



Variante puntuale al Piano di Difesa della Costa UF01

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

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

marzo 2022

Sommario

1	INTRODUZIONE.....	1
2	LE CAUSE DELL'EROSIONE – ANALISI DELLE CRITICITÀ.....	5
2.1	STATO DI FATTO.....	9
2.2	PREVISIONI FUTURE	11
3	CARATTERISTICHE ONDOSE DEL PARAGGIO	13
3.1	RIFRAZIONE ONDOSA A RIVA.....	22
4	OPERE DI PROTEZIONE – VALUTAZIONE DELLE ALTERNATIVE.....	24
4.1	PROGETTAZIONE DELLE OPERE FORANEE EMERSE E SOMMERSE	24
4.2	PROPOSTA DI VARIANTE AL PDC.....	29
5	PREFATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DELLA SOLUZIONE PROPOSTA	30

1 Introduzione

L'intera unità fisiografica UF01 (foce del Tronto – porto di Giulianova) è caratterizzata da un marcato arretramento della linea di riva che si propaga progressivamente dalla zona Villa Rosa (Martinsicuro) – Bambinopoli (Alba Adriatica) verso Sud.

Nella Fig. 1.1 sono riportate le linee di riva deducibili dalle ortofotocarte dei voli 2001 e 2014 nel tratto compreso tra la foce del fiume Tronto e del torrente Vibrata. Il processo erosivo si sviluppò nel secolo scorso principalmente per la presenza di numerosi invasi e opere trasversali sul corso del f. Tronto e dei suoi affluenti che hanno intercettato il trasporto solido al fondo. La realizzazione nel 1933 del molo in destra idrografica della foce del f. Tronto ha contribuito alla modifica totale della dinamica della foce stessa. La costruzione delle opere di difesa realizzate dagli anni '60-'70 per contrastare il processo erosivo a Martinsicuro hanno spostato lo stesso in direzione Sud. Le ultime opere realizzate nel litorale di Martinsicuro sono stati i pennelli di lunghezza decrescente a sud dell'intervento a celle di Villa Rosa.

Il processo erosivo ha successivamente interessato la struttura denominata "Bambinopoli" nel litorale di Alba Adriatica, per proteggerla si è realizzata un'opera radente in destra della foce del t. Vibrata.

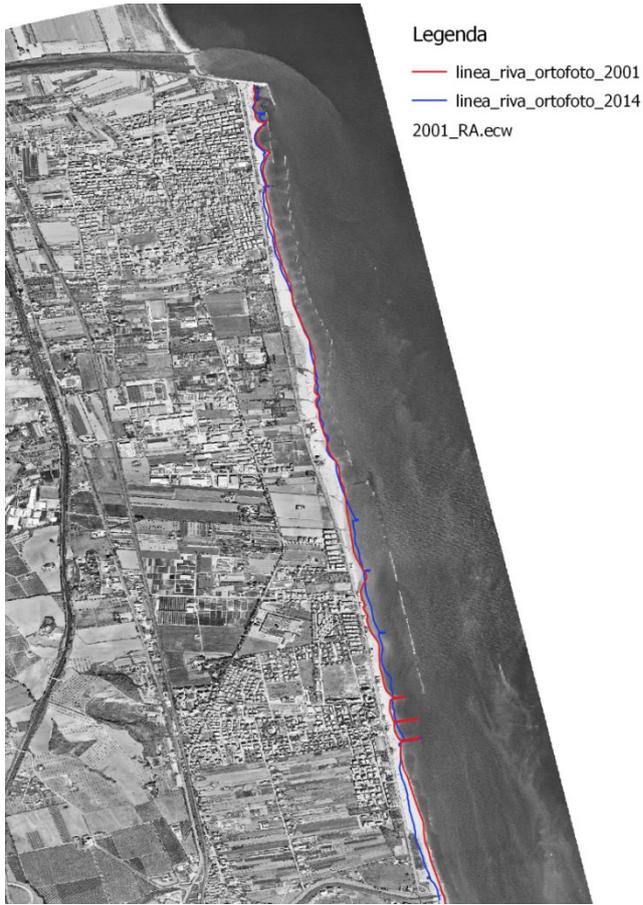


Fig. 1.1 Confronto delle linee di riva dalla foce del F. Tronto alla foce del T. Vibrata

L'aggiornamento del Piano della Costa vigente prevede scenari di intervento da realizzare in due fasi. Nella prima definita di "breve periodo" è programmato il versamento di 200'000 m³ di sabbia su un'estensione di litorale pari a circa 500 m (con possibilità di dividere l'intervento in due fasi). L'area oggetto di sversamento è considerata una spiaggia a smantellamento programmato o "spiaggia di alimentazione" (Nuovo Impianto, NI5), l'obiettivo è quello di sopperire al mancato apporto solido dei fiumi, in particolare del Fiume Tronto, localizzando nell'area sopra flutto una sorgente sedimentaria che continui ad alimentare l'intero litorale; sulla base della stima del trasporto solido longitudinale, il Piano stima in circa 10 anni la durata dell'intervento. Il versamento si completa con l'introduzione di opere di contenimento trasversale da realizzare al contorno sopra flutto e all'interno dell'area di sversamento con la finalità di incrementare la vita tecnica utile dell'intervento. La fase 1 è stata realizzata nel 2021.

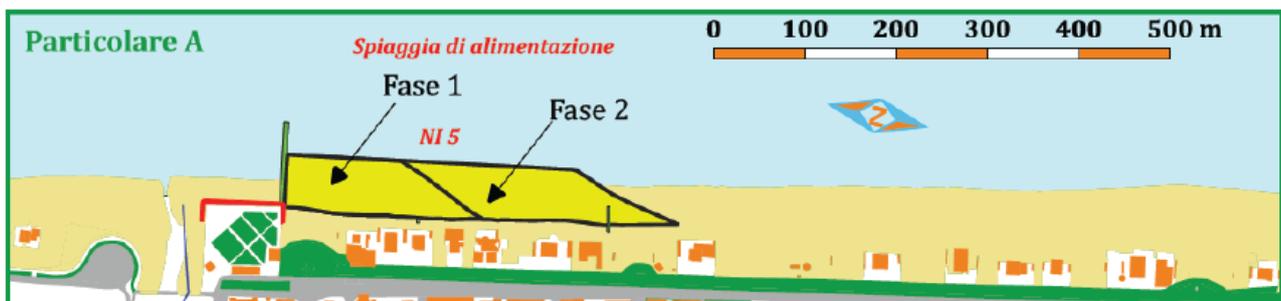


Fig. 1.2 Previsioni del PDC vigente a breve termine

Nella seconda fase, definita di "lungo termine", il Piano prevede la realizzazione, partendo dall'area sotto flutto in corrispondenza del molo Nord del Porto di Giulianova, di un sistema a celle costituito da opere trasversali parzialmente sommerse che si intestano su un'opera longitudinale sommersa.

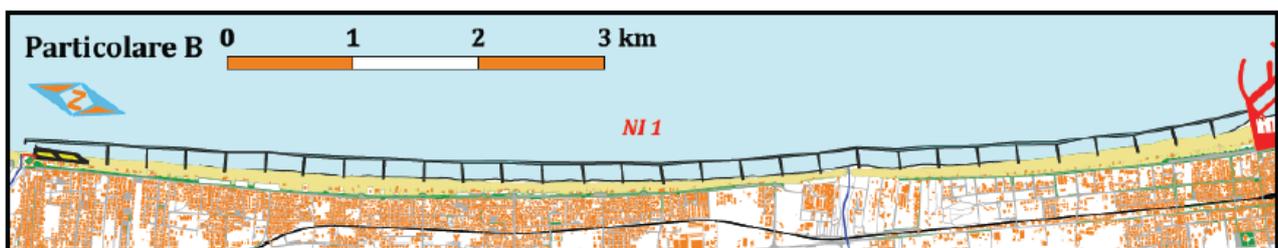


Fig. 1.3 Previsioni del PDC vigente a lungo termine

Il vigente Piano di Difesa della Costa, tenuto conto dell'evoluzione passata e del risultato delle opere realizzate nel passato, dell'evolversi verso Sud del processo erosivo e del mancato apporto di materiale sedimentario dai fiumi prescrive che l'eventuale realizzazione di opere rigide debba partire dall'area sottoflutto, nel caso specifico dal Porto di Giulianova, per poi procedere verso Nord.

2 Le cause dell'erosione – analisi delle criticità

L'origine dei fenomeni erosivi, come sopra detto, di questo tratto di costa, UF01, sono da imputare in primo luogo alla riduzione degli apporti solidi dei corsi d'acqua ed in particolare a quelli del fiume Tronto che, a ragione dell'estensione del suo bacino idrografico, costituisce uno dei principali fiumi che sfociano sulla costa abruzzese segnando il confine con la Regione Marche.

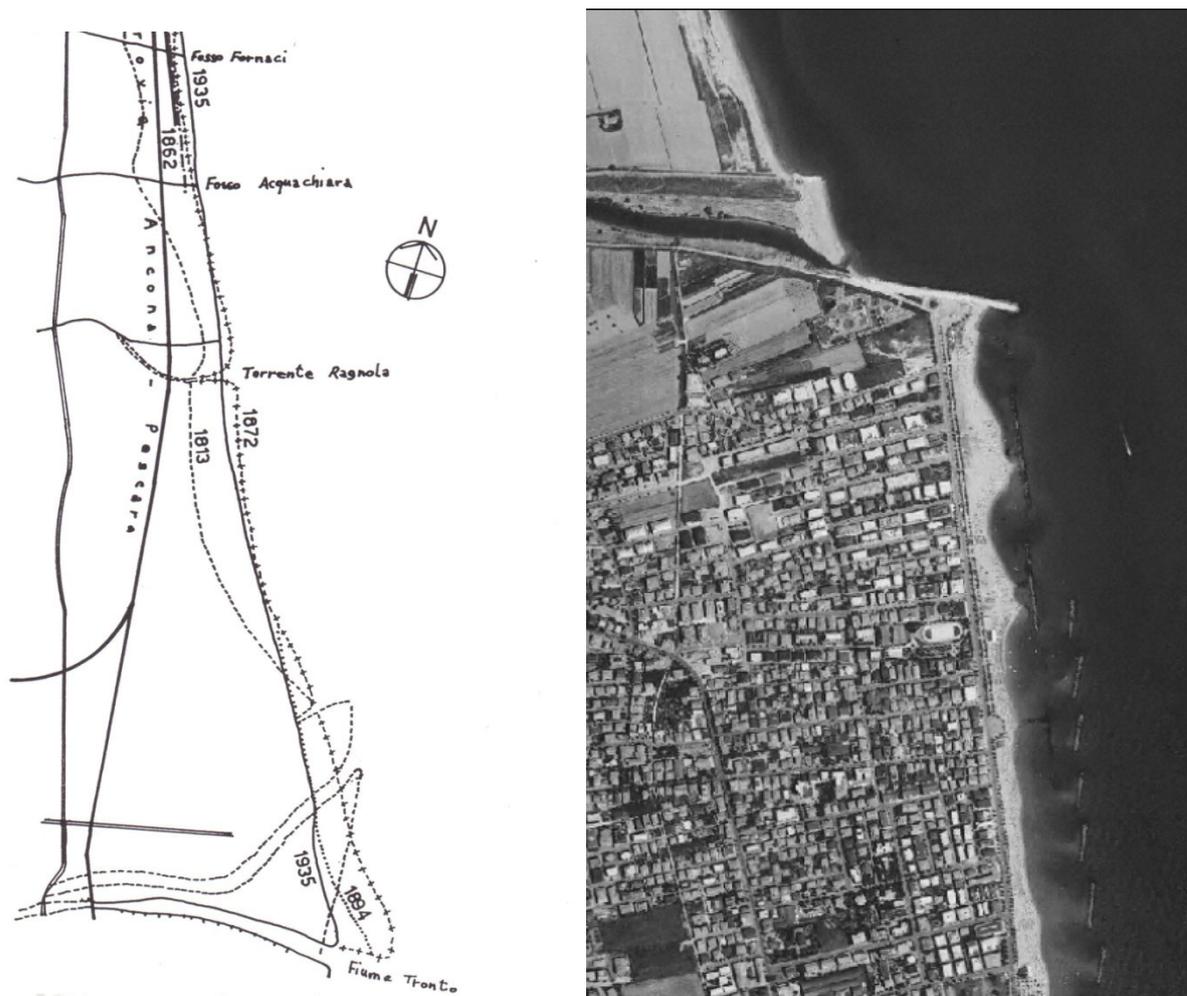


Fig. 2.1 Evoluzione storica della foce del f. Tronto – Ortofotocarta del 1997

Nella Fig. 2.1 è riportata l'evoluzione storica della foce del f. Tronto che evidenzia gli arretramenti conseguenti alla riduzione del trasporto solido fluviale.

Tale riduzione ha avuto effetti negativi in modo rilevante sul litorale abruzzese a causa della direzione prevalente della componente longitudinale del trasporto solido indotto dal moto ondoso. Di conseguenza la riduzione degli apporti solidi fluviali ha interessato dapprima il litorale di Martinsicuro. L'intervento con opere di difesa di tipo rigido ha contribuito ad accelerare l'erosione verso Sud. Attualmente il processo interessa la porzione settentrionale del litorale di

Alba Adriatica e Villa Rosa nel comune di Martinsicuro. Accanto alla riduzione degli apporti solidi fluviali una ulteriore causa che ha contribuito all'acuirsi dei fenomeni erosivi è da attribuire alla massiva antropizzazione della fascia costiera (realizzazione del lungomare, stabilimenti balneari, abitazioni, ecc.) che ha determinato la scomparsa della duna costiera ed ha ridotto la capacità naturale del litorale di far fronte agli eventi meteomarinari estremi

L'analisi di rischio del Progetto AnCoRA ha evidenziato che il tratto settentrionale del litorale di Martinsicuro è caratterizzato da un livello di rischio "basso" o "molto basso". A partire dal litorale di Villa Rosa, e procedendo verso Sud, l'evolversi del processo erosivo e la presenza di attività economiche (legate alla fascia costiera), fanno salire il livello di rischio ("Alto") nelle aree settentrionali di Alba Adriatica. Il livello di rischio si mantiene "medio" o "basso" fino al porto di Giulianova.

Nello studio AnCoRA è stata fatta l'analisi di dettaglio del bilancio del trasporto solido longitudinale e sono state confrontate le linee di riva dedotte dalle ortofoto del 1997, 2007, 2013, 2018 rappresentativi degli ultimi 20 anni (v. Fig. 2.2) per l'area in prossimità del centro abitato di Alba Adriatica.

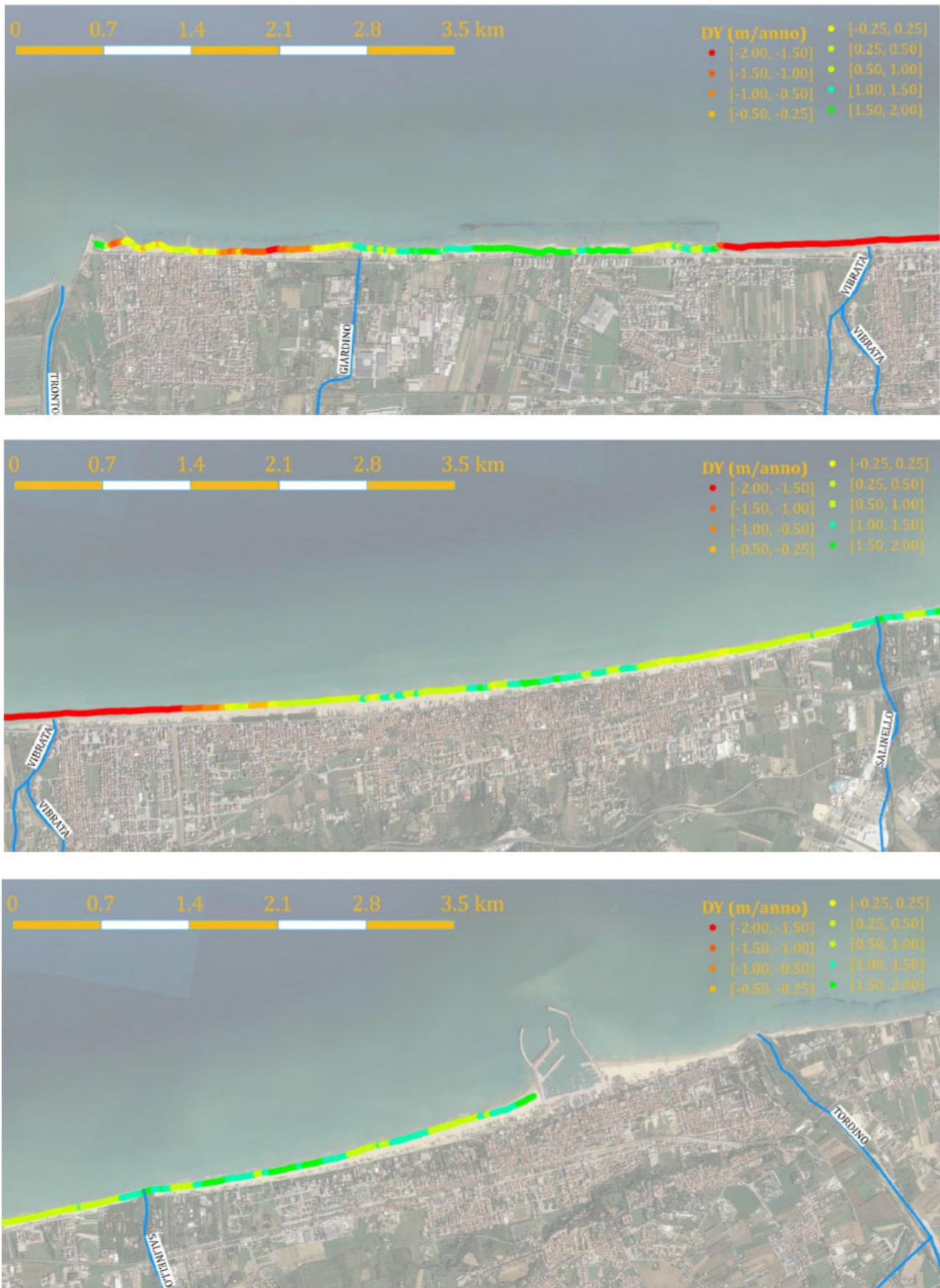


Fig. 2.2 Analisi della tendenza evolutiva recente del litorale. Evoluzione della linea di riva nel periodo 1997-2018. (fonte AnCoRA – *Analisi di dettaglio monografica UF01*)

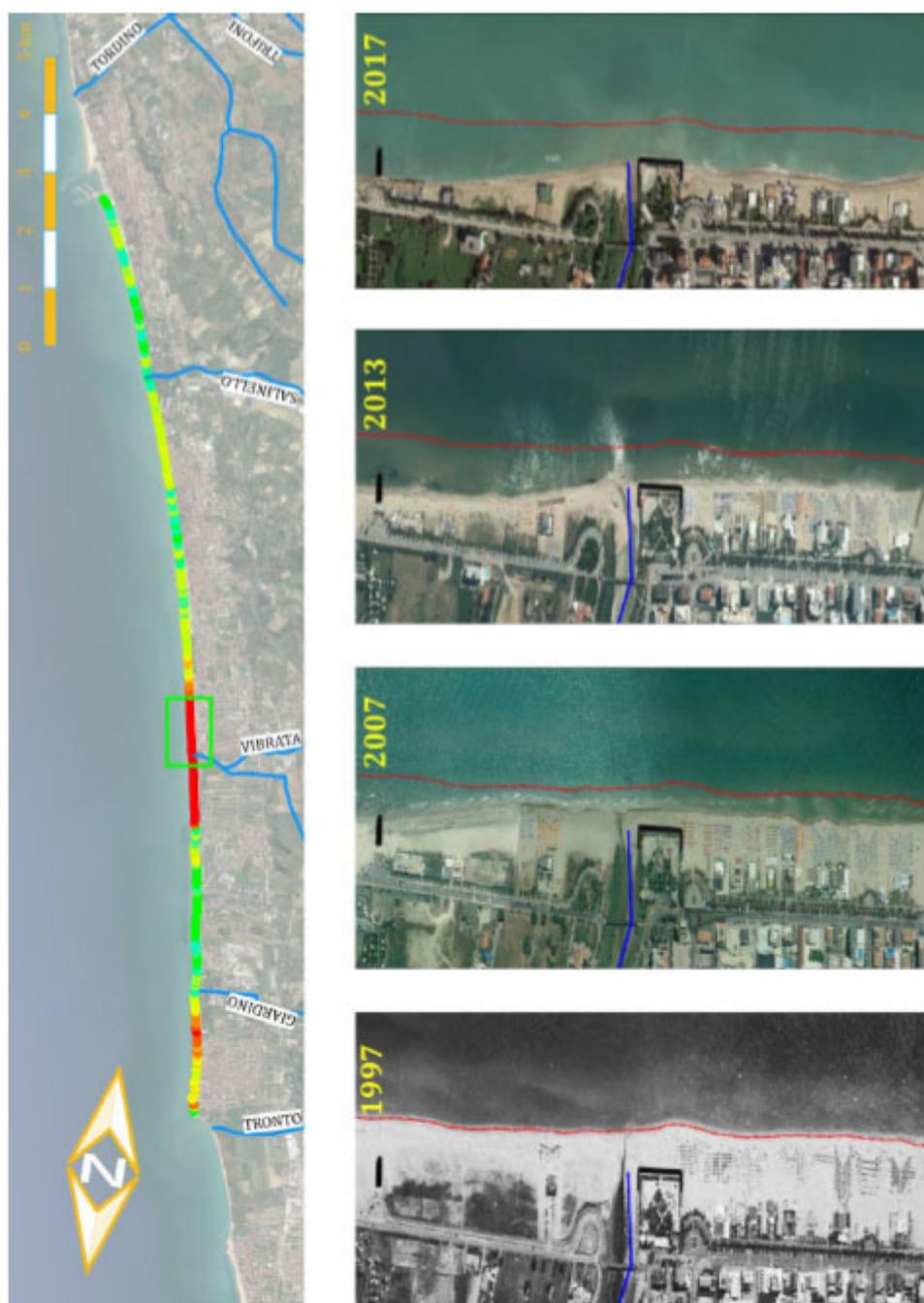


Fig. 2.3 Analisi della tendenza evolutiva recente del litorale (Analisi di dettaglio UF-1, Progetto AnCoRA)

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). Si evidenziano le aree in sostanziale arretramento in corrispondenza della zona meridionale del centro abitato di Martinsicuro e in corrispondenza del litorale Alba Adriatica. Tali zone critiche confermano l'influenza della pressione antropica sull'evoluzione della linea di riva. Nella Fig. 2.3 il confronto tra

la linea di riva del 1997 e quelle successive evidenzia in modo chiaro il trend di arretramento nel lungo periodo del litorale di Villa Rosa – Alba Adriatica.

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 e devastando le attrezzature turistico-ricettive.

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

La ricostruzione dell'evento 2019 dedotta dalla banca dati Copernicus mostra una mareggiata con valori dell'altezza H_{mo} maggiori di 2m dalle ore 00.00 del 12 Novembre sino alle ore 00.00 del 14 Novembre con picco sino a $H_{mo}=4.50m$, il periodo di picco ha raggiunto valori di $T_p=10 \div 11$ S. La direzione di picco è oscillata nelle fasi di crescita e di picco della mareggiata intorno a valori di $120^\circ \div 130^\circ N$.

Si tratta quindi di una mareggiata proveniente da Est-SudEst con valori massimi dell'altezza d'onda, nell'ipotesi di distribuzione delle altezze d'onda di Rayleigh, pari a $H_{max}=1.86 \cdot 4.50 = 8.37m$. Sono mareggiate tipiche dell'Adriatico come già avvenuto nel 6-7 Novembre del 1999 e 14-17 Novembre del 2002 in questa ultima l'altezza significativa registrata ad Ancona nel picco è stata di $H_s=5.23m$ (mareggiata da Est-SudEst).

Questi eventi, accompagnati da valori elevati di storm-surge allagano completamente le spiagge emerse ed innescano forti correnti longitudinali e di undertow in grado di asportare completamente l'arenile.

Il monitoraggio eseguito dopo l'intervento denominato dal PDC "spiaggia di alimentazione – FASE1 – NI5" eseguito nel 2021 nel litorale di Alba Adriatica, ha verificato la completa scomparsa del ripascimento e dei danni prodotti sulla spiaggia emersa e sulle strutture balneari esistenti (v. Fig. 2.4 – 2.6). L'erosione si è estesa per oltre 600m a sud della struttura Bambinopoli, la Regione è dovuta intervenire con opere di somma urgenza per evitare il crollo degli stabilimenti esistenti.

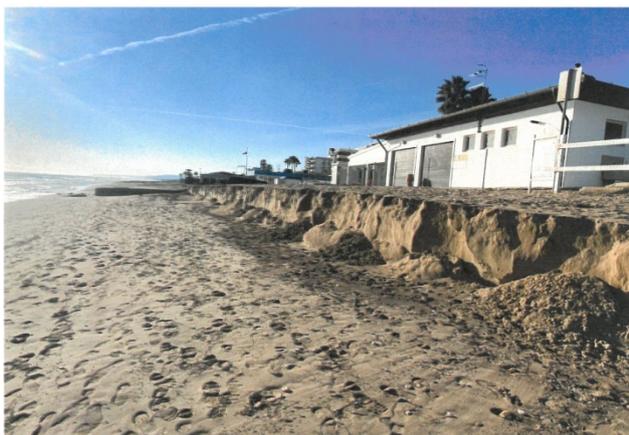


Fig. 2.4 Danni riportati nel litorale di Alba Adriatica – mareggiate del Novembre 2022



Fig. 2.5 Danni riportati nel litorale di Alba Adriatica – mareggiate del Novembre 2022

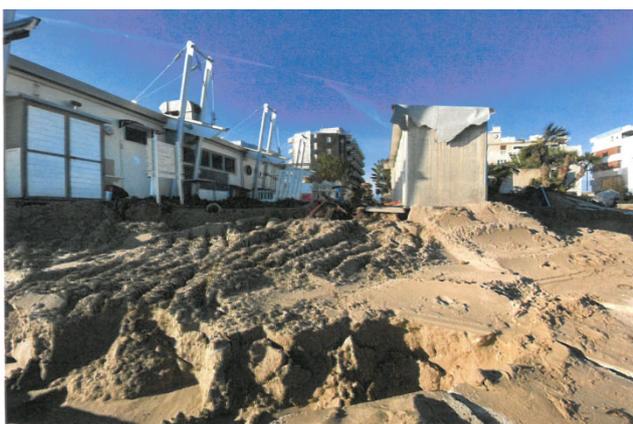


Fig. 2.6 Danni riportati nel litorale di Alba Adriatica – mareggiate del Novembre 2022

In condizioni di trend di arretramento della linea di riva quali sono quelli in corso nel litorale di Martinsicuro – Alba Adriatica 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.

Il problema è di difficile soluzione poiché la dissipazione dell'energia del moto ondoso incidente, per mettere in sicurezza localmente un tratto di litorale, richiederebbe opere strutturali di tipo rigido che avrebbero effetti di bordo che interesserebbero le aree sottoflutto.

Da cui le previsioni attuali del Piano riportate nel paragrafo introduttivo.

2.2 PREVISIONI FUTURE

Il trend negativo di arretramento del litorale Villa Rosa – Alba Adriatica – Tortoreto ha subito una forte accelerazione nell'ultimo decennio estendendosi pericolosamente e velocemente verso Sud. Gli interventi previsti dal PDC nel breve periodo in parte realizzati non hanno prodotto nessun beneficio, il ripascimento effettuato, probabilmente a causa della ridotta granulometria delle sabbie utilizzate è stato trasportato verso il largo non contribuendo all'alimentazione delle spiagge verso Sud.

L'intensificazione in frequenza ed intensità delle mareggiate più grandi richiede che gli interventi di lungo periodo, previsti dal PDC, siano attivati nel breve periodo per le 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 dell'intervento strutturale previsto nel PDC nel lungo periodo andrebbe quindi attuato, compatibilmente con il reperimento delle risorse finanziarie, nel breve-medio periodo per bloccare la propagazione dell'erosione verso Sud e stabilizzare la linea di riva.

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

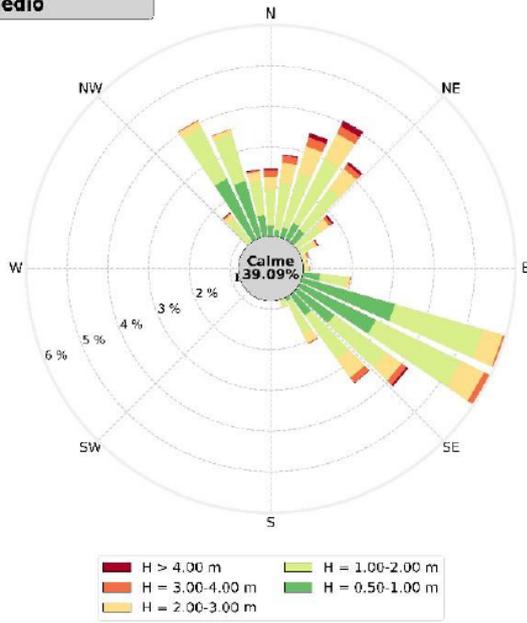
3 Caratteristiche ondose del paraggio

Per la caratterizzazione delle onde del paraggio si fa riferimento alla dettagliata analisi riportata nello studio meteo marino del Rapporto 22-01-R02 “*ANALISI DI DETTAGLIO Unità fisiografia UF-1 (dalla Foce del Tronto al porto di Giulianova)*” redatto dall’Università dell’Aquila nell’ambito del Progetto AnCoRA (STUDI PROPEDEUTICI PER L'ANALISI DI RISCHIO DELLA FASCIA COSTIERA DELLA REGIONE ABRUZZO).

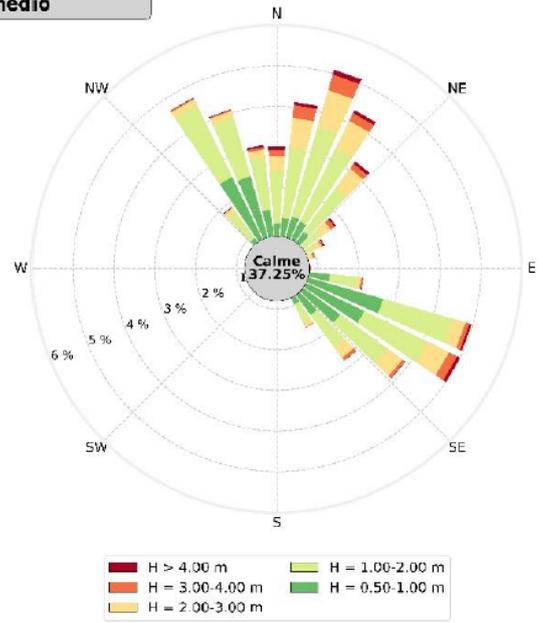
In questo paragrafo vengono riportati i dati principali delle elaborazioni effettuate per la caratterizzazione del clima ondoso del paraggio di intervento, rimandando agli studi sopracitati per l’analisi di dettaglio.

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.

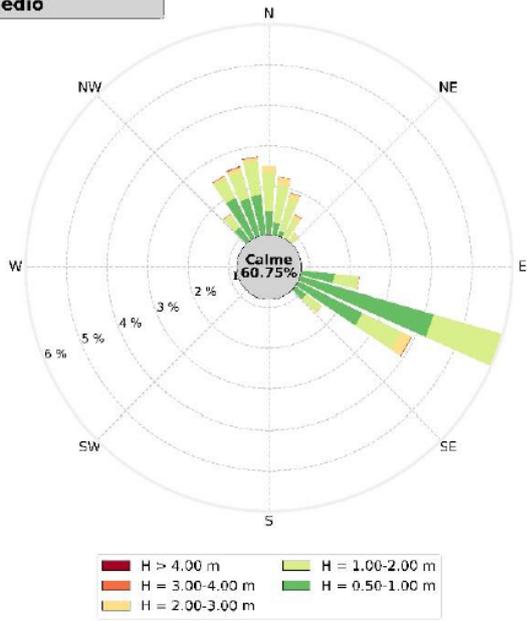
Clima Autunnale medio



Clima Invernale medio



Clima Primaveraile medio



Clima Estivo medio

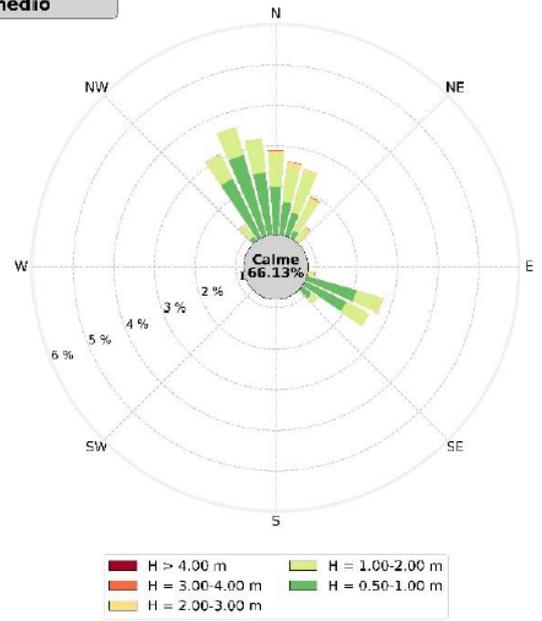


Fig. 3.1 Rappresentazione polare della distribuzione direzionale stagionale degli eventi di moto ondoso a largo della UF-1 (da Progetto AnCoRA)

**Clima Annuale
Medio
(anno climatico)**

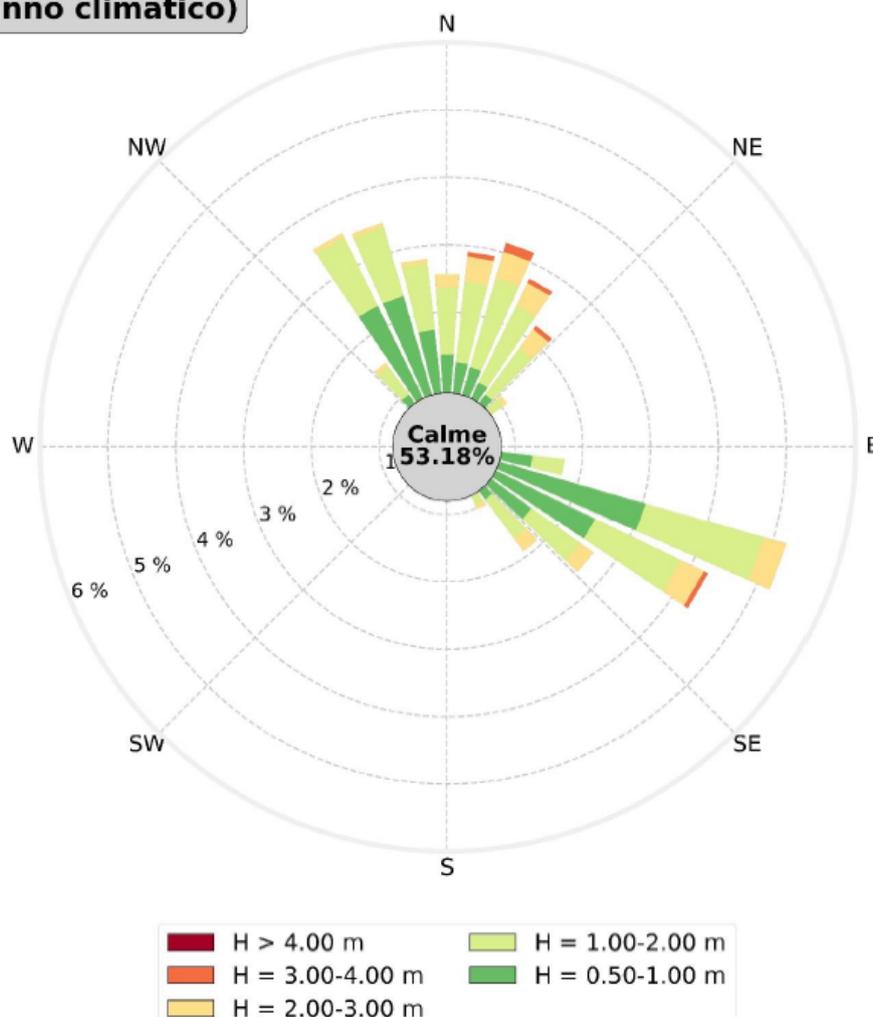


Fig. 3.2 Rappresentazione polare della frequenza degli stati di mare che costituiscono l'anno climatico medio (da Progetto AnCoRA)

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)

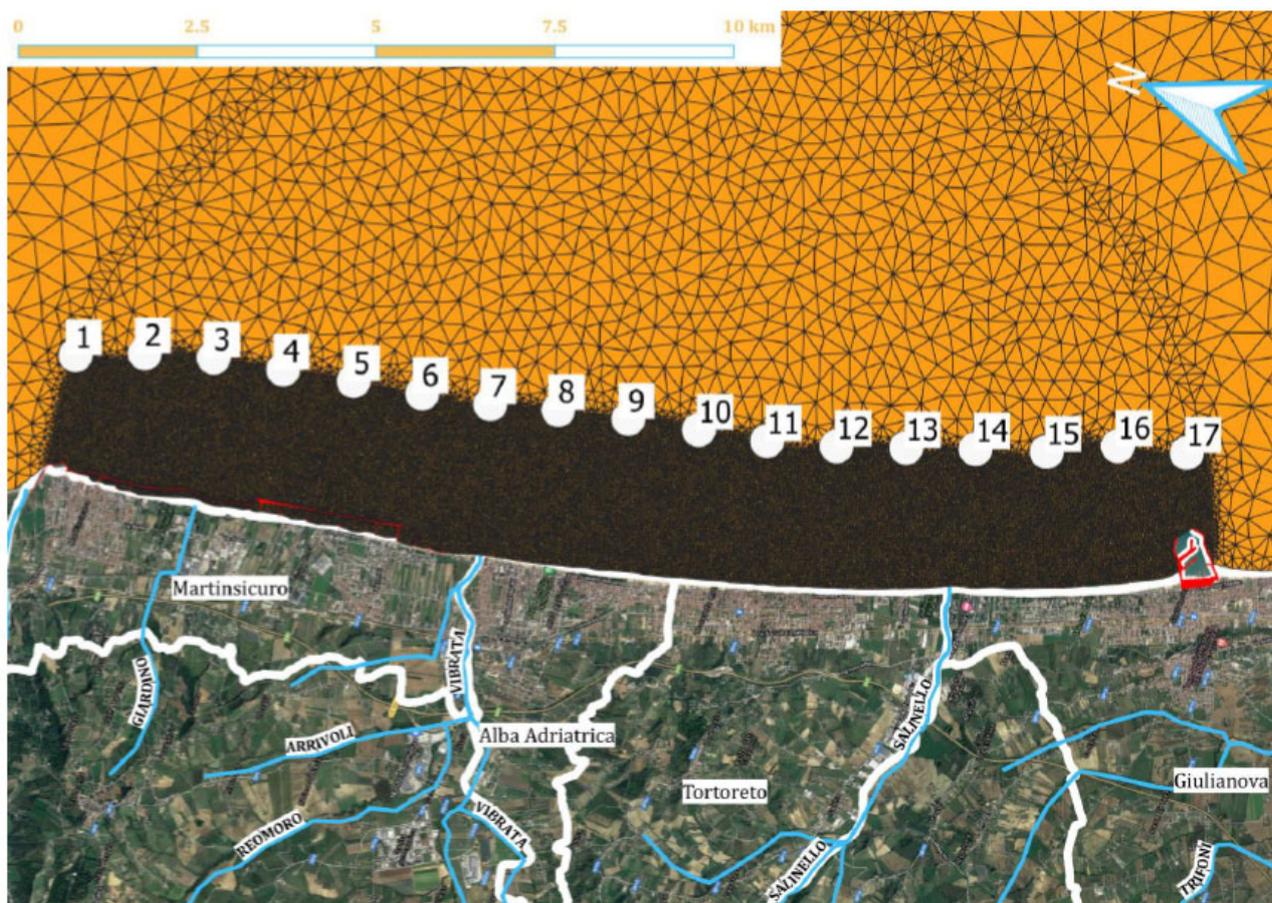


Fig. 3.4 Punti di estrazione dei risultati della propagazione del moto ondoso ottenuti con il modello numerico Swan da largo sottocosta (batimetrica -10m l.m.m.) (fonte Progetto AnCoRA)

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 UF01.

Nella Fig. 3.5 sono riportati i valori delle onde per diversi periodi di ritorno e direzioni di provenienza per alcuni punti del litorale Villa Rosa – Alba Adriatica.

PUNTO P7

Tr (anni)	η (m)	Parametri di largo			zb (m lmm)	Risultati sottocosta			
		Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)		Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)	η_{max} (m lmm)
2	0.651	3.99	8.66	60.00	9.97	3.4	9.0	65.5	0.98
	0.651	3.41	8.25	110.00		3.3	9.0	98.2	0.97
5	0.751	4.79	9.17	60.00		3.8	9.0	66.0	1.11
	0.751	4.14	8.76	110.00		3.8	9.0	97.0	1.11
10	0.801	5.39	9.51	60.00		4.0	9.9	66.3	1.18
	0.801	4.72	9.12	110.00		4.0	9.9	96.3	1.17
20	0.861	6.03	9.84	60.00		4.0	9.9	66.5	1.24
	0.861	5.36	9.49	110.00		4.0	9.9	95.6	1.24
25	0.891	6.25	9.95	60.00		4.1	9.9	66.6	1.27
	0.891	5.57	9.61	110.00		4.0	9.9	95.4	1.27
50	0.961	6.96	10.29	60.00		4.1	10.8	66.7	1.34
	0.961	6.31	9.98	110.00		4.1	10.8	94.9	1.34
100	1.021	7.73	10.63	60.00	4.1	10.8	66.8	1.40	
	1.021	7.11	10.36	110.00	4.1	10.8	94.6	1.40	

PUNTO P8

Tr (anni)	η (m)	Parametri di largo			zb (m lmm)	Risultati sottocosta			
		Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)		Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)	η_{max} (m lmm)
2	0.651	3.99	8.66	60.00	10.18	3.43	8.95	64.84	1.00
	0.651	3.41	8.25	110.00		3.34	8.95	97.93	0.99
5	0.751	4.79	9.17	60.00		3.89	8.95	65.28	1.14
	0.751	4.14	8.76	110.00		3.83	8.95	96.72	1.13
10	0.801	5.39	9.51	60.00		4.04	9.85	65.57	1.20
	0.801	4.72	9.12	110.00		4.00	9.85	95.92	1.20
20	0.861	6.03	9.84	60.00		4.11	9.85	65.80	1.27
	0.861	5.36	9.49	110.00		4.08	9.85	95.24	1.26
25	0.891	6.25	9.95	60.00		4.13	9.85	65.87	1.30
	0.891	5.57	9.61	110.00		4.10	9.85	95.05	1.29
50	0.961	6.96	10.29	60.00		4.17	10.83	66.02	1.37
	0.961	6.31	9.98	110.00		4.14	10.83	94.54	1.36
100	1.021	7.73	10.63	60.00	4.20	10.83	66.12	1.43	
	1.021	7.11	10.36	110.00	4.17	10.83	94.13	1.42	

PUNTO P9

Tr (anni)	η (m)	Parametri di largo			zb (m lmm)	Risultati sottocosta			
		Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)		Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)	η_{max} (m lmm)
2	0.651	3.99	8.66	60.00	10.19	3.44	8.95	64.27	0.99
	0.651	3.41	8.25	110.00		3.39	8.95	98.13	0.99
5	0.751	4.79	9.17	60.00		3.88	8.95	64.70	1.13
	0.751	4.14	8.76	110.00		3.85	8.95	96.91	1.13
10	0.801	5.39	9.51	60.00		4.02	9.85	65.00	1.19
	0.801	4.72	9.12	110.00		3.99	9.85	96.09	1.19
20	0.861	6.03	9.84	60.00		4.09	9.85	65.23	1.26
	0.861	5.36	9.49	110.00		4.06	9.85	95.40	1.25
25	0.891	6.25	9.95	60.00		4.11	9.85	65.28	1.29
	0.891	5.57	9.61	110.00		4.08	9.85	95.21	1.28
50	0.961	6.96	10.29	60.00		4.15	10.83	65.42	1.36
	0.961	6.31	9.98	110.00		4.12	10.83	94.71	1.35
100	1.021	7.73	10.63	60.00	4.18	10.83	65.51	1.42	
	1.021	7.11	10.36	110.00	4.15	10.83	94.33	1.41	

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 UF01

I risultati ottenuti tramite la propagazione sotto costa dell'intero anno climatico medio (v. Fig. 3.6), ha permesso la valutazione dei flussi energetici sotto costa. La figura seguente mostra la distribuzione polare dei flussi energetici per i 3 punti di riferimento dell'area di studio.

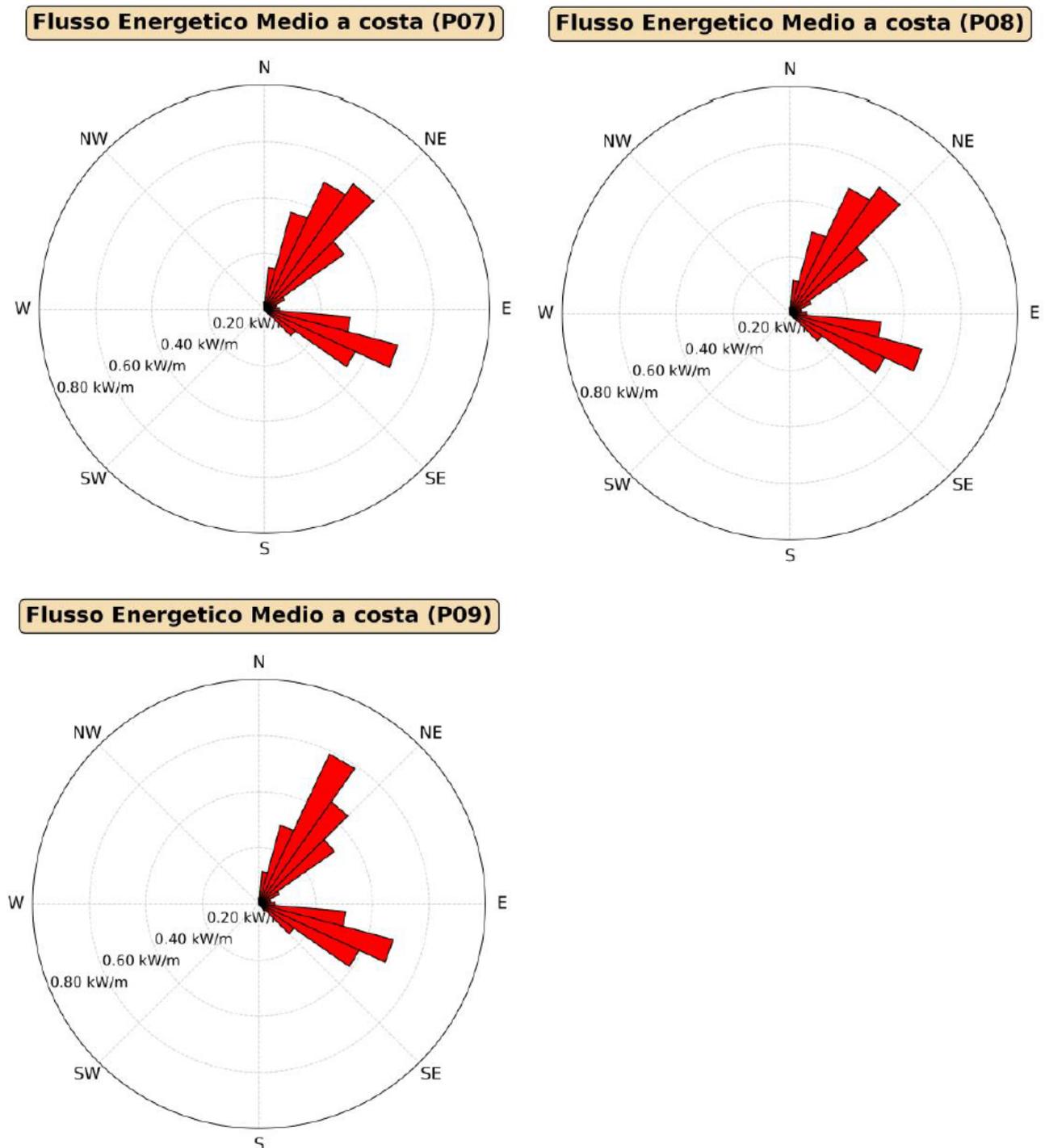


Fig. 3.6 Propagazione del moto ondoso sotto costa - Anno climatico medio - Rappresentazione polare del flusso energetico sotto costa (punti 7-8-9) (Progetto AnCoRA)

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	191	-131	60	0.68
S02	249	-186	64	0.74
S03	270	-184	85	0.68
S04	259	-205	54	0.79
S05	261	-223	38	0.86
S06	241	-205	36	0.85
S07	230	-215	15	0.93
S08	192	-211	-19	1.10
S09	233	-230	3	0.99
S10	223	-239	-17	1.07
S11	203	-242	-39	1.19
S12	220	-221	-2	1.01
S13	216	-225	-9	1.04
S14	212	-220	-8	1.04
S15	203	-246	-43	1.21
S16	161	-244	-83	1.51
S17	133	-184	-51	1.38

Fig. 3.7 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 22-01-R02 “ANALISI DI DETTAGLIO Unità fisiografia UF-1”

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).

3.1 RIFRAZIONE ONDOSA A RIVA

Per definire un intervento di protezione costiera occorre stimare la rotazione che i fronti d'onda subiscono avvicinandosi alla profondità di imbasamento delle opere, ed i vari effetti che separatamente agiscono su di esse: rifrazione e shoaling, ovvero riduzione e rotazione del fronte d'onda, che provocano la variazione della celerità di propagazione e dell'altezza d'onda, a parità di contenuto energetico dalla situazione a largo a quella a profondità ridotte sino al limite del frangimento.

Per valutare la rotazione dei fronti d'onda nel trasferimento a riva può essere utilizzato il procedimento numerico e grafico proposto da Goda (*"Random Seas and Design of Maritime Structures"*).

Dalla conservazione del flusso di energia trasmesso da due raggi adiacenti (nell'ipotesi di effetti dissipativi trascurabili), otteniamo l'altezza d'onda alla profondità voluta sino al frangimento.

L'energia dell'onda è proporzionale al quadrato dell'altezza d'onda, la variazione dell'altezza d'onda dovuta alla rifrazione può essere valutata in base al coefficiente di rifrazione.

Il coefficiente di rifrazione delle onde irregolari e la variazione della loro direzione predominante possono essere determinati mediante i grafici forniti da Goda.

Considerando le onde con tempo di ritorno di 25anni (vedi paragrafo 3) i periodi di picco per i due settori principali di provenienza delle onde sono rispettivamente 9.95s e 9.61s. Considerando la batimetria a riva parallela alla linea di costa, che nel tratto di interesse è orientata con direzione 345°N, si ottengono i seguenti risultati della rotazione dei fronti d'onda per alcune direzioni caratteristiche di provenienza al largo alle due profondità di riferimento per eventuali opere di protezione costiera, 4m e 2.5m (v. Fig. 3.9).

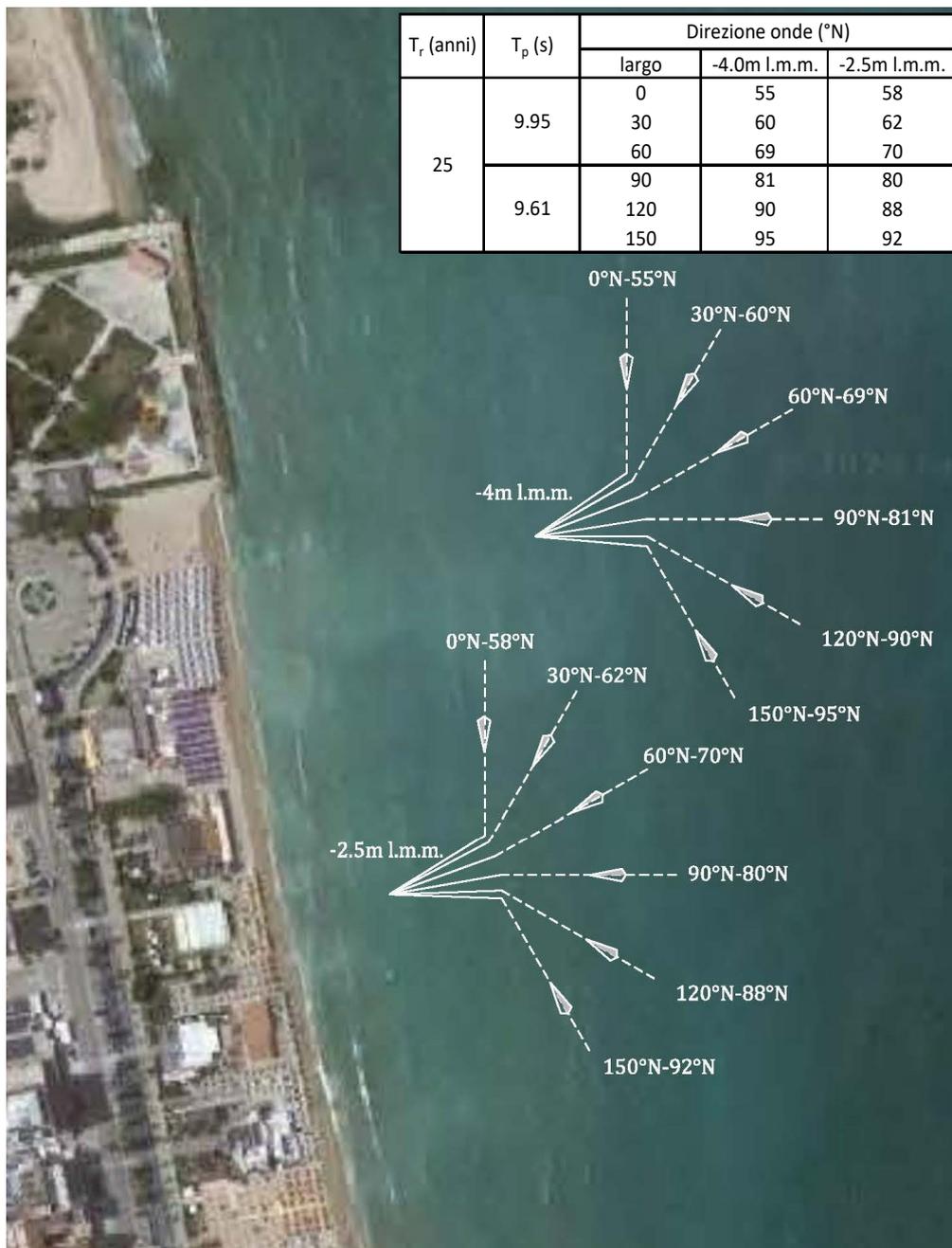


Fig. 3.9 Rotazione dei fronti d'onda alle profondità di 4m e 2.5m – onde con Tr 25anni.

In questa fascia di profondità compresa tra 2.5m e 4.0m possono essere collocate le difese foranee a protezione del litorale. Dalla Fig. 3.9 si nota il restringimento delle direzioni di provenienza iniziali intorno alla direzione di 90°N, circa perpendicolare alla linea di riva.

4 Opere di protezione – valutazione delle alternative

Il PDC prevede per l'UF01 la realizzazione di strutture a cella formate da pennelli in parte emersi ed in parte sommersi che si innestano su una struttura longitudinale parallela alla costa di tipo sommersa. La tipologia a celle ha lo scopo di dissipare con l'opera sommersa longitudinale parte dell'energia delle onde incidenti, formare il piede di contenimento verso il largo, del profilo del ripascimento, intercettare il trasporto solido longitudinale con i pennelli trasversali ed attenuare con essi la circolazione idrodinamica che si determina in presenza di strutture sommerse parallele alla costa. Le perdite dei sedimenti del ripascimento possono avvenire principalmente per trasporto trasversale del materiale a granulometria più fine che, in sospensione per la turbolenza, supera l'opera longitudinale.

L'applicazione delle celle a Villa Rosa di Martinsicuro ha prodotto un'erosione sottoflutto attenuata con pennelli di lunghezza decrescenti.

L'utilizzazione di barriere foranee emerse potrebbe essere un'alternativa al sistema a celle. 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.

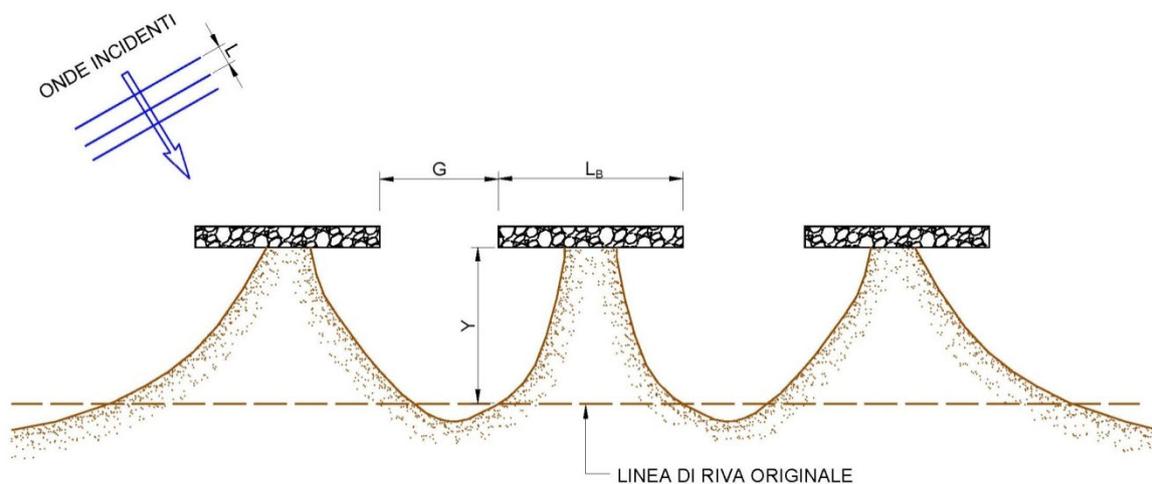


Fig. 4.1 Rappresentazione schematica della formazione di tomboli

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 ne dalle quote di piling-up che si determina lato terra della scogliera, ne 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

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

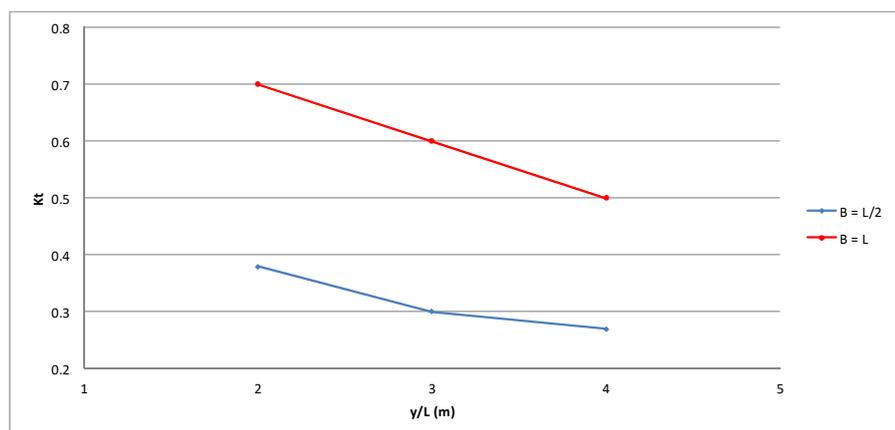


Fig. 4.3 Coefficiente di diffrazione attraverso il varco per onde perpendicolari

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. (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. Realizzando la protezione con scogliere emerse da Villa Rosa di Martinsicuro in prosecuzione della cella esistente, lasciando una zona di salvaguardia per la foce del t. Vibrata e proseguendo sino alla foce del t. Salinello sarebbero necessari circa 6'000m di setti di scogliere. Per attenuare effetti sottoflutto dell'ultima scogliera sulla spiaggia a Nord della foce del Salinello sarebbe necessario un ripascimento programmato che compensi il deficit di apporto solido prodotto dalla presenza delle scogliere.

In funzione della distanza da riva adottata nel Progetto Esecutivo, le scogliere intercetteranno una parte della portata solida longitudinale, rimarrebbe in transito quella parte compresa tra l'allineamento delle scogliere e la linea dei primi frangenti che si trova di solito al largo delle scogliere. Il ripascimento programmato dovrebbe colmare questo deficit tra la parte in transito e quella bloccata.

Il tratto a Sud della foce del Salinello sino al molo Nord del porto di Giulianova è un litorale che nel lungo periodo ha avuto un avanzamento grazie agli apporti solidi provenienti da Nord. La riduzione degli apporti solidi che si determinerà a seguito della costruzione delle strutture foranee nel litorale di Alba Adriatica – Tortoreto non è facilmente quantificabile, è pertanto necessario prevedere un piano di monitoraggio che misuri l'andamento dei fondali della linea di riva in modo di avere l'evoluzione temporale del fenomeno. L'eventuale prosecuzione delle scogliere emerse sino al porto di Giulianova sarebbe un'opzione di lungo periodo da considerare nell'ipotesi di variante al PDC.

L'inizio della costruzione delle opere, come noto, dipende dal clima prevalente del trasporto solido annuale. Negli studi effettuati nel Progetto AnCoRA la portata solida longitudinale è stata stimata sia con il metodo "morfologico" confrontando le linee di riva dedotte dalla cartografia dal 1997 al 2018, sia determinando il flusso di energia medio delle onde incidenti a costa in punti rappresentativi dell'UF01. Come riportato al paragrafo 3.1 (v. Fig. 3.6) si può notare come il flusso

energetico medio a costa abbia spiccate caratteristiche binarie, vi sono due direzioni prevalenti che inducono trasporto solido da Nord a Sud e viceversa da Sud verso Nord. Il parametro di bimodalità α (il valore unitario indica perfetto equilibrio tra le componenti di trasporto solido potenziale dirette verso Nord e quelle dirette verso Sud; valori >1 indicano prevalenza del trasporto verso Nord, valori < 1 prevale la componente del trasporto verso Sud) riportato nella Fig. 3.7 ha valori inferiori ad 1 sino al punto S07 (situato alla foce del t. Vibrata) e valori prossimi o superiori ad 1 per tutti i punti caratteristici verso Sud.

Questo risultato permette di considerare l'inizio della costruzione del sistema di difese foranee partendo da Nord e proseguendo verso Sud.

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 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 prezzario regionale 2022 si ha:

- Realizzazione scogliere foranee emerse: $6'000\text{m} \times 2'850,00\text{€/m} = 17'100'000,00\text{€}$
- Ripascimento nella misura di $40\text{m}^3/\text{m}$ su 2'000m: $80'000\text{m}^3 \times 16,23\text{€/m}^3 = 1'298'400,00\text{€}$
- Ripascimento sottoflutto localizzato alla foce del Salinello: $5'000\text{m}^3 \times 16,23\text{€/m}^3 = 81'150,00\text{€}$

L'importo totale dell'intervento come proposto risulta pari a 18'479'550,00€ a cui vanno sommate IVA al 22% (4'065'501,00) e spese generali (7.78% importo lavori), per un totale di 24'000'000,00€.