

Variante puntuale al Piano di Difesa della Costa UF09

INDICE	DATA	MODIFICHE	DISEGN.	CONTR.	APPROV.
--------	------	-----------	---------	--------	---------

SCENARIO DI INTERVENTO UF09 - VARIANTE PUNTUALE

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

COMMITTENTE



REGIONE ABRUZZO
DPE - DIPARTIMENTO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
DPE012 SERVIZIO OPERE MARITTIME
VIA CERULLI IRELLI 17/19 - C.A.P. 64100 - C.F. 80003170661

ELABORATO:

02

TECNICI INCARICATI:

prof. ing. Alessandro Mancinelli
dott. ing. Enrico Gara

IL DIRIGENTE DEL SERVIZIO OPERE MARITTIME:

dott. ing. Marcello D'Alberto

SCALA:

DATA

ottobre 2023

Sommario

1	Introduzione	1
2	Il Processo erosivo	6
2.1	STATO DI FATTO.....	9
2.2	PREVISIONI FUTURE.....	12
3	Caratteristiche ondose del paraggio	14
4	Opere di protezione – valutazione delle alternative.....	25
4.1	PROGETTAZIONE DELLE OPERE FORANEE EMERSE E SOMMERSE.....	25
4.2	PROPOSTA DI VARIANTE AL PDC	30
5	Prefattibilità tecnico-economica della soluzione proposta.....	33

1 Introduzione

L'intera unità fisiografica UF09 (punta Cavalluccio – porto di Vasto) presenta un litorale con caratteristiche morfologiche piuttosto articolate: ciottoloso nella parte settentrionale nei territori dei comuni di Fossacesia e Torino di Sangro per diventare sabbioso e di nuovo ciottoloso nel comune di Casalbordino. Nella parte di costa a Sud, in prossimità del porto di Vasto, si è creato un accumulo sabbioso a ridosso del molo di sopraflutto.

La morfologia delle spiagge emerse è fortemente influenzata dalla presenza delle foci dei fiumi Sangro, Osento e Sinello e dai loro apporti sedimentari.

La parte Nord dell'unità fisiografica, a punta Cavalluccio è stata invece alimentata dagli apporti derivanti dalla erosione della falesia.

I processi erosivi si sono manifestati in corrispondenza del centro abitato di Fossacesia ed a Nord della darsena turistica (situata in sinistra idrografica della foce del F. Sangro).

Gli interventi realizzati a difesa del litorale Nord di Fossacesia sono state scogliere sommerse con pennelli sommersi, setti di scogliere emerse. A ridosso della darsena turistica la regione ha finanziato una scogliera radente.

Nella Fig. 1.1 si può notare l'arretramento della linea di riva a Nord della darsena turistica.



Fig. 1.1 Analisi della tendenza evolutiva recente del litorale. Confronto delle ortofoto del 1997, 2007, 2013 e 2018 nell'area del comune di Fossacesia. La linea di riva riportata è quella relativa al 1997 (fonte Progetto AnCoRA).

In destra idrografica della foce del F. Sangro, e Torino di Sangro Marina (v. Fig. 1.2) l'erosione è stata contenuta con la realizzazione di 13 setti di scogliere emerse mentre, verso Sud è presente una difesa radente per la protezione della pista ciclabile ed un intervento (in località lago Dragoni) di difesa a celle con pennelli parte emersi e parte sommersi e con scogliere foranee sommerse.

In sinistra idrografica della foce del F. Sinello, (località Valle Caterina) sono presenti cinque setti di scogliere emerse con lunghezza dei setti tra 200 e 280m circa che hanno creato una spiaggia sabbiosa molto ampia.



Fig. 1.2 Analisi della tendenza evolutiva recente del litorale. Confronto delle ortofoto del 1997, 2007, 2013 e 2018 nell'area prossima al centro abitato di Torino di Sangro. La linea di riva riportata è quella relativa al 1997 (fonte Progetto AnCoRA).

Il litorale di Casalbordino è quello che presenta, nel tratto in destra idrografica della foce del F. Osento, sino agli interventi di difesa con celle formate da pennelli in parte emersi ed in parte sommersi e scogliere sommerse, il processo erosivo più grave (v. Fig. 1.3).

Nonostante la presenza di una scogliera sommersa alla distanza da riva di circa 330m l'arretramento della linea di riva è stato di oltre 30m. In alcuni tratti la sparizione delle dune sabbiose ha fatto emergere un substrato ciottoloso che ha cambiato completamente la morfologia della spiaggia emersa.

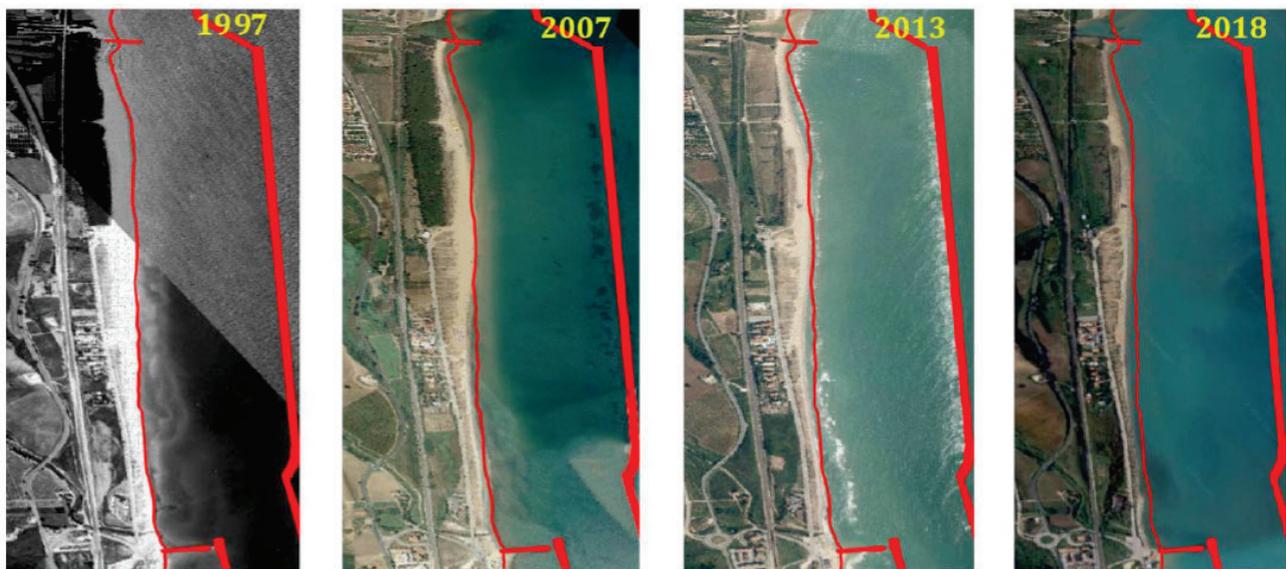


Fig. 1.3 Analisi della tendenza evolutiva recente del litorale. Confronto delle ortofoto del 1997, 2007, 2013 e 2018 in corrispondenza del litorale di Casalbordino. La linea di riva riportata è quella relativa al 1997 (fonte Progetto AnCoRA).

L'aggiornamento del Piano della Costa vigente prevede gli scenari di intervento riportati nelle Fig. 1.4 e 1.5. Gli interventi previsti dal P.d.D.d.C. sono in generale interventi di Manutenzione, Conservazione e Valorizzazione *"a meno dell'area di Lago Dragoni in corrispondenza della quale è previsto un nuovo impianto e a meno dell'area immediatamente a Nord della darsena di Fossacesia"*.

Inoltre in corrispondenza del litorale di Casalbordino sono previsti *"interventi di trasformazione mirata atti a limitare gli effetti al contorno degli interventi già realizzati, anche sulla base di analisi specifiche effettuate nell'ambito del Piano,"*

Scenari di intervento

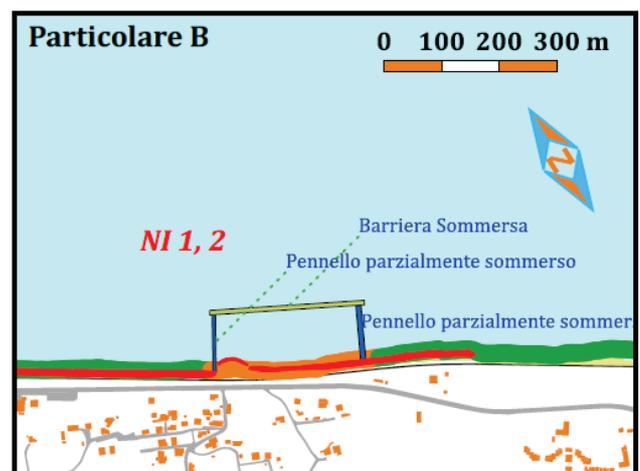
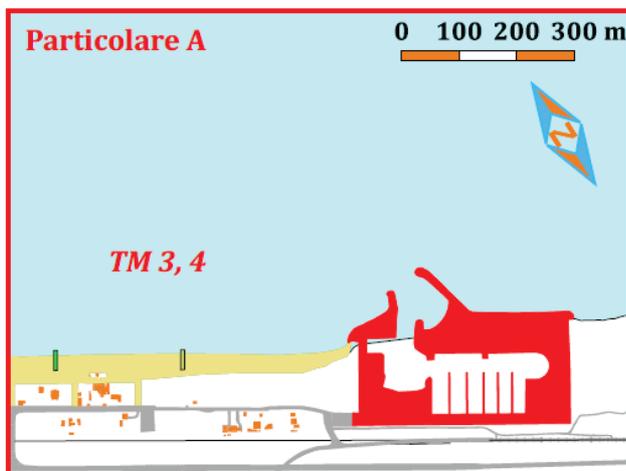
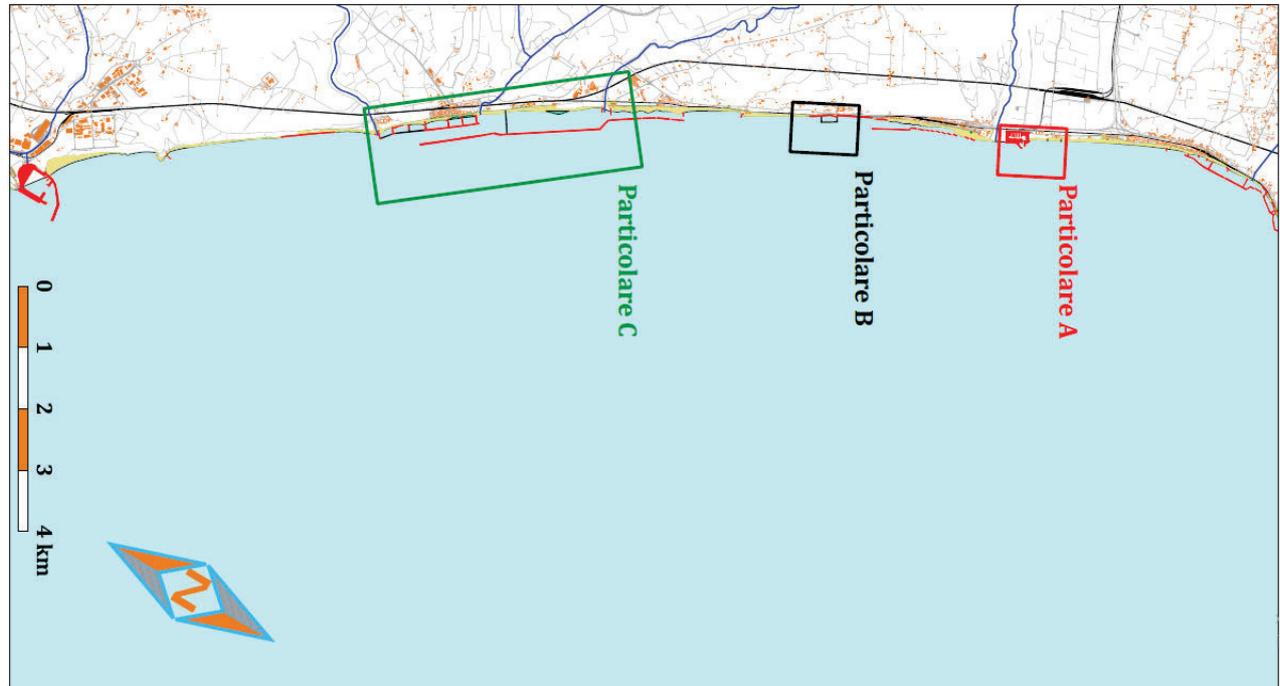


Fig. 1.4 Previsioni del PDC vigente nei comuni di Fossacesia e Torino di Sangro

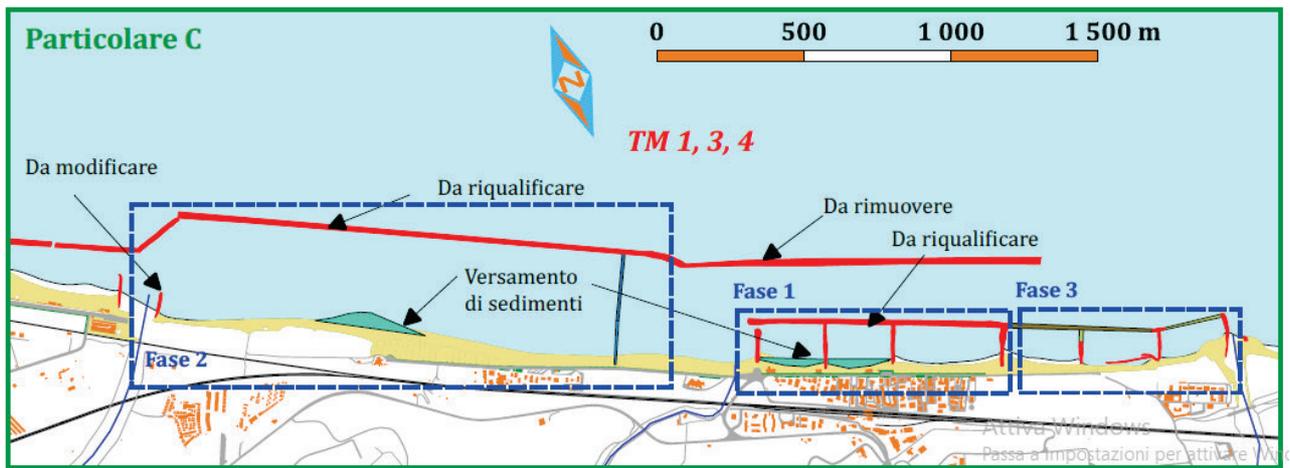


Fig. 1.5 Previsioni del PDC vigente nel comune di Casalbordino

2 Il Processo erosivo

Nell' "Analisi di Dettaglio Monografica" (Rapporto 22-09 AnCoRa – Rep 22-09-R02) aggiornata al 14/12/2021 è stata valutata la tendenza evolutiva del litorale dell'intera Unità Fisiografica UF09 confrontando le linee di riva acquisite negli ultimi 20 anni (1997 – 2018).

I risultati delle analisi riportati nelle Fig. 2.1 - 2.2 - 2.3 - 2.4 presentano in generale un litorale in arretramento per il 31.70% (circa 6.5 km), un litorale stabile per il 31.73% (circa 6.3 km) e per il restante 35.75% in avanzamento (circa 7.1 km).

Le opere di difesa proteggono il 35.75% dell'intero litorale e di queste il 31.5% sono opere longitudinali mentre il 3.25% sono opere trasversali.

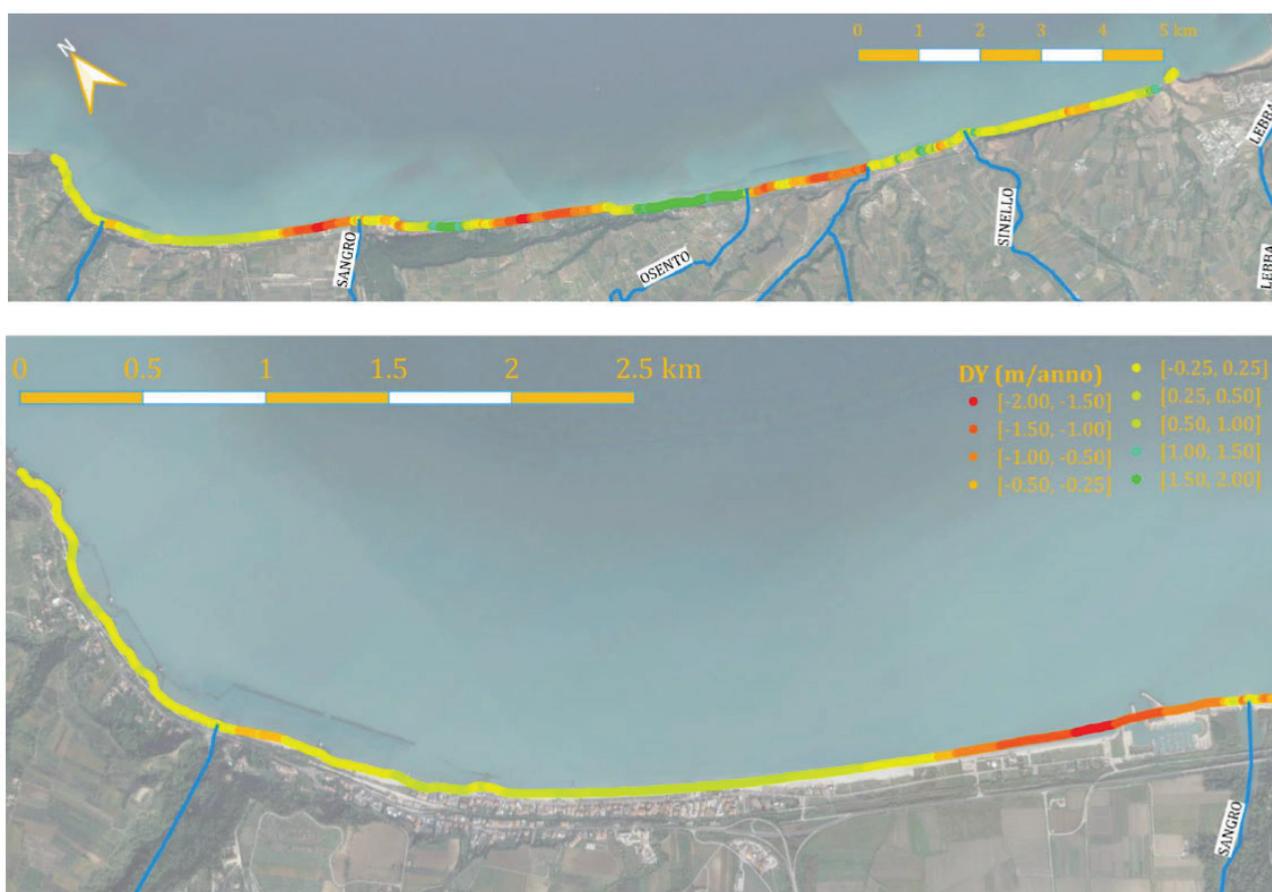


Fig. 2.1 Analisi della tendenza evolutiva recente del litorale. Evoluzione della linea di riva nel periodo 1997-2018. Dettaglio tra Punta Cavalluccio e la Foce del Sangro (fonte AnCoRA – Analisi di dettaglio monografica UF09)

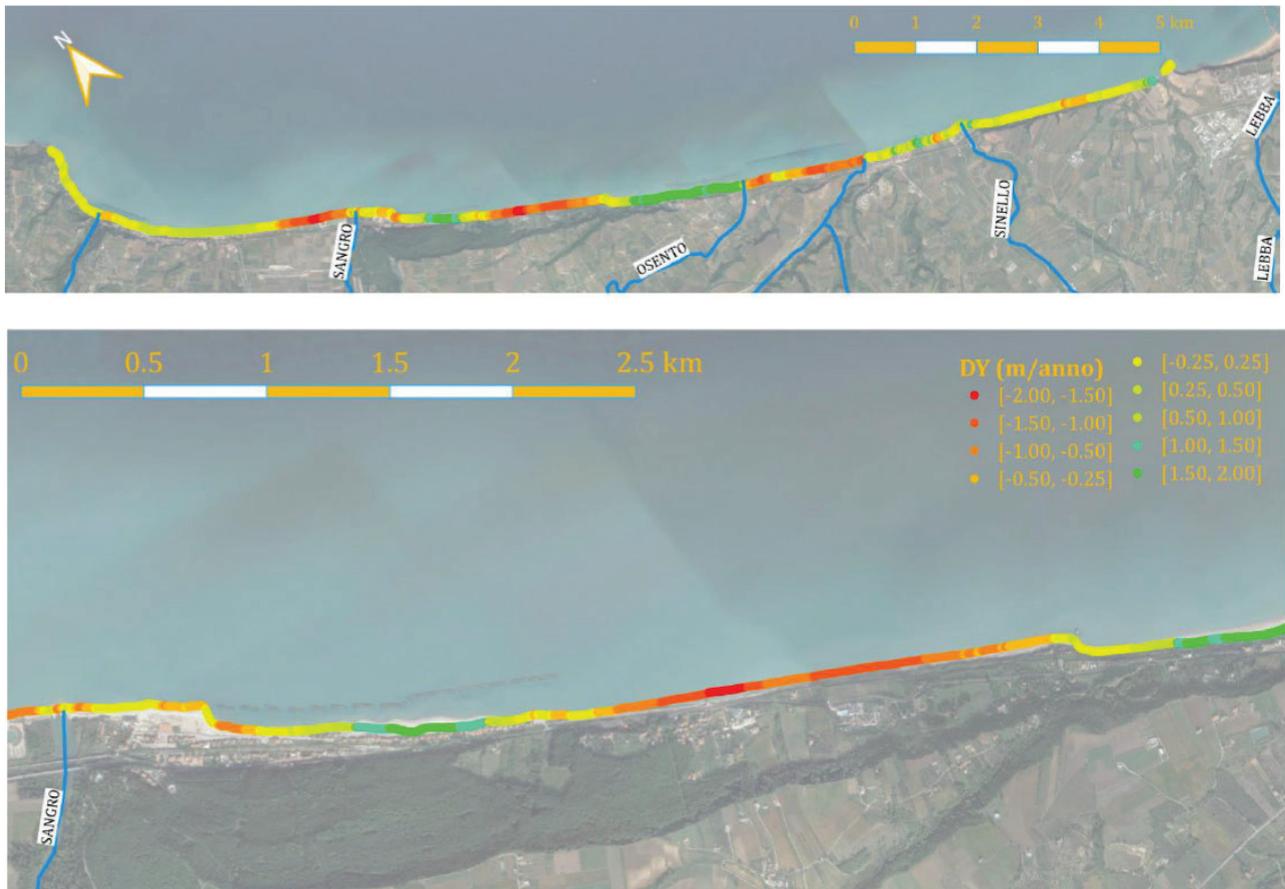


Fig. 2.2 Analisi della tendenza evolutiva recente del litorale. Evoluzione della linea di riva nel periodo 1997-2018. Dettaglio tra la Foce del Sangro e la spiaggia "Le Morge" (fonte AnCoRA – Analisi di dettaglio monografica UF09)

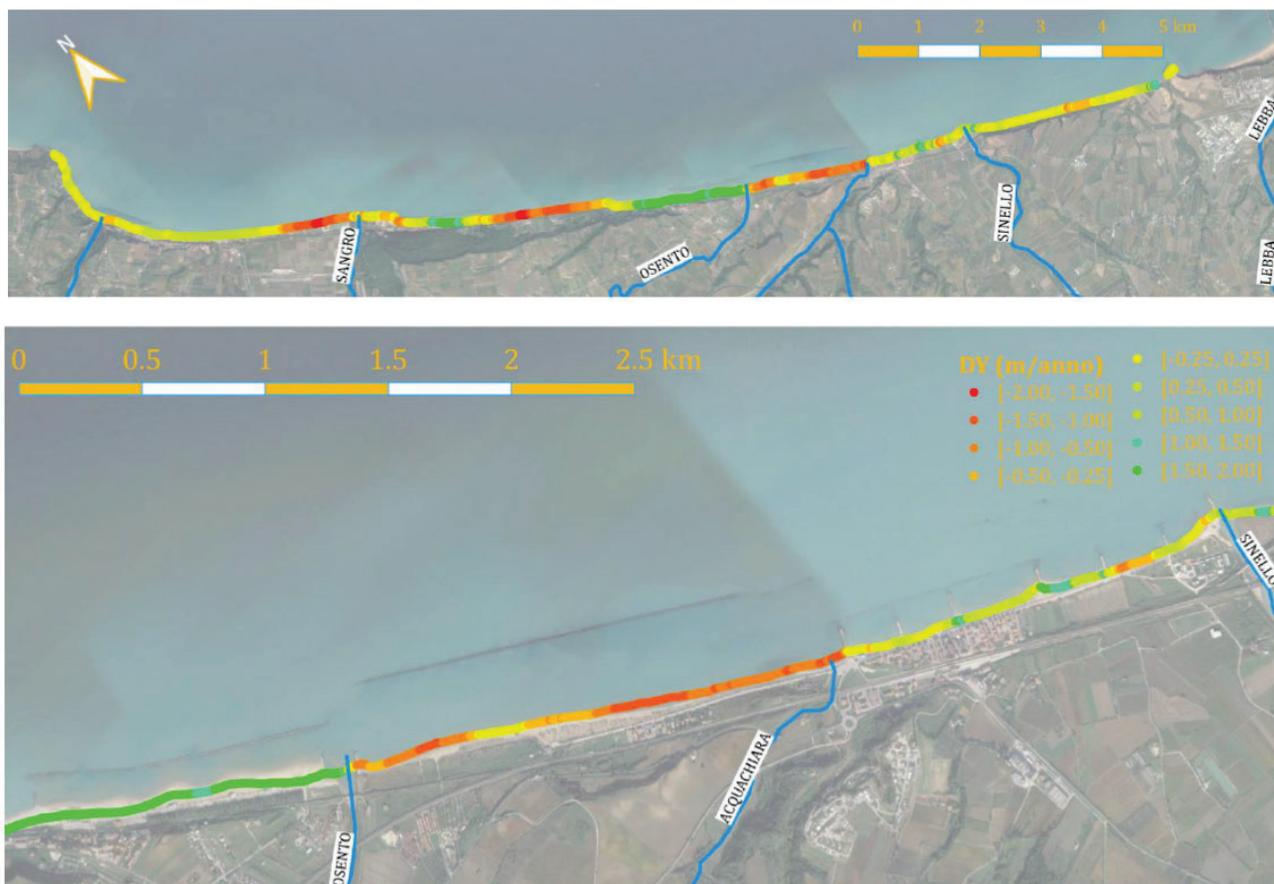


Fig. 2.3 Analisi della tendenza evolutiva recente del litorale. Evoluzione della linea di riva nel periodo 1997-2018. Dettaglio tra la spiaggia “Le Morge” e la foce del Sinello (fonte AnCoRA – Analisi di dettaglio monografica UF09)



Fig. 2.4 Analisi della tendenza evolutiva recente del litorale. Evoluzione della linea di riva nel periodo 1997-2018. Dettaglio tra la foce del Sinello e punta Penna (fonte AnCoRA – Analisi di dettaglio monografica UF09)

Nelle precedenti figure in giallo sono evidenziati i tratti di litorale sostanzialmente stabili, la cui variazione è limitata (arretramento o avanzamento massimo pari a 0.25 m/anno) mentre le zone rosse sono in arretramento di 2.00 - 1.50 m/anno.

2.1 STATO DI FATTO

Successivamente alla stesura del Piano di Difesa della Costa mareggiate molto intense hanno prodotto rilevanti danni su tutto il litorale Abruzzese con la sparizione totale della spiaggia emersa nei tratti più colpiti.

In particolare gli eventi del Novembre 2019 e del Novembre 2021 sono stati particolarmente gravosi.

Nelle foto che seguono è riportato lo stato del litorale Nord di Fossacesia e Casalbordino nel 2023.

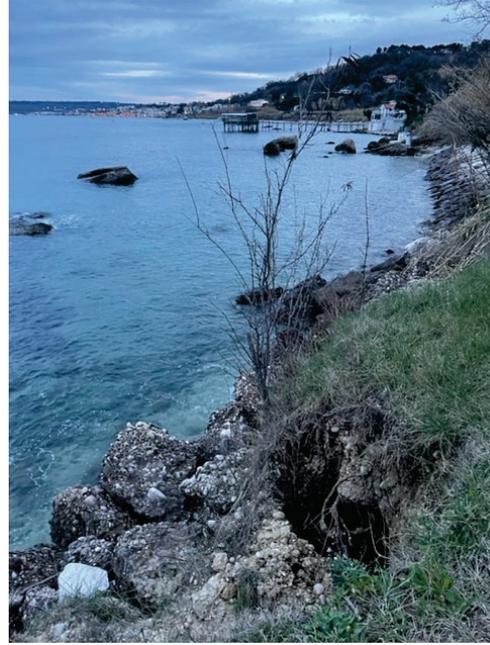


Fig. 2.5 Stato attuale del litorale Nord di Fossacesia (punta Cavalluccio)



Fig. 2.6 Stato attuale del litorale di Fossacesia nel tratto tra la darsena turistica e le prime opere di difesa a Nord



Fig. 2.7 Stato del litorale Nord di Casalbordino negli anni '90 del secolo scorso



Fig. 2.8 Stato attuale del litorale Nord di Casalbordino

Per il litorale di Casalbordino il confronto tra le foto di Fig. 2.7 e 2.8 evidenzia la sparizione quasi totale dello strato sabbioso della spiaggia emersa sostituita dal substrato ciottoloso.

In condizioni di trend di arretramento della linea di riva quali sono quelli in corso nel litorale Nord di Fossacesia e di Casalbordino gli eventi estremi producono erosioni difficilmente assorbibili dalla dinamica sedimentaria nel breve periodo soprattutto in mancanza di apporti fluviali.

Nell'ipotesi di aggravamento dei fenomeni estremi, e quindi delle mareggiate più intense, per effetto del riscaldamento globale è necessario ipotizzare sistemi di difesa costiera che salvaguardino la stabilità del litorale e possano ridurre il rischio di danneggiamento delle abitazioni e delle infrastrutture esistenti.

La dissipazione dell'energia del moto ondoso incidente, per mettere in sicurezza localmente un tratto di litorale, richiede opere strutturali di tipo rigido.

2.2 PREVISIONI FUTURE

Il trend negativo di arretramento del litorale di Fossacesia Nord e di Casalbordino Nord ha subito una forte accelerazione nell'ultimo decennio. Per Casalbordino la struttura sommersa non è stata in grado di attenuare il gravissimo processo erosivo.

L'intensificazione in frequenza ed intensità delle mareggiate più grandi richiede interventi strutturali urgenti non previsti dal PDC, in virtù delle seguenti ragioni:

- il trasporto solido fluviale rimane molto ridotto, si può verificare ad esempio osservando l'andamento delle foci fluviali dei fiumi Abruzzesi;
- i periodi di siccità che si stanno susseguendo ridurranno ulteriormente la capacità di trasporto solido dei fiumi;
- vi è una grande difficoltà a reperire materiale idoneo per i ripascimenti, le sabbie provenienti da cave sottomarine hanno spesso diametri insufficienti per creare profili di fondo stabili in mancanza di strutture rigide di protezione;
- le sabbie provenienti da cave di prestito terrestri sono scarse e molto costose;
- lo scenario ambientale si sta modificando a causa di cambiamenti climatici già in atto: l'innalzamento del livello medio marino e l'intensificazione degli eventi estremi sono fenomeni già presenti nel mare Adriatico;
- i danni prodotti dalle forti mareggiate sembrano non essere recuperabili anche in un trend di lungo periodo.

L'attivazione di due interventi strutturali, compatibilmente con il reperimento delle risorse finanziarie, nel breve-medio periodo sono necessari sia per Fossacesia litorale Nord sia per Casalbordino litorale Nord.

La presente relazione affronta nei capitoli successivi le tematiche riguardanti la possibilità di realizzare strutture foranee emerse in virtù delle considerazioni sopra riportate ed a seguito di un'analisi comparativa delle tipologie strutturali utilizzate nella difesa costiera.

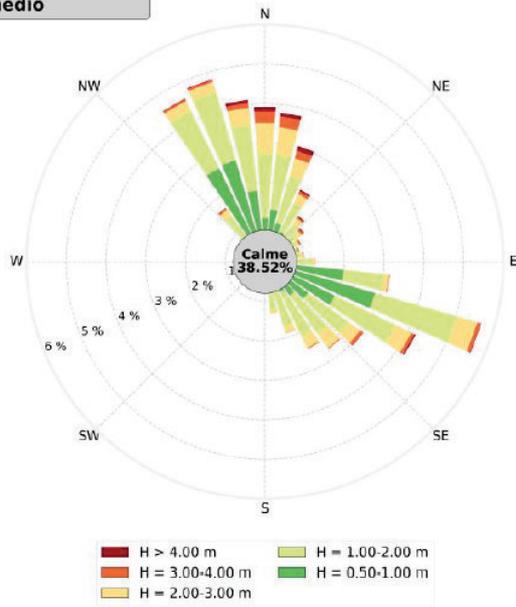
3 Caratteristiche ondose del paraggio

Per la caratterizzazione delle onde del paraggio si fa riferimento alla dettagliata analisi riportata nello studio meteo marino del Rapporto 22-09-R02 “ANALISI DI DETTAGLIO Unità fisiografia UF-9 (da Punta Cavalluccio a Punta Penna)” redatto dall’Università dell’Aquila nell’ambito del Progetto AnCoRA (STUDI PROPEDEUTICI PER L'ANALISI DI RISCHIO DELLA FASCIA COSTIERA DELLA REGIONE ABRUZZO).

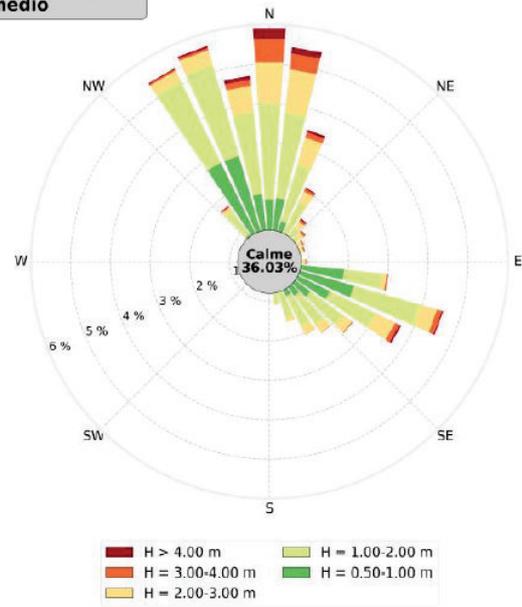
In questo paragrafo vengono riportati i dati principali delle elaborazioni effettuate per la caratterizzazione del clima ondoso del paraggio di intervento, rimandando agli studi sopracitati per l’analisi di dettaglio.

La caratterizzazione dell’esposizione media del paraggio permette la definizione dell’anno climatico medio, a cui viene correlata la risposta morfodinamica a lungo termine dei litorali.

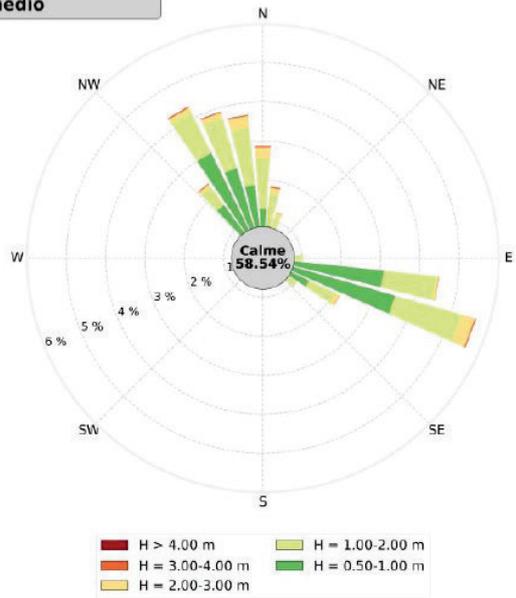
Clima Autunnale medio



Clima Invernale medio



Clima Primaveraile medio



Clima Estivo medio

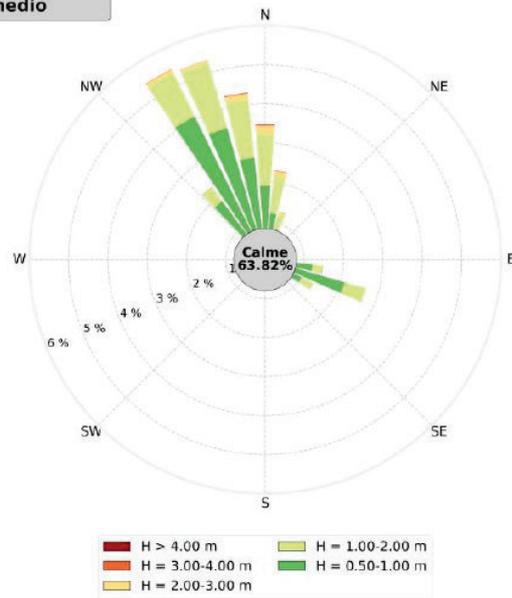


Fig. 3.1 Rappresentazione polare della distribuzione direzionale stagionale degli eventi di moto ondoso a largo della UF-9 (da Progetto AnCoRA)

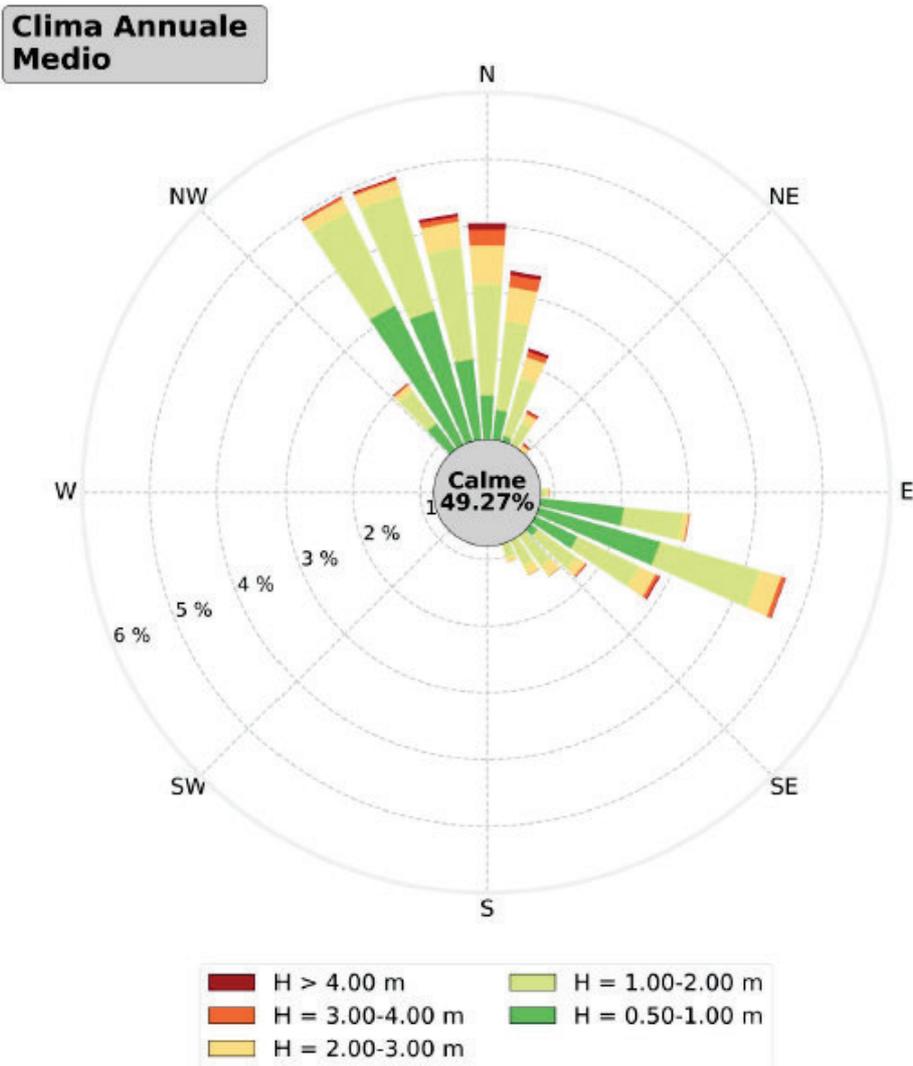


Fig. 3.2 Rappresentazione polare della frequenza degli stati di mare che costituiscono l'anno climatico medio (da Progetto AnCoRA)

Dall'analisi degli eventi estremi associati a tempi di ritorno compresi tra 1 e 200 anni si è dedotto che l'altezza d'onda significativa degli stati di mare provenienti dal settore di traversia principale (da 320°N a 60°N) varia tra 3.4 m (tempo di ritorno annuale) e 8.5 m (tempo di ritorno duecentennale). Per il settore secondario (direzioni comprese tra 60°N e 150°N) i valori scendono a 2.8 m per tempo di ritorno annuale e a 8.0 m per il tempo di ritorno due centennale.

Settore principale (320-60°N)	
<i>Soglia:</i>	3.37 m
<i>Num. Campione:</i>	198
<i>Num. medio annuo:</i>	4.83
<i>Durata blocchi:</i>	2.48 mesi
<i>Anni osservazione:</i>	41
<i>Massimo osservato:</i>	8.01 m
<i>Media osservata:</i>	4.14 m

T_r (anni)	H_s (m)	IC (m)	H_{0.95} (m)
1	3.37	0.00	3.37
2	3.90	0.09	3.99
5	4.61	0.18	4.79
10	5.14	0.25	5.39
20	5.67	0.36	6.03
25	5.84	0.41	6.25
30	5.98	0.45	6.43
50	6.37	0.59	6.96
100	6.90	0.83	7.73
200	7.42	1.13	8.55

Settore secondario (60-150°N)	
<i>Soglia:</i>	2.83 m
<i>Num. Campione:</i>	203
<i>Num. medio annuo:</i>	4.95
<i>Durata blocchi:</i>	2.42 mesi
<i>Anni osservazione:</i>	41
<i>Massimo osservato:</i>	6.68 m
<i>Media osservata:</i>	3.55 m

T_r (anni)	H_s (m)	IC (m)	H_{0.95} (m)
1	2.83	0.00	2.83
2	3.32	0.09	3.41
5	3.98	0.16	4.14
10	4.48	0.24	4.72
20	5.00	0.36	5.36
25	5.16	0.41	5.57
30	5.30	0.46	5.76
50	5.69	0.62	6.31
100	6.22	0.89	7.11
200	6.75	1.24	7.99

Fig. 3.3 Stima degli eventi estremi in relazione alle onde provenienti dal settore direzionale principale 320°N-60°N (tabella sopra) e secondario 60°N-150°N (tabella sotto) (da Progetto AnCoRA)



Fig. 3.4 Punti di estrazione dei risultati della propagazione del moto ondoso ottenuti con il modello numerico Swan da largo sottocosta (batimetrica -10m l.m.m.) (fonte Progetto AnCoRA)

Il trasferimento delle onde dal largo alla zona costiera è stato effettuato nel Progetto AnCoRA con un modello numerico sino a dei punti della zona costiera di interesse. Nella Fig. 3.4 sono riportati i punti di estrazione per l'unità fisiografica UF09.

Nelle Figure 3.5 e 3.6 sono riportati i valori delle onde per diversi periodi di ritorno e direzioni di provenienza delle onde nei punti di riferimento per i tratti di studio 2, 6, 9, 17-18-19.

PUNTO P2										PUNTO P6									
Tr (anni)	η (m)	Parametri di largo			z _b (m lmm)	Risultati sottocosta													
		H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)		H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)	η _{max} (m lmm)										
2	0.651	4.04	8.74	340.00	7.92	3.28	8.95	10.91	0.86	2	0.651	4.04	8.74	340.00	10.09	3.31	8.95	1.73	0.99
	0.651	4.04	8.74	60.00		3.34	8.95	56.93	0.91		3.36	8.95	52.74	1.01					
	0.651	3.01	7.86	110.00		2.67	8.95	81.48	0.85		2.46	8.95	77.57	0.91					
5	0.751	4.86	9.25	340.00		3.43	8.95	12.51	0.98	5	0.751	4.86	9.25	340.00		3.84	8.95	3.44	1.16
	0.751	4.86	9.25	60.00		3.62	8.95	56.47	1.02		3.84	8.95	52.11	1.17					
	0.751	3.62	8.36	110.00		3.15	8.95	79.53	0.99		2.97	8.95	75.46	1.07					
10	0.801	5.48	9.61	340.00		3.50	9.85	13.21	1.03	10	0.801	5.48	9.61	340.00		4.04	9.85	4.58	1.25
	0.801	5.48	9.61	60.00		3.71	9.85	56.16	1.08		4.04	9.85	51.71	1.26					
	0.801	4.16	8.74	110.00		3.42	9.85	78.21	1.06		3.34	9.85	74.08	1.16					
20	0.861	6.13	9.94	340.00		3.54	9.85	13.65	1.09	20	0.861	6.13	9.94	340.00		4.14	9.85	5.45	1.33
	0.861	6.13	9.94	60.00		3.76	9.85	55.91	1.14		4.14	9.85	51.39	1.35					
	0.861	4.80	9.16	110.00		3.59	9.85	77.08	1.13		3.63	9.85	72.85	1.26					
25	0.891	6.36	10.06	340.00	3.55	9.85	13.76	1.12	25	0.891	6.36	10.06	340.00	4.16	9.85	5.69	1.36		
	0.891	6.36	10.06	60.00	3.78	9.85	55.84	1.17		4.16	9.85	51.31	1.38						
	0.891	5.04	9.30	110.00	3.64	9.85	76.70	1.16		3.70	9.85	72.46	1.30						
50	0.961	7.06	10.39	340.00	3.58	10.83	14.05	1.19	50	0.961	7.06	10.39	340.00	4.22	10.83	6.27	1.44		
	0.961	7.06	10.39	60.00	3.81	10.83	55.64	1.24		4.22	10.83	51.08	1.46						
	0.961	5.86	9.77	110.00	3.73	10.83	75.70	1.24		3.86	10.83	71.39	1.40						
100	1.021	7.81	10.72	340.00	3.60	10.83	14.27	1.25	100	1.021	7.81	10.72	340.00	4.26	10.83	6.69	1.51		
	1.021	7.81	10.72	60.00	3.84	10.83	55.48	1.30		4.26	10.83	50.91	1.53						
	1.021	6.85	10.26	110.00	3.79	10.83	74.86	1.30		3.96	10.83	70.49	1.48						

PUNTO P9									
Tr (anni)	η (m)	Parametri di largo			z _b (m lmm)	Risultati sottocosta			
		H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)		H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)	η _{max} (m lmm)
2	0.651	4.04	8.74	340.00	10.08	3.18	8.95	4.02	0.97
	0.651	4.04	8.74	60.00		3.39	8.95	53.62	1.01
	0.651	3.01	7.86	110.00		2.82	8.95	80.21	0.92
5	0.751	4.86	9.25	340.00		3.75	8.95	6.00	1.13
	0.751	4.86	9.25	60.00		3.94	8.95	52.94	1.18
	0.751	3.62	8.36	110.00		3.43	8.95	78.24	1.09
10	0.801	5.48	9.61	340.00		4.04	9.85	7.37	1.22
	0.801	5.48	9.61	60.00		4.19	9.85	52.48	1.27
	0.801	4.16	8.74	110.00		3.84	9.85	76.95	1.19
20	0.861	6.13	9.94	340.00		4.20	9.85	8.52	1.32
	0.861	6.13	9.94	60.00		4.34	9.85	52.10	1.35
	0.861	4.80	9.16	110.00		4.11	9.85	75.80	1.29
25	0.891	6.36	10.06	340.00	4.24	9.85	8.87	1.35	
	0.891	6.36	10.06	60.00	4.37	9.85	52.00	1.39	
	0.891	5.04	9.30	110.00	4.17	9.85	75.41	1.33	
50	0.961	7.06	10.39	340.00	4.33	10.83	9.81	1.44	
	0.961	7.06	10.39	60.00	4.45	10.83	51.72	1.47	
	0.961	5.86	9.77	110.00	4.31	10.83	74.35	1.42	
100	1.021	7.81	10.72	340.00	4.39	10.83	10.57	1.51	
	1.021	7.81	10.72	60.00	4.50	10.83	51.52	1.54	
	1.021	6.85	10.26	110.00	4.39	10.83	73.45	1.50	

Fig. 3.5 Risultati delle simulazione degli eventi estremi nel punto sottocosta per due direzione rappresentative dei settori principale e secondario per i vari tempi di ritorno (Tr) (da Progetto AnCoRA) nei 3 punti rappresentativi del tratto UF09

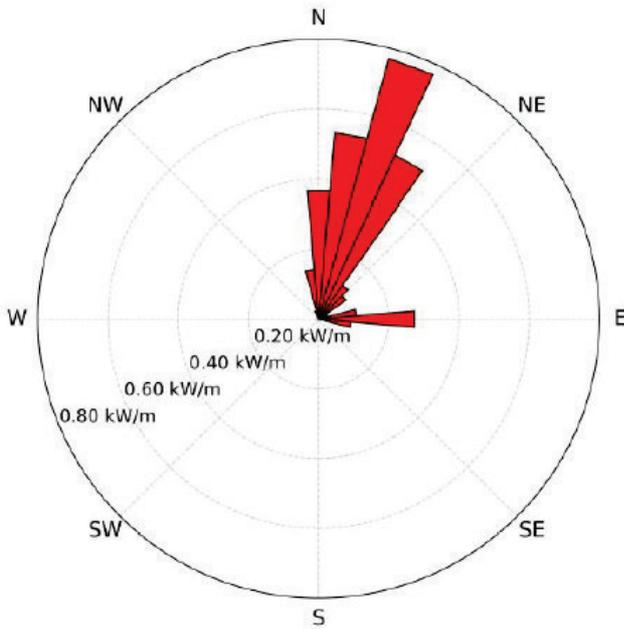
PUNTO P17										PUNTO P18									
Tr (anni)	η (m)	Parametri di largo			z _b (m lmm)	Risultati sottocosta													
		H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)		H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)	η _{max} (m lmm)										
2	0.651	4.04	8.74	340.00	10.48	2.82	8.95	2.23	0.96	2	0.651	4.04	8.74	340.00	10.26	2.87	8.95	0.60	0.92
	0.651	4.04	8.74	60.00		3.47	8.95	52.57	1.04		0.651	4.04	8.74	60.00		3.42	8.95	49.57	1.01
	0.651	3.01	7.86	110.00		2.65	8.95	78.51	0.95		0.651	3.01	7.86	110.00		2.84	8.95	75.92	0.93
5	0.751	4.86	9.25	340.00		3.35	8.95	4.23	1.12	5	0.751	4.86	9.25	340.00		3.42	8.95	2.46	1.08
	0.751	4.86	9.25	60.00		4.08	8.95	51.80	1.22		0.751	4.86	9.25	60.00		4.05	8.95	48.73	1.19
	0.751	3.62	8.36	110.00		3.29	8.95	76.91	1.13		0.751	3.62	8.36	110.00		3.45	8.95	74.00	1.12
10	0.801	5.48	9.61	340.00		3.76	9.85	5.53	1.23	10	0.801	5.48	9.61	340.00		3.84	9.85	3.69	1.18
	0.801	5.48	9.61	60.00		4.40	9.85	51.28	1.32		0.801	5.48	9.61	60.00		4.42	9.85	48.20	1.30
	0.801	4.16	8.74	110.00		3.76	9.85	75.91	1.24		0.801	4.16	8.74	110.00		3.86	9.85	72.68	1.23
20	0.861	6.13	9.94	340.00		4.11	9.85	6.69	1.34	20	0.861	6.13	9.94	340.00		4.21	9.85	4.76	1.29
	0.861	6.13	9.94	60.00	4.59	9.85	50.83	1.43	0.861		6.13	9.94	60.00	4.65	9.85	47.79	1.42		
	0.861	4.80	9.16	110.00	4.11	9.85	75.10	1.36	0.861		4.80	9.16	110.00	4.17	9.85	71.54	1.35		
25	0.891	6.36	10.06	340.00	4.21	9.85	7.04	1.38	25	0.891	6.36	10.06	340.00	4.31	9.85	5.09	1.34		
	0.891	6.36	10.06	60.00	4.64	9.85	50.70	1.48		0.891	6.36	10.06	60.00	4.71	9.85	47.66	1.47		
	0.891	5.04	9.30	110.00	4.19	9.85	74.85	1.41		0.891	5.04	9.30	110.00	4.25	9.85	71.18	1.40		
50	0.961	7.06	10.39	340.00	4.45	10.83	8.06	1.50	50	0.961	7.06	10.39	340.00	4.58	10.83	6.08	1.45		
	0.961	7.06	10.39	60.00	4.74	10.83	50.33	1.58		0.961	7.06	10.39	60.00	4.83	10.83	47.29	1.58		
	0.961	5.86	9.77	110.00	4.36	10.83	74.16	1.52		0.961	5.86	9.77	110.00	4.42	10.83	70.28	1.51		
100	1.021	7.81	10.72	340.00	4.61	10.83	8.93	1.60	100	1.021	7.81	10.72	340.00	4.77	10.83	6.96	1.57		
	1.021	7.81	10.72	60.00	4.81	10.83	50.03	1.67		1.021	7.81	10.72	60.00	4.92	10.83	46.97	1.67		
	1.021	6.85	10.26	110.00	4.46	10.83	73.56	1.60		1.021	6.85	10.26	110.00	4.53	10.83	69.57	1.60		

PUNTO P19									
Tr (anni)	η (m)	Parametri di largo			z _b (m lmm)	Risultati sottocosta			
		H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)		H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)	η _{max} (m lmm)
2	0.651	4.04	8.74	340.00	10.14	2.78	8.95	0.13	0.93
	0.651	4.04	8.74	60.00		3.56	8.95	50.80	0.98
	0.651	3.01	7.86	110.00		2.92	8.95	79.01	0.89
5	0.751	4.86	9.25	340.00		3.32	8.95	1.98	1.11
	0.751	4.86	9.25	60.00		4.10	8.95	49.91	1.17
	0.751	3.62	8.36	110.00		3.59	8.95	77.50	1.08
10	0.801	5.48	9.61	340.00		3.71	9.85	3.19	1.21
	0.801	5.48	9.61	60.00		4.34	9.85	49.34	1.28
	0.801	4.16	8.74	110.00		3.98	9.85	76.57	1.20
20	0.861	6.13	9.94	340.00		4.04	9.85	4.24	1.33
	0.861	6.13	9.94	60.00	4.49	9.85	48.89	1.40	
	0.861	4.80	9.16	110.00	4.20	9.85	75.82	1.32	
25	0.891	6.36	10.06	340.00	4.13	9.85	4.56	1.37	
	0.891	6.36	10.06	60.00	4.53	9.85	48.77	1.45	
	0.891	5.04	9.30	110.00	4.25	9.85	75.57	1.37	
50	0.961	7.06	10.39	340.00	4.35	10.83	5.48	1.50	
	0.961	7.06	10.39	60.00	4.62	10.83	48.46	1.57	
	0.961	5.86	9.77	110.00	4.35	10.83	74.93	1.49	
100	1.021	7.81	10.72	340.00	4.50	10.83	6.26	1.61	
	1.021	7.81	10.72	60.00	4.68	10.83	48.22	1.66	
	1.021	6.85	10.26	110.00	4.42	10.83	74.41	1.58	

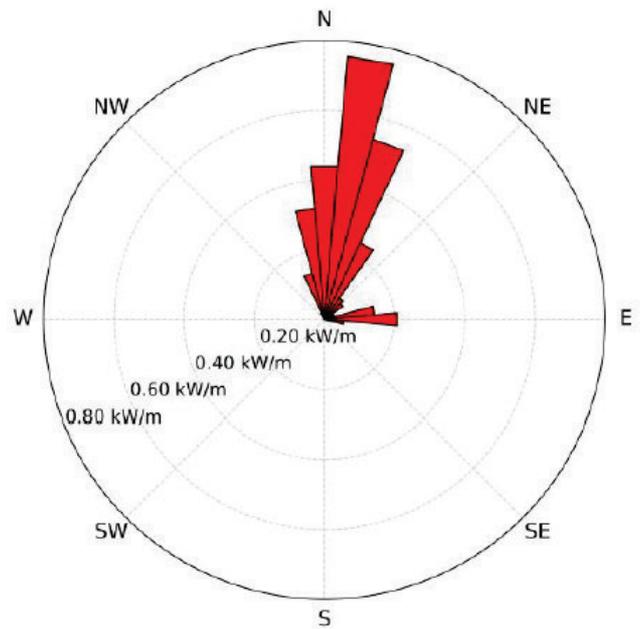
Fig. 3.6 Risultati delle simulazione degli eventi estremi nel punto sottocosta per due direzione rappresentative dei settori principale e secondario per i vari tempi di ritorno (Tr) (da Progetto AnCoRA) nei 3 punti rappresentativi del tratto UF09

I risultati ottenuti tramite la propagazione sotto costa dell'intero anno climatico medio (v. Fig. 3.7 e 3.8), ha permesso la valutazione dei flussi energetici sotto costa. La figura seguente mostra la distribuzione polare dei flussi energetici per i punti di riferimento delle aree di studio.

Flusso Energetico Medio a costa (P02)



Flusso Energetico Medio a costa (P06)



Flusso Energetico Medio a costa (P09)

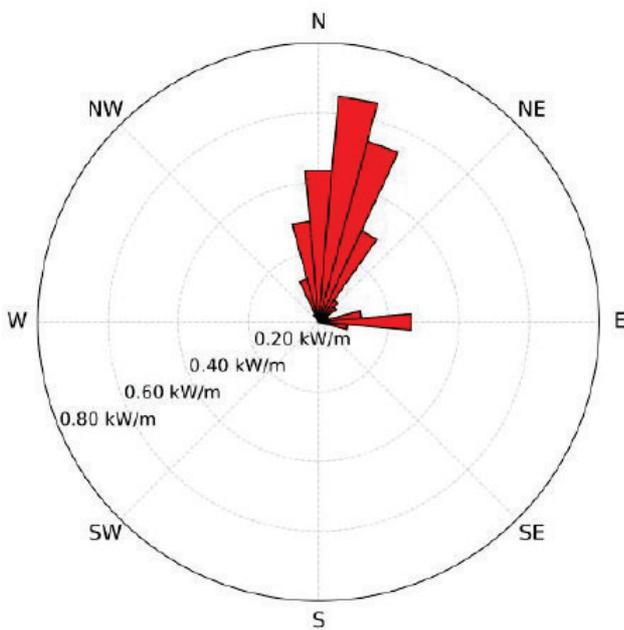
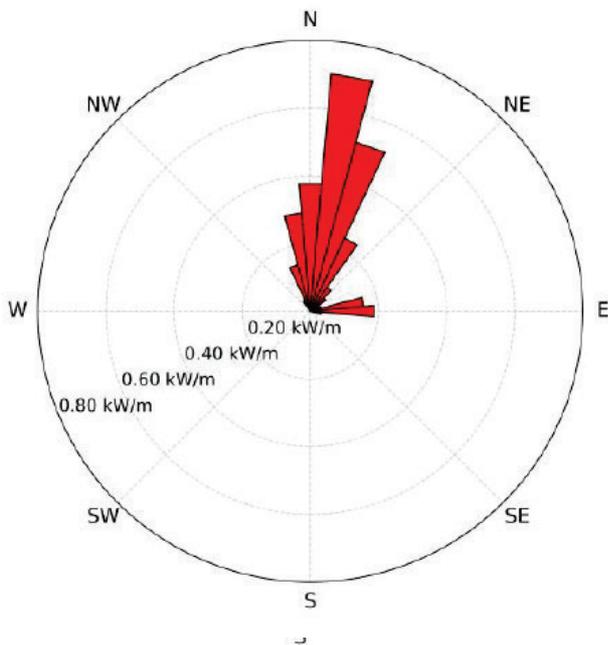
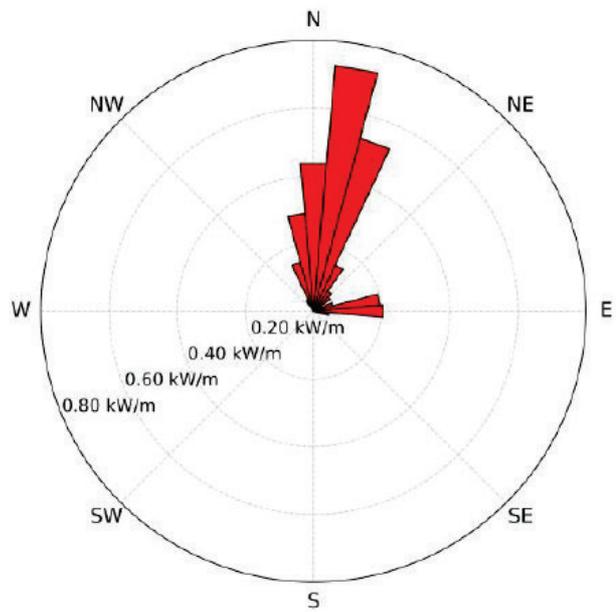


Fig. 3.7 Propagazione del moto ondoso sotto costa - Anno climatico medio - Rappresentazione polare del flusso energetico sotto costa (punti 2-6-9) (Progetto AnCoRA)

Flusso Energetico Medio a costa (P17)



Flusso Energetico Medio a costa (P18)



Flusso Energetico Medio a costa (P19)

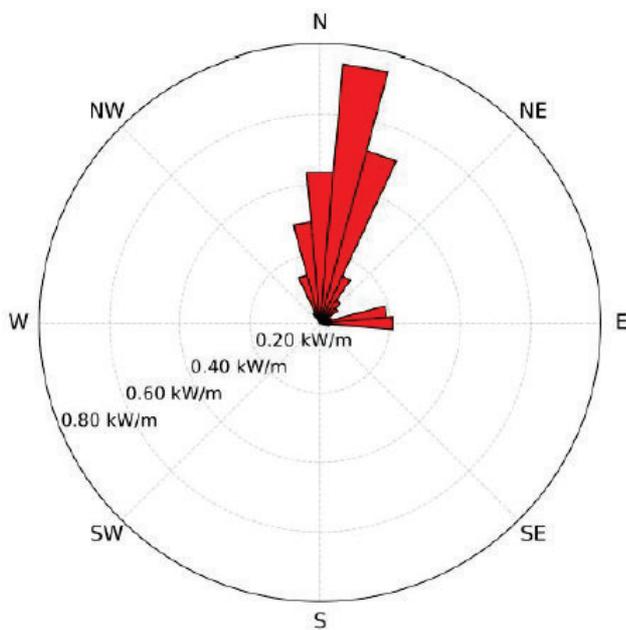


Fig. 3.8 Propagazione del moto ondoso sotto costa - Anno climatico medio - Rappresentazione polare del flusso energetico sotto costa (punti 17-18-19) (Progetto AnCoRA)

La Tabella che segue riassume i valori numerici della componente longitudinale del flusso di energia direttamente correlata all'evoluzione a lungo termine dei litorali. Il flusso è stato calcolato lungo la direzione longitudinale alla giacitura locale della linea di riva, F_{LS} è il flusso longitudinale diretto verso Sud, F_{LN} è quella diretta verso Nord, F_{tot} è la risultante (positiva se diretta verso Sud,

negativa se diretta verso Nord), α è il coefficiente di bimodalità (pari all'unità in caso di perfetta bimodalità, inferiore all'unità nel caso in cui la componente diretta verso Sud è prevalente rispetto a quella diretta verso Nord, superiore all'unità se la componente diretta verso Nord è prevalente rispetto a quella diretta verso Sud).

SEZIONE	F_{LS} (W/m)	F_{LN} (W/m)	F_{tot} (W/m)	α (-)
S01	187	-13	174	0.07
S02	249	-25	224	0.10
S03	919	0	919	0.00
S04	1,091	0	1,091	0.00
S05	1,142	0	1,142	0.00
S06	936	0	936	0.00
S07	201	0	201	0.00
S08	1,342	0	1,342	0.00
S09	776	-1	775	0.00
S10	715	-50	665	0.07
S11	497	-40	457	0.08
S12	141	-30	112	0.21
S13	100	-51	50	0.51
S14	69	-71	-2	1.02
S15	164	-153	11	0.93
S16	261	-141	120	0.54
S17	250	-135	115	0.54
S18	75	-61	14	0.82
S19	452	-65	387	0.14
S20	294	-139	155	0.47
S21	6	-42	-36	6.64

Fig. 3.9 Componente longitudinale del flusso energetico medio annuo in condizioni di frangimento. (Progetto AnCORA)

Alle mareggiate estreme di progetto (tempi di ritorno di 5 e 25anni) viene associato il possibile fenomeno di sovrizzo del livello medio mare che si verifica in concomitanza di alte maree, set-up prodotti dalle onde e dal vento. Per i valori da associare allo storm surge con i diversi tempi di ritorno si è fatto riferimento all'analisi statistica dei valori estremi eseguita dall'università dell'Aquila i cui risultati, per diverse funzioni di distribuzione di probabilità teoriche, sono riportati nella figura seguente.

	Tr (anni)	Lev _{GPD} (m)	IC (m)	Lev _{0.95} (m)	Lev _{GEV} (m)	Lev _{WEI} (m)	Lev _{GUM} (m)
	1	0.38	0.00	0.38	0.50	0.51	0.52
<i>Soglia:</i> 0.38 m	2	0.45	0.01	0.46	0.56	0.57	0.57
<i>Num. Campione:</i> 111	5	0.53	0.03	0.56	0.65	0.65	0.63
<i>Num. medio annuo:</i> 4.83	10	0.58	0.03	0.61	0.72	0.71	0.68
<i>Durata blocchi:</i> 2.49 mesi	20	0.63	0.04	0.67	0.80	0.77	0.73
<i>Anni osservazione:</i> 20	25	0.65	0.05	0.70	0.83	0.79	0.74
<i>Massimo osservato:</i> 0.75 m	30	0.66	0.05	0.71	0.86	0.81	0.75
<i>Media osservata:</i> 0.47 m	50	0.70	0.07	0.77	0.93	0.85	0.79
	100	0.74	0.09	0.83	1.05	0.91	0.83
	200	0.78	0.12	0.90	1.10	0.93	0.85

Fig. 3.8 Risultati delle analisi dei livelli di marea (funzioni di distribuzione teorica generalizzata di Pareto (GPD), degli eventi estremi (GEV), di Weibull, di Gumbel e limiti di confidenza) - Rapporto 22-09-R02 "ANALISI DI DETTAGLIO Unità fisiografia UF-9"

Evidenziati in rosso nella figura presedente sono i valori da utilizzare nelle verifiche di progetto. A questi valori potrebbe essere associato anche l'innalzamento del livello medio marino per cambiamenti climatici; la previsione degli effetti del cambiamento del clima sul livello medio nel prossimo futuro (2040) determina un innalzamento di circa 0.15m (vedi ricerca Progetto AnCoRA).

4 Opere di protezione – valutazione delle alternative

Il PDC prevede per l'UF09 la Manutenzione, Conservazione e Valorizzazione per il litorale Nord di Fossacesia e Trasformazione Mirata per quello di Casalbordino.

L'utilizzazione di barriere foranee emerse potrebbe essere necessaria nei due interventi. Le barriere emerse parallele alla costa dissipano l'energia delle onde incidenti principalmente per frangimento e riflessione sulla struttura. Il funzionamento delle scogliere foranee in batteria è di seguito brevemente descritto.

4.1 PROGETTAZIONE DELLE OPERE FORANEE EMERSE E SOMMERSE

La realizzazione di difesa della costa con barriere foranee emerse presenta due principali conseguenze, la prima è lo spostamento dell'erosione sottoflutto, la seconda è la possibile formazione dei tomboli con scarsa circolazione idrodinamica che permette il deposito dei limi nelle zone protette (v. Fig. 4.1). Questo produce uno scadimento delle condizioni ambientali della balneazione.

La formazione dei tomboli nei tratti di costa difesi da scogliere foranee emerse è un fenomeno molto comune nella costa Adriatica nei litorali sabbiosi.

I primi interventi di difesa della costa realizzati negli anni 50-60 del novecento sulle coste dell'Adriatico avevano lo scopo prioritario di difesa dei centri abitati e/o di difesa di infrastrutture stradali e ferroviarie. Le scogliere foranee emerse rappresentavano l'opera più semplice e meno costosa da realizzare e la vicinanza dalla riva garantiva un minor costo dell'intervento.

Si sono costruiti lunghi tratti di difese foranee molto vicine a riva (gli interventi sono proseguiti sino agli anni 80 del 900) dove si sono formati i tomboli, cioè il collegamento della linea di riva con la scogliera. Solo negli anni 70-80 del 900 per ottenere maggiori spiagge e aumentare la qualità della balneazione si sono ricercate soluzioni alternative alle scogliere o si è cercato di allontanare le opere foranee dalla linea di riva.

Il fenomeno della formazione del tombolo raramente si verifica nelle spiagge ghiaiose, sia per la profondità, sia per i diametri in gioco, si creano di solito dei salienti, cioè delle ondulazioni a forma sinusoidale della linea di riva.

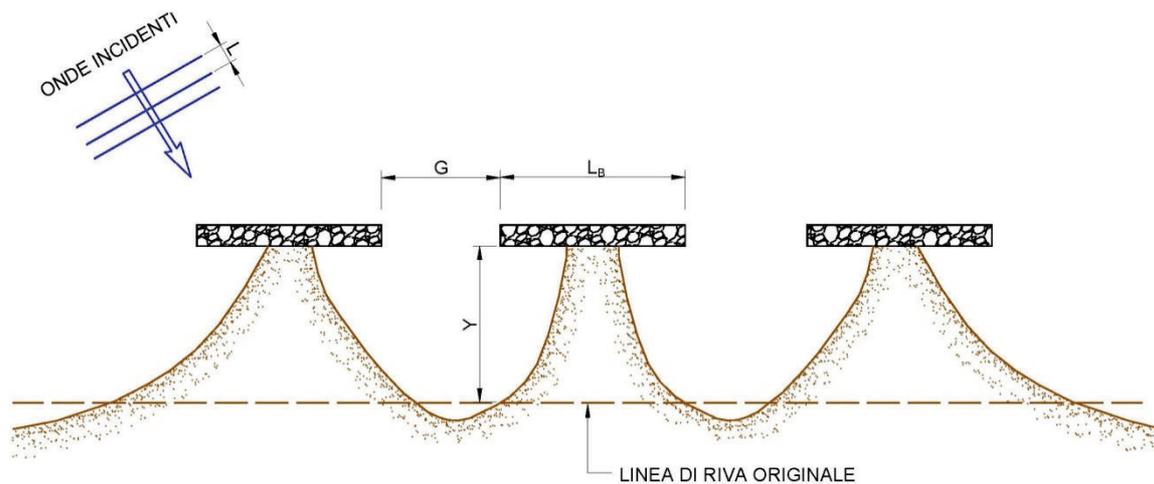


Fig. 4.1 Rappresentazione schematica della formazione di tomboli

Le numerose prove di laboratorio o di modellazione numerica reperibili in letteratura hanno evidenziato che la formazione del tombolo, in una difesa foranea emersa con lunghezza dei setti pari a L_B , distanza dalla linea di costa iniziale Y , larghezza dei varchi G , lunghezza d'onda L , dipende principalmente da queste condizioni:

- al diminuire della lunghezza della scogliera diminuisce la sedimentazione;
- allontanando la serie di scogliere dalla linea di riva la sedimentazione diminuisce;
- la larghezza dei varchi non influisce in modo sostanziale nella formazione del tombolo fino a che G rimane più piccolo di L_B . Quando G è uguale a circa L_B finisce il comportamento combinato delle scogliere e ogni barriera funziona come se fosse una barriera singola.

Nelle scogliere foranee emerse la circolazione idrodinamica è dominata dalla diffrazione e dall'overtopping. La tracimazione (overtopping) delle onde frangenti che presentano una altezza di cresta maggiore della quota di sommità della berma delle opere foranee di difesa apporta un volume d'acqua che innalza il livello medio lato terra della struttura fino a quando il livello raggiunto forza il flusso di ritorno attraverso i varchi e la struttura porosa. La portata di overtopping ed il flusso di ritorno si equivalgono. Per queste strutture emerse il processo di overtopping non è significativamente influenzato né dalle quote di piling-up che si determina lato terra della scogliera, né dal flusso di ritorno. La circolazione indotta dal passaggio delle onde tra i varchi è dominata dalla diffrazione delle onde e dipende quindi dalla dimensione del varco e dalla sua distanza da riva. Un esempio è riportato nella Fig. 4.2.



Fig. 4.2 Diffrazione ed overtopping in presenza di scogliere emerse durante una mareggiata

Al contrario la circolazione idrodinamica in presenza di scogliere sommerse è dominata dal frangimento delle onde sulla berma che rilasciano quantità di moto al fluido circostante e che è la causa dell'innalzamento del livello medio attraverso la struttura (piling-up) come avviene nel fenomeno del set-up sulla spiaggia. Il piling-up forza le correnti di ritorno attraverso i varchi, attraverso la scogliera ed al di sopra della scogliera.

Questo sistema di correnti sempre attivo è accentuato dal livello di piling-up che aumenta al diminuire della sommergenza ed evita la formazione del tombolo, provoca scalzamenti nei varchi e nelle testate delle opere.

Aumentando la sommergenza (abbassando le scogliere) il piling-up diminuisce ma aumenta l'altezza dell'onda trasmessa.

La scelta di optare per strutture sommerse induce quindi una idrodinamica completamente differente che può anche produrre un arretramento della linea di riva. La scogliera sommersa protegge comunque la spiaggia riducendo l'energia trasmessa, bisogna verificare se questa trasmissione di energia è compatibile con l'equilibrio e la sicurezza della spiaggia retrostante.

Con strutture emerse ma con quota di sommità contenute si migliora l'impatto visivo e si attiva la portata di overtopping quando la quota di run-up sulla struttura supera l'emersione. E' chiaro che il meccanismo si attiva per gli eventi ondosi che superano appunto la quota di R_c , dipende quindi dalla frequenza delle mareggiate, e quindi dal clima del moto ondoso. Il fenomeno dello storme surge (innalzamento del livello medio mare) frequente in Adriatico soprattutto, ma non

esclusivamente, con i mari di scirocco-levante può trasformare nei casi estremi, cioè quando lo storme surge supera R_c , la struttura emersa in una struttura sommersa.

La progettazione deve quindi garantire un compromesso tra due esigenze contrastanti quali l'attivazione della portata di overtopping con una certa frequenza annuale per eliminare la sedimentazione nell'area protetta e nello stesso tempo evitare allagamenti della spiaggia emersa con conseguenti erosioni e danni alle infrastrutture durante gli eventi estremi.

Nelle scogliere foranee emerse l'energia delle onde è trasmessa principalmente attraverso i varchi. La larghezza del varco permette inoltre l'ingresso diretto delle onde che vengono poco ridotte lungo il suo asse per cui la spiaggia retrostante il varco, se le scogliere sono vicine a riva, può subire allagamenti ed erosioni durante le mareggiate estreme.

Il grafico che segue dimostra ad esempio l'influenza della lunghezza del varco, G , L è la lunghezza d'onda al varco, sul coefficiente di diffrazione $K_D = H_D/H_i$, dove H_D è l'altezza d'onda nella zona interna e H_i è l'altezza d'onda incidente, y è la distanza misurata dall'asse del varco

$B=L/2$	$y = 2L$	$K_D = 0.38$
	$y = 3L$	$K_D = 0.3$
	$y = 4L$	$K_D = 0.27$
$B=L$	$y = 2L$	$K_D = 0.7$
	$y = 3L$	$K_D = 0.6$
	$y = 4L$	$K_D = 0.5$

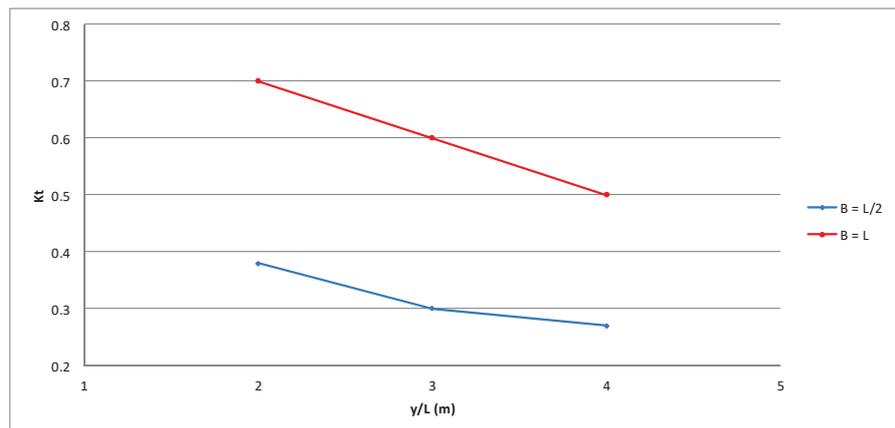


Fig. 4.3 Coefficiente di diffrazione attraverso il varco per onde perpendicolari

Ad una distanza di $2L$ dal varco l'onda incidente viene abbattuta del 70% con larghezza del varco $B=L$ e del 40% con $B=2L$.

Ad esempio, con la dimensione dei varchi di 25m, per un'onda perpendicolare all'ingresso, con la lunghezza dell'onda di circa 40m, il coefficiente di diffrazione sulla battigia, alla distanza di 150m pari a $3.5L$ circa, è di 0.35. Aumentando il varco a 30m il coefficiente di diffrazione diverrebbe 0.48.

Alcune formule di letteratura consentono di calcolare il coefficiente di trasmissione K_t , il run-up e la portata di overtopping sulle scogliere.

La trasmissione può essere valutata stimando il coefficiente di trasmissione K_t con le formule di Van der Meer et al. (*Wave transmission and reflection at low crest structures: design formulae oblique wave attack and spectral change*. Coastal Engineering, 2005). Per $B/H_i < 8$ si ha:

$$K_t = -0.4 \cdot \frac{R_c}{H_i} + 0.64 \cdot \left(\frac{B}{H_i}\right)^{-0.31} \cdot (1 - e^{-0.5 \cdot \xi})$$

dove B è la larghezza della cresta, H_i l'altezza dell'onda incidente, R_c la sommergenza della struttura e ξ il parametro di Iribarren calcolato con il periodo di picco T_p dello spettro.

Stimato il coefficiente di trasmissione è possibile calcolare l'altezza d'onda trasmessa dalla struttura ($H_t = K_t \cdot H_i$).

Le seguente formula valuta l'altezza di risalita dell'onda sul paramento della scogliera in progetto:

$$\frac{R_{up}}{H_s} = b(\xi_m)^c$$

per $\xi_m > 1.5$ con $b = 1.17$ e $c = 0.46$ per un livello di superamento del 2%.

L'entità della tracimazione ondosa a tergo delle scogliere è stata valutata tramite la formula di van der Meer e Janssen, 1995:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}} = 0.2 \exp\left(-2.6 \frac{R_c}{H_s} \frac{1}{\gamma_r \gamma_b \gamma_h \gamma_\beta}\right)$$

per $\xi_{op} > 2$ con γ fattori correttivi che tengono conto rispettivamente della scabrezza del paramento della scogliera, dell'eventuale presenza di berma al piede, delle condizioni di acque basse e dell'inclinazione dell'attacco ondoso.

Durante gli eventi ondosi alcune onde raggiungono una quota di Run-up superiore al livello di cresta, la loro distribuzione segue la legge di Weibull, o di Rayleigh, così come seguono la legge di Weibull i volumi di overtopping.

La portata tracimata determina un aumento del volume di acqua lato spiaggia delle scogliere che torna verso il largo principalmente attraverso i varchi esistenti. In questa situazione i materiali fini esistenti sui fondali possono essere sollevati se il rapporto u^*/w è maggiore di 1, dove u^* è la velocità di attrito prodotta dalle onde che si creano nella zona protetta e w è la velocità di sedimentazione dei granuli.

Sono sufficienti piccole altezze d'onda per garantire il sollevamento del materiale fine che le correnti trasportano verso il largo. Tali correnti non sono in grado di trasportare le ghiaie, ma consentono il ricambio di acqua lato terra delle scogliere.

4.2 PROPOSTA DI VARIANTE AL PDC

L'utilizzazione di scogliere foranee emerse in grado di garantire la stabilizzazione della linea di riva, mantenere un'elevata qualità delle acque di balneazione dipende quindi da una accurata progettazione che ottimizzi la distanza delle opere da riva, la lunghezza dei setti, la larghezza dei varchi e la quota di sommità della berma.

Per quanto riguarda il tratto in erosione del litorale Nord di Fossacesia la proposta è quella di trasformare la scogliera sommersa esistente a Nord del litorale in barriere foranee emerse, in prosecuzione di due tratti di emerse già esistenti. La presenza di opere di difesa già esistenti sopraflutto e sottoflutto evita effetti di bordo dell'opera proposta. La soluzione proposta è riportata in Fig. 4.4.

In sede di progettazione dovranno essere ottimizzati la lunghezza dei setti e le dimensioni dei varchi.



Fig. 4.4 Tratto di intervento litorale Nord di Fossacesia con barriere foranee emerse

Nel Comune di Casalbordino dove il tratto di litorale in forte erosione è di circa 2'000m e dove è quindi necessario il maggior investimento finanziario, non esiste la problematica riguardante lo spostamento dell'erosione sottoflutto delle barriere emerse. Il litorale sottoflutto è infatti già protetto da un sistema di difesa a cella che viene mantenuto con interventi di ricarica delle opere rigide e con interventi di piccoli ripascimenti.

Il problema tecnico principale è quello di rendere compatibile il nuovo progetto con la barriera sommersa esistente.

Lo smantellamento parziale o totale della barriera sommersa (trasformazione in soglia sommersa) può essere fatto dopo aver costruito parte delle scogliere emerse. I tempi e le fasi di realizzazione andranno previsti in una fase successiva dell'iter progettuale tenendo conto delle seguenti considerazioni:

- Il posizionamento delle scogliere emerse (distanza da riva) può essere in proseguimento delle foranee esistenti di Torino di Sangro (in sinistra della foce del Osento) a Nord. In questo modo le emerse si allineerebbero anche con la scogliera sommersa delle celle esistenti a Sud senza creare nessuna discontinuità planimetrica (v. Fig. 4.5);
- Il permanere della scogliera sommersa al largo della emersa crea una doppia dissipazione dell'energia delle onde. Nella letteratura si trovano esempi di questa tipologia studiati in laboratorio per contrastare le conseguenze dovute all'innalzamento del livello medio marino. Si può quindi realizzare un primo stralcio di barriere emerse attivando un piano di monitoraggio che verifichi l'efficacia della soluzione.



Fig. 4.5 Tratto di intervento litorale Nord di Casalbordino

5 Prefattibilità tecnico-economica della soluzione proposta

Il preventivo sommario di spesa è stato effettuato ipotizzando di realizzare le scogliere foranee alla profondità di 2.50m (litorale di Fossacesia) e 3.50m (litorale di Casalbordino) con pendenza del paramento lato mare di 1/2, 1/1.5 lato riva, e la quota di sommità della berma a +1.50m l.m.m.. Utilizzando il prezziario regionale 2023 si ha:

Litorale di Fossacesia:

- Realizzazione scogliere foranee emerse: $300\text{m} \times 2'850,00\text{€/m} = 855'000,00\text{€}$
- Ripascimento nella misura di $40\text{m}^3/\text{m}$ su 100m: $4'000\text{m}^3 \times 26,70\text{€/m}^3 = 106'800,00\text{€}$

L'importo totale dell'intervento come proposto risulta pari a 961'800,00€ a cui vanno sommate IVA al 22% (211'596,00€) e spese generali (7.96% importo lavori), per un totale di 1'250'000,00€.

Litorale di Casalbordino:

- Realizzazione scogliere foranee emerse: $2'000\text{m} \times 6'000,00\text{€/m} = 12'000'000,00\text{€}$
- Ripascimento nella misura di $40\text{m}^3/\text{m}$ su 2'000m: $80'000\text{m}^3 \times 26,70\text{€/m}^3 = 2'136'000,00\text{€}$

L'importo totale dell'intervento come proposto risulta pari a 14'136'000,00€ a cui vanno sommate IVA al 22% (3'109'920,00) e spese generali (5.33% importo lavori), per un totale di 18'000'000,00€.

L'intervento potrà essere finanziato in stralci funzionali successivi.