli effetti benefici già ottenuti. Al netto dell'effetto favorevole stagionale, si ritiene che le barriere, oramai largamente rimaneggiate, abbiano pressoché concluso la loro funzione.

Per quanto emerso nelle campagne di monitoraggio, vista la sostanziale bontà dell'intervento, si vuole evidenziare che si ritiene improrogabile la necessità di un'opera di ripristino straordinario che metta in opera nuove strutture o che "rigeneri" la situazione di progetto.

Nell'anno 2017, come già detto, è stato effettuato un nuovo monitoraggio che ha portato alle seguenti conclusioni. Si precisa come il monitoraggio effettuato fosse relativo ad un intervento del tutto analogo a quello dell'intervento in oggetto in quanto l'intervento prevedeva la movimentazione di sedimenti dal fondale alla spiaggia emersa.

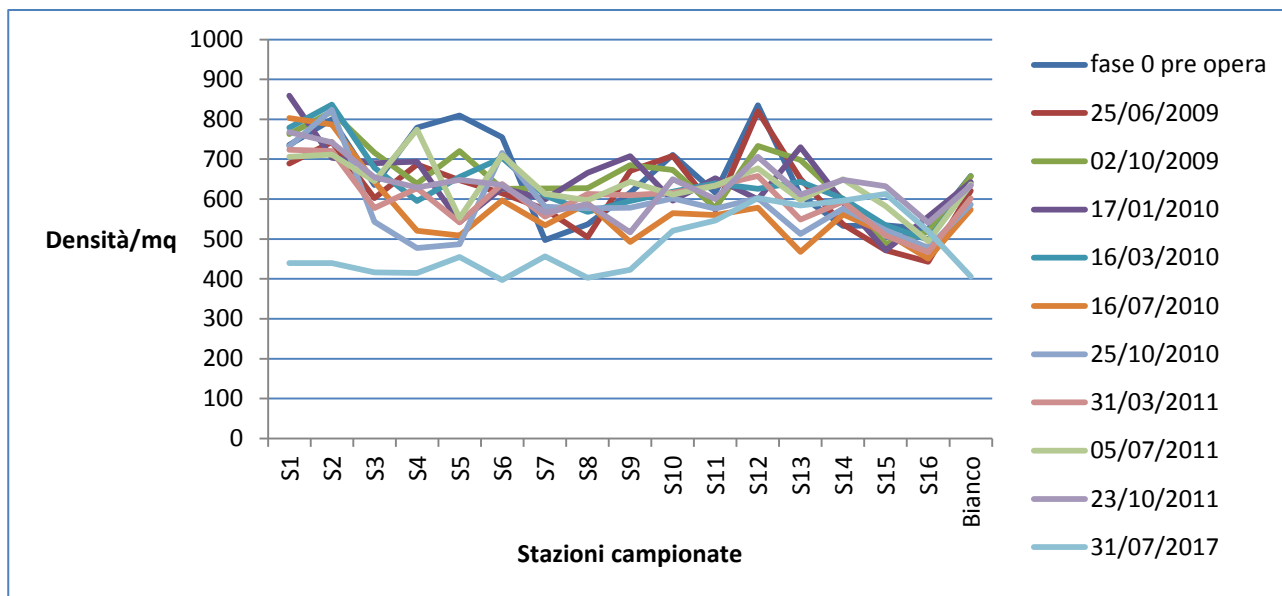
Il monitoraggio era relativo al "Progetto per la rimozione delle opere di protezione del litorale antistante il Forte Village Resort con contestuale riporto della sabbia residua nella spiaggia emersa - intervento localizzato a seguito dei danni provocati dalla mareggiata del 1-7 marzo 2013" realizzato nel 2014 e nel 2017 con la movimentazione complessiva di circa 1400 mc (800 nel 2015 e 600 nel 2017) del sedimento proveniente dai geotubi che costituivano le barriere di protezione. Il monitoraggio è stato eseguito prima e dopo l'intervento del 2017.

Dall'analisi dei dati di densità rilevati nel monitoraggio di maggio e quelli rilevati nel mese di luglio, si evince che la prateria è in buono stato di conservazione e non si notano differenze sostanziali tra i due monitoraggi. Infatti dai dati ottenuti, e secondo la classificazione di Giraud (1977), la prateria è considerata come densa.

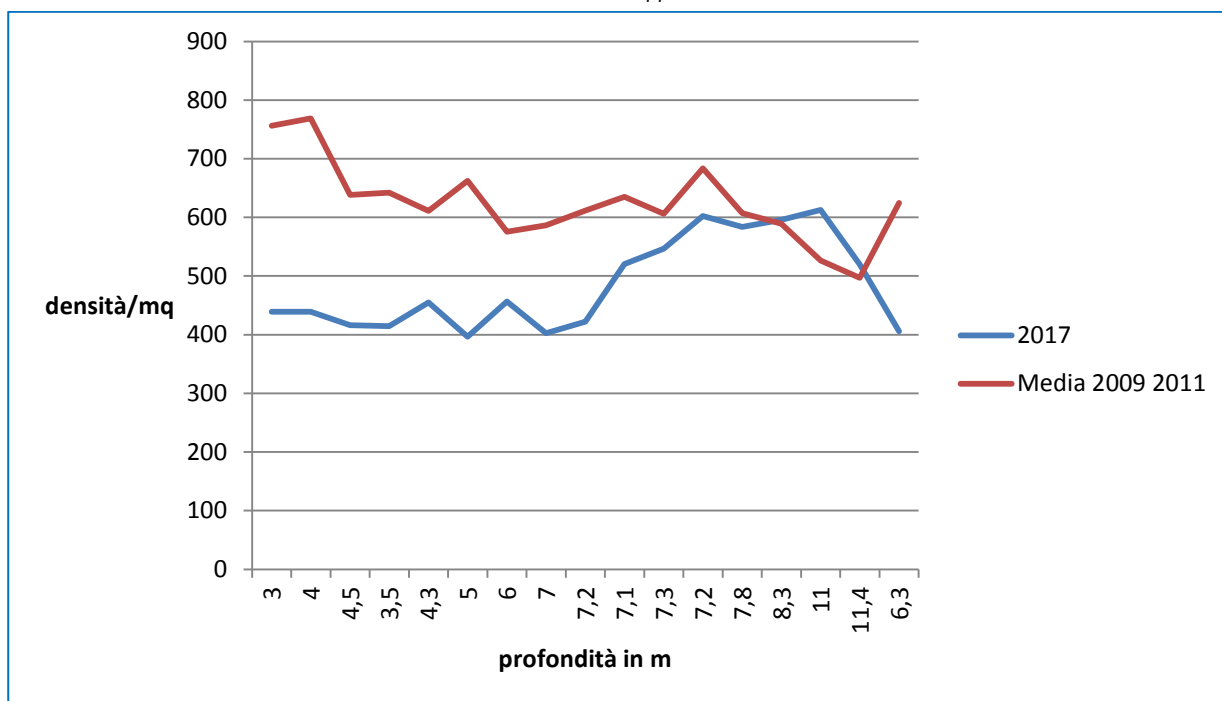
Confrontando i dati di densità nelle varie fasi del monitoraggio, dal 2009 fino al 2011 con quelli attuali si nota, invece, una diminuzione della densità nelle stazioni meno profonde, inclusa la stazione "bianco", mentre nelle stazioni più profonde tra i 7m e gli 8m non vi sono differenze. (Vedi grafico del confronto tra stazioni profonde).

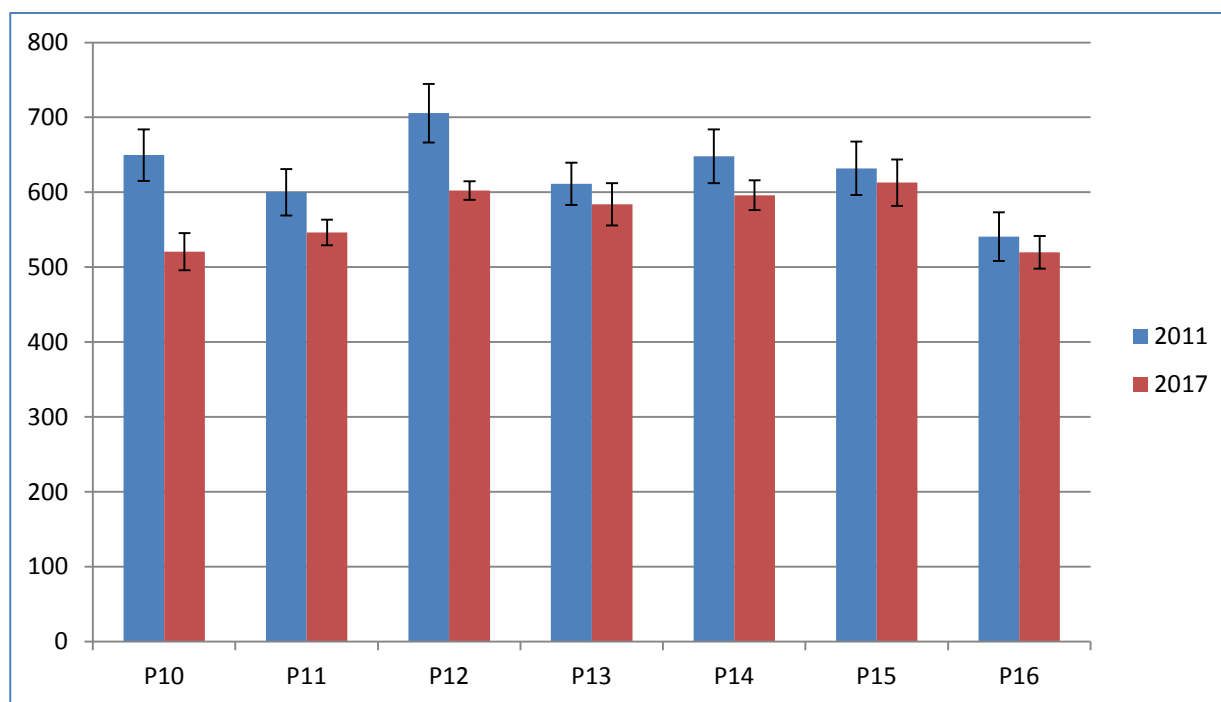
È ormai noto che il limite superiore delle praterie a P. oceanica, specialmente in aree esposte ad alto idrodinamismo, è una delle cause di possibile diminuzione di densità (Boudouresque et al. 2012). Diversi esperimenti e studi hanno valutato che la regressione della densità delle praterie, in fondali di pochi metri, avviene maggiormente dove la prateria è instaurata su roccia, e roccia e matte. Questo fenomeno si è verificato molto probabilmente nella zona da noi esaminata. Negli ultimi tre anni infatti si sono verificate delle forti mareggiate che hanno influenzato in modo significativo la spiaggia antistante il Forte Village Resort. Queste modifiche sono state osservate sia nella dinamica della spiaggia, con uno spostamento del sedimento verso la zona Est della spiaggia in prossimità del porticciolo di Cala Verde, sia con gli accumuli smisurati di posidonia spiaggiata sia sulla spiaggia sia all'interno del porticciolo sempre di Cala Verde.

Da queste valutazioni possiamo supporre che la diminuzione di densità in prossimità del limite superiore sia stata influenzata dalle mareggiate che tra il 2012 e il 2017 hanno insistito su questo settore.



Come si può vedere dal grafico precedente la diminuzione della densità si è verificata sia nei siti in prossimità della spiaggia sia nella stazione esterna "Bianco". La stazione di controllo è situata a più di un chilometro di distanza dalla spiaggia presa in esame. Pertanto una diminuzione di densità, a così elevata distanza, fa supporre ad una diminuzione dovuta a fenomeni naturali.

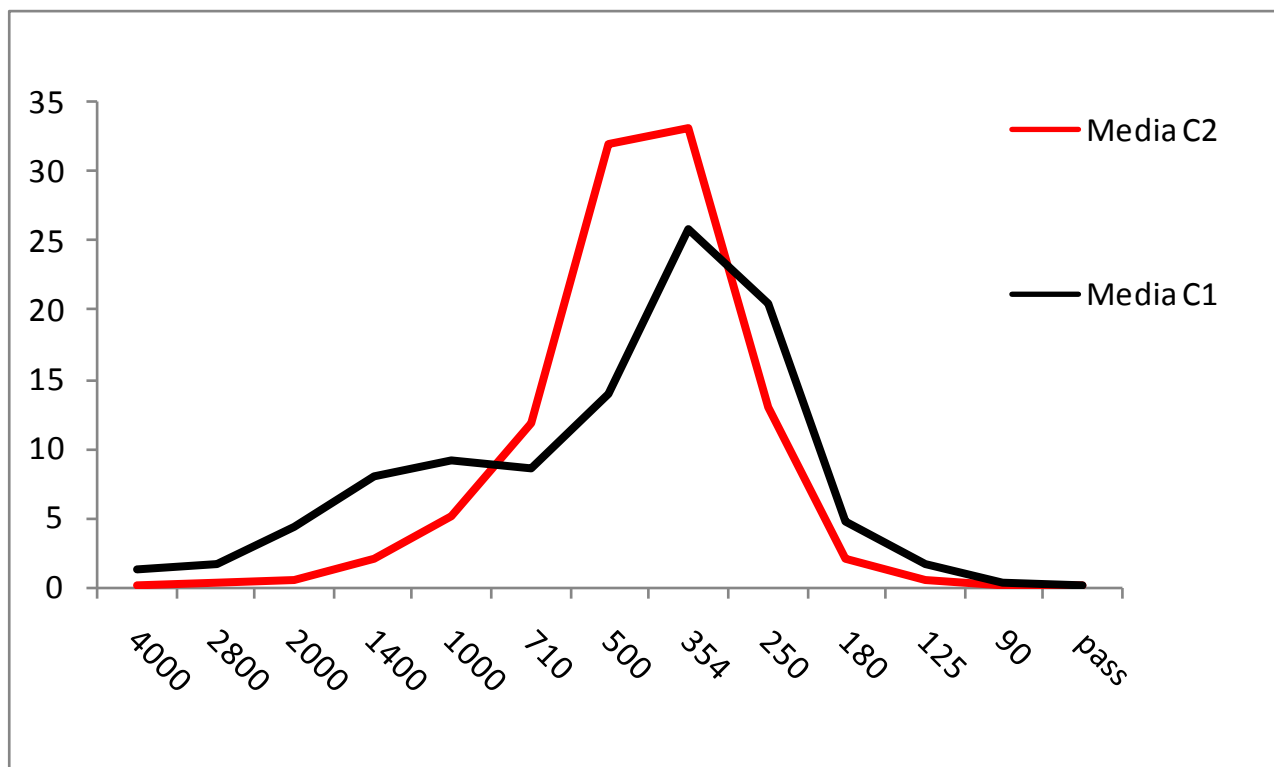




Confronto tra densità delle stazioni profonde

Un riscontro maggiore si avrà se i monitoraggi saranno ripetuti nei mesi successivi alla rimozione delle strutture. In questo modo sarà possibile ottenere dei dati per poter formulare dei risultati definitivi sullo stato di conservazione della prateria antistante il Forte Village Resort. Pertanto si consiglia di effettuare un monitoraggio durante la stagione invernale, Gennaio/Febbraio, ed uno nella primavera tra Maggio/Giugno.

La media delle classi granulometriche per i campioni prelevati nella prima e nella seconda campagna sono state confrontate.



confronto qualitativo fra le curve granulometriche medie delle due campagne di rilievo

Dalla figura si evince come in via qualitativa le popolazioni granulometriche dei campioni prelevati siano molto simili. Da notare come la granulometria media dei campioni più profondi (curva rossa) e prelevati nella seconda campagna sia più classata rispetto ai campioni meno profondi, dove oltre alla componente di sabbia media è presente una componente di sabbia grossolana e ghiaia fine rilevante. Ciò può essere dovuto al maggior idrodinamismo delle aree meno profonde, che impedisce o limita la deposizione di materiale più fine, oltre che da possibili differenze geomorfologiche non considerate in questo specifico studio.

Per maggiore chiarezza viene allegato al progetto il monitoraggio effettuato nel 2017 e l'ultima fase del monitoraggio effettuato tra il 2009 ed il 2012.

6.1 Caratterizzazione delle Comunità Bentoniche di fondi molli

Il dott. Pier Augusto Panzalis, redattore dei monitoraggi sopra riportati, con riferimento ai lavori in oggetto ha fornito le seguenti indicazioni integrative con riferimento alle biocenosi eventualmente presenti sulla sabbia da movimentare.

La caratterizzazione sarà effettuata nelle aree soggette al prelievo del sedimento, lungo le biocenosi delle sabbie fini superficiali e delle biocenosi delle sabbie fini ben calibrate.

La biocenosi delle sabbie superficiali occupa la fascia delle sabbie costiere dalla linea di battigia fino a circa 2-2,5 m di profondità ed è popolata da specie spesso con generiche con quelle delle sabbie fini ben calibrate che si estendono dai 2,0 m fino ai 25 m di profondità, occupando spesso vaste superfici lungo le coste o i fondali delle grandi baie. Il sedimento è caratterizzato da granulometria omogenea e provenienza terrigena; a volte può prevalere la componente fangosa derivante da disaggregazione delle rocce litorali o da apporti fluviali.

Nonostante ciò, rappresenta una vera e propria biocenosi autonoma.

Tra le specie caratteristiche dominano i Molluschi Bivalvi, quali:

Donax trunculus, Tellina tenuis, Lentidium mediterraneum

Queste specie vivono infossate nel sedimento, che scavando tramite il loro piede muscoloso, filtrando minute particelle che avvolte di muco vengono trasportate per mezzo di movimenti ciliari alla bocca. Alcune sono dotate di lunghi sifoni che gli consentono un infossamento maggiore.

Inoltre si aggiungono:

I Isopode Idotea baltica, Il Crostaceo Cumaceo Iphinoe inermis, il Crostaceo Anfipode Ampelisca brevicornis e il Polichete Glycera convoluta.

La caratterizzazione, effettuata tramite benna di tipo Van Veen da 0,05 mq., sarà supportata da attività di laboratorio:

- setacciamento;*
- fissazione in formalina al 4% (24h per la completa fissazione);*
- sorting a livello di classe del popolamento;*
- classificazione a livello di specie (quando possibile);*
- conta delle abbondanze.*

Analisi dei dati:

- analisi spaziale delle abbondanze;*
- analisi degli indici e misure di diversità (indice di Shannon-Wiener, indice di Margalef, indice di uniformità di Pielou, indice di Simpson);*

La caratterizzazione avrà il compito di valutare la vulnerabilità di tali biocenosi. La vulnerabilità è definita come la capacità dell'habitat di conservare la sua struttura e le sue funzioni a fronte di influenze sfavorevoli attuali o potenziali. Maggiore è la vulnerabilità di un habitat, maggiore è la probabilità che esso subisca alterazioni a seguito di un impatto anche relativamente modesto.

Il suo utilizzo permette di prevedere attività di monitoraggio mirate, nel caso della nostra biocenosi il monitoraggio avrà il fine di valutare i tempi che date biocenosi avranno per ritornare al loro stato preesistente. Considerando che le biocenosi dei fondi molli,

specialmente a basse profondità, sono soggette ad elevate perturbazioni, anche di origini ambientali, l'analisi saranno condotte in due fasi; una fase prima del prelievo di sedimento ed un'analisi dopo 6 6 mesi dall'avvenuta asportazione del sedimento dal fondale.

7 Informazioni sulle caratteristiche chimico fisiche della colonna d'acqua

Sempre con riferimento al progetto di messa in sicurezza del litorale antistante il Forte Village Resort, dal marzo del 2009 all'aprile del 2012 sono state effettuate misurazioni trimestrali del BOD, COD, temperatura, salinità ed ossigeno disciolto.

Durante il monitoraggio i parametri biologici registrati con BOD5 e COD hanno costantemente mostrato una totale assenza di fenomeni proliferativi di origine biologica.

Anche i parametri fisici registrati non hanno mostrato anomalie.

8 Lavori previsti in progetto

Una volta caratterizzato il sito e le interazioni dei sedimenti con le caratteristiche meteomarine del paraggio nonché esaminati gli esiti delle caratterizzazioni e monitoraggi di tipo ambientale, è stato possibile definire la tipologia di intervento da effettuare.

Il progetto, come già detto, consiste in un intervento di movimentazione di sedimenti dalla spiaggia sommersa a quella emersa per riportare il litorale in condizione tipiche del periodo estivo. Negli ultimi anni infatti le gravose mareggiate che si manifestano anche nel periodo primaverile non danno il tempo al litorale di ricostituirsi e presentarsi in condizioni strutturali ottimali con particolare riferimento all'utilizzo turistico del bene.

Nello specifico il progetto prevede la movimentazione di circa 27.000,00 metri cubi di sedimento che consentiranno di effettuare un avanzamento effettivo a regime di circa 15 metri rispetto alla linea di riva della passata stagione 2017 riportando pertanto il tratto di spiaggia a condizione di tipo ordinario di regime estivo come da trend degli ultimi anni di osservazione.

I sedimenti, come già riferito, saranno prelevati dagli specchi acquei antistanti il sito di deposito, in aree prive di posidonia oceanica, con l'utilizzo di un mezzo marittimo dotato di pompa aspirante e refluyente, da un'area avente una superficie pari a circa 80.000,00 metri quadri, prelevando pertanto esclusivamente uno strato superficiale di sedimento. In particolare nella fascia entro i 40 metri dalla battigia di sversamento il prelievo riguarderà uno spessore massimo di 50 cm mentre per distanze superiori il prelievo potrà essere approfondito fino ad un metro.

Le aree di prelievo saranno distanti almeno 20 metri dalla posidonia oceanica radicata su sabbia o su sabbia e matte per evitare qualsiasi impatto negativo sulle radici.

La pompa da utilizzare sarà del tipo dragflow che consente di aspirare una miscela di sabbia ed acqua e di pomparla attraverso una tubazione galleggiante nel sito di conferimento finale.

Il mezzo marittimo e le relative tubazioni galleggianti saranno in linea di massima analoghi all'immagine sotto riportata.



Figura 12 Tipo di mezzo marittimo che sarà utilizzato per l'intervento

Il lavoro sarà effettuato sotto monitoraggio costante di un archeologo iscritto nell'elenco MiBACT degli operatori archeologi abilitati alla redazione del documento di valutazione archeologica nel progetto di opera pubblica al n° 983.

Si evidenzia come le indagini archeologiche effettuate anche dalla Soprintendenza nei siti preventivamente all'esecuzione dei lavori di protezione del litorale dell'anno 2009, hanno evidenziato l'assenza di emergenze archeologiche.

Prima di iniziare i lavori verrà inoltre effettuata apposita indagine magnetometrica al fine di verificare la presenza di eventuali masse magnetiche nelle aree da sottoporre a prelievo di sedimento. Nel caso si riscontrassero dei segnali positivi verrà attivata la procedura di Bonifica da Ordigni Bellici.

L'intervento consiste in un abbancamento di sabbia per uno sviluppo di 450 metri effettuando un avanzamento di circa 25 metri rispetto alla linea di battigia. L'intervento sarà realizzato secondo le sezioni indicate negli elaborati grafici progettuali allegati alla presente e si prevede in condizioni di regime un avanzamento della linea di riva di circa 15 metri riportando il tratto di spiaggia interessato a condizioni tipiche della stagione estiva.

Il tratto di litorale oggetto di intervento risulta delimitato verso terra per uno sviluppo di circa 300 metri dai muri di delimitazione della proprietà e per i restanti 150 metri da un cordone dunale in avanzato stato di regressione.

Lo stato di regressione della duna deriva sostanzialmente dall'azione del moto ondoso che vi incide durante le mareggiate più gravose.



Figura 25 Il tratto dunale interessato dall'intervento

L'intervento prevede un'opera di ripristino del cordone dunale tramite il riporto di sabbia, come riportato nella sezione tipo di progetto, al fine di ricostituire il profilo originario.

Si prevede inoltre la successiva rinaturalizzazione con la piantumazione di specie vegetali tipiche dell'habitat. In particolare la vegetazione sarà distribuita in base a criteri fitosociologici cercando di rispettare i rapporti di presenza delle diverse specie collocandole in base alla loro naturale successione dalla linea di costa verso l'entroterra.

Nella messa a dimora dovranno essere seguiti schemi di impianti assolutamente casuali puntando a favorire l'accorpamento in gruppi o nuclei di vegetazione così come avviene in natura.

L'intervento di rinaturalizzazione della duna sarà coordinato da un dottore in agronomia.

Data la necessità di effettuare i lavori a ridosso della stagione balneare, ma senza che il lavoro possa essere inficiato da un'eventuale mareggiata avente caratteristiche eccezionali, si prevede di realizzare i lavori nel mese di maggio con ultimazione entro massimo il 15 di giugno.

Tale arco temporale di 45 giorni naturali e consecutivi è compatibile con l'utilizzo di una draga avente una portata pari a 1000 m³/h di miscela ai quali corrispondono circa 200 m³/h di sedimento movimentato considerando che operi per 4-6 ore al giorno per 28 giorni nell'arco dei 45 giorni complessivi di durata dei lavori.

Per poter eseguire i lavori nel tempo stabilito sarà presente anche una seconda pompa dragflow che consenta di poter sostituire quella utilizzata in caso di guasto o poter incrementare il volume quotidianamente movimentato nel caso si presentino condizioni meteo avverse che possano obbligare ad un'accelerazione dei tempi di realizzazione dei lavori.

In caso di condizioni meteo avverse inoltre i lavori potranno essere sospesi ed il mezzo marittimo ormeggiato nel limitrofo porticciolo di Cala Verde.

Dal punto di vista operativo si prevede di procedere allo sversamento del materiale all'interno di apposite cassette aventi dimensioni pari a metri 10 x 10 ed altezza variabile tra un metro e due metri in funzione dello spessore di sedimento necessario a ricostruire il corpo della spiaggia. Si prevede di posizionare sul litorale una batteria di sei cassette che saranno smontate una volta riempiti avendo sempre a disposizione un punto di sversamento. I cassette potranno essere movimentati a mano o con un mezzo gommatto di peso contenuto.

La sabbia riportata sulla spiaggia emersa potrà essere rimodellata mediante utilizzo di una terna gommatto.

Tale metodologia progettuale consente innanzitutto di poter monitorare con precisione la quantità di materiale movimentato e consente di diminuire il materiale disperso in acqua durante le operazioni di movimentazione.

Con riferimento alla torbidità, considerando che le operazioni di sversamento avverranno in condizioni di mare calmo e quindi in situazione di corrente quasi nulla, si prevede un'immediata precipitazione al fondo del sedimento sabbioso così come indicato nel sottostante grafico.

Durante i monitoraggi effettuati sul litorale è emerso che durante i mesi estivi raramente i valori di corrente registrati sono stati superiori a 0,1 m/s.; tale velocità in relazione alla granulometria dei sedimenti del litorale ($D_{50} = 0,38$ mm) determina che non si possa creare una torbidità tale da causare problemi alla posidonia oceanica ma che si possa generare esclusivamente un trasporto di sedimento sul fondale.

Il limitato fenomeno della presenza di torbidità durante i mesi estivi è stato inoltre registrato durante i monitoraggi effettuati di cui si è riferito in precedenza.

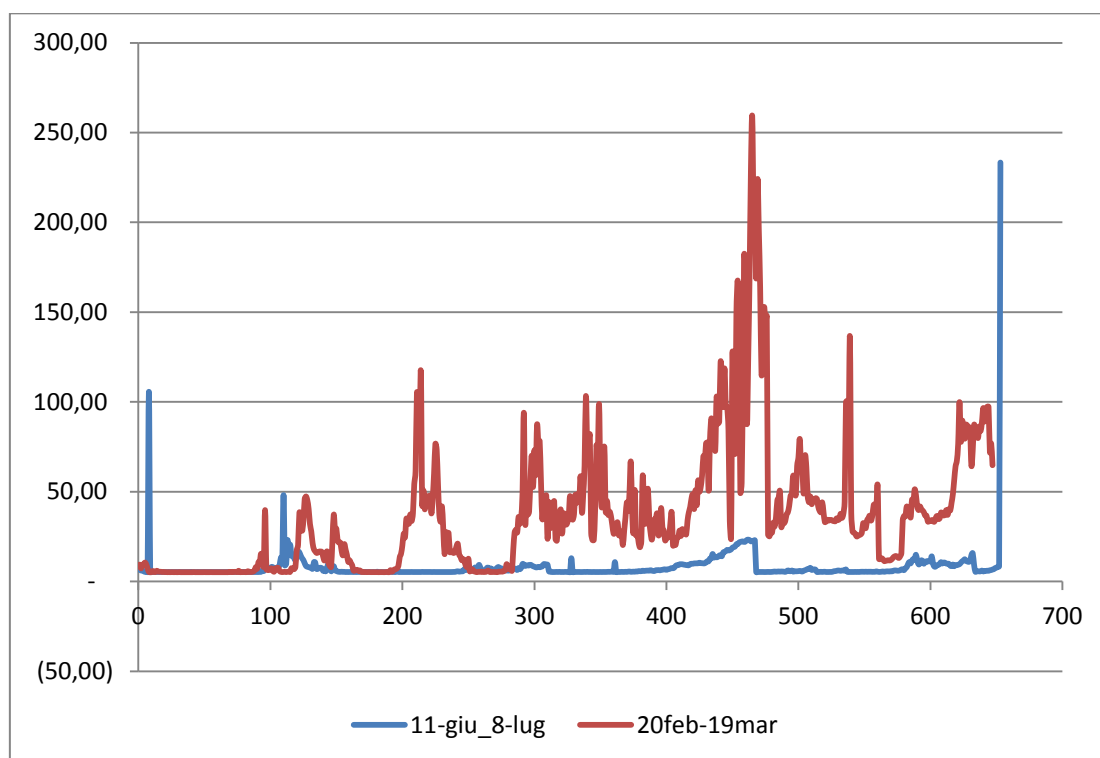


Figura 26 andamento della torbidità registrata dal OBS-3+ con cadenza trioraria [FTU], in rosso i valori di torbidità registrati da 20/02/2009 al 19/03/2009; in blu i valori registrati dal 11/06/2009 al 8/07/2009. E' chiara la diminuzione della torbidità media durante i periodi primaverile ed estivo.

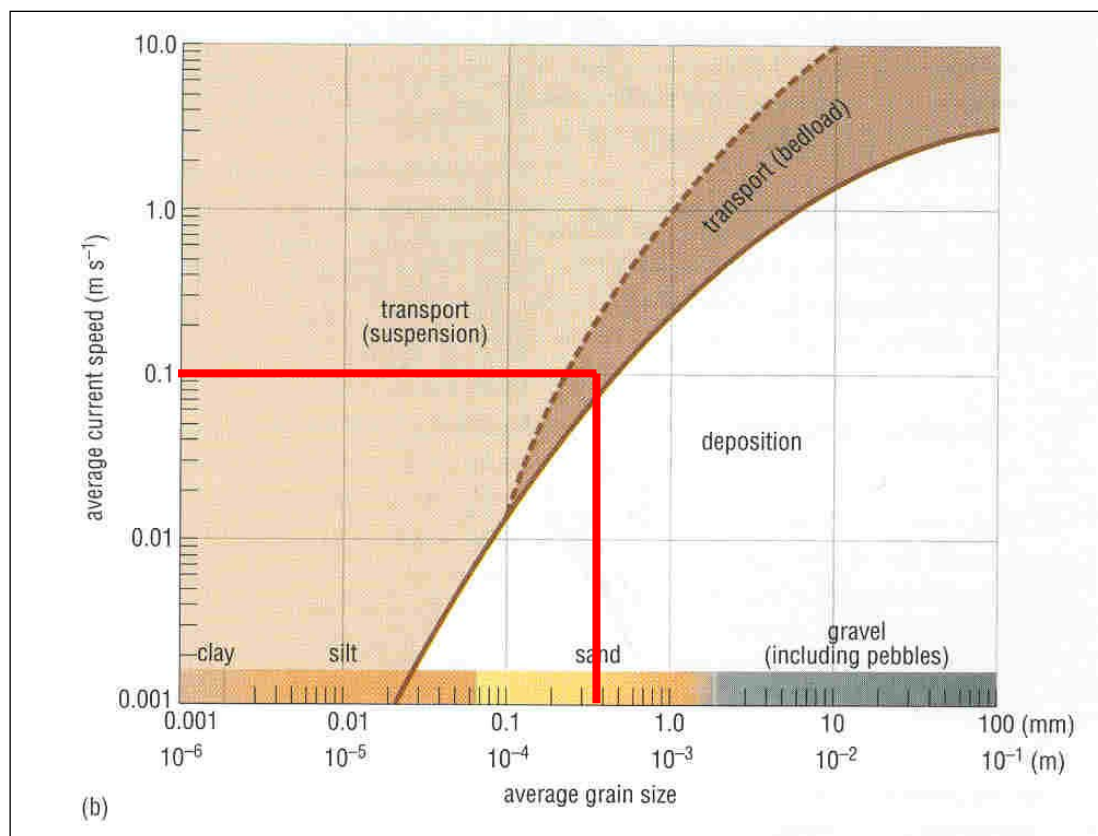


Figura 27 Trasporto dei sedimenti in funzione della velocità media della corrente

Le considerazioni sopra riportate sono state anche accertate durante la fase di aspirazione della sabbia effettuata durante i lavori di rimozione delle barriere sommerse durante i quali non veniva generata alcuna torbidità come documentato dalla foto sotto riportata.



Figura 28 pompa Dragflow durante i lavori di rimozione dei geotubi

Con riferimento agli esiti dell'intervento in termini di ricostituzione del corpo di spiaggia si possono effettuare delle considerazioni di tipo semi quantitative.

L'intervento si propone di aumentare il fronte spiaggia di circa 6.300,00 m², per un avanzamento della linea di riva di circa 15 m su un fronte di circa 400 m. I profili e le caratteristiche geometriche sono rappresentate nella tavola 7 allegata al progetto. L'analisi geometrica dei profili, ha fornito come valore necessario per tale avanzamento, un volume pari a circa 27.000 m³.

Tale valore corrisponde a circa 4,2 m³ di materiale riportato per costituire un metro quadro di spiaggia, valore in linea con le indicazioni preliminari riportate in letteratura.

Con riferimento invece alla reversibilità dell'intervento sono stati valutati gli effetti di una mareggiata sulla dinamica della spiaggia del Forte Village e si è proceduto alla determinazione della portata solida Q generata dalle correnti litoranee che si formano tra la linea dei frangenti e la linea di riva.

La portata Q è stata calcolata secondo le formule proposte da Larras riportate di seguito:

$$Q = K \times \frac{L_0}{H_0} \times g H^2 T \times \sin \frac{7\alpha}{4}$$

con $K = 0.18 \times 10^{-5} \times D_{50}^{-0.5}$

dove:

Q è la portata solida in m³/s;

K è un coefficiente che dipende dalla natura dei sedimenti;

H₀ è la semialtezza dell'onda a largo;

L₀ è la semilunghezza dell'onda a largo;

g è l'accelerazione di gravità;

h è la semialtezza dell'onda frangente;

T è il semiperiodo dell'onda;

α è l'angolo che il fronte d'onda forma con la linea di costa.

Il calcolo della portata solida è stato effettuato sulla base di possibili mareggiate che hanno ricorrenza annuale, ossia quelle caratterizzate da altezze d'onda a largo inferiori a 2,50 m.

Sono state valutate tre diverse altezze d'onda a largo, ossia H₀=1,50m, H₀=2,00m e H₀=2,50m (vedi tab.20), provenienti dalle direzioni 90°N (Levante), 135°N (Scirocco), 180°N (Ostro).

Lo studio della rifrazione del moto ondoso nel tratto di mare antistante il Forte Village ha messo in luce il fatto che tutti i moti tendono a propagarsi verso riva con direzioni che vanno a convergere con l'azimut 155°N. Pertanto il moto ondoso frangente della traversia proveniente da Est si presenta con un angolo di circa 60° rispetto alla linea di riva, quello relativo alla direzione 135°N si presenta con un'inclinazione di circa 20° e quello relativo alla direzione 180°N è inclinato di circa 25°.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti.

Direzione °N	H ₀ =1,50 m		H ₀ =2,00 m		H ₀ =2,50 m	
	D ₅₀ attuale		D ₅₀ attuale		D ₅₀ attuale	
90	0,035		0,081		0,11	
135	0,021		0,048		0,065	
180	0,025		0,058		0,078	

Tabella 20 – Portate solide [m³/s]

Moltiplicando i risultati della tabella 20 con la possibile durata della mareggiata, si possono stimare i m³ di sabbia che questa può mettere in movimento. Pertanto, considerando 4 diverse durate, 1h, 5h, 10h e 24 ore, è stato possibile prevedere quali potrebbero essere gli effetti delle mareggiate sia sulla spiaggia.

Direzione °N	H ₀ =1,50 m		H ₀ =2,00 m		H ₀ =2,50 m	
	D ₅₀ attuale		D ₅₀ attuale		D ₅₀ attuale	
90	126		291,6		396	
135	75,6		172,8		234	
180	90		208,8		280,8	

Tabella 6 Volumi erosi [m³] dopo un'ora di mareggiata.

Direzione °N	H ₀ =1,50 m		H ₀ =2,00 m		H ₀ =2,50 m	
	D ₅₀ attuale		D ₅₀ attuale		D ₅₀ attuale	
90	630		1458		1980	
135	378		864		1170	
180	450		1044		1404	

Tabella 7 Volumi erosi [m³] dopo 5 ore di mareggiata

Direzione °N	H ₀ =1,50 m		H ₀ =2,00 m		H ₀ =2,50 m	
	D ₅₀ attuale		D ₅₀ attuale		D ₅₀ attuale	
90	1260		2916		3960	
135	756		1728		2340	
180	900		2088		2808	

Tabella 8 Volumi erosi [m³] dopo 10 ore di mareggiata

Direzione °N	H ₀ =1,50 m		H ₀ =2,00 m		H ₀ =2,50 m	
	D ₅₀ attuale		D ₅₀ attuale		D ₅₀ attuale	
90	3024		6998,4		9504	
135	1814,4		4147,2		5616	
180	2160		5011,2		6739,2	

Tabella 9 Volumi erosi [m³] dopo 24 ore di mareggiata

Dalle tabelle sopra riportate si evince come una mareggiata avente altezza pari a 2,5 metri e durata pari a 24 sia in grado di movimentare circa un terzo del materiale depositato mentre per cui, dato il regime del paraggio in breve tempo il litorale si ritroverà in condizioni ante intervento.

Di contro, durante la stagione estiva, le mareggiate con altezza significativa superiore ad 1,5 metri sono poco frequenti e di breve durata e quindi si ipotizza che l'intervento abbia adeguata efficacia durante il periodo estivo.

A titolo di esempio si riportano due grafici relativi alle registrazioni effettuate durante una stagione estiva con un ondometro posizionato di fronte al litorale in oggetto in occasione della realizzazione delle barriere soffolte.

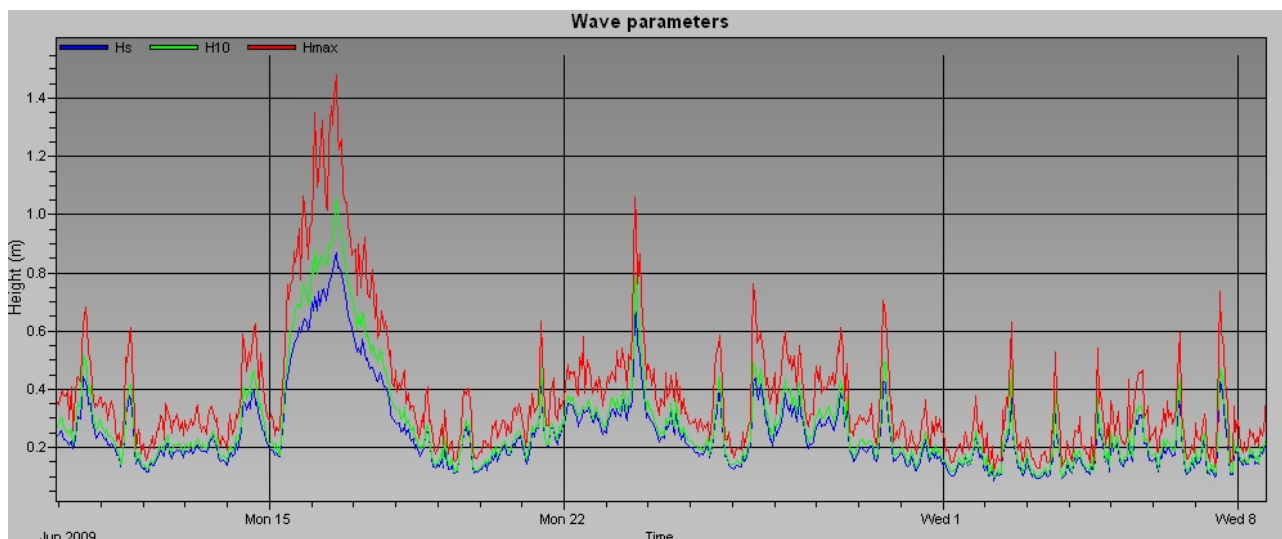


Figura 29 Raffigurazione sintetica dei dati ondametrici registrati dalla sonda AWAC dal 9/06/2009 al 08/07/2009 al largo del litorale in oggetto.

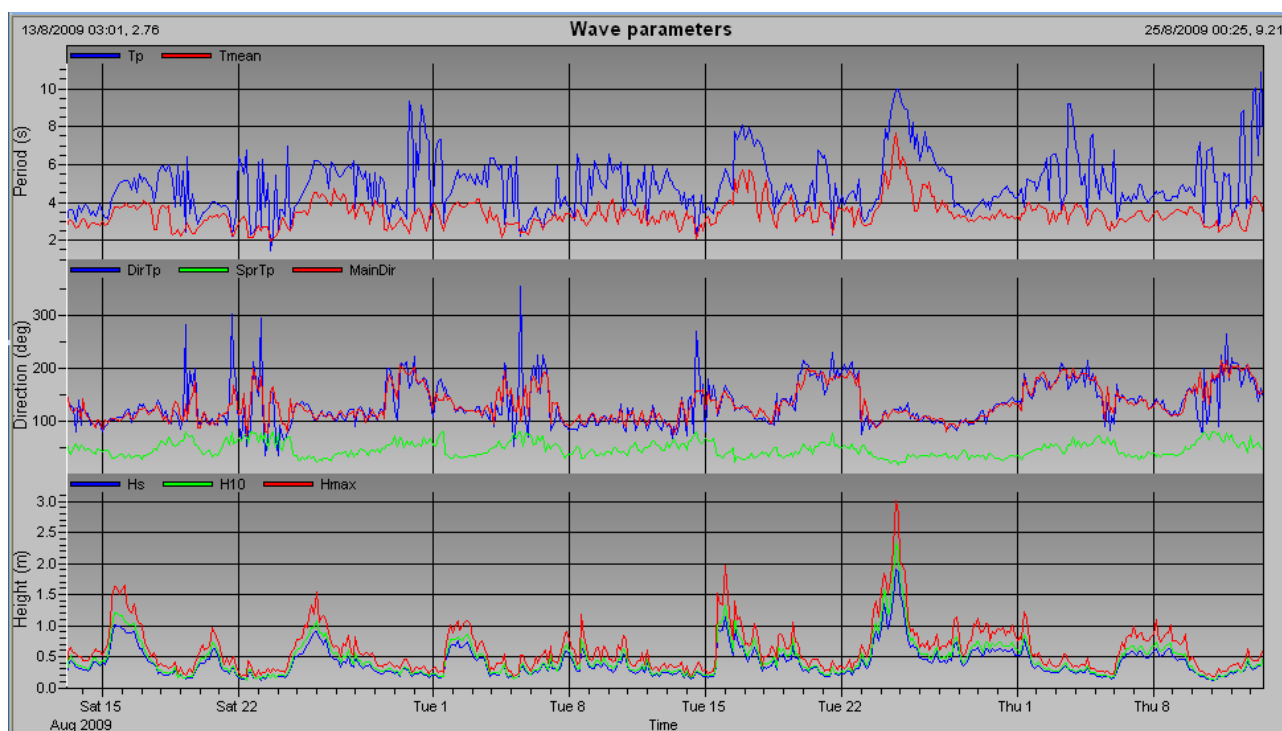


Figura 30 Raffigurazione sintetica dei dati ondametrici registrati dalla sonda AWAC dal 13/08/2009 al 13/10/2009 al largo del litorale in oggetto.

Dai grafici è evidente come il regime delle mareggiate estive consentirà di mantenere stabile l'intervento.

8.1 Le alternative progettuali

Individuato il quantitativo di sedimento necessario alla manutenzione annuale del litorale è opportuno effettuare una riflessione su possibili alternative di approvvigionamento del sedimento da riportare sul litorale.

Come riferito in premessa nel 2003 veniva redatto il "Progetto di ripristino del litorale antistante il Forte Village Resort" che prevedeva un ripascimento con sabbia di cava per 15.000,00 mc.

Il progetto ottenne tutte le autorizzazioni necessarie all'esecuzione degli stessi e fu eseguito nella primavera del 2009 con l'apporto di soli 1.500 mc di sedimento.

Tra le autorizzazioni ottenute vi fu anche la Determinazione n. 858/VIII del 06/04/2004 dell'Assessorato della Difesa dell'Ambiente che escludeva il progetto dalla procedura di Valutazione di Impatto Ambientale e relativa conferma di validità del 09/03/2006, nonché l'autorizzazione della Direzione Generale della Difesa dell'Ambiente del 27/03/2009 a seguito di parere prot. 6700 del 26/03/2009 rilasciato dal Servizio tutela del Suolo e politiche forestali dello stesso Assessorato.

Quanto sopra è stato riportato in quanto pone in evidenza come il progetto di ripascimento abbia avuto un iter approvativo molto articolato ed approfondito.

In particolare, molto impegnativo fu la definizione della compatibilità tra i sedimenti locali e quelli delle ipotetiche cave da utilizzare.

In quella occasione furono preliminarmente valutate le seguenti cave:

- Sabbia Arzedi Simaxis (Comune di Oristano)
- Sabbia Melis Maracalagonis (Comune di Cagliari)
- Sabbia Puxeddu Santa Giusta (Comune di Cagliari)
- Sabbia Cespo Simaxis fine (Comune di Oristano)

La descrizione delle caratteristiche dei materiali era stata effettuata secondo la seguente progressione:

- COLORE
- NATURA DEI COMPONENTI
- ANALISI MORFOMETRICHE (FORMA, ARROTONDAMENTO, SFERICITA', GRADO DI ASSORTIMENTO)
- CLASSIFICAZIONE GRANULOMETRICA

I risultati, contenuti nella consulenza geologica allegata al progetto, portavano alle seguenti conclusioni:

L'indagine di laboratorio svolta ha evidenziato una certa "difformità" dei campioni rispetto allo standard di riferimento del "Forte Village Resort".

le analisi granulometriche ancora una volta rivelano una marcata diversità

L'ipotesi di utilizzo di tali sedimenti per l'esecuzione del ripascimento non fu autorizzata con nota Prot. 4089 del 23/02/2009 del Servizio Tutela del Suolo e Politiche Forestali dell'Assessorato Regionale all'Ambiente.

Si precisa che prima di porre all'attenzione dell'Assessorato l'ipotesi di utilizzo delle sabbie sopra elencate fu effettuata una verifica preliminare di numerosissime cave sparse su tutto il territorio Regionale ma nessuna presentava caratteristiche simili a quella del Forte Village anche da un primo esame visivo ritenendo pertanto inutile procedere con approfondite analisi.

Infine l'intervento fu effettuato prelevando il sedimento da un sito di deposito, ubicato nel Comune di Badesi in località Raigaggiu di proprietà della ditta Transema S.r.l., sedimento che presentava le medesime caratteristiche di quello nativo e rispettava le prescrizioni del Servizio Tutela del Suolo e Politiche Forestali dell'Assessorato Regionale all'Ambiente.

Attualmente tutte le cave di Badesi, che avevano caratteristiche idonee per l'esecuzione dell'intervento non risultano più operative, ed è pertanto non percorribile l'ipotesi di utilizzo di sedimenti provenienti da tale area geografica.

Parimenti non appare possibile proporre l'utilizzo dei sedimenti provenienti dalle cave sopra indicate.

Sostanzialmente si esclude pertanto l'ipotesi di poter utilizzare sedimenti provenienti da cave a terra per poter effettuare l'intervento.

La semplicità e dimensione dell'intervento proposto escludono inoltre l'ipotesi di reperire il sedimento da cave sommerse distanti dalla costa, sia per i costi che ne deriverebbero che per la complessità della valutazione dell'impatto potenziale.

9 Conto economico

L'importo dei lavori da eseguire sarà pari ad Euro 216.000,00 oltre le spese indicate nel successivo quadro economico.

La valutazione del costo per esecuzione delle opere è stata effettuata sulla base del costo unitario del volume di sedimento da riportare, pari complessivamente a 27.0000 mc, considerato un prezzo unitario di 8,00 Euro/mc secondo i prezzi mediamente applicati per lavori similari.

Tale importo risulta inoltre essere in linea con la stima del Prezzario Regionale di cui alla voce D.0005.0004.0023, pari ad 7,72 Euro/mc:

Codice:	D.0005.0004.0023
Descrizione:	RIPASCIMENTO della spiaggia e/o ripristino della duna costiera con sabbia proveniente da dragaggio dell'area individuata nella planimetria di progetto, con refluimento fino alla distanza massima di m 1.500, da effettuarsi con draga a refluizione dotata di motore di opportuna potenza, omologazione per la navigazione in mare, assistenza navale e terrestre, compresa la sistemazione del materiale e secondo le indicazioni della D.L.

			VALORE COMPLESSIVO DELL'OPERA PRIVATA	
A	Costo dei lavori			
A.1	Interventi previsti			€ 216.000,00
A.2	Oneri per la sicurezza			€ 3.000,00
A.3	Opere di mitigazione (impianto vegetazione dunale)			€ 2.000,00
A.4	spese previste da Studio di Impatto Ambientale, Studio Preliminare Ambientale e da Progetto di Monitoraggio Ambientale			
A.5	Opere connesse			
			TOTALE A	
B	SPESE GENERALI			
B.1	Spese tecniche redazione progetto e SIA			€ 20.000,00
B.2	Spese direzione lavori			€ 25.000,00
B.3	spese per Rilievi, accertamenti ed indagini (monitoraggio ambientale/ANNUALE)			€ 6.000,00
B.4	eventuali spese per imprevisti			
B.5	spese consulenza agronomo e archeologo			€ 8.000,00
B.6	Collaudo tecnico amministrativo, collaudo statico ed altri eventuali collaudi specialistici			
B.7	allacciamento a Pubblici servizi			
B.8	spese per attività di consulenza o di supporto			
B.9	interferenze			
B.10	arrotondamenti			€ 840,00
B.11	Spese per pubblicità e, ove previsto, per opere artistiche			
B.12	Spese varie			
B.13	Spese per accertamenti di laboratorio (CARATTERIZZAZIONE dpr173/06)			€ 8.000,00
C	Eventuali altre imposte e contributi dovuti per legge (IVA)			€ 61.160,00
			VALORE COMPLESSIVO DELL'OPERA	
			TOTALAE (A+B+C)	€ 350.000,00

10 Elenco autorizzazioni

Si ritiene che il progetto, per poter essere realizzato, debba ottenere le seguenti autorizzazioni:

- verifica di assoggettabilità a VIA – Regione Sardegna Ass.to Difesa Ambiente;
- sicurezza delle navigazione – Capitaneria di Porto di Cagliari;
- movimentazione sedimenti art. 109 Dlgs 152/06 - Provincia di Cagliari Città Metropolitana di Cagliari, Ufficio Acque - Risorse Idriche
- autorizzazione paesaggistica – Comune di Pula
- autorizzazione edilizia – Comune di Pula.