COMUNE DI SAN LORENZO AL MARE
COMUNE DI COSTARAINERA

Provincia di Imperia

PROGETTAZIONE PRELIMINARE E DEFINITIVA DEGLI INTERVENTI PRIORITARI, DI DIFESA DELLA COSTA, INTERESSANTI IL LITORALE DEI PIANI PAORELLI, NELL'ABITATO DI COSTARAINERA, ED A PONENTE DELLA FOCE DEL TORRENTE SAN LORENZO, IN COMUNE DI SAN LORENZO AL MARE

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

I Tecnici	I Committenti
Tiziano Ingegner De Silvestri	-
Alessio Ingegner De Melas	-

Spazio riservato al comune

Revisione	Oggetto revisione:	Data:
0	- Integrazione	-

Verifica: Ing. De Silvestri		
Disegnatore: ing. Cordeglio		
Data: 05.2012	Cod. pig02/l90	Scala:

Studio Associato d'Ingegneria S.L.
De Silvestri Ing. Tiziano - Fusini Ing. Fulvio
De Melas Ing. Alessio - Dolla Ing. Simone
Via Aurelia 110, 18017 San Lorenzo al Mare (IM)
tel. 0183/930010 - fax 0183/930009 - Sito web: www.ingsl.it - E-mail: ufficio@ingsl.it

Introduzione

Il progetto attiene lo studio delle opere di difesa costiera dei Comuni di Costarainera e San Lorenzo al Mare: l'ambito preso in considerazione si estende, a partire da ponente, dal Rio Piani (confine Comunale tra i Comuni di Costarainera e Cipressa) sino al molo di protezione del porticciolo Comunale di San Lorenzo al Mare, a levante.

In particolare si rileva come:

- a seguito dell'attività ricognitiva avviata dalla Regione Liguria negli anni scorsi in materia di difesa costa, veniva assegnato al Comune di Costarainera un contributo (D.G.R. n°252 del 15/02/2005) per l'avvio della progettazione preliminare e definitiva degli interventi medesimi, con una quota di contribuzione Comunale pari al 50% su un importo di spesa di progettazione stimato in totali euro 35.000,00;.

- il Comune di Costarainera ha provveduto ad affidare l'incarico di progettazione con specifica Deliberazione di Giunta Comunale (D.G.C. n° 48 del 15/09/2006), nel rispetto dell'adempimento normativo che imponeva quale termine per l'assegnazione dell'incarico il 8/10/2006, come da nota Regionale del 23 febbraio 2006 n°258/30934;

- il Comune di San Lorenzo risulta beneficiario di uno specifico finanziamento Regionale per la progettazione ed esecuzione di opere di difesa costiera, nell'ambito dei Fondi FIR 2002: lavori aventi ad oggetto la parte occidentale del litorale, ritenuta prioritaria rispetto all'area orientale dell'abitato, che ha già visto importanti modificazioni del proprio assetto, soprattutto ad opera della nuova costruzione del Marina di San Lorenzo;

- la linearità dell'ambito considerato, che muove dalla foce del Rio Piani (in Comune di Costarainera) sino alle opere di difesa del punto di ormeggio in Comune di San Lorenzo, ha da subito fatto emergere la necessità di uno studio che non si fermasse al mero ambito amministrativo, ma che analizzasse congiuntamente quella striscia di litorale che associa i due Comuni, che trovano similitudine, non solo nella forma della costa e nella sua caratterizzazione ma che condividono medesimamente la stessa tipologia di paesaggio retrostante la battigia, la medesima passeggiata di collegamento a mare, la medesima cesura dalla pista ciclabile, che avviene in questo tratto interamente in galleria (Galleria di San Lorenzo); per questo motivo, concordemente alle Amministrazioni Comunali, è stato tracciato un percorso condiviso nell'ottica di portare a termine uno strumento di progettazione comune ai due Enti, nel quale si potesse riconoscere un'unica linea d'azione per le opere di difesa costiera necessarie a salvaguardare il proprio patrimonio costiero;

- l'affidamento dell'incarico di progettazione da parte del Comune di Costarainera, essendo lo studio in effige già incaricato per quanto di competenza dal Comune di San Lorenzo, ha di fatto dato avvio alla preliminare fase conoscitiva ed allo studio delle condizioni in essere del litorale oggetto di indagine; la progettazione ha avuto inizio con una preliminare fase di indagine volta al reperimento di indicazioni bibliografiche e progettuali coinvolgenti il tratto costiero in esame, per il quale si sta da un lato attuando definitivamente, a latere dell'area di indagine, la costruzione del porto turistico di Marina

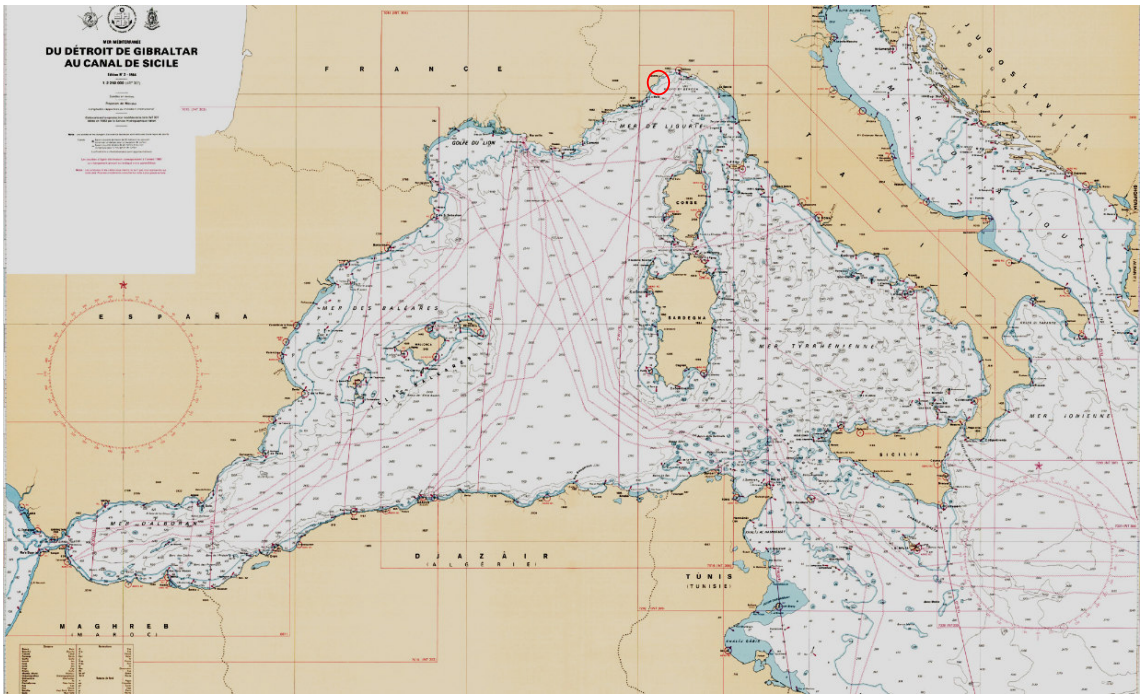
di San Lorenzo, dall'altro, come si dirà in seguito, esiste una previsione del Prusst che è oggi in corso di aggiornamento;

- su indicazione dello studio suddetto venivano intanto effettuati i rilievi dei fondali antistanti l'area di intervento, con transetti equispaziati di circa 50 metri ed estesi sino al limite della batimetrica -15m; mentre grosso modo nello stesso periodo la Regione Liguria procedeva alla presentazione ed alla pubblicazione dell'atlante degli habitat marini della Liguria, opera che ha posto rimedio ad una mancanza di cartografia dettagliata sui popolamenti bentici dei fondali e che fornisce un indicazione dettagliata oltre la linea rossa di perimetrazione delle proposte di Psic;

- a seguito delle valutazioni emerse a valle della fase conoscitiva si è giunti ad una preliminare verifica delle necessità e delle azioni progettuali possibili e quindi, di concerto con le Amministrazioni Comunali, alla predisposizione della presente progettazione definitiva.

Localizzazione geografica

Il tratto esaminato è compreso nei Comuni di Costarainera e di San Lorenzo al Mare, presenta andamento pressoché curvilineo a Levante del Capo di San Lorenzo al Mare. Le coordinate baricentriche dell'area di interesse sono 43°50'57,70"N – 7°57'19,43" E.



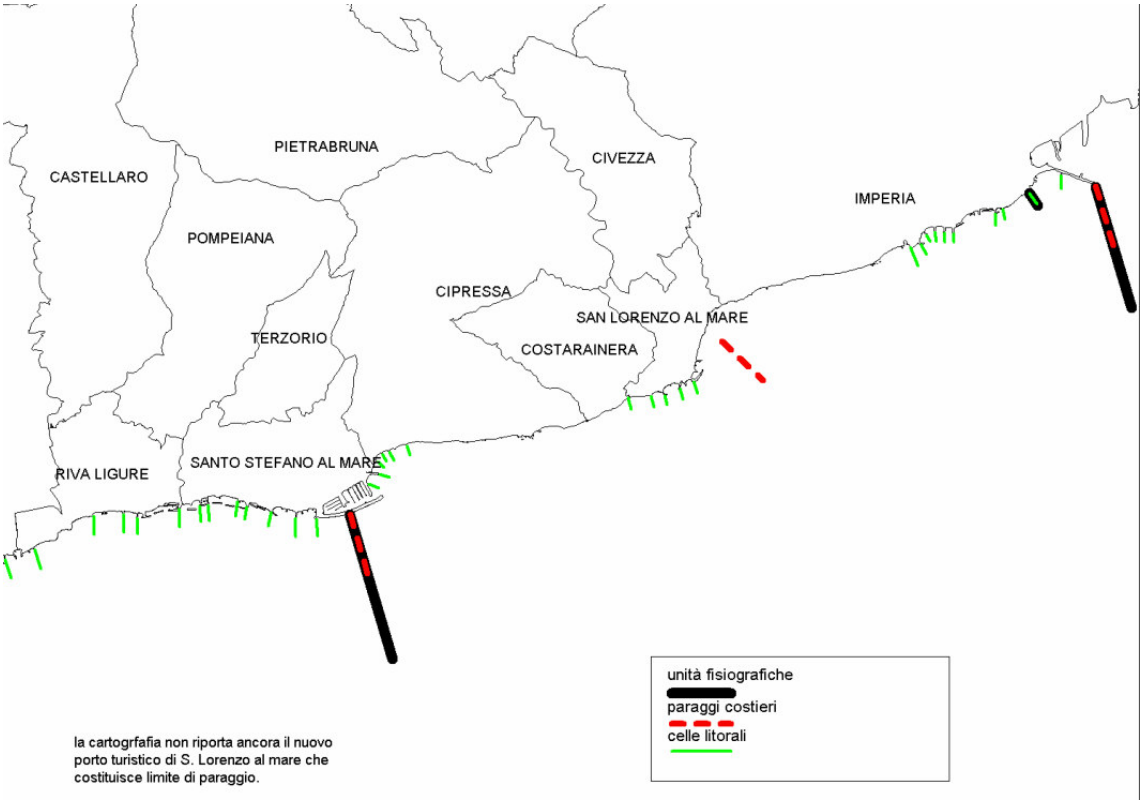
Settore di traversia geografico

Il settore di traversia del paraggio in esame è compreso tra 65°N (Capo Berta) e 230°N (isola d'Hyeres) con una apertura di circa 195° ed è interessato dai mari provenienti dal II° e III° quadrante. La traversia è stata esemplificata in quattro settori fondamentali, come di seguito definiti:

Moto ondoso da:	Compreso tra:	Fetch[1] (Km)
Libeccio	230°N – 195°N	900
Mezzogiorno	195°N – 165°N	600
Scirocco	165°N – 105°N	180
Levante	105°N – 65°N	150

Il settore di Libeccio è quello da cui provengono le ondazioni di maggiore entità, traversia principale.

Unità fisiografica



L'unità fisiografica cui appartengono i Comuni di Costarainera e San Lorenzo al Mare è quella che muove dal porto turistico di Marina degli Aregai sino al Molo Lungo di Porto Maurizio. Il nuovo porto di Marina di San Lorenzo costituisce limite di paraggio.

Batimetria e linea di costa

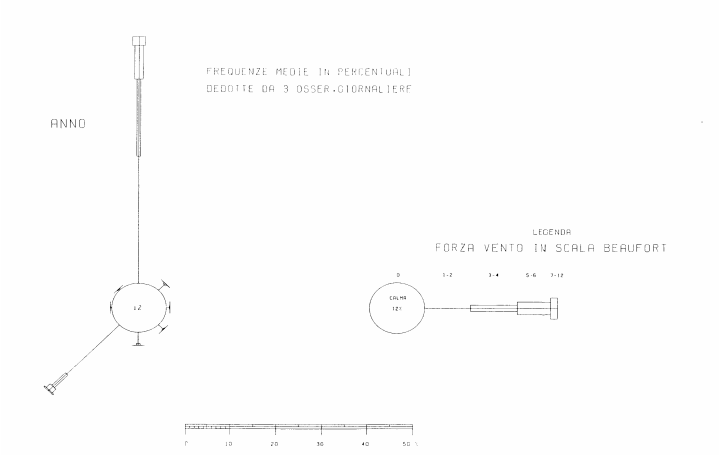
Per tutto l'ambito di studio è disponibile un rilievo batimetrico di dettaglio, che si estende sino a circa la batimetrica dei 20m; è stato eseguito uno specifico rilievo planoaltimetrico con strumentazione GPS per la linea di costa, le opere di difesa emerse e sommerse, esteso congruamente ai tratti retrostanti la battigia.

---

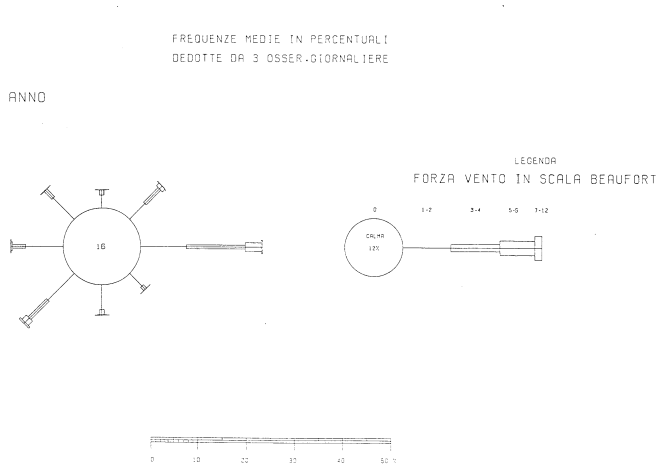
1 Si definisce Fetch la distanza di mare libero nella direzione di provenienza del moto ondoso.

Venti

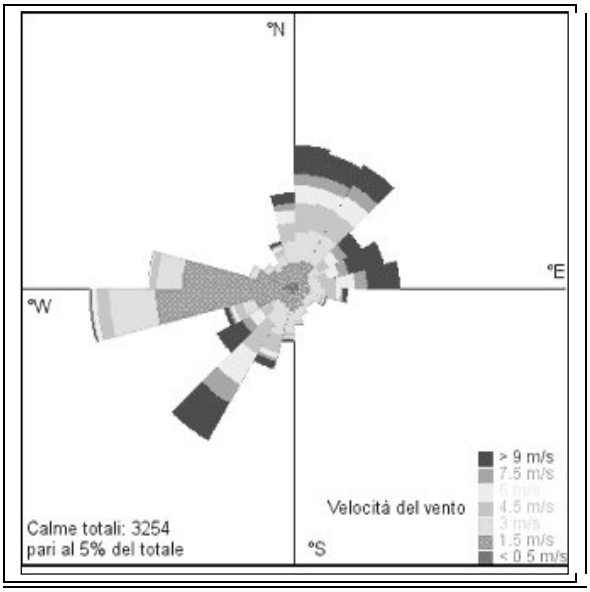
Dalle elaborazioni statistiche fornite dalle "stazioni" di misura più vicine a San Lorenzo al Mare, faro di Capo Mele e faro di Bordighera, si evince che la direzione predominante per le burrasche, per il settore di traversia competente a San Lorenzo al Mare, è quella si SW (Libeccio).



Faro di Capo Mele (22 anni di osservazioni)



Faro di Bordighera (16 anni di osservazioni)



Mareografo di Imperia, Rosa dei venti per il periodo 1998 - 2004

Forza Beaufort	nodi	Km/h	m/s
0	<1	<1	0 – 0,2
1	1 –3	1 – 5	0,3 – 1,5
2	4 – 6	6 – 11	1,6 – 3,3
3	7 – 10	12 – 19	3,4 – 5,4
4	11 – 16	20 – 28	5,5 – 7,9
5	17 – 21	29 – 38	8,0 – 10,7
6	22 – 27	39 – 49	10,8 – 13,8
7	28 – 33	50 – 61	13,9 – 17,1
8	34 – 40	62 – 74	17,2 – 20,7
9	41 – 47	75 – 88	20,8 – 24,4
10	48 – 55	89 – 102	24,5 – 28,4
11	56 – 63	103 – 117	28,5 – 32,6
12	64 ed oltre	118 ed oltre	32,7 ed oltre

Livello del mare

In tutta Liguria occidentale l'escursione di marea astronomica è modesta, dell'ordine di +/- 0.3 metri; forti depressioni atmosferiche accompagnate da venti provenienti dal II e III quadrante, possono provocare fenomeni di acqua alta, con sopraelevazione complessiva del livello medio del mare (l.m.m.) anche dell'ordine di 0.5 metri.

La componente di oscillazione mareale incide solitamente per valori che si sono misurati pari circa a 5 – 10 cm: nella tabella sotto si riportano a titolo esemplificativo le principali componenti di marea registrate nei porti di Imperia, Genova e La Spezia estratte dalle tavole di marea edite dall'Istituto Idrografico della Marina:

		Imperia		Genova		La Spezia	
Componenti	Periodo	H (cm)	ϕ (gradi)	H (cm)	ϕ (gradi)	H (cm)	ϕ (gradi)
M2	12,42	8,0	266	8,5	251	9,4	244
S2	12,00	3,2	284	3,3	268	3,4	267
N2	12,66	1,6	258	1,7	235	2,0	232
K2	11,97	0,9	284	0,9	268	0,9	267
K1	23,93	3,5	206	3,6	201	3,7	198
O1	25,82	1,7	123	1,6	118	1,4	116
P1	24,07	1,2	206	1,2	202	1,2	232

Ampiezza (H) e fase (Φ) delle principali componenti di marea

E' pratica comune ammettere come massima oscillazione mareale per il Mar Ligure un valore pari a 30 cm. Riguardo gli altri due fattori annotati si può considerare che per in presenza di forti depressioni atmosferiche (in genere concomitanti o successive a gravosi eventi di tempesta) la sopraelevazione del livello medio del mare può considerarsi pari a 50 cm.

Correnti

In Liguria, per quanto attiene l'equilibrio della spiaggia, le correnti litoranee non hanno alcuna influenza, possono tuttavia avere un certo interesse in ordine allo spostamento di eventuali materiali inquinanti in sospensione che possono costituire una situazione di rischio per la balneazione.

Le informazioni circa le correnti di densità indicano, per il Mediterraneo, una sistema di circolazione che in Liguria muove da levante verso ponente (contrariamente, come si vedrà, alla deriva litoranea): il Mar Mediterraneo è caratterizzato infatti da una complessa circolazione marina, che riguardo il Mar Ligure si specifica in generale in una componente parallela alla costa ad asse e direzione Est –Ovest con valori di velocità piuttosto bassi e accentuata variabilità stagionale (vedi ad es: Studio dell'Ambito Costiero Tratto tra Punta Vagno ed il Golfo Paradiso, Provincia di Genova.

Solo le correnti indotte dal moto ondoso sono in grado di movimentare le sabbie. Una certa parte dell'energia dell'onda, al frangimento, genera una corrente lungo la costa (Longshore current) avente direzione e intensità conforme alle caratteristiche delle onde. La velocità della corrente così generata è definita con la seguente equazione da Longuet Highins:

$$V_b = \frac{5\pi}{32 C_f} \quad (g \bullet D_b)^{0,5} \tan\beta sen2\alpha b$$

dove:

- V_b = velocità della corrente
- C_f = coefficiente di attrito = 0,01
- g = accelerazione di gravità
- D_b = profondità al frangimento
- B = angolo di pendenza del fondo
- ⟨b = angolo di incidenza delle onde al frangimento

Schematizzazione del moto ondoso al largo

La complessità dell'affrontare uno studio meteomarino deriva in primo luogo dal non poter disporre, per molti paraggi costieri, di dati certi relativi al moto ondoso: tale è la situazione del ponente ligure, laddove ad oggi risultano esclusivamente disponibili dati di rilievi visuali di onde significative, stimate in altezza e periodo. In particolare sono qui presi in considerazione i dati registrati dai capitani delle navi in transito che segnalano i dati osservati, noti come KNMI, al Royal Dutch Meteorological Institute, che fa parte della World Meteorological Organization. Si riporta per completezza anche il confronto con i dati relativi alla Boa de La Spezia, per un agevole confronto.

Dati KNMI: I dati si riferiscono a settori di ampiezza 30°, per classi di altezza pari a 50cm.

Hs	Hs [Centro Banda]	Non definito	15	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	Tutte le direzioni	Tp
(m)	(m)		45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	15		[s]
0.00 - 0.25	0,10	13,90%	1,10%	1,10%	1,20%	0,61%	0,70%	0,72%	1,10%	1,30%	1,20%	0,57%	0,83%	0,92%	25,25%	1,34
0.25 - 0.75	0,50	1,30%	2,50%	2,30%	2,30%	1,70%	2,10%	2,10%	2,90%	4,40%	2,70%	1,10%	1,40%	2,20%	29,00%	3,00
0.75 - 1.25	1,00	0,27%	1,50%	1,50%	1,20%	0,97%	1,70%	1,50%	2,90%	3,80%	1,90%	0,60%	0,93%	1,50%	20,27%	4,24
1.25 - 1.75	1,50	0,15%	0,91%	1,10%	0,95%	0,31%	0,43%	0,59%	1,70%	3,10%	1,40%	0,33%	0,37%	0,68%	12,02%	5,19
1.75 - 2.25	2,00	0,05%	0,63%	0,52%	0,24%	0,19%	0,21%	0,39%	0,96%	2,00%	1,10%	0,19%	0,27%	0,38%	7,13%	6,00
2.25 - 2.75	2,50	0,02%	0,26%	0,28%	0,08%	0,06%	0,11%	0,05%	0,27%	1,00%	0,48%	0,11%	0,11%	0,14%	2,97%	6,71
2.75 - 3.25	3,00	0,01%	0,25%	0,14%	0,06%	0,03%	0,05%	0,04%	0,15%	0,53%	0,37%	0,08%	0,03%	0,10%	1,84%	7,35
3.25 - 3.75	3,50	0,01%	0,08%	0,05%	0,01%	0,02%	0,01%	0,03%	0,05%	0,17%	0,14%	0,01%	0,01%	0,03%	0,62%	7,94
3.75 - 4.25	4,00		0,04%	0,02%			0,01%	0,01%	0,08%	0,23%	0,18%	0,02%		0,03%	0,62%	8,48
4.25 - 4.75	4,50		0,02%	0,02%				0,01%		0,06%	0,06%	0,01%		0,01%	0,19%	9,00
4.75 - 5.25	5,00									0,04%	0,03%				0,07%	9,48
5.25 - 5.75	5,50															
5.75 - 6.25	6,00															
6.25 - 6.75	6,50															
Totale		15,71%	7,29%	7,03%	6,04%	3,89%	5,32%	5,44%	10,11%	16,63%	9,56%	3,02%	3,95%	5,99%	99,98%	

I dati N.O.A.A. vengono riportati a confronto delle stime visuali KNMI

DATI DERIVATI DA N.O.O.A. - MEDIE HS ANNUALI

Annuale Hs-Theta														
Theta		Hs												
		<0.2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5.00	>5,0	TOTALE
Calma		0.852												0.852
N	0.00		0.341	0.545	0.511	0.204	0.273	0.000	0.034	0.068		0.000		1.976
NNE	22.50		0.409	0.375	0.647	0.204	0.239	0.102	0.034	0.000	0.034	0.000	0.068	2.112
NE	45.00		0.613	1.124	1.499	1.329	1.124	0.784	0.409	0.204	0.136	0.034	0.170	7.426
ENE	67.50		0.579	1.022	2.078	1.124	1.295	0.545	0.307	0.136	0.034	0.034	0.136	7.290
E	90.00		0.716	1.499	2.184	0.681	0.409	0.239	0.204	0.000	0.000	0.000	0.034	5.966
ESE	112.50		0.818	1.431	1.227	0.204	0.273	0.102	0.000	0.000	0.000	0.034	0.000	4.089
SE	135.00		0.511	1.397	1.635	0.341	0.204	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.088
SSE	157.50		0.886	0.818	1.124	0.273	0.136	0.102	0.000	0.034	0.000	0.034	0.000	3.407
S	180.00		2.658	1.908	1.874	0.613	0.375	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.428
SSW	202.50		1.601	1.465	2.419	1.158	0.886	0.204	0.068	0.000	0.000	0.000	0.000	7.801
SW	225.00		1.363	2.521	3.135	1.942	1.363	0.273	0.239	0.068	0.136	0.068	0.068	11.176
WSW	247.50		1.056	2.624	3.646	2.419	2.351	0.579	0.545	0.409	0.170	0.204	0.239	14.242
W	270.00		1.329	1.670	2.487	2.419	2.760	0.818	0.443	0.784	0.375	0.204	0.341	13.630
WNW	292.50		0.204	0.579	0.886	0.920	0.988	0.204	0.341	0.273	0.102	0.068	0.273	4.838
NW	315.00		0.239	0.341	0.613	0.239	0.204	0.204	0.170	0.136	0.000	0.000	0.068	2.214
NNW	337.00		0.136	0.545	0.273	0.239	0.102		0.034	0.068	0.034	0.000	0.034	1.465
Totale		0.852	13.459	19.864	26.238	14.309	12.982	4.156	2.828	2.180	1.021	0.680	1.431	100.00

Diverso discorso vale per i dati della Boa di La Spezia, di recente andata fuori servizio. I dati ondametrici direzionali della boa sono di sicuro interesse ma, come per tutti gli ondametri, risentono di un posizionamento che scherma alcune direzioni rilevanti (nel nostro caso Scirocco): per tale motivo

rivestono interesse per gli eventi estremi del paraggio (direzione Libeccio) ma si è ritenuto preferibile non ricorrervi per la formulazione del modello di propagazione.

DATI BOA ONDAMETRICA DE "LA SPEZIA"

Classi di altezza d'onda								
H	≅m	≅m	≅m	≅m		**Hm**	**≅**	**Lm**
	85	135	180	212.5				
0.00 - 0.25						0.13	1.50	3.51
0.25 - 0.75	7.45%	3.29%	4.59%	34.88%		0.50	3.00	14.05
0.75 - 1.25	0.59%	3.45%	4.05%	17.03%		1.00	4.24	28.10
1.25 - 1.75	0.18%	1.61%	1.58%	7.32%		1.50	5.19	42.15
1.75 - 2.25	0.08%	0.62%	0.84%	5.58%		2.00	6.00	56.20
2.25 - 2.75	0.03%	0.18%	0.24%	2.56%		2.50	6.71	70.26
2.75 - 3.25	0.02%	0.10%	0.12%	1.64%		3.00	7.35	84.31
3.25 - 3.75	0.01%	0.02%	0.06%	0.83%		3.50	7.94	98.36
3.75 - 4.25	0.00%	0.02%	0.03%	0.49%		4.00	8.48	112.41
4.25 - 4.75	0.01%	0.01%	0.01%	0.27%		4.50	9.00	126.46
4.75 - 5.25	0.00%	0.01%	0.01%	0.18%		5.00	9.48	140.51
5.25 - 5.75	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		5.50	9.95	154.56
5.75 - 6.25						6.00	10.39	168.61
6.25 - 6.75						6.50	10.81	182.66
	8.37%	9.31%	11.54%	70.78%		100%		

Si può notare come i dati registrati pesino la direzione Libeccio quale artefice del 70% delle ondazioni del paraggio.

La stima del periodo d'onda è stata operata mediante la seguente notevole relazione, verificata per le zone di mare delimitate, come il Mediterraneo, secondo lo spettro Jonswap:

$$T = \frac{0{,}95 \cdot 4\pi \cdot \sqrt{H}}{\sqrt{4g}}$$

dove:

- T = Periodo
- H = altezza d'onda
- g = accelerazione di gravità

mediante la quale è possibile ricavare il periodo associato ad una altezza d'onda. Utilizzando poi la relazione di dispersione per le condizioni di largo (h/L > 0,5):

$$L = L_o = \frac{g \cdot T^2}{2\pi}$$

dove:

- L = L_o = lunghezza d'onda al largo
- T = periodo
- g = accelerazione di gravità

si ricava il valore della lunghezza d'onda.

I valori di frequenza relativi ai settori parziali di traversia sono ottenuti combinando i valori forniti per i diversi sub settori di 30° in cui sono stati suddivisi i dati K.N.M.I. Qui di seguito è riportato

il confronto con gli alti dati disponibili, relativi alle registrazioni della Boa di La Spezia ed i dati visuali N.O.A.A.;

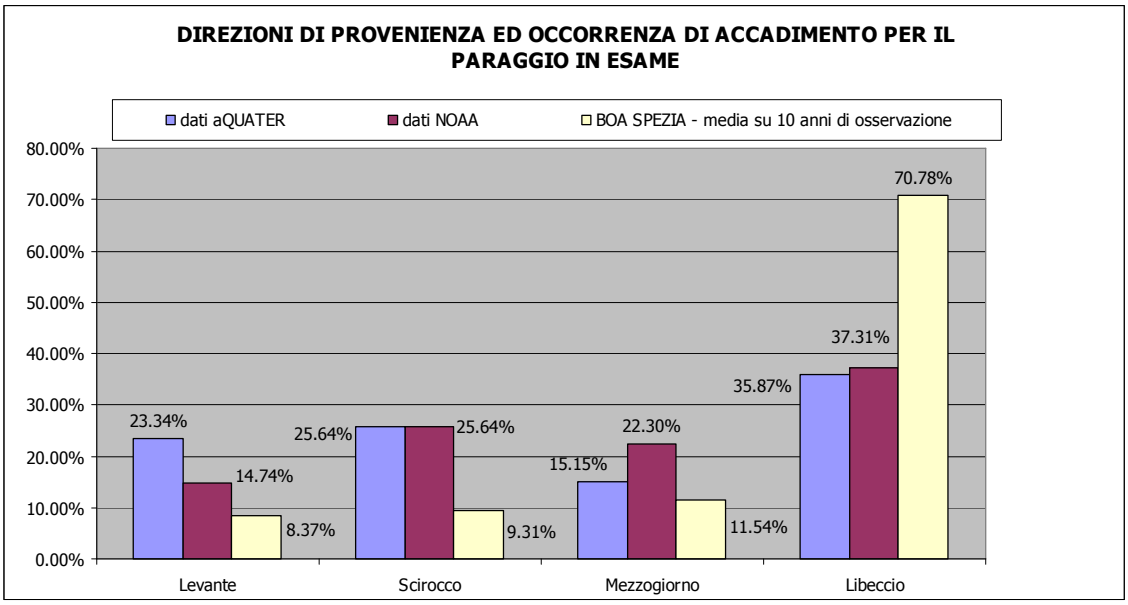
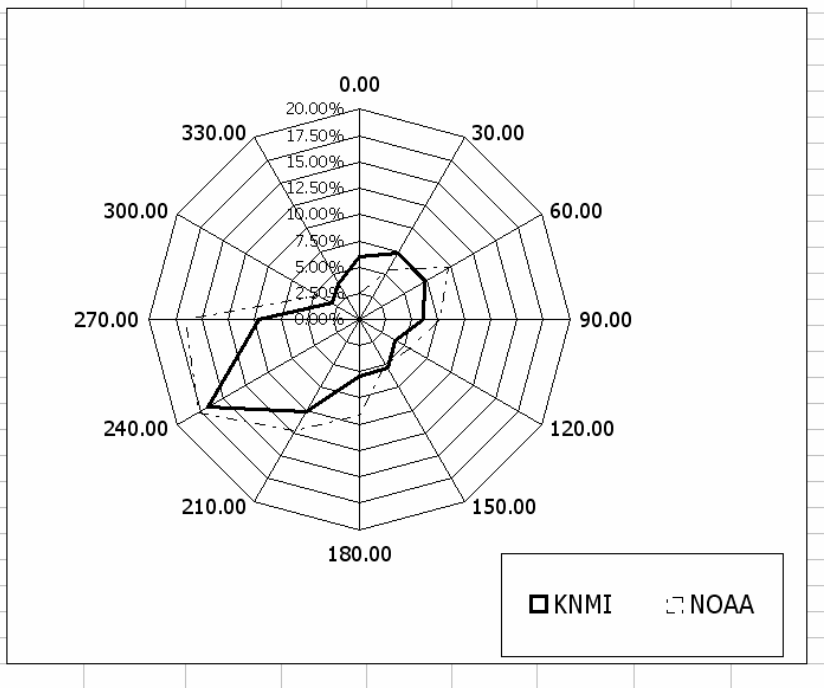


Diagramma di frequenza dei mari per classi di direzione relativo all'area di osservazione

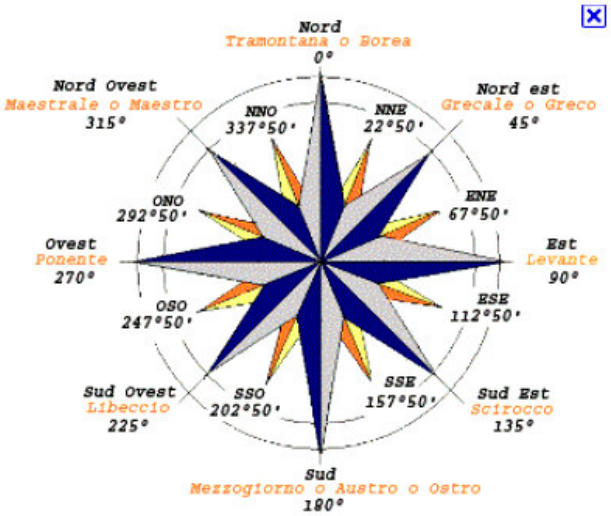
θ	p[%] KNMI	p[%] NOAA
0.00	5.99%	2.51%
30.00	7.29%	5.51%
60.00	7.03%	9.81%
90.00	6.04%	7.67%
120.00	3.89%	5.52%
150.00	5.32%	4.94%
180.00	5.44%	9.11%
210.00	10.11%	12.22%
240.00	16.63%	17.69%
270.00	9.56%	16.49%
300.00	3.02%	4.47%
330.00	3.95%	2.35%



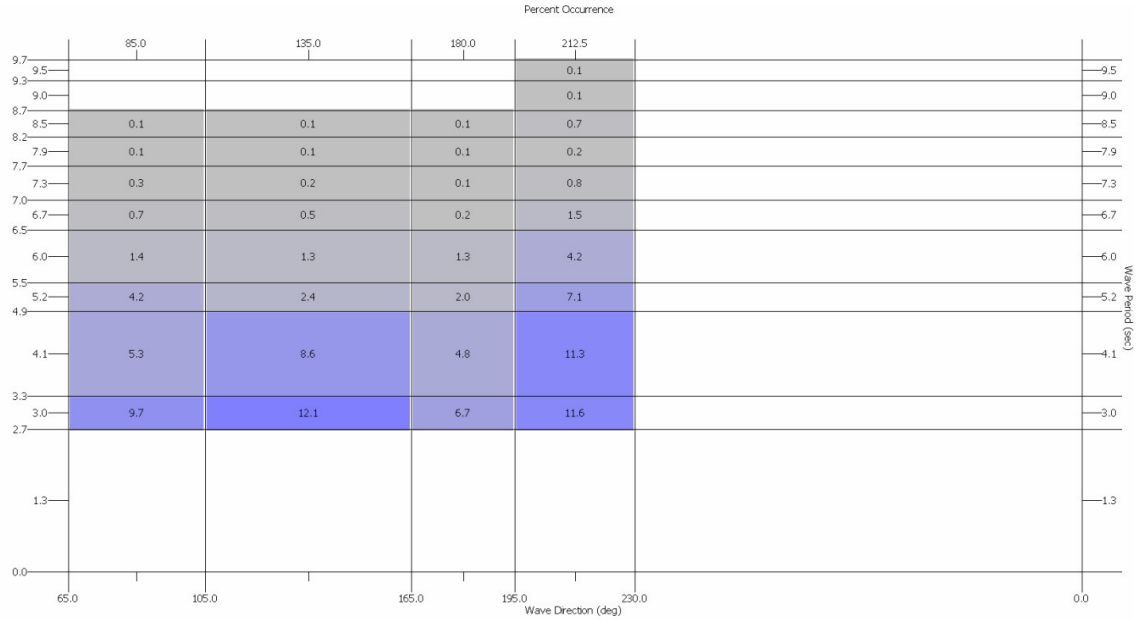
Infine, per il seguente studio è stata utilizzata la seguente caratterizzazione ondosa:

Settore di Ondazione			
Levante	65 - 105	8.38%	**23.34%**
Scirocco	105 - 165	9.21%	**25.64%**
Mezzogiorno	165 - 195	5.44%	**15.15%**
Libeccio	195 - 230	12.88%	**35.87%**
			100.00%

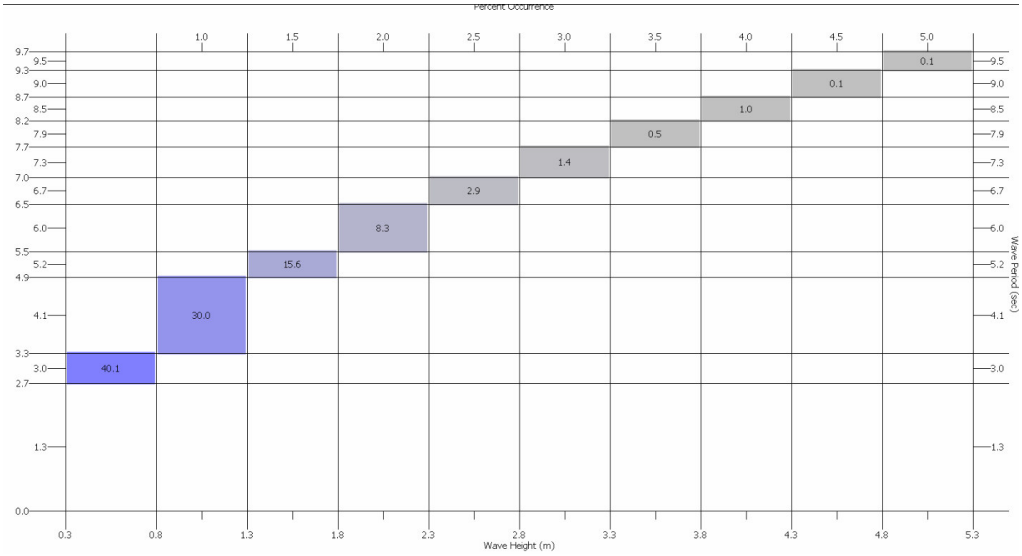
Le osservazioni visuali K.N.M.I. (ed anche i dati N.O.A.A.), pur costituendo ad oggi l'unico riferimento di caratterizzazione direzionale del moto ondoso per il ponente ligure (boe congruenti con il paraggio in esame ma di tipo monodirezionale hanno funzionato per brevissimi periodi a Monaco, Porquerolles, Sanremo e Cap Corse), risentono evidentemente di una serie di imprecisioni di stima e non presentano dati relativi a mareggiate estreme (evitate con cambiamenti di rotta dalle navi).



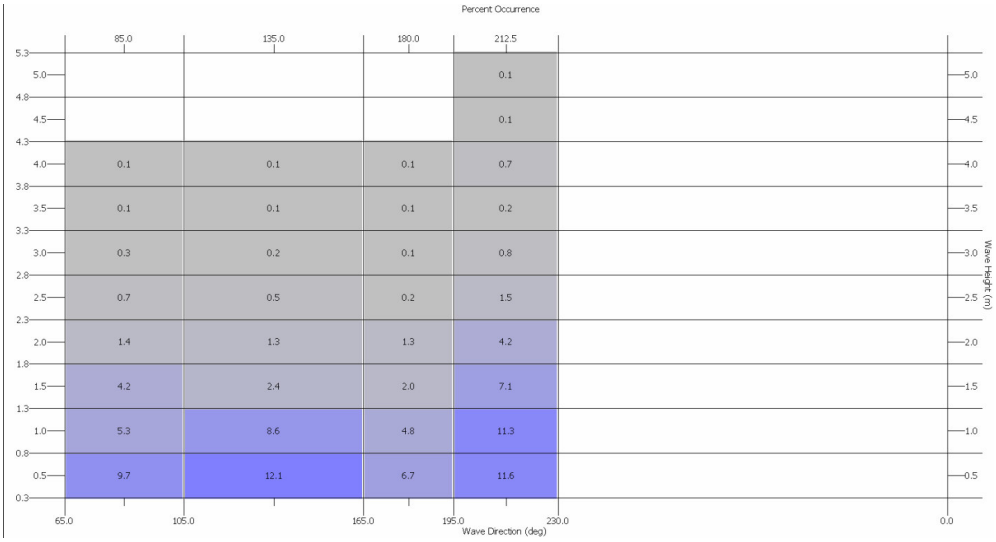
Di seguito vengono proposte le tabelle riassuntive del clima ondoso preso a riferimento per il paraggio in esame.



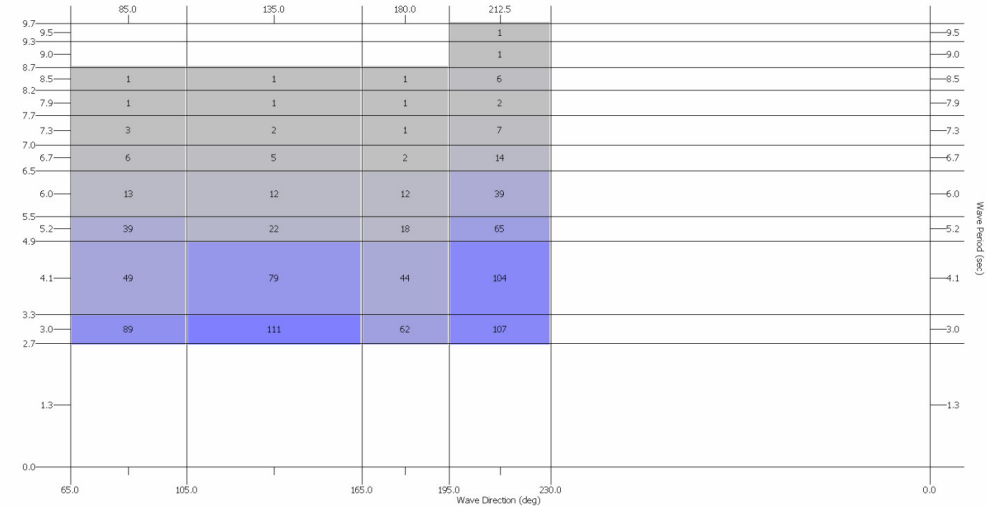
Percent Occurrence

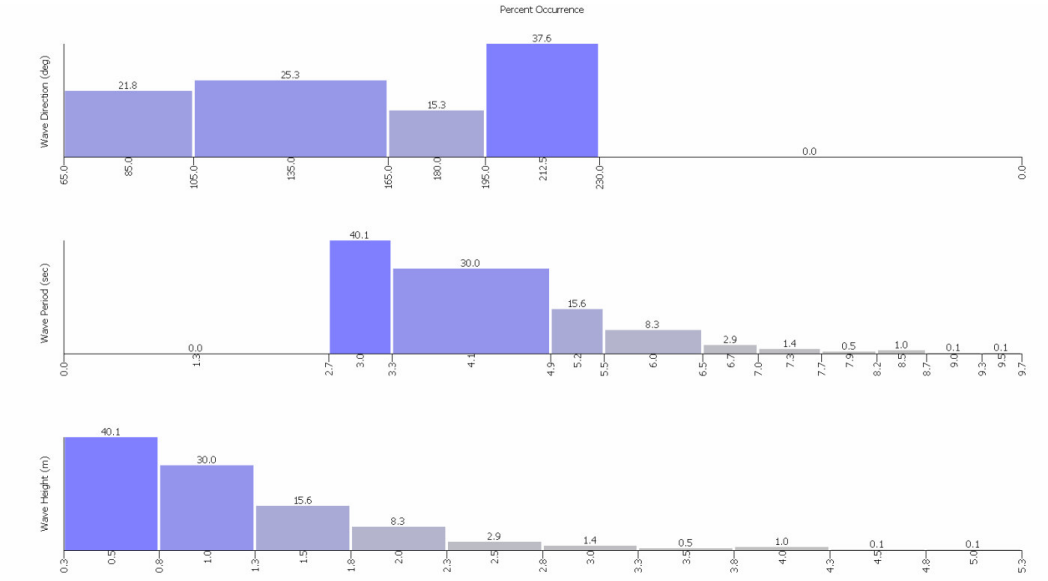


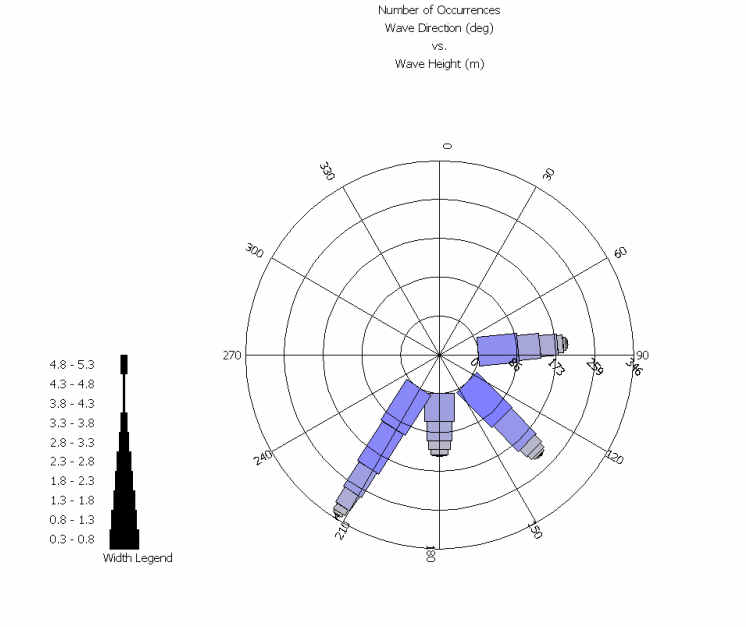
Percent Occurrence



Number of Occurrences







La trattazione statistica definita da Boccotti per il Mar Ligure è infine riferimento comune per la caratterizzazione probabilistica degli eventi ondosi e la conseguente definizione di tempi di ritorno per gli eventi considerati.

Elaborazione probabilistica dati K.N.M.I. del Boccotti

A partire da circa 5800 stime visuali di altezza d'onda significativa (base dati KNMI), nell'articolo "PREVISIONE DELLE ONDE PER I MARI ITALIANI. Parte I: Un'impostazione del problema con particolare riferimento al mar Ligure" il Boccotti indica come il tempo di ritorno di una particolare altezza d'onda possa essere stimato attraverso la semplice relazione:

$$R(H_s > h) = B\left[-h\frac{dP}{dh}(H_s > h) + P(H_s > h)\right]^{-1}$$

in cui:

B rappresenta la durata media della mareggiata triangolare equivalente di riferimento;

La probabilità di superamento dell'onda di progetto, secondo le analisi dell'Autore, per il mar Ligure, risulta avere una distribuzione del tipo:

$$P(H_s > h) = (1 - e^{-h/v})e^{(-h/w)^{0.975}}$$

dove:

v,w sono dei parametri che caratterizzano i settori di traversia in esame;

Assumendo un valore di B costante e pari a 48 ore, stima accettabile per i dati reperiti nel mar Ligure, risulta possibile calcolare i valori di progetto dell'altezza d'onda ed il suo tempo di ritorno, per tutti i settori di provenienza. Per la direzione di massima traversia (Libeccio 195°-225°) i valori vengono ricavati come differenza dalla probabilità dei dati globali, omnidirezionali. Ciò affinché la somma delle probabilità relative ad una determinata altezza d'onda, considerate tutte le direzioni, sia unitaria. La suddetta distribuzione omnidirezionale ha una forma del tipo:

$$P(H_s > h) = e^{-\left(\frac{h}{0.725}\right)^{0.975}}$$

Nota l'altezza d'onda spettrale su profondità infinita si può risalire al suo periodo attraverso la seguente relazione:

$$T = 8.5\pi\sqrt{\frac{H}{4g}}$$

Deriva Litoranea

Per studiare l'andamento della deriva litoranea non occorre conoscere, assegnato un determinato tempo di ritorno, la massima altezza d'onda prevedibile e la sua direzione di provenienza, bensì è necessario determinare il settore per cui le ondazioni forniscono flusso di energia massimo.

Si definisce flusso di energia per unità di lunghezza di cresta d'onda il prodotto:

$$P = E \cdot C_g$$

dove:

$$E = \frac{1}{8}\gamma H^2 = energia\ \ specifica\, dell'onda$$

$$C_g = \frac{gT^2}{4\pi} = celerità\, di\, gruppo = velocità\, con\, cui\, si\, propaga\, l'energia$$

$$\gamma = peso \quad specifico \quad acqua$$

Noto il flusso di energia associata ad ogni settore di traversia moltiplicandolo per la relativa frequenza otteniamo il flusso medio annuo per quella determinata provenienza.

Per ultimare la schematizzazione del moto ondoso al largo si ricerca, per ciascuna provenienza, l'onda energeticamente equivalente cioè l'altezza d'onda che abbinata alla frequenza complessiva della specifica traversia dà origine ad un flusso energetico e, quindi, ad una potenzialità di trasporto

equivalente a quello che si otterrebbe considerando le diverse classi di altezza. Occorre imporre, per

$$\sum_i P_i f_i = \sum_i P_i \sum f_i$$

ogni direzione di provenienza la seguente uguaglianza:
dove:

Pi = flusso di energia della classe i-esima

fi = frequenza temporale della classe i-esima

Risolvibile per successive approssimazioni usando le relazione viste prima.

Facendo l'ipotesi di assumere come direzione media di provenienza di ogni settore , quella centrale e sommando vettorialmente il flusso medio annuo risulta che la direzione netta del flusso al largo è da 176°N, si può dunque affermare che la deriva netta annua sarà da Ponente verso Levante come risulta dalla tabella riportata di seguito:

	direzione media	P	Px	Py
	in gradi	(Kg/s)	(Kg/s)	(Kg/s)
Libeccio	213	152,95	-82,18	-129,00
			0,00	0,00
Mezzogiorno	180	35,09	0,00	-35,09
			0,00	0,00
Scirocco	135	58,24	41,18	-41,18
			0,00	0,00
Levante	85	56,21	55,99	4,90
Direzione netta flusso	176	302,49	15,00	-200,37

La deriva litoranea (direzione del movimento dei sedimenti), come avviene in maniera generalizzata in tutta la Liguria occidentale, muove i materiali da ponente verso levante. Le forti mareggiate da libeccio (mare dominante), che provenendo da sud-ovest, tendono ad essere fortemente inclinate rispetto all'orientamento generale della costa, che è, nel suo complesso, orientata secondo nord-est sud-ovest, e non sono compensate che in minima parte dalle ondazioni dei quadranti settentrionali.

I sedimenti presenti nel paraggio possono provenire dagli apporti solidi, del torrente Argentina o dal rio S. Lorenzo. Il torrente Argentina che ha un bacino di 208 kmq. e sfocia circa 8 km. a ponente del paraggio in esame, può fornire un contributo molto limitato agli arenili che stiamo considerando, per i seguenti motivi:

1 - Il corso del fiume è stato regimentato, in diversi punti sono state costruite briglie che ne limitano consistentemente il trasporto solido e lungo tutto il corso sono effettuati prelievi (anche abusivi) di sabbia e ghiaia;

2 - L'eventuale materiale trasportato a mare, che per effetto della deriva litoranea si muoverebbe verso levante, incontrerebbe in territorio di Riva Ligure e S. Stefano a mare, opere quali pennelli perpendicolari alla costa di sufficiente aggetto e difese emerse parallele alla riva, i quali sarebbero sicuramente in grado di arrestare la migrazione, e che invece sono inefficaci sotto questo profilo, in quanto non trattengono alcun tipo di materiale;

3 - Anche il porto di Marina degli Aregai che è posizionato a ponente del paraggio in esame (circa 2 km) ed ha una diga foranea che si protende a profondità dell'ordine dei -5 metri, sarebbe in grado di arrestare i sedimenti in migrazione o, comunque, disperderli in fondali dai quali difficilmente

potrebbero essere recuperati dal moto ondoso e riportati sulla riva, per alimentare le spiagge di S. Lorenzo;

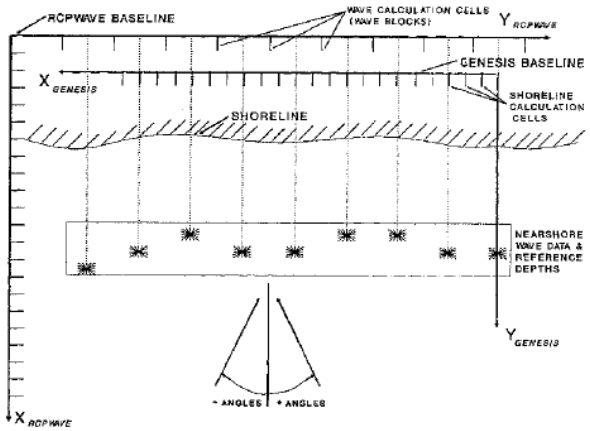
Il rio S. Lorenzo, invece, pur avendo un bacino di soli 23 km2, che sfocia al centro della cittadina, appare in grado di fornire un notevole apporto sedimentario, sia perché scorre in un bacino la cui roccia madre (scisti calcarei ed arenarie) è notevolmente degradata, e quindi molto erodibile almeno nella parte superficiale, sia perché i versanti sono fortemente inclinati fin quasi alla foce. Per le ragioni esposte, assegnando un indice di erodibilità del suolo di 450 m3/km2, si può, in prima approssimazione, stimare un apporto annuo di circa 10.000 m3.

Impostazione del modello di propagazione e di trasporto utilizzati

Il software utilizzato per la modellazione dei fenomeni di trasporto solido è il NEMOS v 3.05 (Veri-Tech. Inc.). Le informazioni necessarie per la definizione della geometria del problema sono essenzialmente due: un cospicuo insieme di punti georeferenziati e quotati relativi al paraggio in esame, il più possibile indicativo della condizione plano-altimetrica del fondo marino, della costa e del retrocosta; la definizione il più possibile aderente alla realtà della posizione della linea di riva, prodotta sempre come insieme di punti georeferenziati assunti a quota nulla. Nella prima fase di modellazione non vengono prese in considerazione le opere antropiche eventualmente presenti in mare, quali dighe e pennelli, la cui introduzione nella modellazione avviene in un tempo successivo.

Importate le informazioni di cui sopra e specificata l'esatta collocazione spaziale di modellazione si procede alla discretizzazione del dominio in un numero finito di celle regolari, impostandone le dimensioni lineari in base a considerazioni coinvolgenti sia la natura e la bontà dei dati a disposizione, sia i risultati a cui si perverrà attraverso le successive modellazioni: l'insieme di celle quotate restituite costituisce il modello digitale del terreno (DTM) del paraggio considerato.

La procedura iniziale si conclude con la definizione del sistema di riferimento utilizzato per lo studio dell'evoluzione della linea di riva (GENESIS), determinandone inizialmente la spaziatura delle celle di calcolo (multiplo o sottomultiplo della dimensione del pari lato della cella del DTM) e con la definizione di sezioni di controllo (stazioni) posizionate a determinata profondità, atte a recepire le informazioni di propagazione del moto ondoso prodotte (RCPWave) e mantenerle disponibili per la successiva modellazione di trasporto solido.



Schema dei sistemi di riferimento RCPWave - GENESIS

Il processo di trasferimento delle onde di mare dalle acque profonde alla costa è accompagnato da modificazioni geometriche (shoaling e rifrazione), da dissipazioni energetiche (attrito al fondo) e perdite concentrate (frangimento). Nelle note seguenti si riportano brevemente i concetti fondamentali su cui è fondato il modulo RCP - Wave, utilizzato nel presente lavoro per la schematizzazione dei processi di propagazione a partire da assegnate condizioni ondametriche al contorno. RCP-Wave è un completo propagatore bidimensionale di onde: considerando il fluido (acqua) incomprimibile, a comportamento ideale e trascurati gli effetti della tensione superficiale, l'impostazione del problema è posta similmente al noto schema di derivazione delle onde regolari. In particolare Berkhoff (1972, 1976) ha derivato un'equazione in forma ellittica per l'approssimazione del processo di trasformazione del moto ondoso per onde lineari, propagantesi su una batimetria arbitraria, a condizione di piccola pendenza del fondale. La Berkhoff "mild slope equation" è espressa dalla seguente formula:

$$\frac{\partial}{\partial x}(c \cdot c_g \cdot \frac{\partial \phi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(c \cdot c_g \cdot \frac{\partial \phi}{\partial y}) + \sigma^2 \cdot \frac{c_g}{c} \cdot \phi = 0$$

dove si sono indicati con:

(x,y) : assi ortogonali orizzontali

ϕ : potenziale di velocità complesso

σ^2 : quadrato della frequenza angolare calcolata con la relazione di dispersione per onde regolari

c : velocità di fase

c_g : celerità di gruppo

k : numero d'onda

Espresso il potenziale di velocità come

$$\phi = a \cdot e^{is}$$

con 'a(x,y)' funzione ampiezza d'onda , 'i' unità immaginaria e 's(x,y)' funzione fase d'onda (per cui si ammette l'irrotazionalità del gradiente), le equazioni di governo del processo si esprimono nel modo seguente:

$$\frac{1}{a}(\frac{\partial^2 a}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 a}{\partial y^2} + \frac{1}{c \cdot c_g} \cdot \left[\nabla a \cdot \nabla (c \cdot c_g)\right]) + k^2 - |\nabla s|^2 = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(|\nabla s| \sin\theta) - \frac{\partial}{\partial y}(|\nabla s| \sin\theta) = 0$$

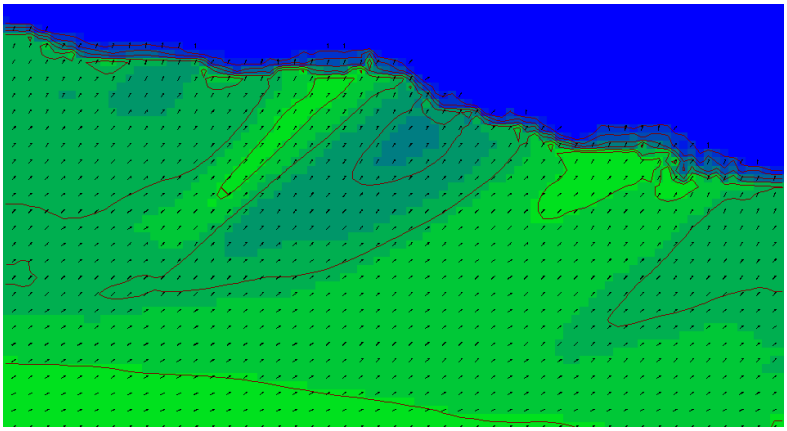
$$\frac{\partial}{\partial x}(a^2 c c_g |\nabla s| \cos\theta) - \frac{\partial}{\partial y}(a^2 c c_g |\nabla s| \sin\theta) = 0$$

Le tre equazioni sopra descrivono compiutamente i processi di rifrazione e diffrazione per la propagazione di onde lineari su fondali a bassa pendenza con batimetria arbitraria e trascurabili effetti di riflessione.

La soluzione in forma semplice del precedente sistema è possibile solo per situazioni ideali, dovendosi procedere ad una soluzione numerica per tutte le applicazioni reali: in particolare il modulo RCPWave opera secondo un'approssimazione delle derivate parziali alle differenze finite, valutate su un grigliato di calcolo regolare (visto in precedenza), la cui dimensione di maglia è correlata direttamente all'accuratezza della soluzione fornita. Immediatamente sottocosta l'altezza di frangimento delle onde è valutata attraverso il criterio di Weggel's (1972); definito il limite propagativo fino al frangimento, la trasformazione del moto ondoso lungo la surf-zone è modellata secondo l'algoritmo di Dally, Dean & Dalrymple (1984), ed assumendo trascurabili gli effetti diffrattivi.

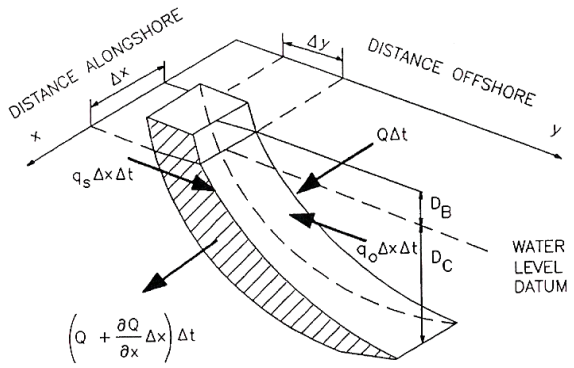
Specificato il clima ondoso ad una profondità assegnata, eventualmente corredato da indicazioni sulle oscillazioni del livello del mare (ovviamente le due indicazioni relative ad uno stesso periodo considerato), la propagazione è condotta definendo preliminarmente la condizione di moto al largo per la quale si hanno a disposizione le informazioni ondametriche: i moduli mettono infatti a disposizione dell'utente la possibilità di definire se queste sono relative a onde su profondità infinita, su bassa profondità ai lati del dominio o, se del caso, puntuali.

Sulla base del dominio spaziale considerato per ogni altezza, periodo e direzione d'onda viene attuata nei modi delineati brevemente in precedenza la propagazione del moto ondoso.



I risultati numerici che se ne traggono sono altezze, periodo e direzione d'onda in ogni particolare posizione del dominio. I diagrammi di propagazione delle onde di progetto vengono presentati completamente in allegato 'A'.

Il modello di valutazione dei cambiamenti della linea di riva (GENESIS) è di tipo 'ad una linea', ovvero valgono le seguenti due ipotesi di calcolo: il profilo di spiaggia si muove (eventualmente) parallelamente a se stesso mantenendo la stessa forma (regolare); il trasporto lungoriva è confinato entro la fascia costiera (figura sotto) definita dall'altezza limite della berma attiva (Db) e dalla profondità di chiusura del trasporto di sedimenti (Dc) .



Schema del modello ad una linea

L'equazione alle derivate parziali che governa lo schema di variazione della linea di riva delineato sopra è il seguente :

$$\frac{\partial y}{\partial t} + (\frac{1}{Db + Dc})(\frac{\partial Q}{\partial x} - q) = 0$$

dove si sono indicati con 'Q' la portata solida laterale netta e 'q' il bilancio di portata solida (qs+q0).

La portata laterale 'Q' è valutata attraverso la formula empirica proposta sotto:

$$Q = (H^2 c_g)_b (a_1 \sin(2\theta_{bs}) - a_2 \cos(\theta_{bs}) \frac{\partial H}{\partial x})_b$$

in cui il pedice 'b' indica condizioni di frangimento ed i parametri a1 e a2 sono stimati attraverso relazioni chiuse involventi due parametri di calibrazione (k1 e k2) e la pendenza media del profilo di spiaggia tan(β):

$$a_1 = \frac{k_1}{16(\frac{\rho_s}{\rho} - 1)(1 - p)(1.416)^{\frac{5}{2}}}$$

$$a_2 = \frac{k_2}{8(\frac{\rho_s}{\rho} - 1)(1 - p)(1.416)^{\frac{7}{2}} \tan\beta}$$

in cui la porosità 'p' è assunta pari a 0.4 e le densità 'ρ' del materiale e dell'acqua sono identicamente pari a rispettivamente 2650 Kg/m3 e 1030 Kg/m3.

In particolare tan(β) è proporzionale al parametro di scala 'A' dell'equazione del profilo di equilibrio di Dean:

$$h = Ay^{2/3}$$

con 'h' altezza del fondale e 'y' coordinata offshore come in figura.

Il parametro empirico A è proporzionale al diametro 'd' dei sedimenti, secondo le relazioni proposte sotto (Moore, 1982; 'd' in mm):

$$A = 0.41 d_{50}^{\,0,94} \text{ ------->} d_{50} < 0.4$$
$$A = 0.23 d_{50}^{\,0,32} \text{ ------->} 0.4 \le d_{50} < 10$$
$$A = 0.23 d_{50}^{\,0,28} \text{ ------->} 10 \le d_{50} < 40.0$$
$$A = 0.46 d_{50}^{\,0,11} \text{ ------->} 40 \le d_{50}$$

cosi che infine

$$\tan(\beta) = \left(\frac{A^3}{D_{LT0}}\right)^{1/2} \qquad (11)$$

dove D_{LT0} è un parametro caratteristico utilizzato da Genesis e definito come "massima profondità di trasporto longshore":

$$D_{LT0} = (2.3 - 10.9\frac{H_0}{L_0})(H_0) \qquad (12)$$

In breve si sono delineati i principali aspetti del processo solutivo implementato dal software, ed elencati i cinque parametri fondamentali richiesti all'utente per permetterne il funzionamento, riassunti qui sotto:

- Diametro dei sedimenti 'd'
- Altezza della berma Db
- Profondità di chiusura Dc
- Parametri di calibrazione k1 e k2 .

Giova ricordare come la profondità di chiusura del trasporto Dc sia parametro estremamente difficile da determinarsi empiricamente (a mezzo di confronto tra sezioni batimetriche relative a periodi diversi), e che le formulazioni di letteratura, tra cui l'espressione di Hallermeier presentata in precedenza con H0 e L0 riferite ad onde significative presenti per circa 12 ore l'anno, siano a volte imprecise.

La soluzione numerica dell'equazione è implementata attraverso la suddivisione del dominio spaziale secondo la direzione longshore in un numero di celle di definita larghezza (Δx), cosi come la durata totale di simulazione è ridotta a singoli step di durata assegnata (Δt), entrambi definiti dall'utente. Scritta allora l'equazione di governo in forma diffusiva:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = (e1 + e2)\frac{\partial^2 y}{\partial^2 x}$$
$$e1 = \frac{2k_1}{(Db + Dc)}(H^2 C_g)_b$$
$$e2 = \frac{K_2}{(Db + Dc)}(H^2 C_g \cos\theta_{bs}\frac{\partial H}{\partial x})_b$$

essa risulta governata dal parametro di stabilità $Rs = \frac{\Delta t(e1 + e2)}{(\Delta x)^2})$.

Buoni risultati di simulazione e stabilità numerica si ottengono per valori di Rs < 10.

Introdotta in 'Genesis' la geometria definita preliminarmente è possibile schematizzare la presenza di opere di difesa litoranea quali moli, pennelli, scogliere radenti e dighe fuori costa. Il processo avviene attraverso l'impostazione secondo coordinate note delle opere sopra ricordate, definite se del caso anche nelle peculiarità relative a coefficienti di trasmissione, pendenza dei profili e profondità di imbasamento delle strutture di difesa.

Formalizzata allora nel suo complesso la situazione dell'esistente risulta possibile procedere nella simulazione dei fenomeni di trasporto, specificando, oltre ai cinque fondamentali parametri ricordati in precedenza, le condizioni al contorno da adottarsi ai limiti esterni dell'area di modellazione, da scegliersi, per ognuno dei due limiti ricordati, tra le condizioni seguenti:

1) stabilità ed invarianza della linea di costa
2) presenza di un'opera trasversale di contenimento del trasporto
3) movimento della linea di costa di un fattore noto nel tempo totale di modellazione

Resi noti al codice di calcolo i 'files di lavoro' delle onde e della relativa propagazione precedentemente effettuata ed imposto un intervallo di simulazione opportuno si giunge alla effettiva esecuzione della modellazione cercata.

Descrizione dello stato attuale dei luoghi

- Il litorale dell'ambito di interesse si configura
- con opere di difesa della costa in condizioni di dissesto e tali da porre in situazione di rischio l'abitato, dal confine Comunale di Costarainera e sino circa al confine Comunale di San Lorenzo al Mare,
- con opere di difesa necessitanti di consolidamento e tali da essere rideterminate anche con un'ipotesi di ripascimento, delimitata da strutture trasversali e da una struttura diffrangente a mare, nel tratto a cavallo del Confine Comunale dei due Comuni e sino alla foce del Torrente San Lorenzo;
- con un situazione di insufficienza idraulica rispetto al moto ondoso della spiaggia antistante l'abitato immediatamente a latere del Porticciolo Comunale di San Lorenzo al Mare;

Tali indicazioni trovano conferma nelle immagini proposte di seguito.



Nei pressi del Confine Comunale di Costarainera e Cipressa. I bastioni di difesa sono lesionati in più punti e l'opera necessita, ancorché presidiata dal materiale in sassi e scogliera presente al piede, di un intervento di consolidamento.





Procedendo verso levante: la scarpata non è presidiata da opere di difesa e risulta evidente lo zappamento al piede ad opera del moto ondoso



Bucature diffuse del paramento murario



Dissesto degli accessi alla battigia lato Costarainera



In prossimità del Confine Comunale tra Costarainera e Cipressa. In primo piano la scogliera aderente di protezione. Sullo sfondo la spiaggia in Comune di San Lorenzo al Mare



La spiaggia e, sullo sfondo, le opere di difesa necessitanti di consolidamento



Vista dalla prima punta verso ponente: si noti il dissesto delle opere di difesa



Vista dalla prima punta verso levante: la spiaggia protetta dalla soffolta



Foce del torrente San Lorenzo. In primo piano i dissesti del pennello in destra di foce

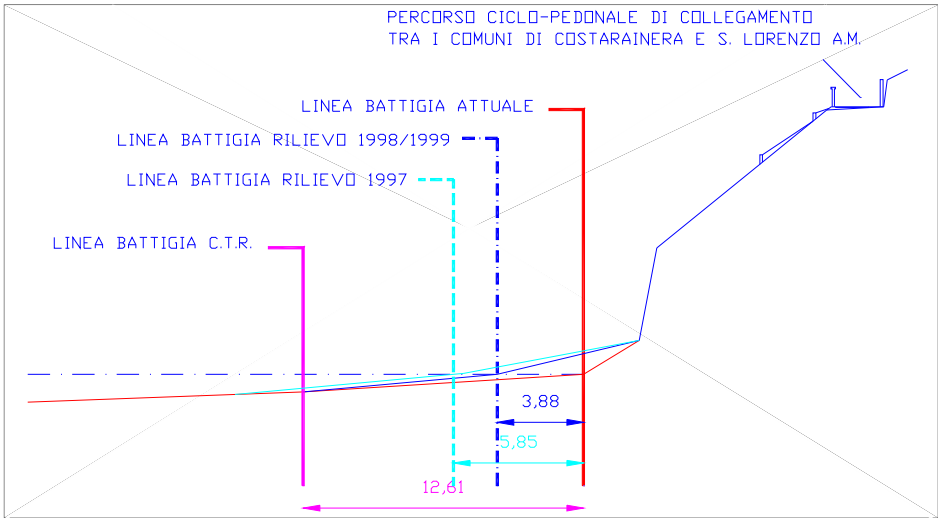


La spiaggia davanti il Condominio Generale, dopo una mareggiata



Mareggiata in fase calante alla spiaggia del condominio

Si tenga presente che gli arenili localizzati a ponente del porticciolo Comunale di San Lorenzo al Mare sono stati interessati, negli ultimi anni, da un fenomeno generalizzato di repentina ed aggressiva erosione. Dal confronto tra i rilievi relativi agli anni 1997, 1999, 2002 per il tratto di costa ad ovest del porto, nonché dal confronto con la Carta Tecnica Regionale, si può notare, con facilità, come la linea di battigia sia retrocessa mediamente di circa 6 metri, con punte di oltre 1 metro/anno nel periodo relativo all'anno 1998/1999.



Erosione del litorale ovest di San Lorenzo al mare

L'erosione progressiva, oltre ad eliminare di fatto ogni spiaggia ed arenile, ha esposto all'azione del moto ondoso un lungo tratto del muro che sosteneva il versante a ridosso della costa.

Successivamente, a causa dell'erosione del piede, un lungo tratto del suddetto muro è crollato innescando una frana che si è poi estesa al pendio sovrastante. Dalle fotografie allegate è evidente come l'erosione continui indisturbata e vada estendendosi al tratto di muro restante.



Foto d'archivio : Erosione del moto ondoso a ridosso del muro di sostegno del versante

Di seguito alcune immagini d'archivio testimonianti il crollo del muro di difesa:.



Muro di sostegno prima del crollo



Muro di sostegno dopo il crollo



Nicchia di distacco che ha interessato la sottostante passeggiata.

L'esposizione dei problemi in atto testimonia come si renda indispensabile intervenire celermente per arginare e mitigare il fenomeno d'arretramento della linea di battigia, proteggere i tratti di costa e le strutture a ridosso di questi ultimi.

Caratteristiche dell'ambiente marino costiero

Il termine biocenosi fu proposto inizialmente da Möbius per indicare le associazioni di specie che si verificano nei banchi di ostriche ed indica "*un raggruppamento di organismi viventi, animali e vegetali, che per la composizione di specie e per il numero di individui corrisponde in modo stabile a determinate condizioni medie di un dato ambiente*".

Questi organismi, oltre a dipendere dalle caratteristiche fisiche del luogo in cui vivono, sono strettamente legati gli uni agli altri da vari tipi di rapporti reciproci (competizione per lo spazio e l'alimento, rapporti preda - predatore, simbiosi, epibiosi, ecc.) tanto che da queste interazioni può dipendere la loro sopravvivenza. Il dominio bentonico (il termine benthos identifica tutte le forme di vita che vivono in stretto contatto con i fondali marini) è popolato da differenti biocenosi la cui distribuzione è fondamentalmente legata alla natura del substrato (sedimenti a differente granulometria e consistenza, rocce di diversa natura mineraria, ecc.), alla profondità (in funzione della penetrazione della luce e della pressione) ed infine alle caratteristiche idrodinamiche e chimico-fisiche dei diversi luoghi.

Le principali biocenosi bentoniche del Mediterraneo sono state definite da Pèrès e Picard (Nouveau Manuel de bionomie benthique de la mer Mèditerraneèe, 1964) , la cui classificazione è riportata nella tabella seguente:

Piano	Substrato	Sigla	Descrizione
Mesolitorale	solido	RMS	biocenosi del mediolitorale superiore
		RMI	biocenosi del mediolitorale inferiore
		GM	biocenosi delle grotte
	mobile	DM	biocenosi dei fondi detritici
		SM	biocenosi delle sabbie
		SVLE	biocenosi delle sabbie fangose, lagune, estuari
Infralitorale	solido	AP	biocenosi delle alghe fotofile
		IETP	biocenosi delle acque inquinate
	mobile	GI	biocenosi delle ghiaie
		SGBV	biocenosi delle ghiaie fini e sabbie grossolane rimosse dalle onde
		SRPV	biocenosi delle sabbie in zone protette
		SVMC	biocenosi delle sabbie fangose in zone calme
		LEE	biocenosi lagunari eurialine ed euriterme
		STP	biocenosi dei sedimenti inquinati
		SFBC	biocenosi delle sabbie fini ben calibrate
		SFS	biocenosi delle sabbie fini superficiali

		HP	biocenosi delle praterie di *Posidonia*
Circalitorale	solido	C	biocenosi del coralligeno
		GSO	biocenosi delle grotte semioscure
		GO	biocenosi delle grotte oscure
		RL	biocenosi delle rocce al largo
	mobile	DC	biocenosi dei fondi detritici costieri
		DE	biocenosi dei fondi detritici invasi da fango
		VTC	biocenosi dei fanghi terrigeni costieri
		DL	biocenosi dei fondi detritici del largo
indipendenti dal piano		SGCF	biocenosi delle sabbie e ghiaie con correnti di fondo
		MI	biocenosi dei fondi mobili instabili

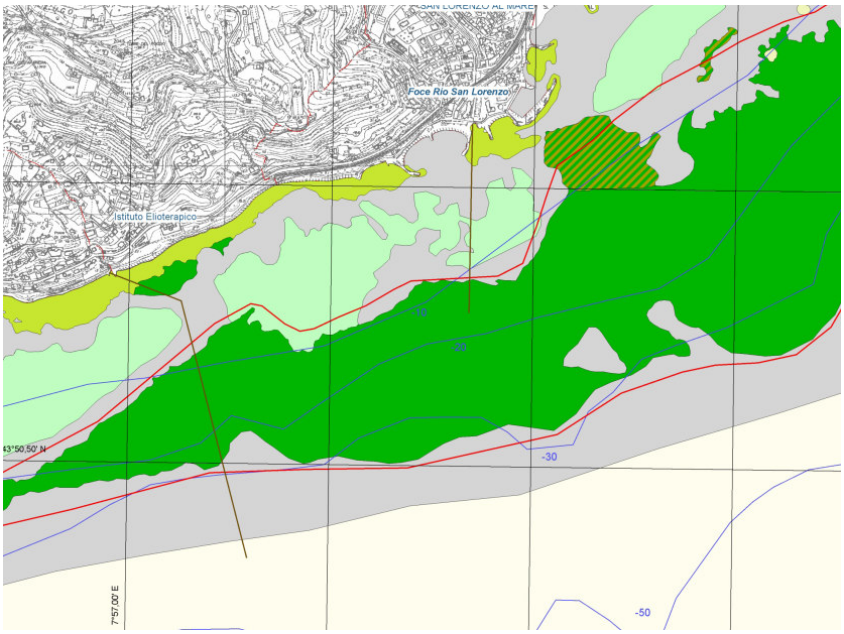
La ***Posidonia oceanica*** è una fanerogama endemica del Mediterraneo, costituita da un apparato radicale, fusto, foglie, fiori e frutti, formante delle 'foreste sommerse' nella fascia costiera fino a circa 40 metri di profondità e comunque fino alla batimetria in cui la luce è sufficiente alla sopravvivenza. È riconosciuta fondamentale nell'economia degli ecosistemi marini costieri per motivi biologici e fisici quali:

- stabilizzazione del fondo marino
- riduzione dell'idrodinamismo con conseguente mantenimento dell'equilibrio delle coste
- elevata produzione di ossigeno e di materia organica attraverso processo di fotosintesi
- zona di alimentazione, riproduzione e riparo per numerose specie (anche di notevole importanza)

La rarefazione e la scomparsa delle praterie di posidonia sono dovute a molteplici cause, tra le quali vanno senz'altro ricordate:

- erosione meccanica da parte di attrezzi da pesca a strascico (proibita in verità entro i 50 metri)
- raschiamento da parte di ancore di imbarcazioni da diporto
- costruzione di opere costiere a causa di scavi e torpidità procurata
- inquinamento

La rete Natura 2000, rete ecologica europea nata con la direttiva 43/1992/CEE (direttiva Habitat), individua habitat e specie che gli stati membri sono tenuti a salvaguardare per preservarne la biodiversità, individuando Siti di Importanza Comunitaria (SIC) da sottoporre a tutela. Della rete, per la presenza di posidonia oceanica, fanno parte come detto i fondali antistanti Costarainera e San Lorenzo al Mare, classificati come sito di importanza comunitaria "Fondali di Porto Maurizio – San Lorenzo al Mare – Torre dei Marmi" e perimetrati come visibile nell'immagine successiva (il limite del Sic è quello tracciato in colore rosso).

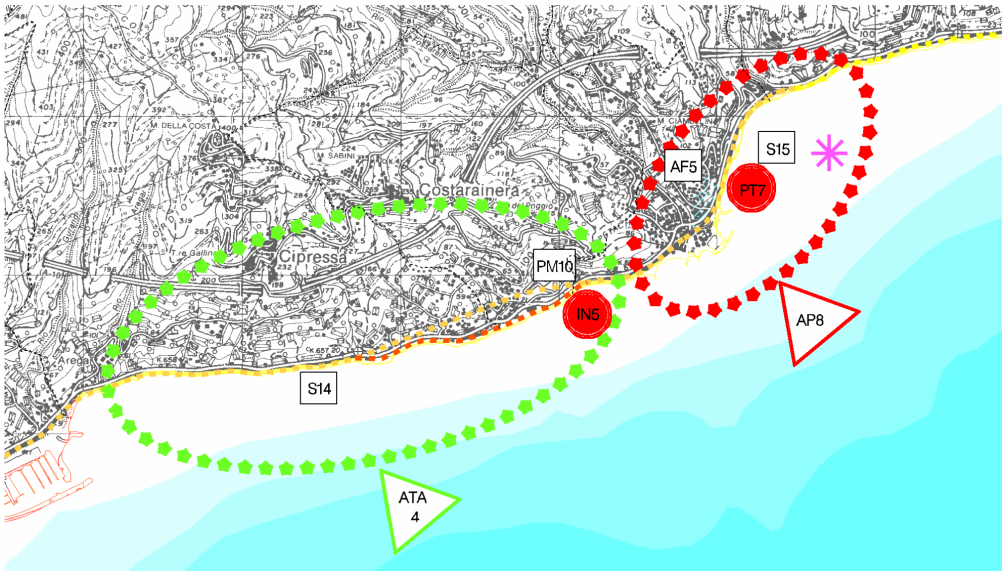


Lo studio generale qui condotto è stato appositamente integrato con un'analisi di dettaglio biologica nei fondali antistanti i Comuni di Costarainera e San Lorenzo al Mare, svolti rispettivamente dai Dott. Biol. Fulvio Garibaldi ed Alessandro Duci, le cui indicazioni sono state utilizzate per la realizzazione della carta biologica di dettaglio dei fondali (tavole grafiche n°5 e 6).

Il Piano della Costa

Il Piano, approvato con deliberazione del Consiglio Regionale 19.12.2000 n°64, 'disciplina, promuove e coordina gli interventi sulla costa secondo i principi dello sviluppo sostenibile, della pianificazione integrata della zona costiera e del controllo della qualità degli interventi, […] perseguendo la finalità di ricercare un miglioramento della qualità paesistica ed ambientale della fascia costiera…'.

Per i Comuni di Costarainera e San Lorenzo al Mare valgono le seguenti indicazioni fondamentali:



- le indicazioni di piano per l'ambito AP8 del Comune di San Lorenzo al Mare coinvolgono in particolare la previsione del nuovo porto turistico (PT7), ad oggi in fase di completamento. Per la costa di ponente del Comune l'indicazione emergente è la seguente:

  Nel settore di levante del territorio comunale è opportuno prevedere il proseguimento dell'attuale passeggiata in modo da consentire un collegamento con Costarainera e Cipressa (v.ATA n.4) anche in relazione alle ipotesi di riuso e valorizzazione a fini turistici delle aree e dell'edificio ex ospedaliero ivi esistente.

- le indicazioni di piano per l'ambito di Tutela Attiva ATA4, che coinvolge il settore più occidentale della costa di San Lorenzo al Mare e la totalità della linea di costa del Comune di Costarainera, sono le seguenti:

  E' un ulteriore caso di tratto di costa reso disponibile dalla dismissione della linea ferroviaria.

  La particolarità di questo settore risiede nel fatto che è uno dei pochi tratti di costa in cui un assetto insediativo collinare si affaccia direttamente sul mare; il settore risulta quindi particolarmente interessante per lo sviluppo del già menzionato modello insediativo del "*moyen pays*", che le statistiche rivelano essere emergente e che costituisce in prospettiva anche un potenziale modello turistico (più attento alla dimensione paesistico ambientale) alternativo a quello oggi prevalente.

  L'indicazione di Piano è volta a creare, a partire dal riutilizzo della linea ferroviaria, nuove condizioni di accessibilità alla linea di costa, coerenti con il modello insediativo retrostante, valorizzando le strutture esistenti (ex Istituto Elioterapico e relative pertinenze) riqualificando la zona dei campeggi (anche attraverso un'eventuale ricollocazione) e contenendo la realizzazione di nuovi volumi aggiuntivi.

  Una volta liberato dalla ferrovia il litorale liberamente fruibile si potrebbe prestare ad una congrua valorizzazione anche attraverso una operazione di ricostituzione delle spiagge un tempo esistenti. Strutture minime per l'attracco e il ricovero di imbarcazioni, secondo quanto richiesto dal Comune di Costarainera, se progettate come un complemento coerente con le prospettive di valorizzazione dell'area, sopra richiamate, ammesse a condizione che sia verificata l'assenza di conseguenze sulle spiagge limitrofe e su quelle di San Lorenzo.

A questo proposito si deve sottolineare come per il litorale di Costarainera il PRUSST del Ponente Ligure (Riuso dell'ex Ferrovia del Ponente Ligure nella tratta Ospedaletti - San Lorenzo al Mare ed interventi di riqualificazione urbana, ambientale e paesistica della fascia costiera) ponesse a previsione un *intervento di riqualificazione costiera*, in variante al vigente Piano Regolatore, coinvolgente l'area TRZ estesa sulla fascia costiera, in fronte alla quale anche il Piano della Costa pone a previsione (ambito di tutela attiva ATA4) la realizzazione di un possibile attracco per piccole imbarcazioni (intervento IN5). Il Comune di Costarainera ha avviato la predisposizione del progetto preliminare per il nuovo Piano Urbanistico Comunale, sottoposto, ai sensi dell'Art. 39 1° comma della L.R. n°36/1997, al parere dell'Ente Regionale ed appare significativo come per quanto attiene *"alla fascia del litorale a mare dell'Aurelia, classificata come distretto TRZ, il progetto di PUC ha recepito la*

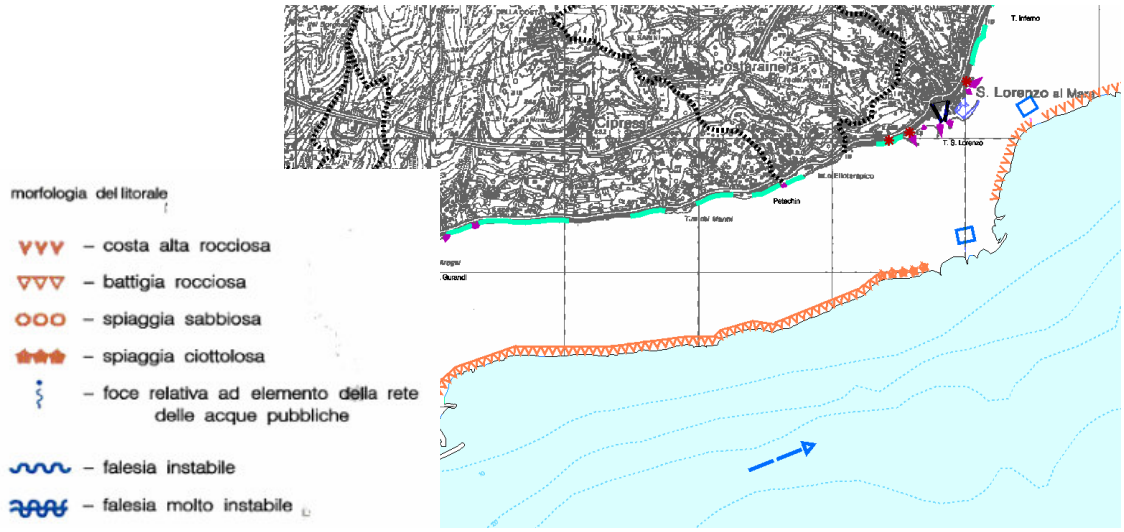
previsione contenuta nel Prusst, senza approfondire l'ipotesi di trasformazione in esso contenuta. Al riguardo, pur dovendosi dare atto che tale previsione è stata approvata dalla stessa Amministrazione Regionale, si deve rilevare che la stessa deriva da una visione settoriale e non riferita all'intero Comune: l'ipotesi di un insediamento turistico, collegato al progetto di riuso dell'ex ferrovia, deve pertanto essere riconsiderata ed attualizzata alla luce sia delle complessive scelte del PUC, sia delle ridotte dimensioni dell'area interessata e della ulteriore sottrazione di spazi di pregio ambientale limitrofi alla costa, ritenendosi più pertinente la realizzazione di strutture di minor impatto e di maggiore fruibilità da parte degli utenti della futura sistemazione pubblica del sedime dell'ex ferrovia. Pertanto si ritiene opportuno che l'Amministrazione Regionale nelle pertinenti sedi e anche alla luce degli approfondimenti che verranno forniti dalla civica Amministrazione nella stesura del nuovo PUC riconsideri tale scelta" [Testo integrale tratto dal parere ex art 39 L.R. 36/1997 rilasciato dal Comitato Tecnico Regionale del Territorio approvato con D.G.R. n° 1154 del 27/10/2006];

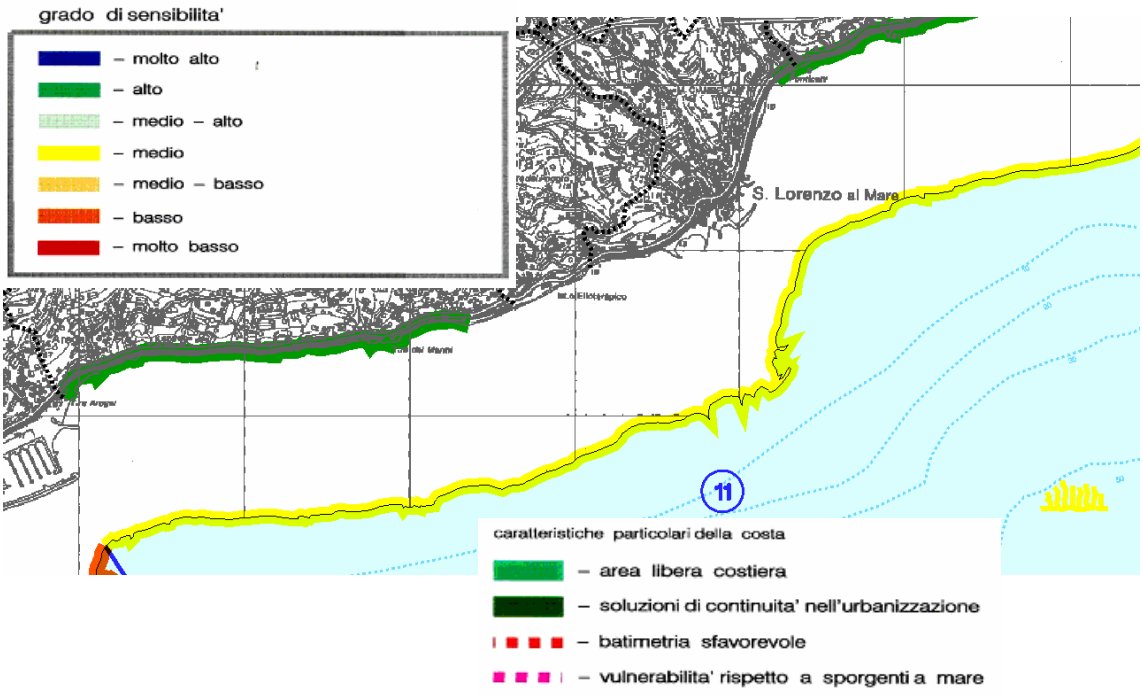
Per quanto sopra appare evidente la necessità di addivenire, nelle more e nei tempi che verranno ritenuti opportuni, ad una soluzione concertata Comune – Provincia - Regione *per l'attuazione urbanistica dell'ambito in argomento*, senza la quale lo strumento progettuale di difesa costa rischierebbe di fondare ipotesi di intervento non compatibili con l'attuazione programmatica ad oggi in via di definizione;

Dal punto di vista dell'analisi delle situazioni in essere il Piano individua il tratto costiero in oggetto in *EROSIONE (vedi Tav.5 : morfologia della linea di costa e fenomeni in atto)*









Per il Comune di San Lorenzo si è d'altronde rilevata indispensabile una verifica generale degli interventi di consolidamento del litorale già precedentemente avviati che, come è già stato sottolineato, ha subito nel corso degli ultimi anni modificazioni notevoli e tali da rendere non facile il compito di prevedere una strategia attuativa per il litorale di ponente, senza considerare che è in corso di redazione anche per il Comune di San Lorenzo il nuovo Piano Regolatore Generale, di cui l'attuale zonizzazione L2 è appunto oggetto del progetto di difesa costa in argomento;

Sono senz'altro fondanti per il presente studio le indicazioni emergenti dal Piano della Costa che, per quanto riguarda la difesa del litorale dall'erosione, fornisce alcune linee guida sugli interventi da realizzare, quali ("Piano della Costa – Fascicolo 4.4 pag. 20"):

- ristabilire l'equilibrio della dinamica costiera;
- evitare la costruzione di manufatti a mare, i quali hanno rivelato gravi limiti e conseguenze ambientali deleterie;
- far fronte alle necessità immediate attraverso ripascimenti, i quali rappresentano una risposta meno invasiva rispetto alle opere fisse;

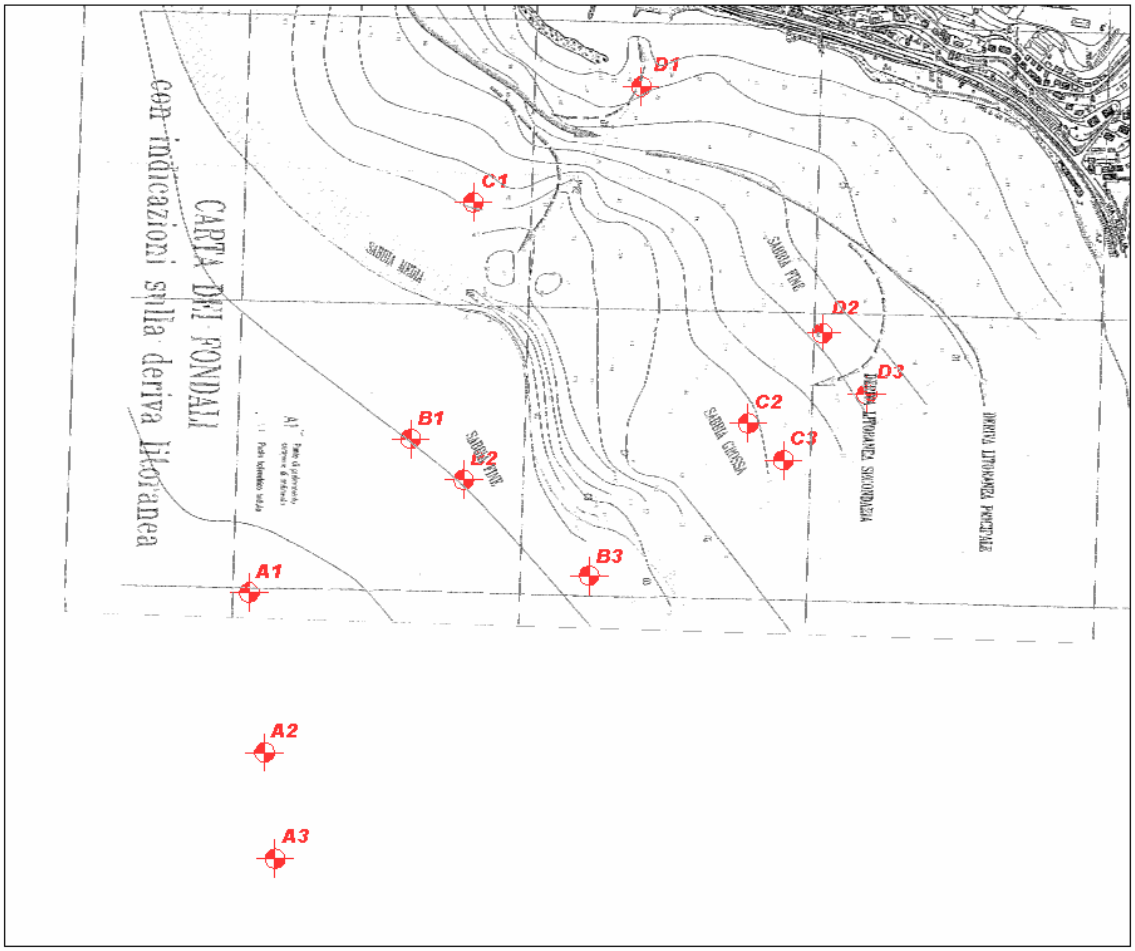
Il progetto approntato

Sedimentologia

La caratterizzazione dei fondali e delle spiagge dell'ambito di intervento è stata operata sia attraverso il recupero della documentazione storica esistente, sia mediante rilievi di campo e verifiche in situ.

Per quanto attiene gli studi preesistenti sono da segnalare quelli condotti per la costruzione del porto turistico di Marina di San Lorenzo: ivi è stata recuperata la carta dei fondali presentata alla

pagina successiva, con sovra indicati i punti di campionamenti condotti e dei quali sono state regolarizzate le analisi granulometriche secondo i modelli propri previsti dalla Regione Liguria e che sono riportati in allegato.



Qui appresso sono riportati i dati dei diversi campioni e, nel seguito, le tabelle riassuntive dei diametri medi, classazione e asimmetria.

Percentili della curva granulometrica — **CAMPIONE** A1

d(mm)	0.499	0.466	0.428	0.389	0.382	0.313	0.246	0.223	0.211	0.199	0.176	0.153	0.132	0.130
cumulata	1%	5%	10%	15%	16%	25%	35%	45%	50%	55%	65%	75%	84%	85%
phi (ϕ)	1.004	1.101	1.225	1.360	1.389	1.677	2.025	2.167	2.244	2.326	2.504	2.707	2.918	2.943

Percentili della curva granulometrica — **CAMPIONE** A2

d(mm)	0.497	0.466	0.428	0.389	0.382	0.313	0.246	0.223	0.211	0.199	0.176	0.153	0.132	0.130
cumulata	1%	5%	10%	15%	16%	25%	35%	45%	50%	55%	65%	75%	84%	85%
phi (ϕ)	1.009	1.101	1.225	1.360	1.389	1.677	2.025	2.167	2.244	2.326	2.504	2.707	2.918	2.943

Percentili della curva granulometrica — **CAMPIONE** A3

d(mm)	3.462	1.834	1.188	0.640	0.539	0.234	0.188	0.142	0.123	0.117	0.105	0.092	0.081	0.080
cumulata	1%	5%	10%	15%	16%	25%	35%	45%	50%	55%	65%	75%	84%	85%
phi (ϕ)	-1.791	-0.875	-0.249	0.643	0.892	2.094	2.410	2.817	3.019	3.094	3.257	3.440	3.628	3.650

Percentili della curva granulometrica — **CAMPIONE** B1

d(mm)	0.543	0.461	0.411	0.361	0.351	0.262	0.232	0.212	0.202	0.192	0.172	0.152	0.134	0.132
cumulata	1%	5%	10%	15%	16%	25%	35%	45%	50%	55%	65%	75%	84%	85%
phi (ϕ)	0.882	1.118	1.283	1.469	1.509	1.934	2.106	2.236	2.306	2.380	2.539	2.718	2.900	2.922

Percentili della curva granulometrica — **CAMPIONE** B2

d(mm)	0.496	0.464	0.424	0.384	0.376	0.304	0.242	0.217	0.204	0.192	0.167	0.142	0.117	0.113
cumulata	1%	5%	10%	15%	16%	25%	35%	45%	50%	55%	65%	75%	84%	85%
phi (ϕ)	1.012	1.108	1.238	1.381	1.411	1.718	2.048	2.205	2.291	2.382	2.583	2.817	3.099	3.145

Percentili della curva granulometrica — **CAMPIONE** B3

d(mm)	2.314	1.554	0.991	0.825	0.791	0.491	0.233	0.181	0.155	0.130	0.110	0.094	0.080	0.078
cumulata	1%	5%	10%	15%	16%	25%	35%	45%	50%	55%	65%	75%	84%	85%
phi (ϕ)	-1.210	-0.636	0.013	0.278	0.337	1.026	2.103	2.465	2.687	2.949	3.179	3.405	3.644	3.673

Percentili della curva granulometrica					CAMPIONE	C1								
d(mm)	0.668	0.472	0.432	0.393	0.385	0.313	0.245	0.220	0.207	0.195	0.170	0.145	0.119	0.114
cumulata	1%	5%	10%	15%	16%	25%	35%	45%	50%	55%	65%	75%	84%	85%
phi (\)	0.582	1.083	1.210	1.349	1.378	1.674	2.030	2.185	2.270	2.360	2.559	2.789	3.067	3.128

Percentili della curva granulometrica					CAMPIONE	C2								
d(mm)	1.922	0.998	0.927	0.856	0.842	0.714	0.573	0.468	0.435	0.401	0.335	0.269	0.208	0.201
cumulata	1%	5%	10%	15%	16%	25%	35%	45%	50%	55%	65%	75%	84%	85%
phi (\)	- 0.942	0.004	0.110	0.224	0.248	0.485	0.804	1.096	1.202	1.317	1.577	1.895	2.264	2.311

Percentili della curva granulometrica					CAMPIONE	C3								
d(mm)	2.344	1.257	0.929	0.832	0.813	0.639	0.480	0.410	0.374	0.339	0.268	0.215	0.173	0.168
cumulata	1%	5%	10%	15%	16%	25%	35%	45%	50%	55%	65%	75%	84%	85%
phi (\)	- 1.229	- 0.330	0.107	0.265	0.299	0.645	1.058	1.288	1.418	1.562	1.900	2.218	2.533	2.573

Percentili della curva granulometrica					CAMPIONE	D1								
d(mm)	0.291	0.238	0.222	0.207	0.204	0.176	0.144	0.121	0.116	0.110	0.100	0.089	0.079	0.078
cumulata	1%	5%	10%	15%	16%	25%	35%	45%	50%	55%	65%	75%	84%	85%
phi (\)	1.782	2.071	2.169	2.274	2.295	2.509	2.792	3.047	3.113	3.181	3.328	3.492	3.658	3.678

Percentili della curva granulometrica					CAMPIONE	D2								
d(mm)	1.817	0.939	0.794	0.649	0.620	0.472	0.416	0.359	0.331	0.303	0.247	0.202	0.162	0.158
cumulata	1%	5%	10%	15%	16%	25%	35%	45%	50%	55%	65%	75%	84%	85%
phi (\)	- 0.862	0.091	0.333	0.624	0.690	1.082	1.266	1.477	1.595	1.724	2.018	2.304	2.622	2.662

Percentili della curva granulometrica					CAMPIONE	D3								
d(mm)	1.899	0.246	0.223	0.200	0.195	0.154	0.121	0.111	0.105	0.100	0.090	0.079	0.070	0.069
cumulata	1%	5%	10%	15%	16%	25%	35%	45%	50%	55%	65%	75%	84%	85%
phi (\)	- 0.926	2.022	2.164	2.322	2.356	2.701	3.046	3.176	3.246	3.319	3.477	3.655	3.837	3.858

DIAMETRO MEDIO DI FOLK & WARD	
A1	0.2406
A2	0.2417
A3	0.2477
B1	0.2291
B2	0.2324
B3	0.3423
C1	0.2371
C2	0.4949
C3	0.4533
D1	0.1328
D2	0.3710
D3	0.1236

CLASSAZIONE DI FOLK & WARD	
A1	0.9763
A2	0.7643
A3	1.3678
B1	0.6956
B2	0.8437
B3	1.6532
C1	0.8446
C2	1.0075
C3	1.1174
D1	0.6813
D2	0.9656
D3	0.7406

ASIMMETRIA	
A1	0.1117
A2	- 0.0228
A3	- 0.5938
B1	- 0.0582
B2	0.0261
B3	
C1	0.0570
C2	0.1131
C3	- 0.0012
D1	- 0.1724
D2	0.0607
D3	

(diametri medi in mm, classazione e asimmetria in ϕ)

Si noti che le sabbie di fondali hanno diametri medi dell'ordine 0.20-0.30mm, hanno classazione bassa o moderata (la classazione esprime la capacità selettiva del mezzo di trasporto, cioè la sua capacità di prelevare e/o trasportare i granuli).

Coefficiente di classazione *s* (Folk and Ward, 1957)	**Grado di classazione**
>4	estremamente basso
2-4	molto basso
1-2	basso
0.71-1	moderato
0.50-0.71	moderatamente elevato
0.35-0.50	elevato
<0.35	molto elevato

L'omogeneità della popolazione granulometrica , derivata dal coefficiente di asimmetria, è asimmetrica verso le frazioni più grossolane

Coefficiente di asimmetria (Folk and Ward, 1957)	**Descrizione**
-0.3 a -1	Molto asimmetrica verso il fine
-0.1 a -0.3	Asimmetrica verso il fine
-0.1 a 0.1	Quasi simmetrica
0.1 a 0.3	Asimmetrica verso il grossolano
0.3 a 1	Molto asimmetrica verso il grossolano

Per quanto riguarda il materiale di spiaggia emersa si presentano di seguito alcune immagini derivate durante il rilievo strumentale della costa, che sintetizzano la caratterizzazione del materiale di spiaggia presente.



Panoramica della spiaggia laddove sono state effettuate le misure. Le differenti tessiture presenti sono state catalogate con le immagini di cui alle pagine successive.

La spiaggia è oggetto di progetto di ripascimento.




FAVA - Legnami - ONEGLIA - Via Argine Destro 625 Tel. 0183/293575


FAVA - Legnami - ONEGLIA - Via Argine Destro 625 Tel. 0183/293575

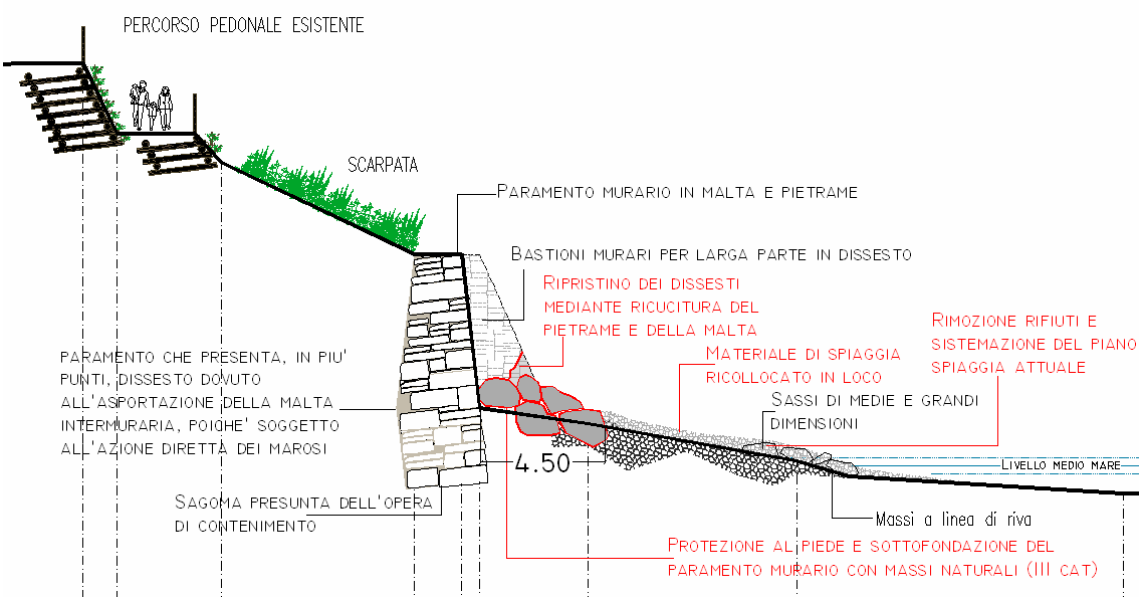


Il progetto

Le soluzioni individuate per gli interventi di difesa costa sono inerenti:

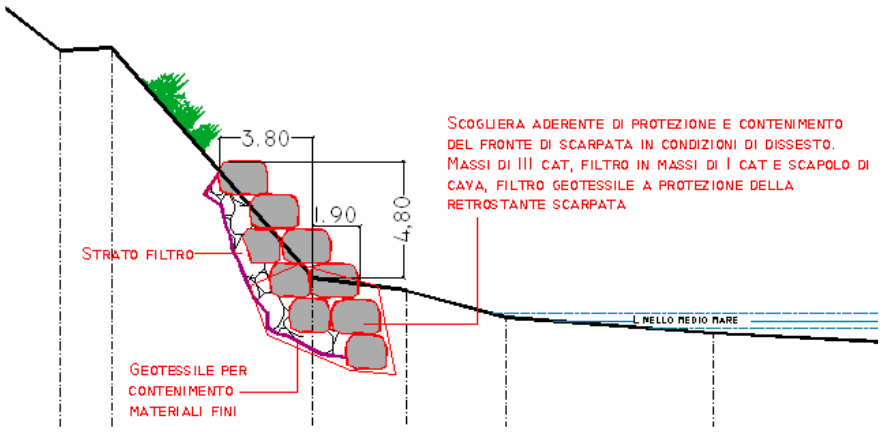
-a) per il Comune di Costarainera, a partire dal confine Comunale con Cipressa e sino alla prevista opera di ripascimento, si prevede di intervenire lungo il litorale mediante opere di difesa al piede di versante, idonee ad evitare il progressivo collasso delle opere di sostegno preesistenti.

Laddove sono presenti gli antichi corpi murari del passato rilevato ferroviario si prevede di intervenire mediante la ricucitura delle bucature del paramento e dei bastioni, con la contestuale messa a dimora di massi di protezione al piede in funzione antierosiva;



Nei tratti in scarpata, risultando direttamente minacciate opere e infrastrutture pubbliche *(cfr. DGR 17.11.2009 n°29 – Misure di salvaguardia relativamente alla difesa delle coste, Art. 4" La naturale evoluzione delle frane costiere e delle falesie attive non deve essere contrastata da opere di*

consolidamento salvo in presenza di elementi a rischio che ne richiedano il consolidamento. E' vietata la realizzazione di manufatti che comportino l'aumento del rischio"., verranno realizzate opere in scogliera aderenti, ricavate con il minimo ingombro della fascia costiera, sempre in massi naturali di cava e comprensive di geotessili per il contenimento dei materiali fini.

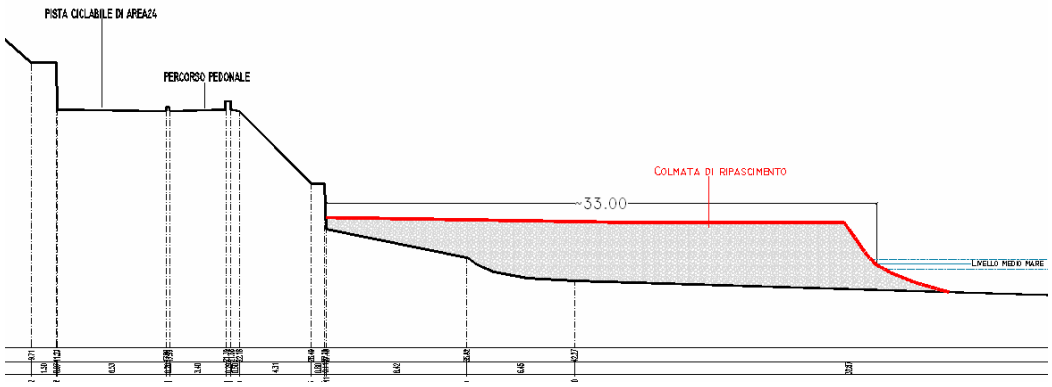


mantenere essendo possibile non laddove non risultano risultano prevede di intervenire mediante la ricucitura delle bucature del paramento e dei bastioni, con la contestuale messa a dimora di massi di protezione al piede in funzione antierosiva;

Per le opere si prevede l'impiego di massi naturali, tali per cui si dovrà verificare che "la composizione media dell'intera massa non presenti una concentrazione di inquinanti superiore ai limiti previsti dalle normative vigenti". Si dovrà inoltre porre attenzione alla possibile provenienza dei materiali da ammassi rocciosi costituiti da Pietre verdi o da esse derivati, per le quali si profila il rischio di esposizione e contaminazione da fibre da amianto: in questo caso si dovrà verificare che il rilascio di fibra libera di amianto sia al di sotto della soglia indicata dal decreto del Ministero della Sanità 16 maggio 1996 (applicabilità della D.G.R. 878 4-08-2006).

Saranno accettate pezzature di peso specifico non inferiore ai 2.5t/m3; tutti i massi per le difese aderenti saranno di III categoria;

-b) a cavallo del confine InterComunale tra i Comuni di San Lorenzo al Mare e Costarainera si è prevista l'esecuzione di un ripascimento strutturale, confinato da due strutture trasversali di contenimento e da una piccola isola semisommersa in massi naturali, posta circa baricentricamente rispetto al versamento. Tale previsione progettuale trova affermazione nell'attuale presenza di una spiaggia emersa, necessitante di consolidamento, per la quale, attesa la differente classazione granulometrica da ponente a levante, si sono inserite apposite opere trasversali e semiemerse per garantirne la stabilità e la fruibilità. Tale ipotesi progettuale, attraverso un mirato ripascimento della costa, farà avanzare la linea di riva in maniera controllata, eliminando così l'erosione progressiva dovuta al moto ondoso.



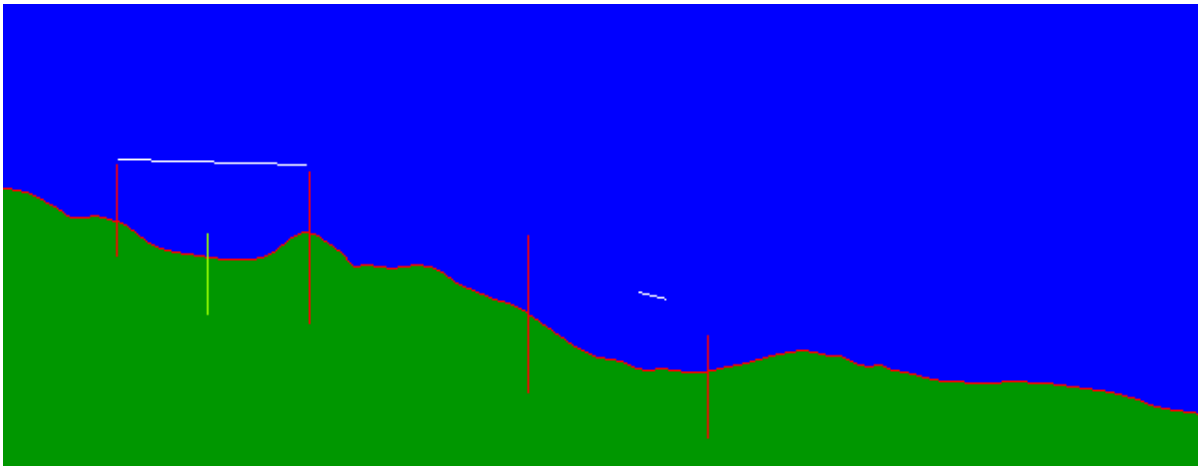
Il materiale utilizzato per effettuare il ripascimento deve avere caratteristiche ben precise, al fine di:

- non alterare l'equilibrio della fauna e della flora sottomarina: occorre evitare quindi apporti limo-argillosi che potrebbero produrre un progressivo infangamento del fondale;
- costituire un apporto stabile e duraturo: la granulometria deve pertanto essere compatibile con quella presente;
- la quantità, la tipologia e le modalità di versamento non devono produrre effetti sedimentari dannosi;

La soluzione ipotizzata è così caratterizzata:

- lunghezza complessiva del riempimento: 240.00m;
- profondità media del versamento: 30.00m;
- altezza media di berma: 2.50m;
- lunghezza massima strutture trasversali di contenimento: 75.00m (pennello di levante);
- diametro opera diffrangente semisommersa (al piede): 42.00m;
- quantità complessiva di sedimenti richiesti: ~ 31.800,00mc;

La soluzione indicata è stata derivata e verificata con il modello di trasporto solido presentato in precedenza, di cui di seguito si presentano due estratti significativi:



situazione dello stato di fatto (si noti anche la schematizzazione della spiaggia protetta dalla soffolta a levante)



Situazione dello stato di progetto: si noti la sostanziale stabilità dell'opera contenuta entro le due strutture trasversali

L'analisi attuata con il modello numerico ha permesso:

- di posizionare la piattaforma semiemersa, secondo la più indicata corrispondenza ai fini del mantenimento del versamento;

- di ridefinire la profondità di imbasamento del pennello di contenimento di ponente, oggi semplicemente previsto quale appoggio al riempimento;

- di valutare la conformità della soluzione progettuale prevista;

Il materiale da ripascimento sarà composto da due pezzature differenti:

- sottofondo di spiaggia, meno pregiato, utilizzato per l'avanzamento volumetrico della linea di riva;
- materiale di ricoprimento, più pregiato, in ghiaie mediamente classate e con D50~60/70mm (materiale compatibile con quanto preesistente).

Il materiale di ripascimento dovrà provenire, per evidenti ragioni di costo, da cava terrestre; il prelievo nell'alveo del torrente San Lorenzo, ancorché da verificare, non parrebbe sufficiente alle derivazione delle volumetrie previste.

Il calcolo del profilo d'equilibrio longitudinale della spiaggia può calcolarsi attraverso la nota relazione di Dean:

$$h(y)=Ay^{2/3}$$

dove:

h(y) profondità del fondo alla distanza y dalla linea di riva;

A coefficiente di Moore in funzione del d50 del materiale:

Il parametro A di Moore è stimabile per le sabbie come di seguito:

$$A = 0.23\ d_{50}^{0.28} \quad 10\ mm < d_{50} <= 40\ mm$$
$$A = 0.23\ d_{50}^{0.32} \quad 0.4mm < d_{50} <= 10\ mm$$

Per le ghiaie si può fare riferimento alla relazione di Kriebel:

$$A = 0.067*(100\ W)^{0.44}$$

Laddove la velocità di sedimentazione W è desumibile da:

$$W = 1.10*(\rho_{s/}\ \rho_w\, g\, D50\ )^{0.50}$$

Per il caso in esame, con

D50 ~60mm

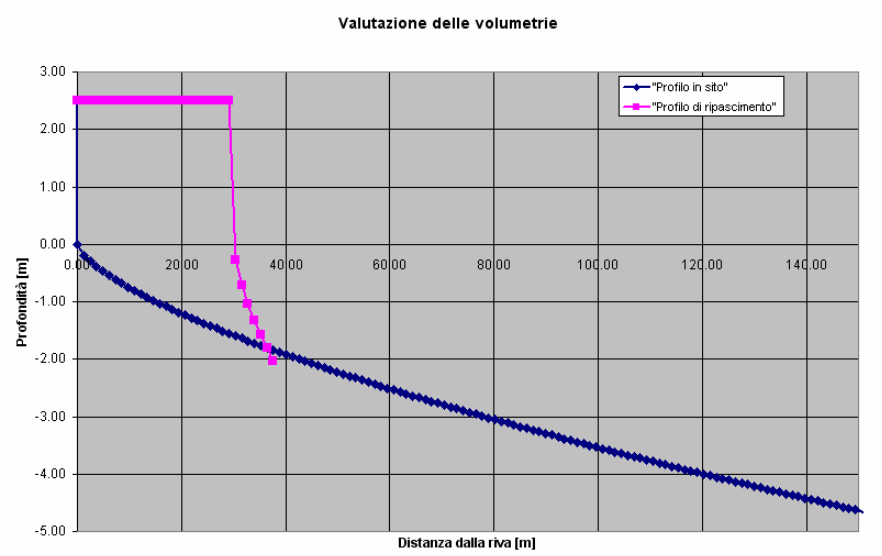
si ottiene:

- W=~1.07m/s
- Af=0.52

Con tale assunzione,

- tenuto conto di un profilo di spiaggia preesistente derivato in base alla relazione del Dean, precisata con un parametro An (natural) pari ad A=0.16 ($D50_n$=0.30mm);
- tenuto conto di un avanzamento medio pari a 30.00m;
- tenuto conto di una altezza di berma di progetto pari a 2.50m;

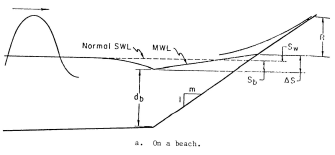
si ottiene un valore di incremento volumetrico di spiaggia pari a ~107mc/m;



Visto il materiale di apporto è evidente la chiusura del profilo di spiaggia sul profilo preesistente. Si tenga presente che per il calcolo della volumetria complessiva necessaria all'esecuzione del versamento si è ipotizzata una quota di dispersione iniziale pari al 30%.

La verifica del dimensionamento del riempimento è riportata nella relazione di calcolo allegata.

-c) Le problematiche presenti ed accertate alla spiaggia davanti il condominio generale attengono un forte risalita ondoso sul profilo di spiaggia ed intenso overwash lungo la strada Comunale, con contestuale trasporto di detriti, il tutto tale da creare una forte condizioni di rischio: per le strutture, per le persone e per le proprietà al contorno;



Il progetto prevede di risolvere le situazioni su descritte mediante la realizzazione di una scogliera di difesa, in massi naturali, elevata sino a quota 4.00 m s.l.m., a chiusura dell'ambito di intervento ed in completamento delle opere avviate precedentemente, nell'ambito della rivisitazione della costa a levante del torrente San Lorenzo negli anni immediatamente successivi l'alluvione del 1998.

Tale soluzione progettuale è da ritenersi sostitutiva, e migliorativa, rispetto alla precedente previsione di progetto (barriera dissipativa a mare + opera di protezione ridotta a terra), atteso che:

- non vengono compromessi i fondali avanti l'opera (salvaguardia posidonieto);
- vengono mantenuti gli accessi alle piste di cantiere verso il torrente e verso il paramento esterno della diga di porto (agevoli accessi mezzi d'opera per manutenzioni), con accesso in piano direttamente dalla strada di accesso al porticciolo Comunale, con evidente vantaggio tecnico ed economico;
- si preserva la possibilità di realizzare il completamento del camminamento pedonale verso mare, a filo strada, in prosecuzione di quello esistente e, ad oggi, interrotto a monte dell'area di intervento.

La verifica della quota di coronamento è riportata nell'allegata relazione di dimensionamento.

Modalità esecutive dell'intervento: L.R. 13/99 – D.G.R. 429 DEL 09/04/2009

La recente integrazione alla L.R. 13/1999 "Disciplina delle funzioni in materia di difesa della costa, ripascimento degli arenili, protezione e osservazione dell'ambiente marino e costiero, demanio marittimo e porti", relativamente ai "Criteri generali per la progettazione e l'esecuzione delle opere di difesa della costa e degli abitati costieri e di ripascimento degli arenili", approvati con D.G.R. 222/2003, stabilisce come i progetti di difesa costa debbano specificare in dettaglio le modalità realizzative dei lavori, con quale tipologia di mezzi (marittimi/terrestri), e se mediante l'utilizzo di apprestamenti temporanei (piste) con relativa specificazione del materiale.

Modalità di realizzazione delle opere

La tipologia delle opere previste, sia in termini di posizionamento che di approfondimento, consiglia l'esecuzione esclusiva da terra, salvo eventualmente per quelle opere (piattaforma dissipativa spiaggia del porticciolo – isolotto semiemerso a protezione del ripascimento) laddove potrebbe essere preferibile l'utilizzo di un pontone. Gli accessi alle aree di cantiere saranno, lato Costarainera, la pista al confine Comunale, che si prevede di consolidare, e la nuova pista per manutenzioni prevista ai limiti del nuovo ripascimento a progetto.

Tutta la viabilità di cantiere si svilupperà a tergo della linea di riva, dalla quale sia le escavatrici che gli autocarri si recheranno alle aree di lavorazioni

Piano di Monitoraggio delle opere di difesa della costa e di ripascimento degli arenili

Il Piano di Monitoraggio delle opere di difesa costiera, secondo quanto previsto dalla DGR 1793 del 30/12/2005 (Criteri generali inerenti la progettazione e l'esecuzione delle opere di difesa della costa e degli abitati costieri e di ripascimento degli arenili", approvati con D.G.R. n. 222 del 28/02/2003) deve possedere i seguenti contenuti minimi:

1)il monitoraggio della dinamica costiera;

2)il monitoraggio delle biocenosi;

3)il monitoraggio della qualità delle acque, qualora le opere comportino la delimitazione di specchi acquei a ridotto scambio idrico.

1 – MONITORAGGIO DELLA DINAMICA COSTIERA

Estensione areale e temporale del monitoraggio

L'intervento di ripascimento, che presenta un'estensione lineare pari a circa 240 metri, è confinato da due strutture trasversali di difesa.

In particolare si specifica che:

• l'unità fisiografica di riferimento è quella compresa tra Marina degli Aregai ed il molo lungo di Porto Maurizio*;*

• l'intervento è delimitato entro le predette strutture di difesa;

• la profondità di chiusura è stata stimata pari a Dc~4.00 *m*

Si ritiene congrua un'estensione temporale del monitoraggio pari a 5 anni dalla conclusione degli interventi, risultando gli stessi comportanti da un lato l'effettuazione di ripascimento di spiaggia,

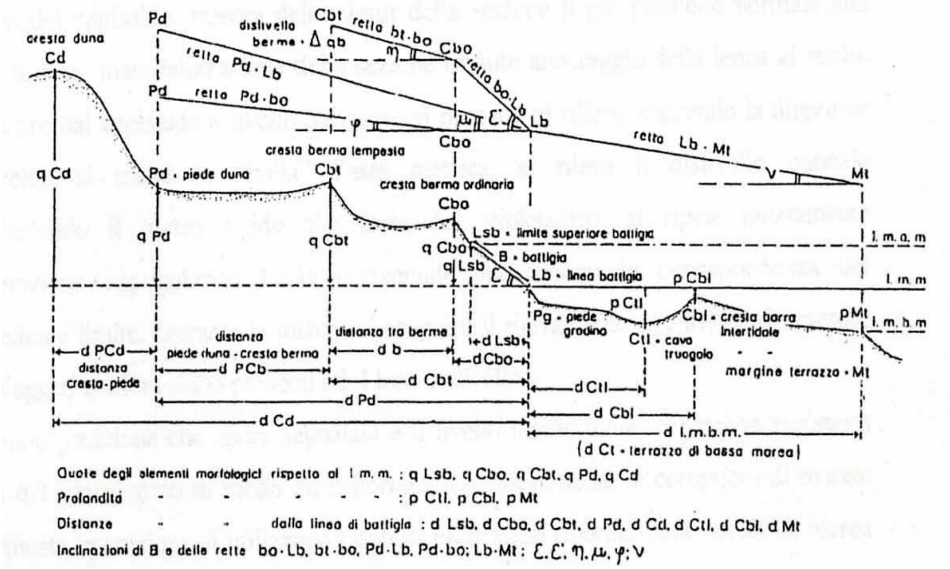
dall'altro la realizzazione di opere fisse aderenti o semisommerse per il contenimento del trasporto longitudinale;

Rilievi planoaltimetrici di riva

Il rilievo della linea di riva, da condursi secondo quanto specificato ai punti successivi, verrà condotto a cadenza annuale immediatamente a valle della stagione invernale (indicativamente nei mesi di marzo/aprile), in condizioni di spiaggia indisturbata e non ancora assoggettata ad interventi di sistemazione antecedenti la stagione balneare;

Il numero di profili di spiaggia da rilevare è specificato in complessivi 4, i cui capisaldi saranno materializzati durante la prima campagna di misure sul cordolo superiore delle opere di difesa aderenti ivi presenti: ivi ne sarà garantita l'inamovibilità.

I transetti di rilievo, che comprenderanno un congruo numero di punti sul profilo di spiaggia ed almeno comprensivi del limite di riva, limite di berma ordinaria, limite di berma di tempesta e tali da poter ricavare le distanze del limite superiore di battigia, tra la berma ordinaria e di tempesta, secondo lo schema di figura successiva (Carobene & Brambati, 1975).



A corredo del rilievo il monitoraggio dovrà indicare altresì:

- le caratteristiche dell'ultima mareggiata che ha interessato il litorale precedentemente al rilevamento, in termini di altezza d'onda al largo e direzione del moto ondoso;
- per ogni campagna di rilevamento della spiaggia l'ora e il giorno di rilievo, il livello medio mare (comprensivo di correzione di marea lunisolare e atmosferica).

Per il rilievo planoaltimetrico si considera adeguata una metodologia tradizionale a stazione totale e/o accompagnata da strumentazione GPS.

Rilievi batimetrici

Il rilievo batimetrico dell'area sarà condotto mediante ecoscandaglio con posizionamento GPS e secondo profili batimetrici in estensione ai transetti a terra, con irrobustimento delle aree di rilievo in prossimità dei pennelli previsti

Monitoraggio sedimentologico

Il profilo di spiaggia tende a modificarsi, successivamente all'esecuzione della messa in opera delle pezzature di ripascimento, con una naturale classazione dei materiali di colmata: per questo motivo i campionamenti andranno effettuati lungo i transetti di rilievo previsti e comunque in almeno due campioni immersi (limite profondità di chiusura e profondità di appoggio del ripascimento) e tre campioni emersi per ogni transetto di rilievo a terra (limite di battigia, limite di berma ordinaria, limite di berma di tempesta.

La posizione planimetrica di rilievo è quindi determinata a partire, dal primo anno, dalla posizione dei transetti; successivamente si dovrà tener presente che il campione di battigia va prelevato al centro della concavità della spiaggia, da cui occorre prelevare solo i primi 2-3 centimetri di spessore per aver indicazione di quanto sia espressione del moto ondoso in atto al momento del prelievo.

I prelievi successivi dovranno sempre essere condotti a valle della restituzione dei rilievi planoaltimetrici e altimetrici, con i quali, valutate le aree oggetto di eventuale accumulo ed erosione, saranno ricalibrate le zone di prelievo. Le analisi granulometriche sui campioni prelevati vanno condotte con la metodologia prevista dalla norma UNI EN 933-1 e secondo le modalità di restituzione precisate nella DGR 1793 del 30/12/2005.

2 – MONITORAGGIO DELLE BIOCENOSI COSTIERE

Per la progettazione dell'intervento sono stati svolti specifici studi biologici, allegati al progetto. Secondo modalità di rilievo mediante ispezione video-fotografica di fondale e conteggi per la mappatura dello stato di salute della prateria andranno aggiornate le indicazioni derivate dal presente studio. Tutti i dati prodotti dovranno essere georiferiti.

3 – MONITORAGGIO DELLA QUALITA' DELLE ACQUE

Non si ritiene necessario, vista la caratterizzazione dei materiali previsti per gli interventi di ripascimento, promuovere uno studio di dettaglio sulla qualità delle acque costiere dell'area di intervento. La pezzatura grossolana delle colmate non determinerà continuativi effetti di intorbidimento delle acque.

Gli oneri necessari all'esecuzione degli interventi di monitoraggio sono riportati nel quadro economico complessivo di intervento.

Costo degli interventi previsti

L'onere complessivo necessario all'esecuzione delle opere di difesa costiera, per l'intero ambito, ammonta a complessivi 2.680.000,00€, secondo il seguente quadro economico complessivo:

SOMMANO A TOTALI LAVORI:						**€ 1,919,393.31**	
							€ 1,919,393.31
Oneri diretti della sicurezza						€ 101,949.42	
Totale a base d'asta soggetto a ribasso						€ 1,817,443.88	
IVA 20% sui Lavori		21.00%				€ 403,072.59	
Spese di Gestione Tecnica, compresi:						€ 249,521.12	
-Rilievi Planoaltimetrici							
-Progettazione sino alla Fase Esecutiva							
-Progettazione e Direzione Lavori di carattere geologico							
-Direzione Lavori, Contabilità e Collaudi							
-Coordinamento Sicurezza Cantieri							
-Rilievi e relazioni di carattere biologico							
-Oneri riflessi							
Per piani di monitoraggio batimetrici, biologici e sedimentologici						€ 15,000.00	
Accantonameno per Art. 92 D.Lgs163/06		2.00%				€ 38,387.87	
Per imprevisti, economie ed Assistenza DL						€ 54,625.11	
Sommano a TOTALI SOMME A DISPOSIZIONE:							**€ 760,606.69**
IMPORTO TOTALE INTERVENTO						**€ 2,680,000.00**	

All'interno del quadro di spesa complessivo, tenuto conto:

- del finanziamento assegnato (fondi FIR 2002) pari a complessivi euro 800.000,00, dei quali 200.000,00 quale cofinanziamento a carico del Comune di San Lorenzo al Mare;
- del primo lotto funzionale già attuato a valere sui suddetti fondi FIR 2002, pari a complessivi 255.000,00€, relativo ad opere di difesa costiera già realizzate ed individuate sulla tavola grafica n°6;
- delle necessità riscontrate riguardanti il litorale in esame;

rispetto a quanto sopra, attesa la conseguente disponibilità economico finanziaria, è stato individuato un **lotto funzionale per il Comune di San Lorenzo al Mare**, del costo complessivo di € 545.000,00, che prevede:

- il consolidamento del pennello in massi naturali, posto in destra orografica del torrente San Lorenzo, in completamento all'intervento di primo stralcio completato;
- la realizzazione di una *porzione* del pennello in massi naturali posto a contenimento del futuro intervento di ripascimento;

- la realizzazione di una quota parte del ripascimento previsto, circa 1/3 della volumetria complessiva stimata necessaria per l'esecuzione dell'intervento.

Tale lotto funzionale, dell'importo complessivo stimato in totali 545.000,00€, presenta il seguente quadro economico:

Oneri sicurezza cantiere:						15,301.54	
Intervento di Ripascimento:							
Pennello di Levante	Esteso sino alla batimetrica -3					€ 140,000.00	
Versamento per ripascimento	50%	sottofondo, per	3,012.63			€ 45,189.38	
	32%	ghiaia, per mc:	7,519.51			€ 157,909.75	
Altre opere in Comune di San Lorenzo al Mare:							
Pennello in destra T. San Lorenzo						€ 30,000.00	
			SOMMANO TOTALI LAVORI:				**€ 388,400.67**
IVA 21% sui Lavori		21.00%				€ 81,564.14	
Spese di Gestione Tecnica, compresi:						€ 57,646.76	
-Rilievi Planoaltimetrici							
-Progettazione sino alla Fase Esecutiva							
-Progettazione e Direzione Lavori di carattere geologico							
-Direzione Lavori, Contabilità e Collaudi							
-Coordinamento Sicurezza Cantieri							
-Rilievi e relazioni di carattere biologico							
-Oneri riflessi							
Per piani di monitoraggio batimetrici, biologici e sedimentologici						€ 4,000.00	
Accantonameno per Art. 92 D.Lgs163/06		2.00%				€ 7,768.01	
Per imprevisti, economie ed Assistenza DL						€ 5,620.42	
TOTALE SOMMA A DISPOSIZIONE:		**156,599.33**					**€ 156,599.33**
IMPORTO TOTALE INTERVENTO:							**€ 545,000.00**

I Tecnici

Tiziano ing. De Silvestri

Alessio ing. De Melas