PROGETTO DEFINITIVO



STUDIOGAGGERO

SAVONA – VIA PIA 130 R – FAX 019/8386702 – TEL 019/829463
CELL. 335/303133 – E-MAIL ing.gaggero@libero.it

El. A

COMUNE DI SESTRI LEVANTE

INTERVENTI STRUTTURALI VOLTI ALLA DIFESA DELLA COSTA E STABILIZZAZIONE DEGLI ARENILI IN LOCALITA' RENA'

COMPENDIO RELAZIONI

NP 2123

Luglio 2019

NP 2123 Sestri Levante definitivo

Dott. ing. Paolo GAGGERO
C.F. GGGPLA49H27I480F
Collaboratore Dott. Ing. Luca Rossi



NP 2123

COMUNE DI SESTRI LEVANTE

INTERVENTI STRUTTURALI VOLTI ALLA DIFESA DELLA COSTA E STABILIZZAZIONE DEGLI ARENILI IN LOCALITA' RENA'

El. A: COMPENDIO RELAZIONI

Luglio 2019

Dott. Ing. Paolo Gaggero
Collaboratore Dott. Ing. Luca Rossi

INDICE

1. INTRODUZIONE 5
2. CENNI STORICI 6
2.1 Inquadramento dell'unità fisiografica, paraggio costiero e cella litorale 6
2.2 Inquadramento geografico (da PTAMC) 8
2.3 Evoluzione storica del litorale (da PTAMC) 8
2.4 Osservazioni 11
3. RILIEVI TOPOBATIMETRICI 15
4. GRANULOMETRIA 17
5. ANALISI METEO – MARINA 20
5.1 Premessa 20
5.2 Caratteristiche delle mareggiate estreme 20
5.3 Settaggio della griglia di calcolo 21
5.4 Piani d'onda delle mareggiate estreme 23
5.5 Osservazione relativa alla zona sud est 27
6. EVOLUZIONE SPIAGGIA EMERSA E SOMMERSA 28
7. MAREGGIATA OTTOBRE 2018 31
8. DESCRIZIONE ED EFFETTI DELLE OPERE FISSE ESISTENTI IN RENÁ 32
9. OBIETTIVI DEL PROGETTO 42
10. ALTERNATIVE PROGETTUALI INDICATE DAL PFTE 44
11. INDICAZIONI DI PROGETTO DEL PFTE 46
A) Scogliere di protezione delle aree urbanizzate 49
B) Opere di difesa a mare 50
C) Ripascimenti 51
D) Opere complementari 52
D1_Rampe 52
D2_Dehors 53
12. INTERVENTI COMPRESI NEL PRESENTE PROGETTO DEFINTIVO 55
13. RIEPILOGO COSTI DI INTERVENTO E PROGRAMMAZIONE 56
14. MONITORAGGI 59
15. CRONOPROGRAMMA 61
ALLEGATO: MODELLAZIONE RIGUARDANTE LE OPERAZIONI DI RIPASCIMENTO E DIMENSIONAMENTO DELLA SCOGLIERA 63

ELENCO ELABORATI

ELABORATI SCRITTI

El. A	Compendio relazioni (il presente elaborato)
El. B	Studio di impatto e fattibilità ambientale
El. B_bis	Scheda di controllo
El. C	Relazione paesaggistica
El. D	Computo metrico estimativo
El. E	Elenco ed analisi prezzi
El. F	Quadro economico
El. G	Cronoprogramma
El. H	Capitolato speciale d'appalto e schema di contratto
El. I	Studio di inserimento urbanistico
El. L	Prime indicazioni e disposizioni per la stesura dei piani di sicurezza
El. M	Censimento e risoluzione delle interferenze

ELABORATI GRAFICI

Tav. 01	Inquadramento territoriale
Tav. 02	Lavori urgenti realizzati in esito alla mareggiata del 29/30 ottobre 2018
Tav. 03	Planimetria generale di stato attuale
Tav. 04	Planimetria e sezioni di stato attuale con documentazione fotografica
Tav. 05	Planimetria generale di progetto
Tav. 06	Planimetria e sezioni di progetto – Scogliera curvilinea a protezione deposito barche
Tav. 07	Planimetria e sezioni di progetto – Via Vespucci
Tav. 08	Planimetria e sezioni di progetto – Scogliera a sostegno del parcheggio
Tav. 09	Planimetria e sezioni di progetto – Secca di ponente e ripascimento alle spalle
Tav. 10	Planimetria di raffronto
Tav. 11	Sezioni di raffronto

1. INTRODUZIONE

Con Determina Dirigenziale n° 1273 del 28/06/2019 è stato affidato al nostro studio tecnico incarico professionale avente oggetto il progetto definitivo riguardante "*Interventi strutturali volti alla difesa della costa e stabilizzazione degli arenili in località Renà nel Comune di Sestri Levante*".

Il progetto definitivo prende le mosse dal progetto di fattibilità tecnico-economica redatto dal nostro studio in fasi intercalate alla mareggiata del 29/30 ottobre 2018 ed agli interventi di somma urgenza realizzati in esito ai danni provocati dall'evento eccezionale. Si evidenzia che, mentre il rilievo topobatimetrico di riferimento, sviluppato con apparecchiatura multibeam e laser scanner, è stato effettuato nel mese di ottobre 2018 e precisamente nei giorni 03 – 15 ottobre, il progetto di fattibilità è stato identificato dopo la mareggiata, ed in corso di realizzazione degli interventi di ripristino e messa in sicurezza che hanno alterato, non di poco, la configurazione della linea inerodibile del litorale.

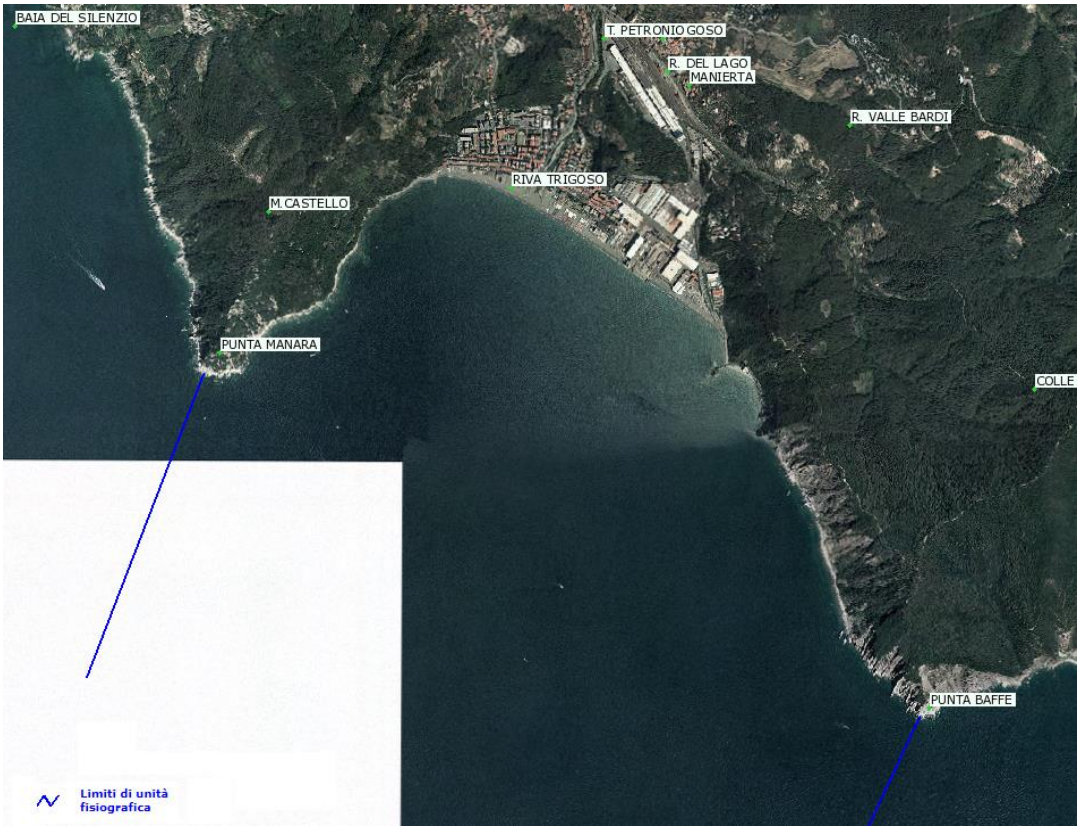
Pertanto l'elaborazione dei documenti del progetto definitivo fa riferimento al rilievo batimetrico antecedente la mareggiata del 29 e 30 ottobre ed alla configurazione emersa, modificata in esito ad alcuni interventi strutturali sul litorale, realizzati in regime di somma urgenza e di cui il presente progetto costituisce anche documento illustrativo ai fini della definitiva approvazione. Gli interventi di S.U. sono stati sottoposti ad approvazione (rilasciata) ai sensi del regolamento regionale n°6 del 2007 in merito all'art. 109 del D.Lgs. 152/2006.

2. CENNI STORICI

Già il progetto di fattibilità tecnico-economica si è riferito alle indicazioni storiche del PTAMC, poiché il progetto si estende su un tratto di litorale sul quale la Regione Liguria, nel 2012, ha approvato il *Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero* (PTAMC), ambito 15, redatto ed approvato ai sensi dell'articolo 41 della Legge Regionale 20/2006. Pertanto negli elaborati del progetto è frequente il riferimento al PTAMC ed, in particolare, agli elaborati (o parte di essi) riferiti all'unità fisiografica compresa tra punta Manara e punta Baffe. Gli elaborati del PTAMC 15 riportano come data di elaborazione settembre 2011.
Nel progetto viene fatto riferimento, per l'evoluzione storica del litorale, a quanto indicato nel volume "*Relazione di paraggio*" del PTAMC.

2.1 Inquadramento dell'unità fisiografica, paraggio costiero e cella litorale

La spiaggia di Renà fa parte dell'esteso arenile della località Riva Trigoso, frazione di Sestri levante. Riva Trigoso è situata al centro dell'unità fisiografica UF24 di lunghezza circa 3,5 km. Il paraggio costiero risulta coincidente con l'unità fisiografica UF24.



All'interno del paraggio costiero è inserita la cella litorale cui appartiene la spiaggia di Renà numero 514 di lunghezza 1447,0 ml.



2.2 Inquadramento geografico (da PTAMC)

L'unità fisiografica di Riva Trigoso è costituita da una baia racchiusa tra i due promontori di punta Manara a nordovest e punta Baffe a sudest, al cui centro si estende l'ampia falcatura sabbiosa della spiaggia di Riva Trigoso.
Lo sviluppo della linea di costa all'interno della baia è di circa 5.3 km così articolati:

- 1.5 km di costa alta tra punta Manara e Riva Trigoso ponente, con andamento SW-NE;
- 1.5 km di spiaggia sabbiosa pressoché rettilinea orientata NW-SE, che costituisce la cella litorale di Riva Trigoso;
- 0.3 km di spiaggia di ciottoli grossolani a guisa di tombolo a ridosso dello scoglio dell'Asseu;
- 2 km di costa alta fino a punta Baffe con andamento NNW-SSE.

Non sono presenti tratti di linea di riva artificializzata, se non un piccolo tratto in corrispondenza del lato est della spiaggia, rappresentato dal muraglione della linea ferroviaria costiera dismessa, ora trasformata nella strada provinciale litoranea che collega Riva Trigoso con Moneglia. Anche in corrispondenza dei cantieri navali un breve tratto di costa è occupato dalle strutture di alaggio e varo degli stessi.
L'unico bacino significativo afferente l'unità fisiografica è quello del Petronio, che ha una superficie di circa 60 km^2. I piccoli colatori provenienti dai tratti di costa alta raggiungono a malapena la superficie totale di 1 km^2.
L'intero territorio è compreso nel comune di Sestri Levante.

2.3 Evoluzione storica del litorale (da PTAMC)

Il torrente Petronio fu deviato nella baia di Riva Trigoso intorno all'anno 1000 (Terranova, 1979). Si suppone che prima di tale deviazione la linea di riva fosse assai più arretrata rispetto all'attuale ma non abbiamo documenti storici che lo testimoniano. La prima cartografia di interesse è quella del Vinzoni (1764) in cui si evince che la spiaggia aveva già all'epoca l'aspetto e l'ampiezza attuale. Anche

le fotografie storiche reperite, le più antiche risalenti alla fine dell'800, confermano tale situazione, evidenziando che la spiaggia di Riva Trigoso non ha subito grandi cambiamenti nell'ultimo secolo.



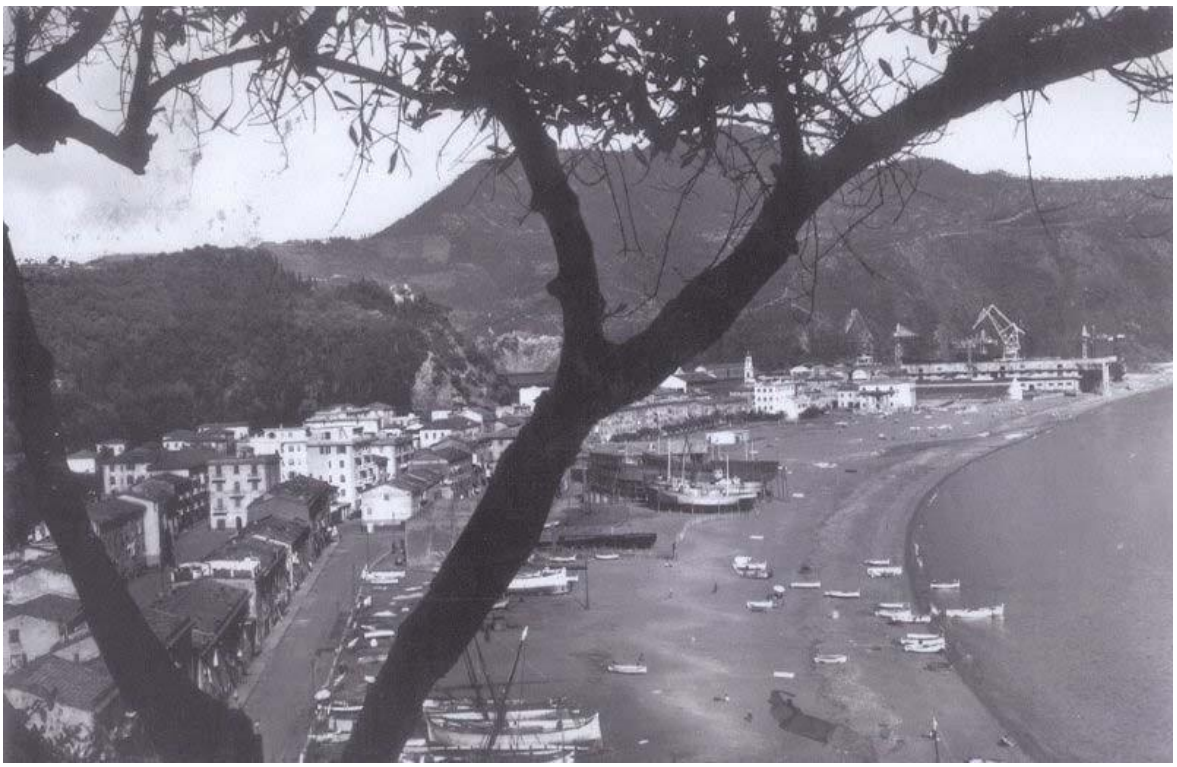
Carta del Vinzoni del paraggio di Riva Trigoso (1764)



Cartolina di fine '800. Si noti l'andamento sinuoso della foce del Petronio



Foto panoramica anni '50. Si notino l'avanzamento verso mare delle costruzioni rispetto alla precedente



La spiaggia di Riva negli anni '50 del '900

2.4 Osservazioni

Il succinto commento del PTAMC necessita di alcune segnalazioni di interventi strutturali urbani realizzati nel periodo più recente.

A) Per evitare la meandrizzazione della foce del Torrente Petronio, fu realizzata un'arginatura in spiaggia



B) Il cantiere navale di Fincantieri, che occupa circa 400 metri lineari di litorale, si è sviluppato con strutture spinte in mare, seppure realizzate anche "a giorno" con palificazioni di grosso diametro.



C) Il cantiere navale di Riva, sulla destra della foce del Torrente Petronio, è stato demolito tra il 2011 ed il 2014



D) In epoca imprecisata, ma comunque nel dopoguerra, è iniziata la realizzazione di opere fisse di difesa arretrate (sulla spiaggia) in Renà, a monte delle quali si è sviluppata l'urbanizzazione del territorio



E) La linea ferroviaria, radente il litorale da Renà sino alla galleria che attraversa il promontorio in corrispondenza dello scoglio Asseu, è stata dismessa e negli anni la struttura di sostegno a mare ha subito reiterati franamenti, tanto da necessitare di una berlinese che fiancheggia la strada provinciale corrente nell'ex tracciato ferroviario



F) In epoca imprecisata, il passaggio di rocce semiaffioranti (che collegano lo scoglio Asseu al litorale) è stato cementato



G) Negli ultimi anni, la spiaggia di Renà è stata oggetto di reiterati ripascimenti stagionali, realizzati con materiali provenienti anche dalla foce del Torrente Petronio.

H) Infine nell'inverno/primavera del 2018-2019 sono stati realizzati in regime di somma urgenza gli interventi urgenti rappresentati nella Tavola 2 di progetto, anche ai fini della loro definitiva approvazione, già attivate con autorizzazione ex art 109 del D.Lgs 152/2006.

3. RILIEVI TOPOBATIMETRICI

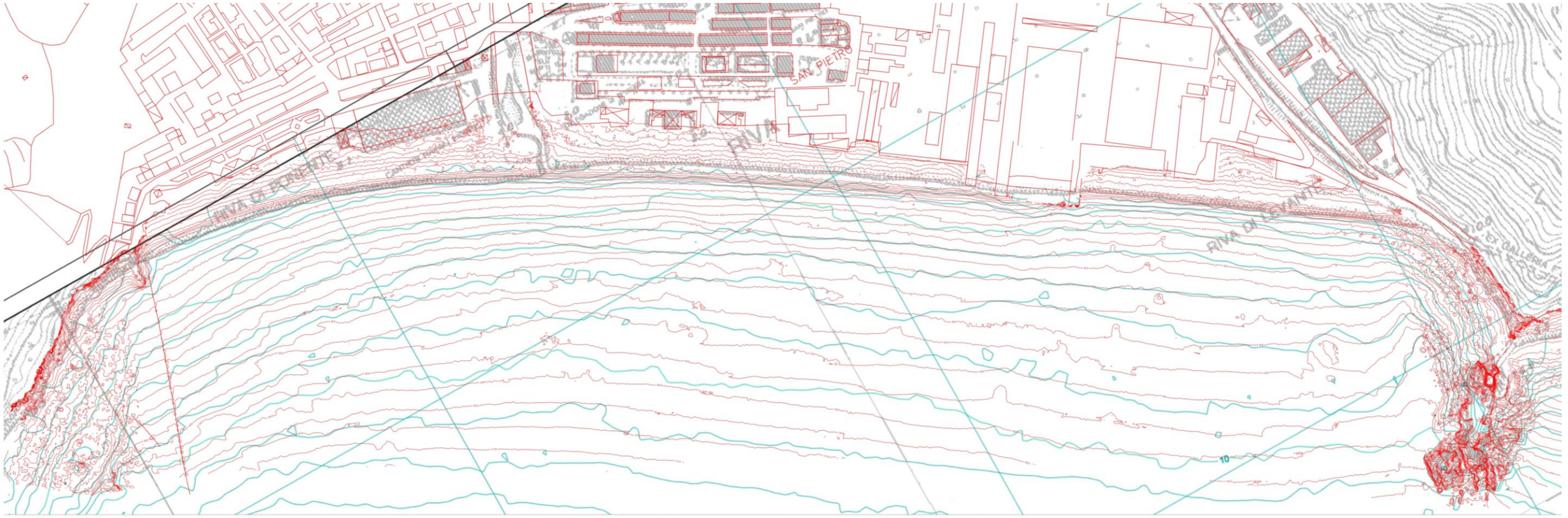
Oltre ai documenti del PTAMC, sono disponibili i rilievi batimetrici:

- 2008 eseguito da Colmar srl per conto di STUDIOELB
- 2018 eseguito da Draphinsub srl per conto di StudioGaggero.

Gli elaborati di PTAMC hanno descritto l'evolversi del Litorale con raffronti dei dati disponibili dal 1879 sino al 2008. Nella figura della pagina seguente vengono messi a confronto i due rilievi batimetrici 2008/2018.

Si può rilevare che le variazioni non sono significative e che le conclusioni riportate dal PTAMC "*la spiaggia di Riva Trigoso non ha subito grandi cambiamenti nell'ultimo secolo*" è confermato anche per il più recente decennio.

SOVRAPPOSIZIONE RILIEVI 2008 e 2018



Rilievo 2018

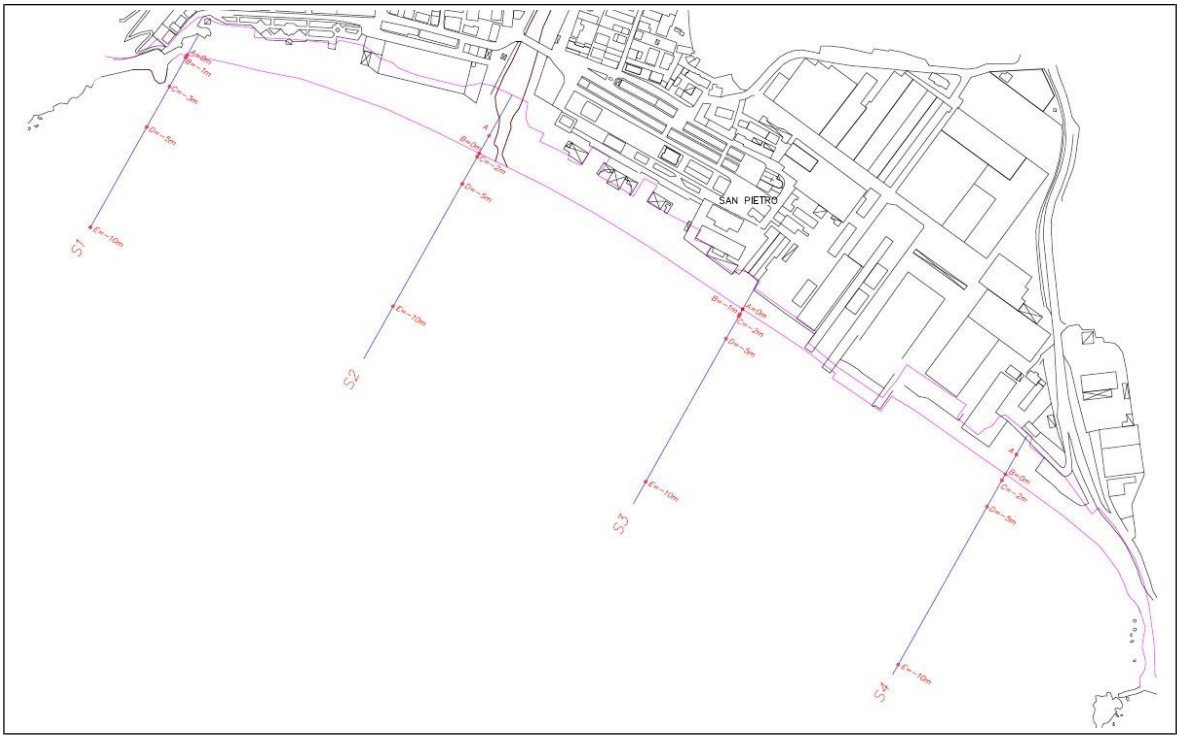
Rilievo 2008

4. GRANULOMETRIA

Nell'autunno 2018, insieme ai rilievi topobatimetrici, sono stati effettuati anche campionamenti ed analisi granulometriche del materiale di spiaggia emersa e sommersa su 4 transetti dell'intera cella litorale di Riva Trigoso.

Nelle figure che seguono viene riportato un quadro di sintesi, ove sono indicati, oltre alla posizione dei transetti:

- le caratteristiche rilevate sulla linea di riva, ed alla profondità -2.00 (in un caso -1.00 e -3.00), -5.00 e -10.00, definite attraverso il valore D_{50} e la composizione granulometrica (percentuali di ghiaia, sabbia e limo/argilla).



Ubicazione dei profili e dei punti di prelievo (indagine granulometrica di ottobre 2018)

				CLASSI GRANULOMETRICHE		
SEZIONE	CAMPIONE	Prof. (m s.m.m.)	D_{50} (mm)	Ghiaia	Sabbia	Limo/argilla
1	A	0.00	2.340	11.83	86.84	1.33
	B	-1.00	6.700	70.26	29.40	0.34
	C	-3.00	0.540	0.20	96.29	3.51
	D	-5.00	0.210	0.00	95.47	4.53
	E	-10.00	0.180	0.00	95.20	4.80
2	A	emersa	1.600	3.45	95.65	0.90
	B	0.00	2.810	13.97	84.49	1.54
	C	-2.00	5.600	56.78	42.53	0.69
	D	-5.00	0.380	0.00	97.60	2.40
	E	-10.00	0.160	0.00	94.73	5.27
3	A	0.00	1.320	10.40	88.05	1.54
	B	-1.00	4.300	44.72	54.42	0.86
	C	-2.00	3.710	47.75	51.06	1.19
	D	-5.00	0.240	0.00	98.37	1.63
	E	-10.00	0.140	0.00	91.26	8.74
4	A	emersa	0.320	0.00	99.27	0.73
	B	0.00	1.270	26.45	72.32	1.24
	C	-2.00	0.230	0.00	98.33	1.67
	D	-5.00	0.290	0.00	98.31	1.69
	E	-10.00	0.130	0.00	93.09	6.91

Sintesi analisi granulometrica

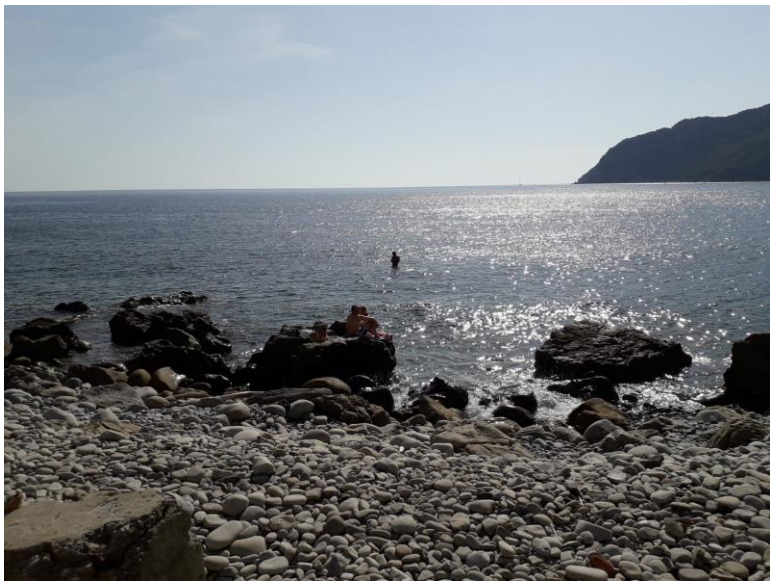
Ne risulta che la spiaggia emersa, fino alla linea di costa, è caratterizzata dalla presenza di sabbia grossa/ghiaia fine con D_{50} compreso tra 0,3 e 2,8 mm circa. La prima fascia della spiaggia sommersa, fino alla profondità di -3.00/-4.00, è caratterizzata dalla presenza di materiale più grossolano con D_{50} compreso tra 3,7 e 6,7 mm circa, con l'eccezione di due campioni più fini (D_{50} pari a 0,23 e 0,54 mm).

Procedendo verso il largo il materiale diventa via via più fine e si passa da sabbie medie (-5.00 ml) a sabbie fini (-10.00).

I rilievi effettuati nel 2018 sono coerenti con quanto riportato nel PTAMC. Nella zona di sud-est, oltre i muri a difesa del tracciato ex ferroviario, ed ai piedi del versante collinare alla radice del promontorio di Punta Baffe, sino al sottile

passaggio che porta allo scoglio Asseu, esiste una spiaggia caratterizzata da una granulometria del tutto particolare, in elementi scapoli a forma arrotondata.





Come può rilevarsi dalle fotografie e da un attento esame del rilievo di Draphinsub, dinanzi alla spiaggia di ciottolame sono presenti scogli anche di importanti dimensioni, evidentemente scivolati dal ripido versante. Le importanti profondità locali permettono all'onda di raggiungere la battigia con frangimenti prossimi e forte energia che asporta i materiali più fini (ghiaia e oltre). Come accennato in altro punto il passaggio verso lo scoglio Asseu è stato cementato.



5. ANALISI METEO – MARINA

5.1 Premessa

Il PTAMC ha sviluppato un'accurata analisi meteomarina mediante il codice di calcolo STWAVE, simulando la propagazione degli spettri in frequenza a partire dalla sezione di output del modello di propagazione su larga scala dell'intero Ambito.

Nell'ambito del presente studio si è affrontato il tema della propagazione delle mareggiate estreme sottocosta, mediante il medesimo codice di calcolo STWAVE, ma riducendo la dimensione della maglia di calcolo da 10 x 10 ml a 2 x 2 ml, partendo peraltro dai dati forniti dal PTAMC.

Devesi segnalare che nelle elaborazioni effettuate non sono comprese le caratteristiche della mareggiata eccezionale del 29-30 ottobre 2018, e ciò sia in termini di caratteristiche dell'onda rilevata nel corso dell'evento, sia soprattutto della sopraelevazione locale del livello medio del mare che ha raggiunto valori non sperimentati sino ad allora. La mareggiata è stata, in alcuni casi, paragonata a quella pur recente del 6 novembre 2000, che causò numerosi ingenti danni in forza delle caratteristiche dell'onda formata e dell'evoluzione delle direzioni delle agitazioni durante l'evento; nell'occasione peraltro l'onda non si presentò alla costa su livelli del medio mare così innalzati, e ne risentì in termini di frangimento e di energia residuale; le strutture arretrate rispetto alla battigia non furono colpite come nella notte del 29 e 30 ottobre 2018. Pare quindi corretto, tenuto conto delle caratteristiche dell'intera area e della sua destinazione balneare, programmare gli interventi sulla base del clima ondoso che prescinde dalla recente mareggiata, pur tenuta come riferimento per la configurazione delle opere.

5.2 Caratteristiche delle mareggiate estreme

Nelle simulazioni eseguite per mezzo del codice di calcolo STWAVE sono state propagate le mareggiate con tempo di ritorno di 1 e 50 anni per i tre settori di traversia caratteristici del paraggio (Scirocco, Mezzogiorno e Libeccio). Le caratteristiche delle mareggiate estreme al largo del paraggio di Riva Trigoso sono state estratte dagli studi condotti a supporto del PTAMC.

Nello specifico, i dati al largo relativi al paraggio oggetto di studio sono stati ripresi dalla "Relazione Paraggio Unità fisiografica di Riva Trigoso – da Punta Manara a Punta Baffe" (cfr. AMBITO COSTIERO 15 Unità fisiografiche Golfo del Tigullio, Baia del Silenzio e Riva Trigoso). Nell'ambito di tali studi il clima e gli eventi estremi al largo (Boa di La Spezia) sono stati trasferiti, mediante il metodo della trasposizione geografica, in un punto individuato come rappresentativo dell'intero Golfo del Tigullio. (coordinate: lat. 44° 16'; long. 9° 17,7').

Da questo punto le mareggiate estreme sono state propagate con il modello STWAVE sotto costa all'interno dell'Ambito di studio, comprendente le unità fisiografiche del Golfo del Tigullio, della Baia del Silenzio e di Riva Trigoso. Le mareggiate sono state propagate in corrispondenza di un punto alla profondità di -50 m, rappresentativo del paraggio di riva Trigoso, e in più punti, posti circa alla profondità di -15 m, rappresentativi dei paraggi delle unità fisiografiche di Golfo del Tigullio e Baia del Silenzio.

Il punto alla -50 m (punto P), al largo del paraggio di Riva Trigoso, è stato scelto nell'ambito del presente studio di dettaglio per la definizione delle caratteristiche delle mareggiate estreme (con tempo di ritorno di 1 e 50 anni) da fornire in input al codice di calcolo. Il punto è ubicato al centro del paraggio, in corrispondenza delle coordinate 1533572 m EST; 4899010 m NORD; le coordinate sono espresse nel sistema di riferimento Gauss Boaga Fuso Ovest.

Le caratteristiche delle mareggiate utilizzate per la propagazione sotto costa sono sintetizzate nella sottostante tabella. Alle mareggiate estreme è stato associato un sovralzo del livello medio del mare di +0.50 m s.m.m.

				PUNTO P (-50 m)		
TEST	**Tempo di ritorno T_R**	**Sovralzo (m s.m.m.)**	**Settore di provenienza**	**H_S (m)**	**T_p (s)**	**Dir (°N)**
1	**T_R = 1 anno**	**+0.50**	**Scirocco**	**3.0**	7.9	161
2	**T_R = 1 anno**	**+0.50**	**Mezzogiorno**	**2.7**	7.2	180
3	**T_R = 1 anno**	**+0.50**	**Libeccio**	**4.5**	9.7	217
4	**T_R = 50 anni**	**+0.50**	**Scirocco**	**6.4**	12.2	164
5	**T_R = 50 anni**	**+0.50**	**Mezzogiorno**	**5.5**	11.0	181
6	**T_R = 50 anni**	**+0.50**	**Libeccio**	**6.7**	12.2	215

Caratteristiche delle mareggiate estreme nel punto P (alla -50 m)

5.3 Settaggio della griglia di calcolo

Le simulazioni sono state eseguite utilizzando la batimetria aggiornata del sito, ricavata in base alle carte nautiche dell'Istituto Idrografico della Marina e al rilievo

locale di ottobre 2018, redatto a supporto delle attività oggetto del presente studio.

Le propagazioni sono state eseguite al fine di ricavare la distribuzione alle basse profondità delle altezze d'onda delle mareggiate significative per il paraggio di riva Trigoso. Il modello STWAVE è in grado di simulare, oltre alla rifrazione e allo shoaling indotti dalla profondità e dalle correnti, anche i fenomeni di frangimento, diffrazione, interazione tra onde e il fenomeno di white capping.

La propagazione delle mareggiate estreme, come specificato nel precedente paragrafo 5.2 e con i criteri indicati al paragrafo 5.1, è stata condotta con riferimento agli eventi ondosi caratterizzati da tempi di ritorno di 1 e 50 anni, provenienti dai tre settori caratteristici del paraggio (Scirocco, Mezzogiorno e Libeccio)

La griglia, riportata nella figura seguente, ha origine nel punto di coordinate 1535150 m EST; 4898675 m NORD (vertice SE, in basso a destra in figura), dimensioni 3'100x1'400 m e maglia quadrata con passo di 2 m. La base della griglia è inclinata di 68° rispetto alla direzione OE. Il bordo offshore della griglia è posto su una profondità media di circa 30÷40 m e si trova nelle vicinanze del punto P . Le coordinate dell'origine della griglia di calcolo sono espresse nel sistema di riferimento Gauss Boaga Fuso Ovest.



5.4 Piani d'onda delle mareggiate estreme

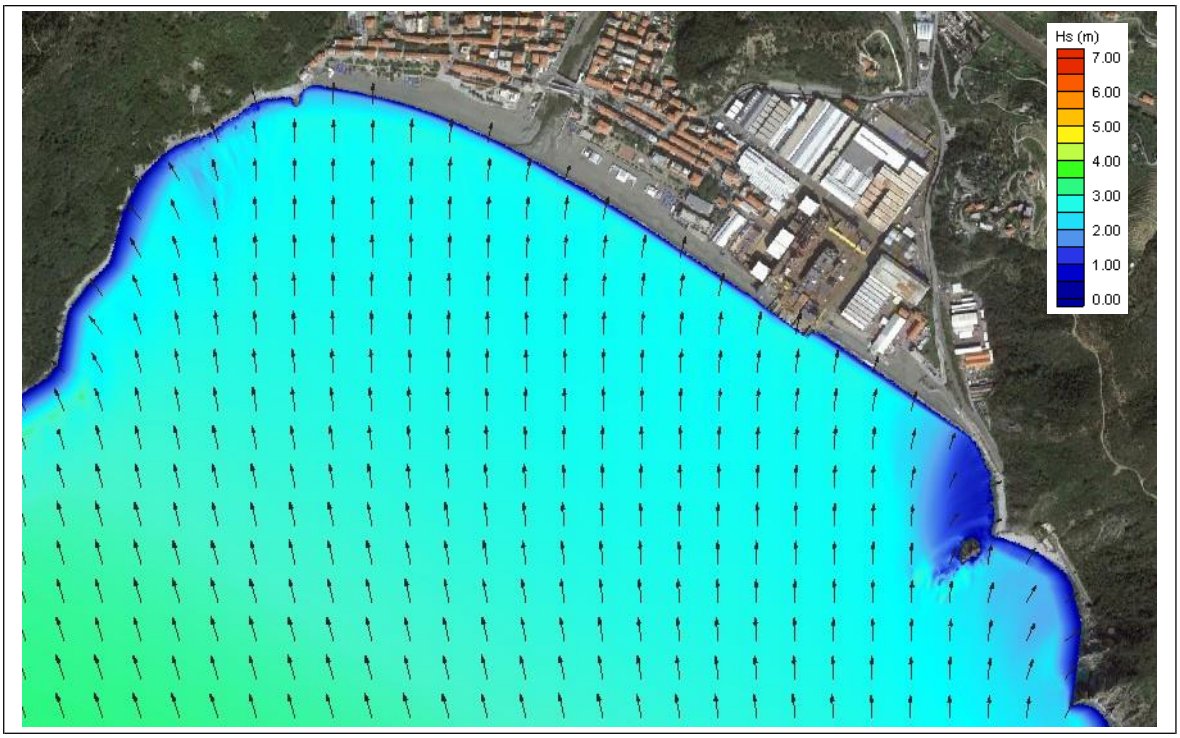
Nel presente paragrafo sono riportati i risultati delle simulazioni della propagazione locale delle mareggiate estreme caratterizzate dal tempo di ritorno di 1 e 50 anni, provenienti dai tre settori individuati. Le simulazioni sono state condotte per mezzo del codice di calcolo STWAVE.

Le figure rappresentano, in termini di contour colorati, le altezze d'onda significativa, mentre le direzioni locali dell'onda sono indicate mediante vettori il cui modulo è proporzionale all'altezza d'onda significativa.

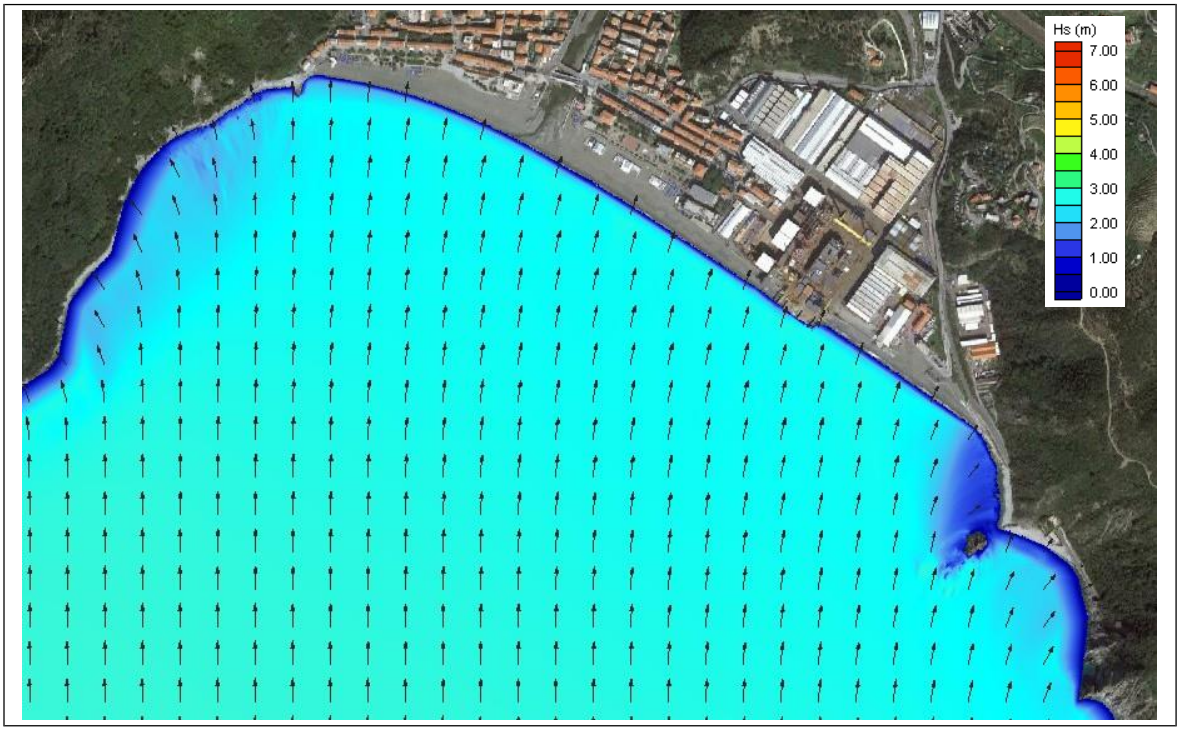
I risultati delle simulazioni sono rappresentati di seguito; TEST 1, TEST 2, TEST 3, TEST 4 TEST 5 e TEST 6 si riportano i piani d'onda delle mareggiate sull'intera spiaggia di Riva Trigoso.

Dai risultati si osserva che tutte le mareggiate analizzate, comunque caratterizzate da lunghezze d'onda elevate ed in grado di sentire gli effetti del fondale a considerevole distanza dalla costa, raggiungono la riva ruotate rispetto al largo per effetto della rifrazione.

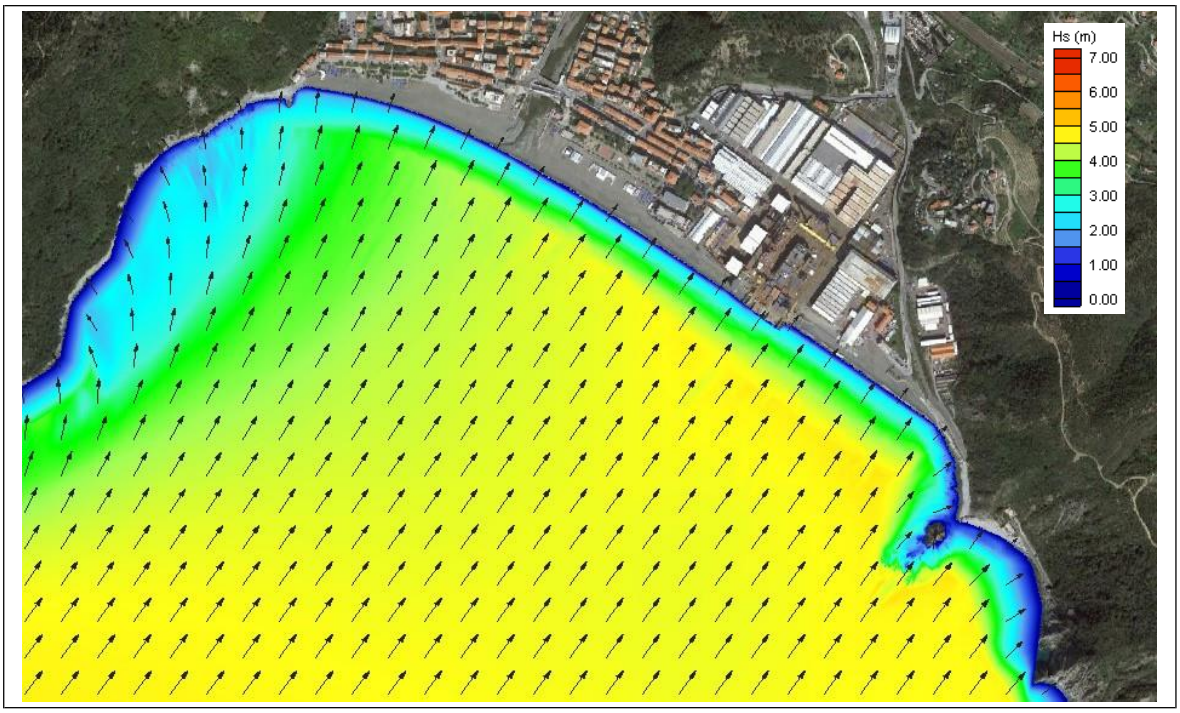
Tutte le simulazioni evidenziano l'attenuazione dovuta al frangimento, ma questo fenomeno, per le mareggiate con tempo di ritorno più basso (1 anno) si verifica immediatamente a ridosso della linea di riva: il profilo trasversale di spiaggia risulta infatti particolarmente ripido a ridosso della riva, dove il fondale è caratterizzato da materiale più grossolano. Questa circostanza determina la frequente occorrenza di fenomeni di frangimento di tipo *collapsing*, in grado di concentrare l'energia del moto ondoso (e i radiation stress) in aree molto ristrette.



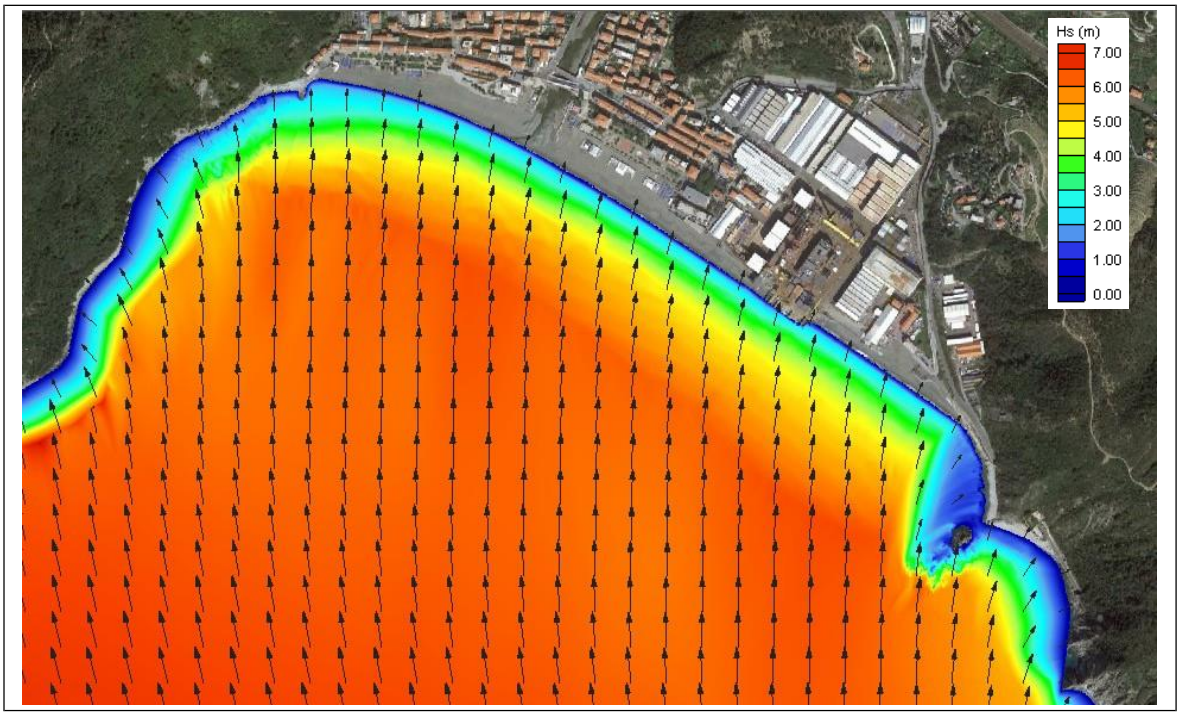
Piano d'onda TEST 1 (T_R = 1 anno) – Caratteristiche nel punto P (-50 m): Scirocco: Hs = 3.0 m; Tp = 7.9 s; Dir = 161°N



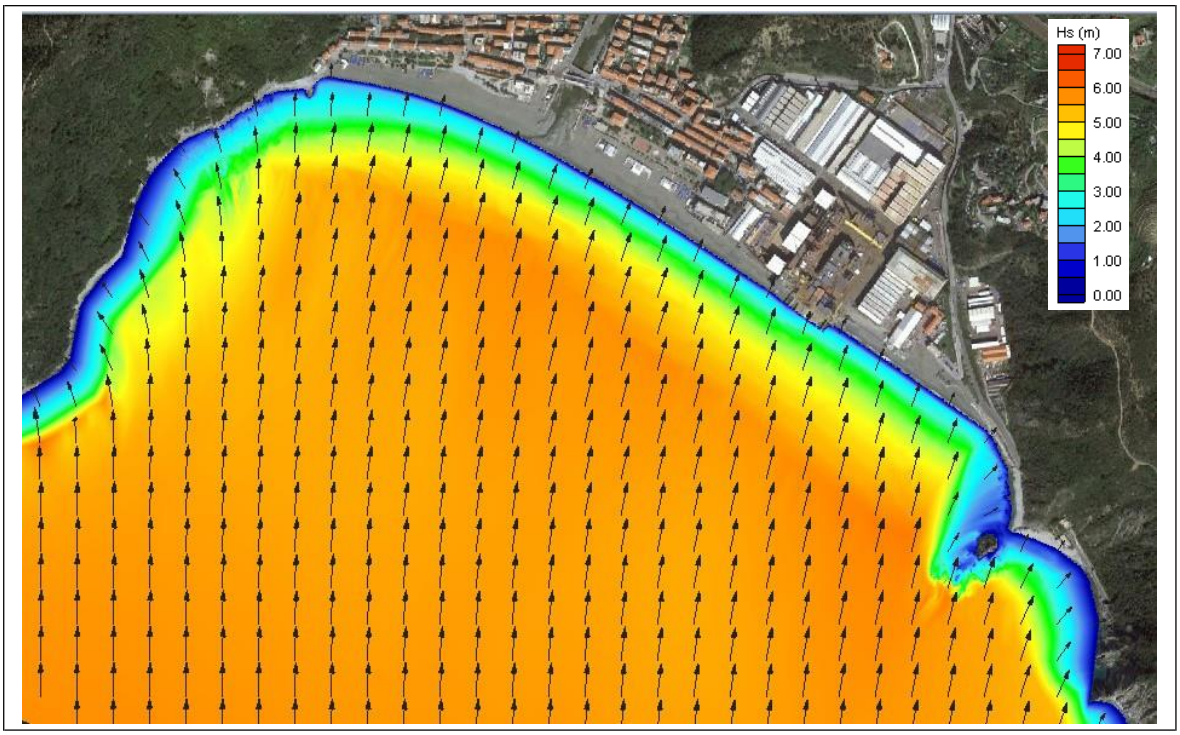
Piano d'onda TEST 2 (T_R = 1 anno) – Caratteristiche nel punto P (-50 m): Mezzogiorno: Hs = 2.7 m; Tp = 7.2 s; Dir = 180°N



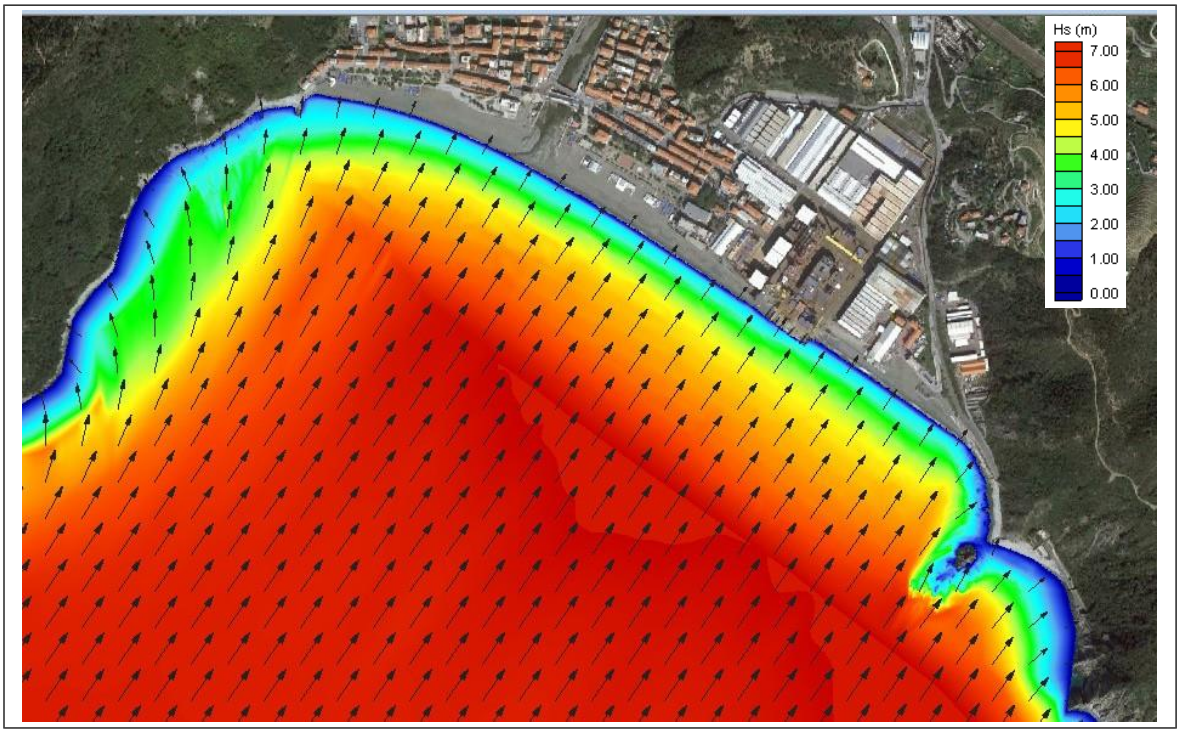
Piano d'onda TEST 3 (T_R = 1 anno) – Caratteristiche nel punto P (-50 m): Libeccio: Hs = 4.5 m; Tp = 9.7 s; Dir = 217°N



Piano d'onda TEST 4 (T_R = 50 anni) – Caratteristiche nel punto P (-50 m): Scirocco: Hs = 6.4 m; Tp = 12.2 s; Dir = 164°N



Piano d'onda TEST 5 (T_R = 50 anni) – Caratteristiche nel punto P (-50 m): Mezzogiorno: Hs = 5.5 m; Tp = 11.0 s; Dir = 181°N



Piano d'onda TEST 6 (T_R = 50 anni) – Caratteristiche nel punto P (-50 m): Libeccio: Hs = 6.7 m; Tp = 12.2 s; Dir = 215°N

5.5 Osservazione relativa alla zona sud est

La gradazione della scala cromatica nelle figure riportate evidenzia l'importante energia residua che si scarica sul litorale ai piedi della ex sede ferroviaria sino allo scoglio Asseu (ed oltre). Questa osservazione è fondativa della previsione progettuale per tale zona, già indicata nel PFTE.

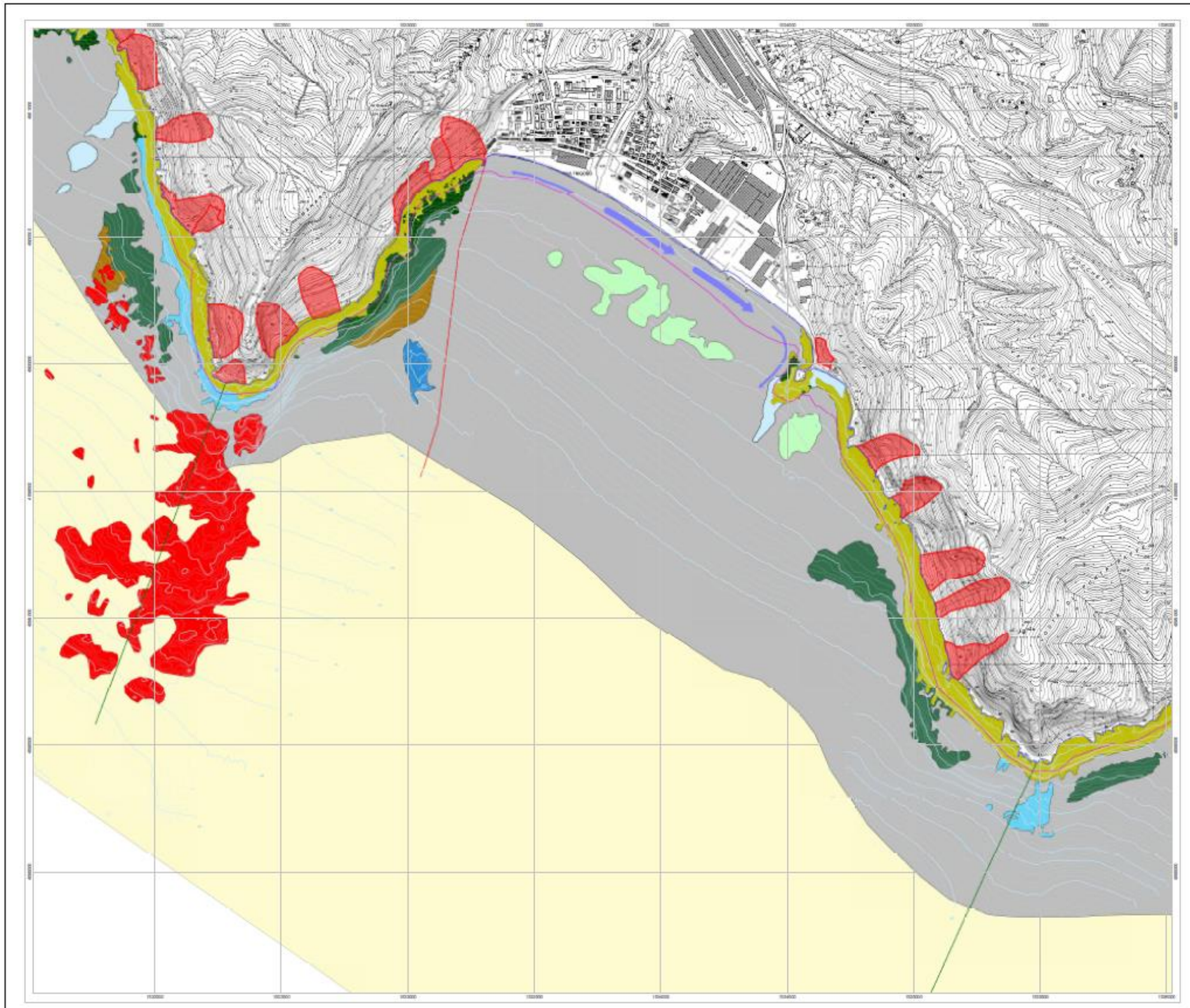
6. EVOLUZIONE SPIAGGIA EMERSA E SOMMERSA

Nel PTAMC è stato analizzato il bilancio sedimentario dell'intera spiaggia di Riva Trigoso, concludendo che

- l'alimentazione della spiaggia deriva parzialmente dalle frane costiere e in maggior parte dal trasporto solido del Torrente Petronio
- le frane costiere, non qualificabili in termini di volume, sono riferibili peraltro a materiale molto grossolano, come dimostrano i depositi sommersi alla base della falesia presenti sino a profondità -10.00 ml;
- il contributo del Torrente Petronio è stimabile attorno a 3000 - 5000 mc/anno, e, pertanto, rappresenta una frazione molto ridotta del volume totale di spiaggia.

Lo stesso PTAMC, pur concludendo con un sostanziale giudizio di stabilità della spiaggia, emersa e sommersa, indica nella tavola C05 (carta di sintesi dei processi costieri) la direzione del trasporto litoraneo in senso NW → SE, con l'evidenza di una *rip-current* nell'immediato ponente del promontorio di chiusura della spiaggia in corrispondenza dello scoglio Asseu (si veda figura nella pagina seguente). Mentre anche i rilievi 2018 confermano la presenza di una via di fuga dei materiali dalla spiaggia sommersa (profondità di chiusura stimata -5/-7 ml per T_R = 1 anno e -11/-12 per T_R = 50 anni) la linea molto regolare della battigia nelle varie epoche di rilievo non può attribuire alla corrente litoranea (*long-shore current*) la responsabilità di valori importanti di deficit sedimentario, considerata la sostanziale stabilità globale. È indubbio che il canyon di levante (il PTAMC ne segnala un altro modesto di origine artificiale, davanti al cantiere navale) rappresenta il destino finale del trasporto che dalla foce del Petronio raggiunge l'area di Renà; peraltro il notevole valore della profondità di chiusura sembra garantire un sostanziale clima conservativo del materiale di spiaggia, anche se fondato su movimenti di ritorno assai lenti poiché costretti su profondità e distanze sensibili. Gli stessi orientamenti dei piani d'onda riportati nel capitolo 5 confermano l'evidenza di un equilibrio dinamico della spiaggia fondato sui equilibri trasversali come meglio descritto al successivo capitolo 8.

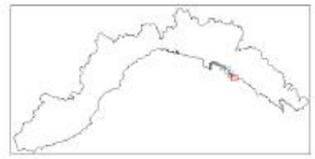
I moti trasversali della *rip-current* evidenziati nei grafici divengono peraltro longitudinali per il litorale ai piedi dell'ex tracciato ferroviario sino allo scoglio Asseu: all'importante energia residua dei moti ondosi corrisponde la capacità di movimentare materiali di notevoli dimensioni, i cui residui costituiscono la spiaggia locale. Per ridurre gli elementi costitutivi della spiaggia, almeno a ghiaie medio-grandi, è evidentemente necessario introdurre un elemento che attenui l'onda incidente, causandone il frangimento ben prima che raggiunga la linea di battigia, e che nello stesso tempo impedisca, almeno parzialmente, il flusso della *rip-current*.



DIPARTIMENTO AMBIENTE
SETTORE ECOSISTEMA COSTIERO

Piano di Tutela dell'Ambiente Marino Costiero
P15 Tiguillo - Punta Manara

C05
Carta di sintesi dei processi costieri



	Scala 1:5000	Unità Fisiografica: *Riva Trigoso (fi.24)* Paraggio: *Riva Trigoso (fi.18)*

Legenda

- Limiti Paraggi Costieri
- Linee isobatimetriche (2008)
- Linea di riva attuale
- Flusso sedimentario principale
- Flusso sedimentario secondario
- Condotte attive
- Condotte di emergenza
- Linea cumulata frangimento Tr = 1 anno
- Linea cumulata frangimento Tr = 50 anni
- Frane costiere
- Alghi fotofili infralitorali di substrato duro
- Alghe sciafile circalitorali
- Alghe sciafile infralitorali
- Coralligeno
- Prato di Cymodocea nodosa
- Fondi detritici costieri
- Fondi detritici infangati
- Fanghi costieri
- Popolamenti delle grotte semioscure ed oscure
- Matte morta di Posidonia oceanica
- Formazioni a mosaico di Posidonia oceanica viva e matte morta
- Formazione mista di Posidonia oceanica e Caulerpa taxifolia
- Posidonia oceanica tra e su rocce
- Prateria di Posidonia oceanica
- Ambiente portuale
- Sedimenti grossolani
- Sabbie litorali

7. MAREGGIATA OTTOBRE 2018

La mareggiata del 29/30 ottobre 2018 ha determinato effetti sul litorale non riconducibili alla memoria d'uomo. Non ci addentriamo in valutazioni quantitative ancora oggetto di studi ed approfondimenti anche da parte degli istituti universitari; segnaliamo peraltro due caratteristiche della mareggiata, riconducibili ad un unico elemento:

A) l'eccezionale, non sperimentata, sopraelevazione del livello medio mare connessa con le condizioni di marea e di vento (quest'ultimo di intensità e velocità eccezionale) tutte confluenti in un'unica direzione di aumento del livello medio mare

B) le importanti (ma non eccezionali come A) caratteristiche dell'onda al largo.

Come sopra riportato la capacità distruttiva dell'evento è riconducibile peraltro ad uno solo dei due elementi ovvero al punto A). Infatti, l'onda che raggiunge la costa, è limitata dagli effetti del frangimento che ne riducono altezza ed energia. Il frangimento è peraltro collegato al dislivello tra il livello medio mare ed il fondale; nell'occasione questo dislivello è cresciuto con valori percentuali molto alti, e l'onda che ha raggiunto la costa senza frangersi è stata sensibilmente più importante. Così pure l'evoluzione dell'onda si è sviluppata su uno specchio acqueo più alto che si è avvicinato alle opere urbane e di difesa(sempre per la sopraelevazione del livello medio mare) con effetti distruttivi mai visti.

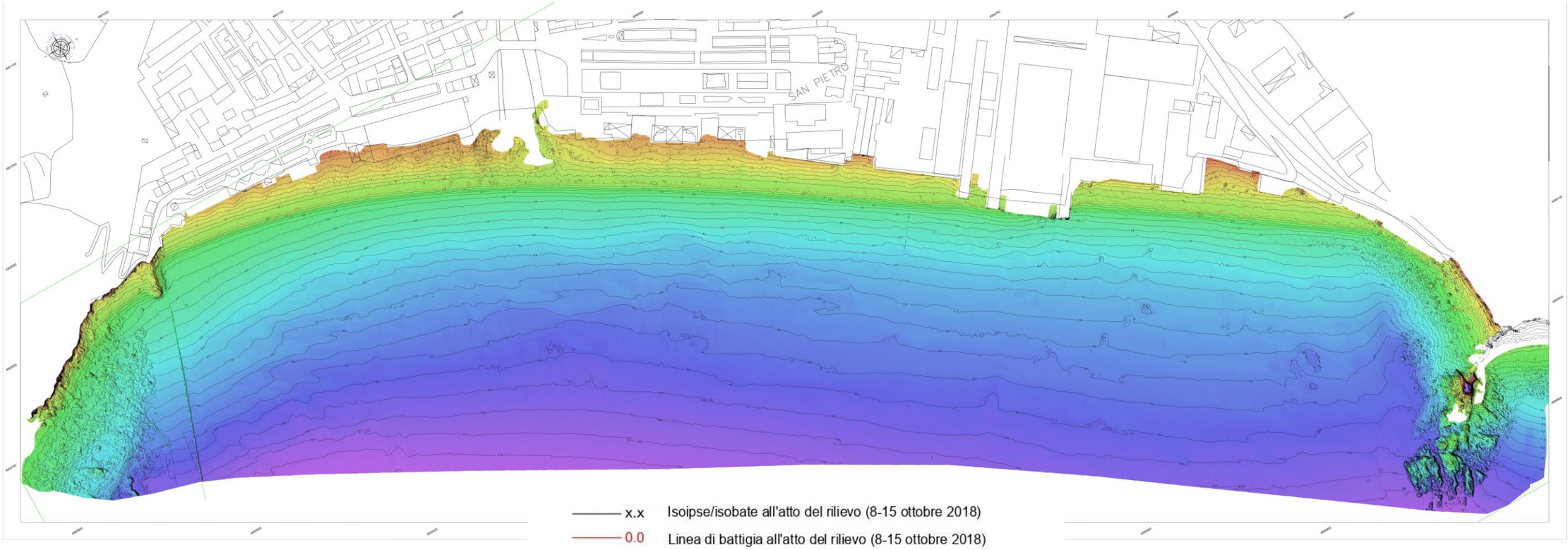
Segnaliamo in particolare:

- erosione in corrispondenza del tratto di Via Vespucci a sud est dell'hotel Quattro Venti con messa a nudo delle fondazioni stradali;
- danneggiamento del muro in massi naturali a sostegno del terrapieno ludico;
- sifonamento del terrapieno – piazzale parcheggio moto;
- sgrottamenti e danni sulle scarpate sottostanti l'ex tracciato ferroviario, oggi sede della S.P.

8. DESCRIZIONE ED EFFETTI DELLE OPERE FISSE ESISTENTI IN RENÁ

Le batimetriche nella spiaggia sommersa e nei fondali antistanti si presentano generalmente parallele alla battigia in tutto lo sviluppo litoraneo di Riva Trigoso, salvo in prossimità dello scoglio Asseu, ove si evidenzia un canyon in cui possono scorrere le *rip-currents* che tormentano la stabilità delle opere costiere aderenti a protezione della ex linea ferroviaria. È sorprendente osservare il parallelismo delle batimetriche pur in presenza di opere invasive del litorale quali il cantiere navale di Fincantieri, che si spinge in mare con strutture fisse fondate su grandi pali in conglomerato cementizio.

RILIEVO BATIMETRICO



L'insolita regolarità della linea di battigia dimostra che l'equilibrio dinamico della spiaggia è affidato soprattutto al trasporto trasversale alla costa, mentre quello longitudinale è quasi ininfluente sulla morfologia dell'arenile.



Anche i fisiologici arretramenti ed avanzamenti della battigia avvengono parallelamente ad una linea che non ha mutato la sua direzione nel corso della storia del paraggio. In tale scenario riveste molta importanza la forma e la tipologia delle opere costiere che costituiscono la linea inerodibile del litorale. Riportiamo l'elenco indicato nel PFTE, segnalando le opere sulle quali si è agito con gli interventi urgenti successivi alla mareggiata 29/30ottobre 2018:

- **A)** un muro cementizio parallelo per il contenimento del terrapieno di deposito per le piccole imbarcazioni (già sede delle fondamenta di un edificio industriale);
- **B)** un muro cementizio (in prosecuzione del precedente) perpendicolare alla battigia, anch'esso dedicato al contenimento del terrapieno di deposito per le piccole imbarcazioni (parzialmente ripristinato in s.u.);

C) una scarpata parallela in materiale sciolto molto compatto, con naturale pendenza intorno a 1,5/1 2/1, alla sommità del quale un modesto cordolo cementizio confina con la strada asfaltata (Via Vespucci). Non è una vera e propria opera, ma la sua compattezza le dà caratteristiche statiche importanti che hanno retto a sensibili sollecitazioni. Nel corso della mareggiata del 29/30 ottobre 2018 è stata erosa per circa 25 ml nella sua parte più orientale, il cordolo è crollato sul vuoto che si è creato ed il manto asfaltico è rimasto a sbalzo per una striscia di circa 50 cm.

In un immediato intervento di somma urgenza l'Amministrazione Comunale ha protetto la residuale parete sotto l'asfalto con un'impilata di massi cubici cementizi di lato circa 80 cm su cinque strati, seguiti da una scogliera bassa ed allungata posata a quota medio mare e di ampiezza ml 5,00 ed altezza ml 2,00 estesa ai 25 ml di fronte;

D) una scogliera perpendicolare in massi talvolta squadrati di marmo di Carrara (scarti di lavorazione delle cave) a contenimento di un terrapieno destinato ad attività ludiche (eliminata in s.u.);

E) una scogliera parallela identica alla precedente ed in posizione molto avanzata rispetto al resto delle opere fisse latistanti; ancora a contenimento del terrapieno ludico (arretrata in s.u.);

F) un'ulteriore scogliera in blocchi di marmo, su una linea sinuosa, per un tratto (eliminato in s.u.) perpendicolare e poi raccordato, con una curva ad ampio raggio, ad un ulteriore tratto parallelo, a contenimento del terrapieno ludico e di un piazzale destinato sia a parcheggio per mezzi a due ruote sia a sedime di due volumi di tipo balneare in legno. La scogliera parallela termina con un profilo decrescente dietro il quale è stato ricavato un ripido scivolo di accesso alla spiaggia.

Le scogliere D E F sono parzialmente state seriamente danneggiate durante la mareggiata del 29/30 ottobre 2018. In particolare è crollata la parte più arretrata della D, la parte centrale della E e alle spalle della F, in corrispondenza del parcheggio per moto, il terrapieno è stato sifonato con la formazione di due ampi crateri.

Come già per la scarpata C, l'Amministrazione Comunale è intervenuta in somma urgenza: poiché è risultato che il materiale di riempimento del terrapieno aveva contenuti inquinanti non compatibili né con la destinazione urbana ludica né con la spiaggia destinata alla balneazione, il terrapieno è stato svuotato ed il materiale cavato è stato inviato a discarica, mentre la scogliera di contenimento è stata arretrata, ed è divenuta sostegno della sede stradale retrostante (ancora Via Vespucci);

G) un alternarsi di scogliere aderenti a diverse quote, a sostegno della strada provinciale (ex sede ferroviaria) alternate a muri cementizi; la fragilità dell'insieme di fronte alle mareggiate ha indotto in passato alla realizzazione di una barriera di pali tipo berlinese con cordolo cementizio, a monte di tutte le difese in massi già esistenti, che si sviluppano per tutto il tratto sino ad incontrare il promontorio ove la strada si immette in galleria;

H) dopo l'ultimo elemento di conglomerato posato sui massi progressivamente sempre meno strutturati, il litorale collinare a pareti alte e verticali si adagia su una spiaggia di ciottolame di importanti dimensioni, appoggiato su una distesa disordinata di massi sparsi che occupano anche, semisommersi, il mare antistante;

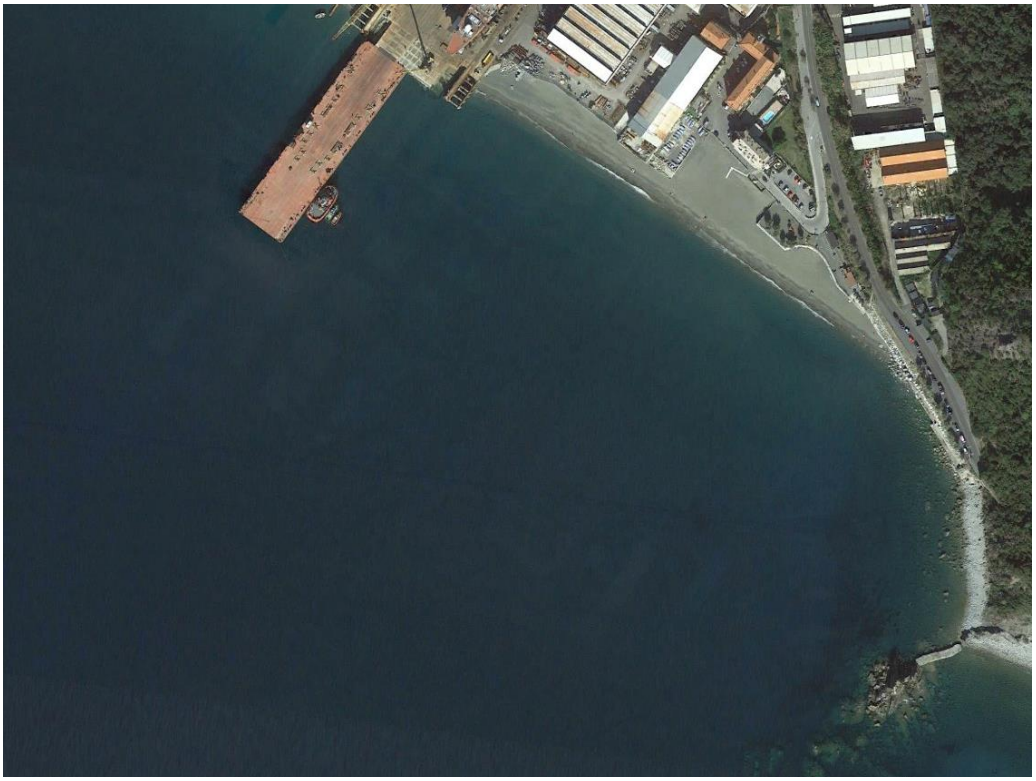
I) la spiaggia ciottolosa aggira il capo, ma è interrotta sulla punta dello stesso con una fila di massi di notevoli dimensioni, colleganti la costa con lo scoglio Asseu; la parte terminale del collegamento è stata superficialmente cementata.



Evidentemente la zona litoranea più in crisi è quella a levante della spiaggia sabbiosa; talvolta (esempio 2003) la battigia è avanzata sino a coprire gran parte delle opere in massi di protezione.



Normalmente invece la spiaggia si limita 50 ml più a ponente.



È altresì chiaro, ripetiamo, che la presenza del cantiere di Fincantieri non crea squilibri tra ponente e levante delle strutture: gli scenari si alternano.



Google Earth 2018



Google Earth 2017



Google Earth 2009

È altrettanto evidente che tutte le opere di difesa e sostegno esistenti in Renà non influiscono sul disegno planimetrico della spiaggia, se non aggravando i processi erosivi in corso di mareggiata, per l'effetto riflettente delle opere investite dall'onda. La mareggiata dell'ottobre 2018 è stata caratterizzata da un'insolita sopraelevazione del livello medio del mare (circa 1 ml, più o meno, a seconda delle zone liguri).

Conseguentemente le onde, più alte e cariche di energia perché meno frangenti, hanno raggiunto la opere (praticamente verticali) sulle quali l'energia si è riflessa totalmente, creando effetti erosivi generali e soprattutto al piede delle opere stesse, che sono collassate. Nelle varie fasi della mareggiata i tratti di opere perpendicolari alla costa hanno riflesso l'energia delle onde inclinate rispetto al litorale, indirizzandole verso le opere parallele retrostanti, che sono collassate pur essendo molto distanti dalla battigia.

La parte litoranea urbana di Renà è generalmente a quota + 5,00 sul l.m.m. La spiaggia ha una forma triangolare, la cui ampiezza varia da un massimo

intorno a 60 ml a ponente sino a 0 ml a levante; un piccolo tratto antistante i cantieri ed il deposito barche si estende per circa 15 ml.

La spiaggia non raggiunge mai la quota + 5,00 verso monte; interventi manutentivi artificiali peraltro riescono normalmente a raccordare la strada con l'arenile sottostante. Durante le mareggiate più intense questi raccordi vengono generalmente erosi e la spiaggia si abbassa tanto più quanto gli effetti erosivi ai piedi delle opere a parete verticali scavano in corrispondenza delle stesse: la gradualità delle pendenze ai bordi di tali zone crea ampi effetti erosivi anche ai lati, per cui tutta la spiaggia perde volume e le onde riescono ad avanzare su tutto il fronte della spiaggia.

In sintesi: la verticalità delle opere esistenti ha creato riflessione ed è causa di effetti erosivi. L'opera più avanzata (terrapieno ludico) ha creato erosioni più frequenti estese comunque ai lati.

La zona di levante, dove la spiaggia fine non si forma mai, è instabile, nonostante le importanti opere di contenimento realizzate in passato.

Lo spiaggione retrostante lo scoglio Asseu è formato da grossi ciottoli e non da sabbia.

Le analisi effettuate nel corso della elaborazione del progetto non hanno mai evidenziato un nesso di causalità tra le opere arginali realizzate (1996) alla foce del Torrente Petronio e gli eventi erosivi in Renà. La morfologia della barra fociva e le collegate deviazioni del ramo focivo del torrente non possono aver alterato (e non alterano tutt'ora) il regime di trasporto solido ricadente in Renà; la ridotta meandrizzazione della foce non influisce e non ha influito sulla morfologia delle isobate locali ed in particolare di quelle antistanti la spiaggia di Renà. Inoltre è evidente che maggiori effetti di trasporto solido avvengono durante le piene del torrente, quando (argini presenti o assenti) lo sbocco a mare avviene in asse con la direzione dell'alveo più a monte. Pertanto riteniamo che la realizzazione dei suddetti argini non abbia modificato e non modifichi il regime del trasporto solido riguardante Renà.

Così pure, come già illustrato alle pagine precedenti, la progressione delle opere a mare di Fincatieri non ha provocato (ad oggi) squilibri longitudinali sull'arenile.

I rilievi confermati con la più recente campagna 2018 evidenziano invece una notevole fragilità degli equilibri nella parte più orientale del golfo dove si sono creati naturalmente *canyons* trasversali percorsi da *rip-currents* e saltuaria perdita di materiale, non compensata dagli apporti del T. Petronio. E' pur vero che la profondità di interscambio tra la spiaggia sommersa ed emersa (profondità di chiusura) è notevole ma eventuali anomale frequenze degli eventi possono impoverire il bilancio sedimentario con perdite definitive oltre lo scoglio Asseu; uno sbarramento ai moti trasversali in quella zone potrebbe positivamente intervenire sulla conservazione locale del materiale, sull' innalzamento locale dei fondali e conseguentemente sulla stabilità della fascia litoranea ai bordi dell'ex sede ferroviaria.

9. OBIETTIVI DEL PROGETTO

Il PFTE ha analizzato gli equilibri dinamici che si sviluppano sulla spiaggia di Renà, evidenziando i seguenti fattori:

- la spiaggia di Renà avrebbe potuto conservare una storica stabilità se non fosse stata alterata da opere fisse artificiali collegate all'urbanizzazione del sito; queste opere, generalmente ininfluenti in regime di agitazioni meteo marine rientranti "nella norma", divengono elementi dirompenti durante eventi più importanti, per l'alta capacità di riflessione dell'onda incidente. Ne conseguono, oltre a danneggiamenti delle stesse opere, una massiva erosione del materiale sabbia, con passaggio alla spiaggia sommersa ed al canyon di levante, dal quale possono uscire anche con forte energia, ed essere spinte su profondità dalle quali il ritorno è estremamente lento, non compatibile con il tempo di ritorno degli eventi (la successiva mareggiata arriva prima che la spiaggia si sia totalmente riformata). Le modifiche del clima, evidenziate negli studi recenti più accreditati, possono contribuire ad un apparente peggioramento delle condizioni di equilibrio della spiaggia;
- la zona più orientale della cella litorale di Riva Trigoso è stata nel tempo (presenza della linea ferroviaria ed interventi di protezione relativi) oggetto di realizzazione di opere artificiali longitudinali aderenti incapaci di garantire stabilità, poiché rigide e riflettenti; esse hanno richiesto frequenti interventi manutentivi, sempre più importanti, culminati con la realizzazione di una palificata berlinese. La spiaggia della zona è sparita e ciò che sono rimasti massi semisommersi ed una distesa di ciottolame grossolano. Talvolta gli effetti al contorno di un tale scenario si estendono alla spiaggia sabbiosa di Renà.

Appare chiaro pertanto che l'obiettivo principale del progetto, ovvero la stabilità della spiaggia di Renà, si possa raggiungere coinvolgendo anche la zona di sud-est, che evidentemente appartiene al sistema spiaggia e non è una realtà a sé stante. Per questo il PFTE ha indicato soluzioni per il tema delle opere di protezione della zona urbanizzata (lato centro – ponente) ed una

nuova tipologia di protezione della zona di sud-est, fondata su equilibri affidati a processi naturali conseguenti ad interventi artificiali, e non solo a questi ultimi.
La lettura degli elaborati del PTAMC ha evidenziato l'assenza di particolare interesse bionaturalistico della fascia di intervento; le analisi dirette e le valutazioni riportate nei vari elaborati, molto accurati sul tema, permettono di considerare il tema privo di problematiche, a patto di porre le usuali attenzioni sulla qualità dei materiali di ripascimento (caratteristiche chimico/batteriologiche e granulometria a minimo tenore di pelite), alle caratteristiche dei massi ed alla tipologia delle lavorazioni(evitare piste emerse o sommerse in materiale lapideo diverso da quello di ripascimento).
Cosi pure la natura della spiaggia e dei fondali (sabbie, ghiaie, ciottoli, massi) garantisce idonee caratteristiche geologiche e geotecniche dei siti di impianto delle opere, valutabili dal raffronto con gli stati manutentivi delle preesistenze, anche urbane.
Tutte le opere a terra sono previste su aree ed a quote già più volte visibili in passato dove non sono emersi elementi di interesse archeologico.
Le superfici coperte dalle opere in mare potranno essere oggetto di valutazioni dirette in corso d'opera

10. ALTERNATIVE PROGETTUALI INDICATE DAL PFTE

Il PFTE ha offerto una serie di soluzioni al tema della stabilità della spiaggia di Renà:

a) Sistemi di difesa aperti

- Successione di pennelli con riduzione della lunghezza delle celle costiere: la ridotta efficacia del trasporto long-shore sconsiglia la soluzione; la posizione dell'unico fornitore di materiale naturale (T. Petronio) la rende improponibile;
- Elementi di barriera sommersa od emersa paralleli alla battigia, con ampie aperture divisorie; senza considerare la difficoltà di una tale soluzione per la presenza di Fincantieri, un tale intervento non è evidentemente necessario in corrispondenza della spiaggia del centro; il profilo trasversale della spiaggia sommersa impone volumi delle opere sproporzionati agli effetti raggiungibili sia per le profondità di imbasamento delle opere, sia per la necessità conseguente di ampiezza della parte emersa o semisommersa, correlata con la capacità del sistema di indurre idonei frangimenti dissipativi dell'energia dell'onda. Il sistema inoltre, pur in quantità minori di quello descritto al punto successivo, crea un sovralzo locale del pelo libero, e induce correnti trasversali erosive in occasione di eventi estremi. Nei confronti del ripascimento (da realizzare comunque in contemporanea alle opere fisse) il sistema si comporta come semichiuso;
- Ripascimenti ed eventuali opere isolate locali emerse o sommerse; è la soluzione proposta dal progetto e descritta al paragrafo seguente;

b) Sistemi di difesa chiusi

- Riteniamo di rappresentarli tutti con una barriera longitudinale continua in massi naturali estesa a tutto il litorale; anche questo scenario non si coniuga con la presenza di Fincatieri. Inoltre si tratta di una artificializzazione totale del littorale, dove i movimenti del

trasporto solido restano confinati all'interno del sistema, salvo il caso di fuoriuscite provocate da eventi di mareggiata, senza più possibilità di alcun ritorno.

Anche in questo caso le profondità locali impongono volumi sproporzionati delle opere, ed il sistema, più di qualsiasi altro, ha costi gestionale altissimi.

La qualità delle acque risente del confinamento.

c) Sistemi misti di difesa e ripopolamenti ittico.

- La realizzazione in mare di opere di difesa offre la possibilità di creare spazi idonei all'insediamento di organismi bentonici di assoluto interesse naturalistico, con favorevoli ricadute anche sul turismo specializzato.

  Pertanto, nell'attuale progettazione di opere costiere, è opportuno verificare la possibilità di inserirvi modelli di ripopolamento ittico (ne esistono molti in commercio e comunque possono essere a loro volta progettati con forme e materiali innovativi).

11. INDICAZIONI DI PROGETTO DEL PFTE

Il PFTE ha considerato:

- stato attuale ante ottobre 2018
- stato attuale post ottobre 2018, ad opere di somma urgenza realizzate traguardando lo scenario definitivo.

Nel dettaglio le differenze tra la situazione pregressa e quella attuale è costituita da:

- danneggiamenti alla parte più esposta della struttura di contenimento del terrapieno di deposito delle piccole imbarcazioni
- struttura di sostegno in blocchi cubici cementizi con antistante berma in massi lapidei, per 25 ml, immediatamente a levante dell'Hotel Quattro Venti
- eliminazione del terrapieno ludico ed arretramento della scarpata in massi a difesa di via Vespucci
- danneggiamenti alla rampa di discesa a mare a levante dei chioschi nel parcheggio moto
- volume di spiaggia ridotto nonostante un ripascimento stagionale di circa 2500 + 2000 = 4500 mc di sabbie provenienti dalla barra di foce del Torrente Petronio
- danneggiamenti e sgrottamenti sul filo stradale a ponente della spiaggia verso la galleria, sistemati con la formazione di una scarpata in ghiaia















Il PFTE ha individuato una serie complessa di interventi:

A) Scogliere di protezione delle aree urbanizzate

Fanno parte di questo tema, procedendo da ponente verso levante:

A1) la scogliera curvilinea a protezione del terrapieno di deposito delle piccole imbarcazioni, sviluppata sul dislivello +4,50/0,00 ml con berma sommitale di ampiezza 1,00 ml e pendenza media di scarpata 3/2. I massi di mantellata sono previsti di terza categoria, con media > 5,00 ton, disposti "a mosaico" in berma ed "alla rinfusa" in scarpata. L'andamento curvilineo è spezzato in più parti avanzate di un metro l'una rispetto all'altra nel verso W → NE, con lo scopo di rallentare il moto ondoso radente. La lunghezza totale in sommità è pari a circa ml 40 ;

A2) la scogliera parallela di ponente a protezione della scarpata naturale che sostiene via Vespucci, nella parte antistante l'Hotel Quattro Venti, è anch'essa sviluppata sul dislivello di +4,50/0,00 ml con berma sommitale di ampiezza 1,00 ml e pendenza di scarpata 3/2. I massi di terza categoria (media > 5,00 ton) disposti "a mosaico" in berma ed "alla rinfusa" in scarpata. Il nucleo è composto dal materiale compatto in scarpata preesistente. La lunghezza totale in sommità è pari a circa ml 40 ;

A3) opera esistente: paramento verticale in blocchi cementizi cubici di lato circa 0,80 ml, disposti su 5 corsi, protetto da una berma in massi sviluppata sul dislivello +2,00/0,00 ml di ampiezza ml 5,00 e scarpata 3/2, in massi di marmo di Carrara di varia categoria recuperati in spiaggia in esito al crollo delle opere preesistenti; opera da realizzare: ulteriore scarpata in massi di terza categoria tra la quota 4.00/+2,00, con berma di ml 1.00 e scarpata 3/2. La lunghezza dell'opera in sommità è di circa 25,00 ml;

A4) opera esistente, scarpata in massi di marmo di Carrara recuperati come sopra, scelti tra quelli di maggior peso ed incrementati per circa 10/15% con nuove forniture. La scarpata, sviluppata tra le quote +5,00/0,00 ml, ha pendenza 1/1. I massi, squadrati ed a facce

tendenzialmente parallele, sono stati posati sul materiale sciolto bonificato del preesistente terrapieno, con interposizione di robusto geotessuto permeabile. La lunghezza totale in sommità è pari a circa 35.0 ml. In sommità è stata lasciata una striscia sommitale in terreno di ampiezza 1 metro lineare, che sarà infiorita con piantumazione di oleandri monocolore(la scarpata sarà proseguita per ulteriori 15 ml sulle fasi progettuali successive);

A5) l'area destinata a parcheggio moto e che ospita due volumi in legno è sostenuto da un paramento lapideo verticale realizzato con blocchi di marmo di Carrara. La mareggiata del 29/30 ottobre non lo ha danneggiato (salvo sifonamenti posteriori) e pertanto il progetto prevede un rinforzo con una scarpata in massi sviluppata sul dislivello di +3.00/0.00 con berma sommitale di ampiezza 1.00 ml e pendenza scarpata 1/1, massi di III° categoria. La lunghezza totale è di circa 50.00 ml (vedi anche punto A4 opere da realizzare).

A6) in esito ai danneggiamenti della mareggiata sono previsti, ed erano ancora in corso all'atto della stesura del PFTE, alcuni modesti interventi di ripristino puntuale delle pareti sovrapposte in massi (ed intercalate a muro cementizio) a sostegno dell'ex sede ferroviaria (oggi percorso stradale) per altro già protette in passato da una palificata berlinese. Si tratta di versamenti di ghiaia (in parte già realizzati), di riposizionamenti di massi e ripristino del parapetto in legno. Anche la rampa in cemento esistente deve essere ripristinata.

B) Opere di difesa a mare

Sono previste due opere in massi disposte in mare e staccate dalla battigia, in guisa di "secche" artificiali semisommerse (berma superiore a quota 0,00 ml sul l.m.m.) di misure:

B1) secca di ponente, ampiezza berma 10,00 ml, lunghezza berma 40.00 ml, pendenza scarpata interna 2/1, pendenza scarpata esterna 3/1, fondata su profondità variabile da – 4.00 a -6.00 , costituita da nucleo in scapoli, massi di prima e seconda categoria, e mantellate di quarta categoria, disposti "alla rinfusa";

B2) secca di levante, ampiezza berma 10,00 ml, lunghezza berma 20.00 ml, pendenza scarpata interna 2/1 , pendenza scarpata esterna 3/1, fondata su profondità variabile da -3.00 a – 6.00 ml, costituita da nucleo in scapoli, massi di prima e seconda categoria, e mantellate in massi di quarta categoria, disposti "alla rinfusa".

Opere da realizzare:

C) Ripascimenti

I ripascimenti sono suddivisi in due categorie:

C1) ripascimento della spiaggia in sabbia ghiaia esistente, compresa tra gli edifici del cantiere navale e le pareti in massi a sostegno stradale: globalmente sono previsti 25.000 metri cubi di materiale, suddiviso in doppia granulometria

- pesante (15/30 mm) verso mare per totale metri cubi 10.000
- più leggero (0,5/1 mm) internamente alla battigia, per totali metri cubi 15.000.

  In allegato alla presente relazione è riportata la modellazione riguardante le operazioni di ripascimento, rapportata anche allo stato attuale e nella quale sono affrontati i temi dei profilo di equilibrio della spiaggia emersa e sommersa. Lo studio comprende anche l'evoluzione dell'onda verso costa con approfondimento, a maglia ridotta, del tema da profondità -10 sino alla spiaggia.

C2) versamento a formazione di spiaggia in ghiaia in posizione protetta dalle due secche, distesa con tendenza a "tombolo" sul litorale attualmente ciottoloso antistante alle pareti in massi a sostegno stradale ed ai piedi dell'elevazione collinare del promontorio terminante con lo scoglio Asseu. La granulometria prevista è di 15/30 mm per un quantitativo di 20.000 metri cubi.

D) Opere complementari

D1_Rampe

Pur nella stesura di fattibilità tecnico-economica il progetto si fa carico di individuare le tipologie di opere ed interventi necessari ed opportuni per la piena fruizione del compendio urbano/spiaggia. L'importante dislivello esistente tra i piani urbanizzati (variabile intorno a +5,00) e la spiaggia impone (oltre all'inserimento nell'arredo urbano di sistemi tattili *Loges*) la realizzazione (già preesistente) di rampe di accesso, sviluppate su pendenze idonee all'utilizzo da parte di soggetti con disabilità. Evidentemente le rampe devono raggiungere livelli inferiori che sono variabili in rapporto allo stato manutentivo della spiaggia. Sulla base delle osservazioni successive all'evento di mareggiata di ottobre 2018, riteniamo che gli accessi debbano coprire almeno il dislivello +5,00/+2.00 m sul l.m.m.

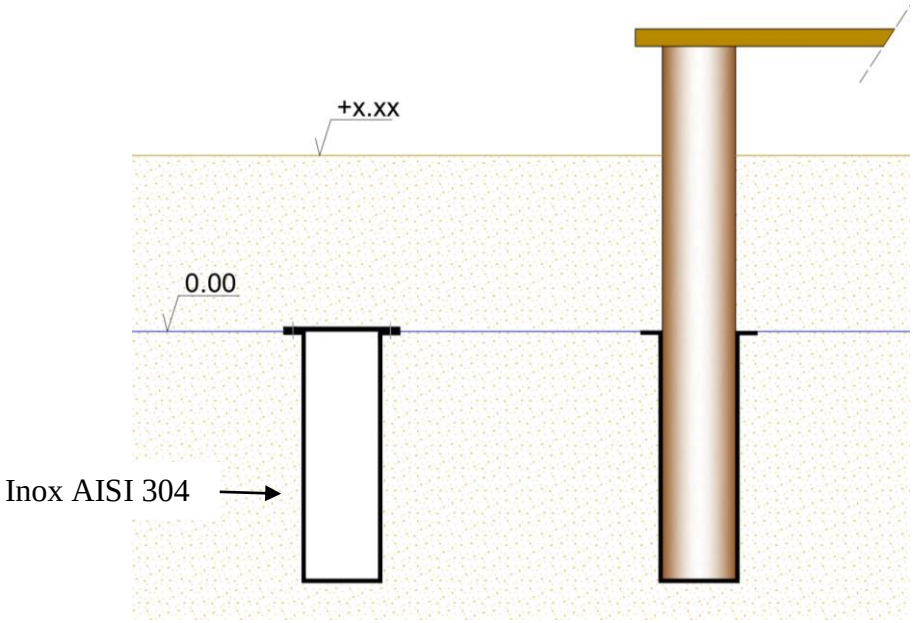
Pertanto, nel rispetto della pendenza massima dell'8%, con zone piane di sosta ogni 10 metri lineari, la lunghezza del percorso diviene:

$$(5{,}00 - 2{,}00) \times (100/8 + 2{,}00) = 43{,}50 \text{ ml}$$

Non esiste un tratto omogeneo di scarpata di lunghezza sufficiente per inserire sulla scarpata stessa il percorso (in guisa di risberma a quota variabile). Pertanto è necessario, in ogni caso, provvedere alla realizzazione di percorsi autonomi dalle strutture, o incisi nelle strutture per tratti ridotti. Per l'uso stagionale il PFTE ha previsto la realizzazione di percorsi in legno sostenuti su pali in legno o acciaio

- a levante al di sopra della ripida rampa cementizia esistente
- a ponente con percorso indipendente in corrispondenza dell'attraversamento stradale zebrato esistente.

Per semplificare le operazioni di montaggio e smontaggio stagionale, suggeriamo l'impiego di bicchieri tubolari fissi, inseriti in spiaggia sotto quota medio mare, e nelle scarpate in massi sino a quota di emersione, chiusi in inverno con flangia cieca bullonata, in acciaio inox Aisi 304, su cui fissare od

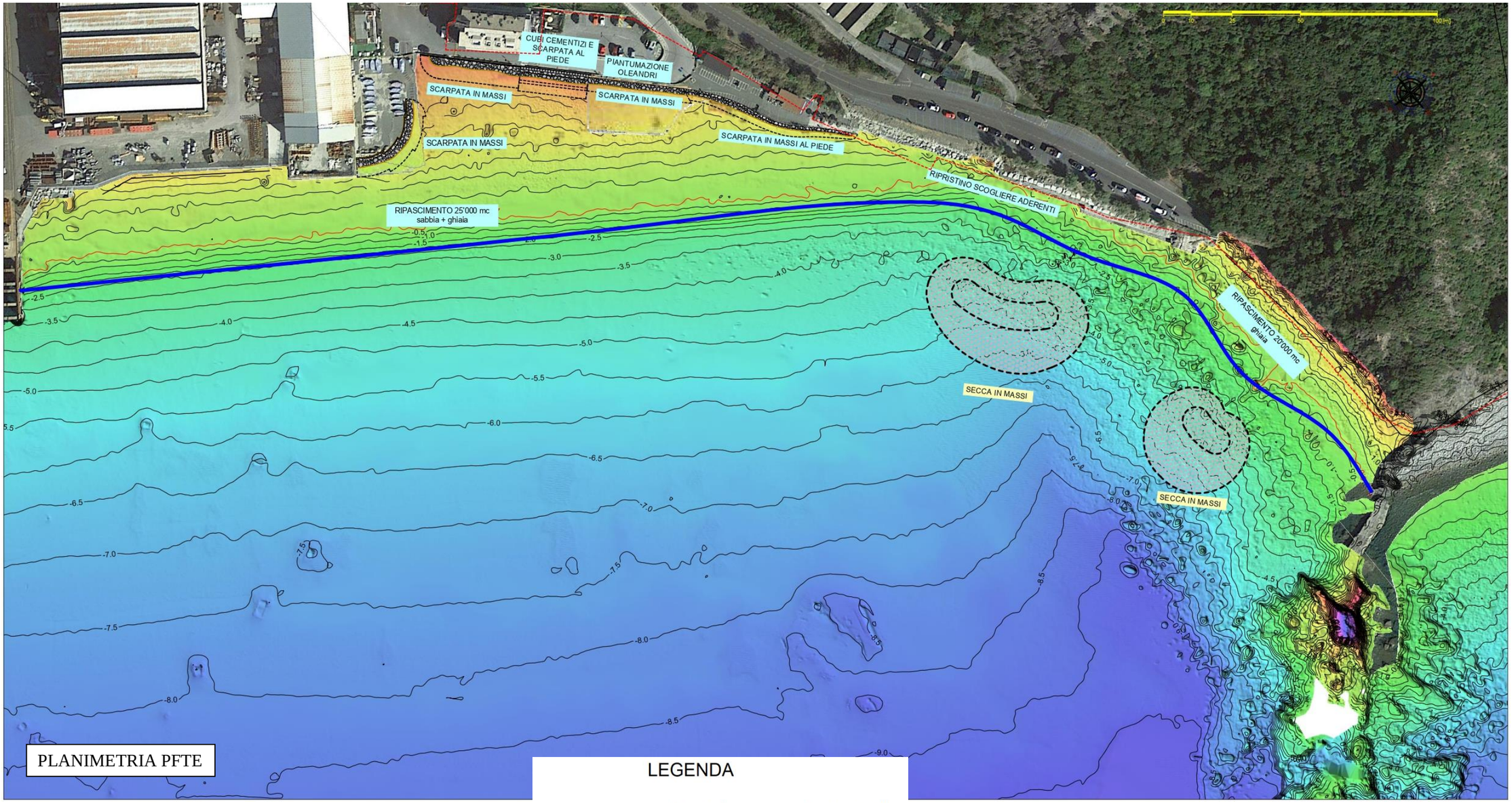


inserire i sostegni verticali delle strutture.

INVERNO **ESTATE**

D2_Dehors

Le scarpate in massi occupano superfici inutilizzabili per il soggiorno delle persone, e quindi perse alla pubblica e privata utilità; la maggior parte delle scarpate sono poste in aderenza alla strada carrabile, che rappresenta l'unica superficie piana della zona urbana. Suggeriamo pertanto la realizzazione stagionale (o permanente se opportuno) di *dehors* in legno a quota strada estesi sopra le scarpate e sorretti da elementi verticali fondati su bicchieri inox come quelli indicati per le rampe. L'estensione dei *dehors,* anche a più livelli, dovrà coniugarsi con l'uso pubblico e libero della spiaggia.



LEGENDA

- Isoipse/isobate all'atto del rilievo (8-15 ottobre 2018)
- 0.0 Linea di battigia all'atto del rilievo (8-15 ottobre 2018)
- Scarpata in massi di III° categoria
- Berma in massi di III° categoria
- Opera in massi di III° cat. sotto livello medio battigia
- Sistemazione con blocchi in calcestruzzo
- linea orientativa di battigia al versamento

12. INTERVENTI COMPRESI NEL PRESENTE PROGETTO DEFINTIVO

Nel progetto definitivo sono contenute parte delle opere già previste dal PFTE. Ovviamente, come già ricordato, il progetto definitivo si riferisce ad uno stato attuale nel quale le opere di somma urgenza sono state già realizzate (Vedi Tav.02); di tali opere è stata effettuata richiesta di autorizzazione ai sensi del regolamento 3/2007 in merito all'art. 109 D.Lgs. 152/06.

Gli interventi previsti nel progetto definitivo sono riferiti a 2 lotti di intervento:

<table>
<tr><td rowspan="8">LOTTO 1</td><td rowspan="8">INTERVENTI</td><td colspan="2">A1 completo</td></tr>
<tr><td colspan="2">A2 completo</td></tr>
<tr><td colspan="2">A3 completo</td></tr>
<tr><td colspan="2">A4 completo</td></tr>
<tr><td colspan="2">A5 completo</td></tr>
<tr><td colspan="2">C 1 : 12'000 mc di cui
- 33/50 granulometria 0.5/1.0 mm
- 17/50 granulometria 15/30 mm</td></tr>
<tr><td rowspan="2">In somme a disposizione</td><td>ASR</td></tr>
<tr><td>Accessi all'arenile</td></tr>
<tr><td colspan="4">Nel lotto 1 è prevista anche la riqualificazione di vegetazione pioniera e dunale in una area di Riva Trigoso (fuori ambito Renà). In tale area saranno posizionati cartelli informativi (riferiti al Piano di Tutela dell'Ambiente Marino costiero), in cui saranno rispettate le norme di cui all'art. 12 c.1, ovvero, in cui non saranno consentite le seguenti attività:
a) Ripascimento della spiaggia
b) Stoccaggio, prelievo, movimentazione dei sedimenti di spiaggia
c) Livellamento e riprofilatura della spiaggia
d) Vagliatura dei sedimenti di spiaggia
e) Costruzione di piste provvisionali di cantiere
f) Costruzione di manufatti stagionali non direttamente finalizzati alla salvaguardia degli habitat in oggetto
g) Posteggio barche, automobili o altri mezzi e materiali
h) Eliminazione della vegetazione spontanea tipica degli habitat in oggetto
i) Introduzione di specie vegetali esotiche ed invasive
j) Accesso a mezzi motorizzati</td></tr>
<tr><td rowspan="4">LOTTO 2</td><td rowspan="4">INTERVENTI</td><td colspan="2">A6 completo</td></tr>
<tr><td colspan="2">B1 secca di dimensione 10*25 ml con pendenza 2/1 e 3/1</td></tr>
<tr><td colspan="2">C2 6'000 mc granulometria 15/30 mm</td></tr>
<tr><td>In somme a disposizione</td><td>Demolizione di calcestruzzo di passaggio allo scoglio Asseu</td></tr>
</table>

13. RIEPILOGO COSTI DI INTERVENTO E PROGRAMMAZIONE

I costi di intervento sono determinati nel CME. Come già indicato nel PFTE gli interventi sono riuniti in blocchi di opere coerenti con le disponibilità finanziarie. Il progetto definitivo è orientato su un importo totale di € 1.900.000,00 suddiviso in:

1° lotto € 700.000,00

2° lotto € 1.200.000,00

QUADRO ECONOMICO		
A) LAVORI		
A1	**Totale lavori soggetti a ribasso**	**€ 1 207 339.80**
	Sicurezza	**€ 22 660.20**
	SOMMANO	**€ 1 230 000.00**
B) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE		
B1	Lavori in economia, previsti in progetto ed esclusi dall'appalto , ivi inclusi i rimborsi previa fattura (ASR, accessi all'arenile e demolizione calcestruzzo di passaggio allo scoglio ASSEU)	€ 70 000.00
B2	Rilievi, accertamenti, indagini e monitoraggi	€ 25 000.00
B3	Allacciamento ai pubblici servizi	€ 10 000.00
B4	Imprevisti	€ 63 759.20
B5	Acquisizione aree o immobili, servitù, occupazioni	€ -
B6	Accantonamenti	€ -
B7	Spese tecniche relative alla progettazione, alle necessarie attività preliminari, al coordinamento della sicurezza in fase di progettazione, alle conferenze di servizi, alla direzione lavori e al coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione, all'assistenza giornaliera e contabilità	€ 128 500.00
B8	Spese per attività tecnico-amministrative connesse alla progettazione, di supporto al responsabile del procedimento, e di verifica e validazione	€ 17 000.00
B9	Eventuali spese per commissioni giudicatrici	€ -
B10	Spese per pubblicità e, ove previsto, per opere artistiche	€ 8 000.00
B11	Spese per accertamenti di laboratorio e verifiche tecniche previste dal capitolato speciale d'appalto, collaudo tecnico amministrativo, collaudo statico ed altri eventuali collaudi specialistici	€ 18 000.00
B12	IVA sui lavori (22% di A)	€ 270 600.00
B13	CNPAIA (4% di B7)	€ 5 140.00
B14	IVA sui spese tecniche e CNPAIA (22% di B7+B13)	€ 29 400.80
B15	Importo relativo all'incentivo di cui all'articolo 113 del 50/2016 nella misura corrispondente alle prestazioni che dovranno essere svolte dal personale dipendente	€ 24 600.00
	TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE B)	**€ 670 000.00**
A) LAVORI		€ 1 230 000.00
B) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE		€ 670 000.00
	TOTALE INTERVENTO	**€ 1 900 000.00**

LAVORAZIONI LOTTO 1	IMPORTO	
1) SCOGLIERA CURVILINEA A PROTEZIONE DEPOSITO BARCHE	€	80 171.21
2) SCOGLIERA PARALLELA DI PONENTE A PROTEZIONE DI VIA VESPUCCI	€	37 057.79
3) SCARPATA INTEGRATIVA AL GIA' REALIZZATO PARAMENTO IN MASSI CUBICI CEMENTIZI E BERMA DI BASE IN MASSI	€	11 149.78
4) SCOGLIERA A SOSTEGNO DEL PARCHEGGIO	€	62 836.34
5) RIPASCIMENTO DELLA SPIAGGIA	€	172 991.55
6) CONFERIMENTO A DISCARICA E RELATIVI ONERI	€	96 116.10
TOTALE LAVORI SOGGETTI A RIBASSO	**€**	**460 322.77**
Sicurezza	€	12 463.11
SOMMANO	**€**	**472 785.88**

QUADRO ECONOMICO LOTTO 1			
A) LAVORI			
A1	**Totale lavori soggetti a ribasso**	**€**	**460 322.77**
	Sicurezza	**€**	**12 463.11**
	SOMMANO	**€**	**472 785.88**
B) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE			
B1	Lavori in economia, previsti in progetto ed esclusi dall'appalto , ivi inclusi i rimborsi previa fattura (ASR e accessi all'arenile)	€	20 000.00
B2	Rilievi, accertamenti, indagini e monitoraggi	€	-
B3	Allacciamento ai pubblici servizi	€	-
B4	Imprevisti	€	832.71
B5	Acquisizione aree o immobili, servitù, occupazioni	€	-
B6	Accantonamenti	€	-
B7	Spese tecniche relative alla progettazione, alle necessarie attività preliminari, al coordinamento della sicurezza in fase di progettazione, alle conferenze di servizi, alla direzione lavori e al coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione, all'assistenza giornaliera e contabilità	€	68 500.00
B8	Spese per attività tecnico-amministrative connesse alla progettazione, di supporto al responsabile del procedimento, e di verifica e validazione	€	2 000.00
B9	Eventuali spese per commissioni giudicatrici	€	-
B10	Spese per pubblicità e, ove previsto, per opere artistiche	€	1 000.00
B11	Spese per accertamenti di laboratorio e verifiche tecniche previste dal capitolato speciale d'appalto, collaudo tecnico amministrativo, collaudo statico ed altri eventuali collaudi specialistici	€	3 000.00
B12	IVA sui lavori (22% di A)	€	104 012.89
B13	CNPAIA (4% di B7)	€	2 740.00
B14	IVA sui spese tecniche e CNPAIA (22% di B7+B13)	€	15 672.80
B15	Importo relativo all'incentivo di cui all'articolo 113 del 50/2016 nella misura corrispondente alle prestazioni che dovranno essere svolte dal personale dipendente	€	9 455.72
	TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE B)	**€**	**227 214.12**
A) LAVORI		€	472 785.88
B) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE		€	227 214.12
	TOTALE INTERVENTO	**€**	**700 000.00**

LAVORAZIONI LOTTO 2	IMPORTO
7) RIPRISTINI PUNTUALI DELLE PARETI IN MASSI A SOSTEGNO DELLA STRADA PROVINCIALE SINO ALLA GALLERIA	€ 15 615.92
8) SECCA DI PONENTE	€ 619 073.00
9) RIPASCIMENTO ALLE SPALLE DELLA SECCA	€ 112 328.11
TOTALE LAVORI SOGGETTI A RIBASSO	**€ 747 017.03**
Sicurezza	€ 10 197.09
SOMMANO	**€ 757 214.12**

QUADRO ECONOMICO LOTTO 2			
A) LAVORI			
A1	**Totale lavori soggetti a ribasso**	**€**	**747 017.03**
	Sicurezza	**€**	**10 197.09**
	SOMMANO	**€**	**757 214.12**
B) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE			
B1	Lavori in economia, previsti in progetto ed esclusi dall'appalto , ivi inclusi i rimborsi previa fattura (demolizione calcestruzzo di passaggio allo scoglio ASSEU)	€	50 000.00
B2	Rilievi, accertamenti, indagini e monitoraggi	€	25 000.00
B3	Allacciamento ai pubblici servizi	€	10 000.00
B4	Imprevisti	€	62 926.49
B5	Acquisizione aree o immobili, servitù, occupazioni	€	-
B6	Accantonamenti	€	-
B7	Spese tecniche relative alla progettazione, alle necessarie attività preliminari, al coordinamento della sicurezza in fase di progettazione, alle conferenze di servizi, alla direzione lavori e al coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione, all'assistenza giornaliera e contabilità	€	60 000.00
B8	Spese per attività tecnico-amministrative connesse alla progettazione, di supporto al responsabile del procedimento, e di verifica e validazione	€	15 000.00
B9	Eventuali spese per commissioni giudicatrici	€	-
B10	Spese per pubblicità e, ove previsto, per opere artistiche	€	7 000.00
B11	Spese per accertamenti di laboratorio e verifiche tecniche previste dal capitolato speciale d'appalto, collaudo tecnico amministrativo, collaudo statico ed altri eventuali collaudi specialistici	€	15 000.00
B12	IVA sui lavori (22% di A)	€	166 587.11
B13	CNPAIA (4% di B7)	€	2 400.00
B14	IVA sui spese tecniche e CNPAIA (22% di B7+B13)	€	13 728.00
B15	Importo relativo all'incentivo di cui all'articolo 113 del 50/2016 nella misura corrispondente alle prestazioni che dovranno essere svolte dal personale dipendente	€	15 144.28
	TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE B)	**€**	**442 785.88**
A) LAVORI		€	757 214.12
B) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE		€	442 785.88
	TOTALE INTERVENTO	**€**	**1 200 000.00**

14. MONITORAGGI

La realizzazione di progetti di riassetto costiero necessitano, di norma, di opportuni monitoraggi finalizzati al controllo del comportamento del sistema litoraneo in esito alle modifiche nello stesso inserite.

Nel caso sarà di notevole importanza la verifica del comportamento delle agitazioni ondose sulle opere a scarpata inserite o modificate, a partire da quella più a ponente, perimetrale al deposito di imbarcazioni sino alla preesistente a sostegno del parcheggio di mezzi a due ruote e dei volumi in legno. Quest'ultimo tratto durante la mareggiata del 29/30 ottobre non è stato danneggiato, ma nel terrapieno retrostante si sono formati due crateri per evidente effetto di sifonamento, già accaduto in passato. L'eliminazione della morfologia trasversale nel terrapieno ludico dovrebbe attenuare gli effetti, e, per tale ragione, si è ritenuto di mantenere la struttura esistente con aggiunta di una protezione.

I monitoraggi dovranno inoltre verificare la stabilità dell'ampiezza di spiaggia e dei volumi di sabbia che la formano, fornendo indicazioni sulle più opportune azioni manutentive. Nel tratto più a levante, dove il progetto propone un sistema difensivo totalmente nuovo, formato da opere fisse non aderenti (secca) e da difesa morbida (ghiaie di ripascimento) il monitoraggio potrà fornire indicazioni soprattutto sulla correttezza dei volumi di materiale sciolto previsto, nonché sull'efficacia della sua granulometria.

Il monitoraggio, a nostro parere, dovrà essere esteso dalla radice di Punta Manara a quella di Punta Baffe e riguarderà principalmente la batimetria, le quote di spiaggia e la granulometria, estendendosi sino a profondità di -10. Non pare necessaria una particolare attenzione alle biocenosi, che presentano locali aree di interesse nelle alte profondità di Punta Manara e di Punta Baffe, oltre a qualche presenza di *Posidonia oceanica* al largo dello scoglio Asseu.

E' prevista la realizzazione di ripristino ambientale in zone più arretrate di spiaggia (regime normativo ASR, fuori area di Renà in Riva Trigoso)da concordare con il settore ecosistema costiero di Regione Liguria, dovrà essere individuato un opportuno protocollo di monitoraggio. Tutte le azioni saranno

peraltro individuate ed organizzate in condivisione con gli uffici del Settore Ecosistema Costiero regionale, in sede di progettazione esecutiva.

15. CRONOPROGRAMMA

Il progetto, ed i quadri economici conseguenti, indicano una successione di interventi funzionali ripartiti su due azioni. Per ciascuno di esse può essere tracciato un cronoprogramma, che ovviamente trova ancora validità ove i finanziamenti delle opere possono essere contemporanei.

CRONOPROGRAMMA PROGETTO DEFINITIVO (LOTTO 1 + LOTTO 2)												
LAVORAZIONI	**GIORNI**											
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
SCOGLIERA CURVILINEA A PROTEZIONE DEPOSITO BARCHE												
SCOGLIERA PARALLELA DI PONENTE A PROTEZIONE DI VIA VESPUCCI												
SCARPATA INTEGRATIVA AL GIA' REALIZZATO PARAMENTO IN MASSI CUBICI CEMENTIZI E BERMA DI BASE IN MASSI												
SCOGLIERA A SOSTEGNO DEL PARCHEGGIO												
RIPASCIMENTO DELLA SPIAGGIA												
RIPRISTINI PUNTUALI DELLE PARETI IN MASSI A SOSTEGNO DELLA STRADA PROVINCIALE SINO ALLA GALLERIA												
SECCA DI PONENTE												
RIPASCIMENTO ALLE SPALLE DELLA SECCA												
SICUREZZA												

LOTTO 1										
LAVORAZIONI	**GIORNI**									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
SCOGLIERA CURVILINEA A PROTEZIONE DEPOSITO BARCHE										
SCOGLIERA PARALLELA DI PONENTE A PROTEZIONE DI VIA VESPUCCI										
SCARPATA INTEGRATIVA AL GIA' REALIZZATO PARAMENTO IN MASSI CUBICI CEMENTIZI E BERMA DI BASE IN MASSI										
SCOGLIERA A SOSTEGNO DEL PARCHEGGIO										
RIPASCIMENTO DELLA SPIAGGIA										
SICUREZZA										

LOTTO 2												
LAVORAZIONI	**GIORNI**											
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
RIPRISTINI PUNTUALI DELLE PARETI IN MASSI A SOSTEGNO DELLA STRADA PROVINCIALE SINO ALLA GALLERIA												
SECCA DI PONENTE												
RIPASCIMENTO ALLE SPALLE DELLA SECCA												
SICUREZZA												

Nota: il presente cronoprogramma tiene conto di un 30% di giornate con clima meteomarino avverso.

ALLEGATO: MODELLAZIONE RIGUARDANTE LE OPERAZIONI DI RIPASCIMENTO E DIMENSIONAMENTO DELLA SCOGLIERA

Il seguente volume riguarda gli studi su modello matematico redatti in collaborazione con l'Ing. Massimo Tondello iscritto all'ordine degli ingegneri della Provincia di Padova al n° 2771

INDICE

1	**PREMESSA**	**3**
2	**DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE**	**4**
2.1	CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE DEL MATERIALE NATIVO	7
2.2	PROFILO DI RIPASCIMENTO	8
3	**PROPAGAZIONE SOTTO COSTA DELLE MAREGGIATE ESTREME**	**12**
3.1	CARATTERISTICHE DELLE MAREGGIATE ESTREME	12
3.2	SETTAGGIO DELLA GRIGLIA DI CALCOLO	13
3.3	DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO STWAVE	14
3.4	PIANI D'ONDA DELLE MAREGGIATE ESTREME	18
4	**EFFETTI DELLE MAREGGIATE SUL PROFILO DI SPIAGGIA**	**26**
4.1	RISULTATI PROFILO SPIAGGIA RENÀ	28
4.2	RISULTATI PROFILO ORIENTALE (SECCA)	31
4.3	DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO SBEACH	32
4.3.1	Approccio metodologico	32
4.3.2	Modello adottato per le onde	33
4.3.3	Criterio di frangimento e altezza frangente	33
4.3.4	Modello di decadimento dell'onda frangente	34
4.3.5	Equazioni del trasporto lungo il profilo di spiaggia e verso del trasporto	35
4.3.6	Modello di variazione del profilo	38
5	**DIMENSIONAMENTO DELLE SCOGLIERE**	**39**

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 2.1 – Planimetria generale di progetto 6
Fig. 2.2 – Planimetria con ubicazione dei profili e dei punti di prelievo (indagine granulometrica di ottobre 2018) 7
Fig. 2.3 – Sezione tipologica del profilo di ripascimento spiaggia di Renà 11
Fig. 2.4 – Sezione tipologica del profilo di ripascimento estremità orientale (a tergo della secca semiaffiorante) 11
Fig. 3.1 – Griglia di calcolo STWAVE (configurazione attuale del litorale) 13
Fig. 3.2 – Griglia di calcolo STWAVE – Dettaglio area di intervento in configurazione di progetto 14
Fig. 3.3 – Spettro monodimensionale 15
Fig. 3.4 – Convenzioni griglia STWAVE 16
Fig. 3.5 – Input e Output STWAVE 17
Fig. 3.6 – Piano d'onda TEST 1 – Mareggiata da Scirocco - T_R = 1 anno Caratteristiche nel punto P (-50 m): Hs = 3.0 m; Tp = 7.9 s; Dir = 161°N Configurazione attuale (in lato) e di progetto (in basso – in magenta il riquadro dell'area di intervento) 19
Fig. 3.7 – Piano d'onda TEST 2 – Mareggiata da Mezzogiorno - TR = 1 anno Caratteristiche nel punto P (-50 m): Hs = 2.7 m; Tp = 7.2 s; Dir = 180°N Configurazione attuale (in lato) e di progetto (in basso – in magenta il riquadro dell'area di intervento) 20
Fig. 3.8 – Piano d'onda TEST 3 – Mareggiata da Libeccio - TR = 1 anno Caratteristiche nel punto P (-50 m): Hs = 4.5 m; Tp = 9.7 s; Dir = 217°N Configurazione attuale (in lato) e di progetto (in basso – in magenta il riquadro dell'area di intervento) 21
Fig. 3.9 – Piano d'onda TEST 4 – Mareggiata da Scirocco - TR = 50 anni Caratteristiche nel punto P (-50 m): Hs = 6.4 m; Tp = 12.2 s; Dir = 164°N Configurazione attuale (in lato) e di progetto (in basso – in magenta il riquadro dell'area di intervento) 22
Fig. 3.10 – Piano d'onda TEST 5 – Mareggiata da Mezzogiorno - TR = 50 anni Caratteristiche nel punto P (-50 m): Hs = 5.5 m; Tp = 11.0 s; Dir = 181°N Configurazione attuale (in lato) e di progetto (in basso – in magenta il riquadro dell'area di intervento) 23
Fig. 3.11 – Piano d'onda TEST 6 – Mareggiata da Libeccio - TR = 50 anni Caratteristiche nel punto P (-50 m): Hs = 6.7 m; Tp = 12.2 s; Dir = 215° Configurazione attuale (in lato) e di progetto (in basso – in magenta il riquadro dell'area di intervento) 24
Fig. 3.12 – Dettaglio area di intervento - Piano d'onda TEST 3 – Mareggiata da Libeccio - TR = 1 anno Configurazione attuale (a sinistra) e di progetto (a destra) 25
Fig. 3.13 – Dettaglio area di intervento - Piano d'onda TEST 6 – Mareggiata da Libeccio - TR = 50 anni Configurazione attuale (a sinistra) e di progetto (a destra) 25
Fig. 4.1 – Spiaggia di Renà- TEST SB_1: TR 1 anno Evoluzione del profilo trasversale e stima della risalita (dimensioni in metri) 29
Fig. 4.2 - Spiaggia di Renà - TEST SB_2: TR 50 anni Evoluzione del profilo trasversale e stima della risalita (dimensioni in metri) 30
Fig. 4.3 – Profilo secca- TEST SB_1: TR 1 anno- Stima della risalita (dimensioni in metri) 31
Fig. 4.4 – Profilo secca - TEST SB_2: TR 50 anni - Stima della risalita (dimensioni in metri) 31
Fig. 4.5 - Confronto tra il rapporto di frangimento misurato e calcolato con l'equazione 33
Fig. 4.6 – Confronto tra altezza d'onda misurata e calcolata 35
Fig. 4.7 - Rappresentazione schematica delle 4 zone di trasporto 36

INDICE DELLE TABELLE

Tab. 2.1 – Risultati analisi granulometriche (campagna di ottobre 2018) 8
Tab. 3.1 - Caratteristiche delle mareggiate estreme nel punto P (alla -50 m) 12
Tab. 3.2 - Correlazione tra parametri spettrali (Thompson et al., 1996) 17
Tab. 4.1 – Caratteristiche della mareggiate estreme di Libeccio nei punti di input (profondità 10.0 m) 26

1 PREMESSA

La presente relazione riporta i risultati della modellazione numerica della propagazione di mareggiate estreme, dell'evoluzione del profilo trasversale del litorale e della stima della risalita del moto ondoso per effetto di tali mareggiate, con riferimento alla configurazione attuale e di progetto del litorale in località Renà (Comune di Sestri Levante).
La soluzione progettuale di intervento, che prevede un ripascimento strutturale con granulometria differenziata e una secca in massi naturali, è stata definita sulla base dei risultati della modellazione numerica di dettaglio dello stato attuale e con riferimento alle indicazioni riportate nel "Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero" (redatto dal Settore Ecosistema Costiero della Regione Liguria nel settembre 2011; cfr. art. 41 Legge Regionale n° 20/2006).

Lo studio è stato condotto con riferimento ai dati delle caratteristiche delle mareggiate estreme la largo (cfr. "Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero"), rilievo topobatimetrico locale e analisi granulometriche (campagna di ottobre 2018).

2 DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE

Nell'ambito degli studi condotti a supporto del "Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero" (settembre 2011), sono stati definiti in linea generale gli interventi riguardanti la sistemazione idraulica, ambientale e geomorfologica della fascia costiera nell'ambito delle unità fisiografiche analizzate (cfr. elaborato "Piano degli interventi" e "Relazione Paraggio Unità fisiografica di Riva Trigoso – da Punta Manara a Punta Baffe").

La programmazione organica degli interventi prevede la realizzazione di opere o misure di salvaguardia atte a eliminare o mitigare le criticità individuate nell'ambito dello studio, in base alle pressioni sugli habitat e al rischio associato agli eventi meteomarini. Le soluzioni progettuali individuate dovranno essere indirizzate al riequilibrio del sistema nel suo complesso, dal punto di vista sia della tutela degli habitat che della morfodinamica costiera del paraggio.
Per il paraggio di Riva Trigoso, a seguito delle analisi dello stato e della tendenza evolutiva del litorale, sono stati individuati i seguenti indirizzi di intervento che costituiscono norma di Piano ai sensi dell'art. 6 delle Norme di Attuazione.
L'obiettivo principale da perseguire nel paraggio di Riva Trigoso è il mantenimento e l'ampliamento della spiaggia attuale quale miglior sistema di difesa, mentre la costa alta, vista l'assenza di elementi a rischio, va lasciata alla sua naturale evoluzione, preservando e migliorando le caratteristiche naturali degli habitat marini e costieri. Pertanto sono consentiti solamente interventi di manutenzione della spiaggia e della costa alta, secondo quanto disposto dagli artt. 6 e 10 delle Norme di attuazione.

Nel dettaglio le indicazioni di intervento per il paraggio sono le seguenti:

Interventi costa bassa e costa alta

- eliminazione graduale delle strutture riflettenti sulla spiaggia emersa a partire da quelle più vicine al mare;
- ripascimento strutturale con materiale idoneo (stabile tra –5 e –10) per allontanare il limite della fascia dinamica dalle strutture: indicativamente quantitativo minimo di 50 m^3/m.

Interventi naturalistico ambientali

- segnalazione nautica della zona diportistica regolamentata ed eventuale realizzazione di un sistema di ormeggio al gavitello con tecnologia a basso impatto.
- intervento di dissuasione della pesca a strascico illegale e dell'abbandono di rifiuti presso i fondali antistanti i promontori di Punta Manara e Punta Baffe;
- intervento di pulizia dei fondali dai macrorifiuti dovuti alla pesca;
- pulizia da macrorifiuti dell'alveo del torrente Petronio;
- interventi per il ripristino e riqualificazione della vegetazione delle spiagge.

L'analisi dell'evoluzione storica permette di classificare la spiaggia di Riva Trigoso come una "pocket beach", la cui evoluzione dipende dal bilancio tra gli apporti solidi terrigeni dei corsi d'acqua e le perdite verso il largo, che si verificano come conseguenza del trasporto solido legato alle mareggiate. L'orientazione della spiaggia appare prossima all'equilibrio, con frequenti inversioni del verso del trasporto solido in relazione alle mareggiate: ciò è testimoniato sia dalle rotazioni della linea di riva che dall'altalenante orientazione della foce del Petronio. In relazione ai fenomeni di

frangimento evidenziati dalle simulazioni riportate nel successivo paragrafo 3, è presumibile che le perdite verso il largo si verifichino quasi esclusivamente in occasione delle mareggiate di Libeccio ed in corrispondenza della spiaggia di Renà, che in effetti risente dei maggiori effetti erosivi. Particolarmente evidente è la perdita nel medio fondale, così come la presenza di materiale più grossolano classato alle basse profondità.
Allo stato attuale, infatti, il materiale presente sulla spiaggia emersa di Riva Trigoso e sui fondali antistanti è costituito da sabbie e ghiaie, con una distribuzione granulometrica che varia, per naturale cassazione dei sedimenti, in funzione della distanza dalla linea di riva.

Nell'ambito delle attività oggetto del presente studio è stata condotta una campagna di caratterizzazione granulometrica della spiaggia emersa e sommersa fino alla profondità di -10 m s.m.m. (cfr. campagna sedimentologica di ottobre 2018, descritta nel successivo paragrafo 2.1).
In ragione delle caratteristiche granulometriche del materiale nativo e delle indicazioni progettuali di cui al Piano degli Interventi, risulta che:

- la spiaggia emersa è caratterizzata dalla presenza di sabbia grossa (D_{50} pari a circa 1 mm);
- la spiaggia sommersa, nella fascia più prossima alla linea di riva (tra la 0.0 e la -3.0÷-4.0 m) è caratterizzata dalla presenza di ghiaia medio fine (D_{50} mediamente maggiore di 2 mm, ma presumibilmente dell'ordine di oltre 10 mm in base alla back analysis del profilo trasversale rilevato, n.d.r.);
- la spiaggia sommersa, dalla -5.0 alla -10.0 m, è caratterizzata dalla presenza di sedimenti via via più fini man mano che si procede verso il largo (sabbie medio fini);
- il materiale impiegato per il ripascimento deve garantire una maggiore stabilità rispetto al materiale nativo senza peraltro stravolgere l'assetto attuale della spiaggia emersa e/o creare condizioni tali da alterarne la percezione visiva e la fruibilità.

Si ritiene pertanto che un intervento in grado di risolvere le criticità esistenti, senza alterare in maniera significativa la delicata dinamica locale o interferire negativamente sulla fruibilità della spiaggia, possa essere costituito dalla realizzazione di un ripascimento con granulometria differenziata, più stabile (e quindi più grossolana) per la spiaggia sommersa, e analoga a quella esistente per la spiaggia emersa.

La soluzione progettuale proposta rientra pienamente negli obiettivi di Piano, avendo come finalità l'ampliamento dell'attuale spiaggia in località Renà (tratto orientale del paraggio di Riva Trigoso) e l'eliminazione graduale delle strutture riflettenti sulla spiaggia emersa. L'obiettivo verrà perseguito mediante la realizzazione di un ripascimento strutturale della spiaggia emersa e sommersa in località Renà, con materiale idoneo e tale da garantire una maggiore stabilità e resilienza nei confronti del moto ondoso incidente rispetto all'attuale configurazione del litorale. Nel caso specifico, si prevede di impiegare materiale più grossolano (più stabile) per la ricostruzione del profilo sommerso e materiale analogo a quello nativo per la spiaggia emersa (a vantaggio della fruibilità turistica).
L'intervento verrà completato con una secca semiaffiorante e un ripascimento grossolano (di pezzatura analoga a quella della nuova spiaggia sommersa di Renà) all'estremità Est della spiaggia; tale intervento consentirà di ridurre l'impatto della mareggiate estreme sulle infrastrutture retrostanti (scogliera radente e muro di contenimento della strada litoranea) e di proteggere/stabilizzare la spiaggia in località Renà.

Nella successiva Fig. 2.1 si riporta un estratto della planimetria generale di progetto con gli interventi previsti.

Nei successivi paragrafi 2.1 e 2.2 si riportano rispettivamente una sintesi dei risultati della campagna granulometria eseguita ad ottobre 2018 e una descrizione della soluzione proposta per il ripascimento del litorale.

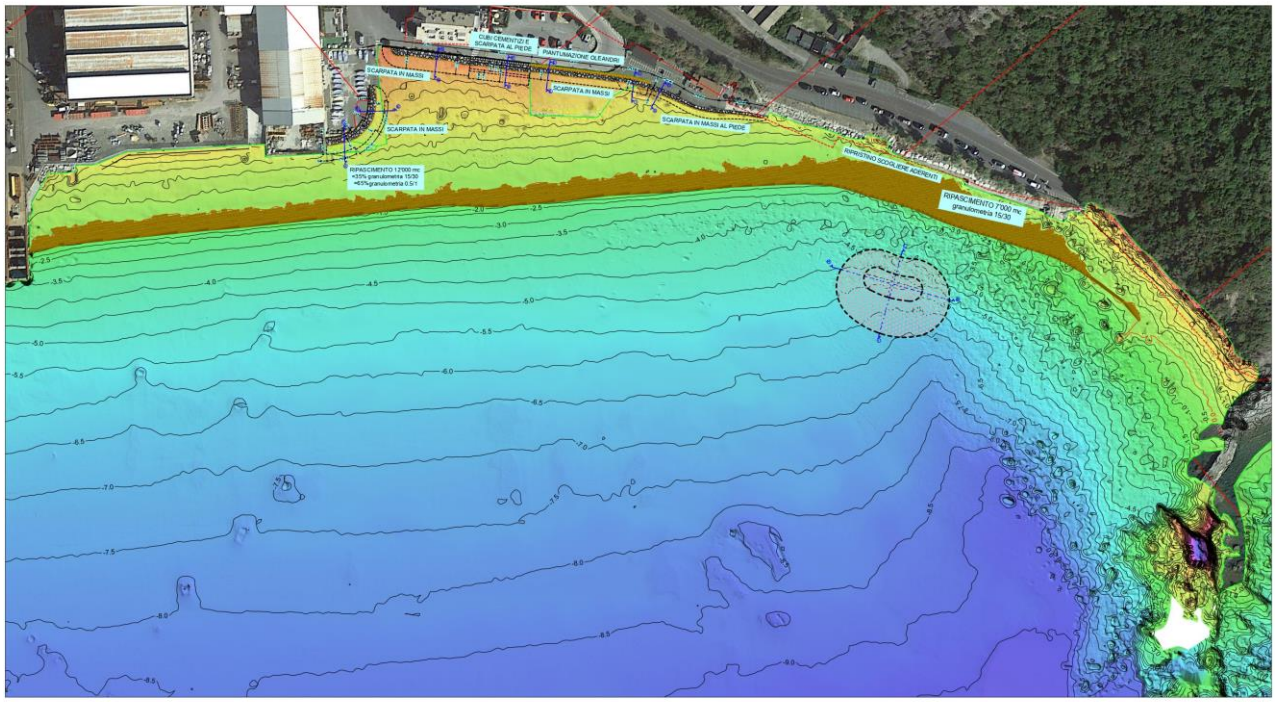


Fig. 2.1 – Planimetria generale di progetto

2.1 Caratteristiche granulometriche del materiale nativo

Per quanto riguarda le caratteristiche granulometriche del materiale nativo presente sul litorale, si è fatto riferimento alle analisi eseguite ad ottobre 2018 su una serie di campioni prelevati lungo 4 transetti/profili a differenti profondità (Fig. 2.2): sulla spiaggia emersa, in corrispondenza della linea di riva, sulla fascia sommersa più prossima alla costa (da -1.0 a -3.0 m), alla -5.0 m e alla -10.0 m.
Nella successiva Tab. 2.1 si riassumono, per ciascun campione prelevato in funzione del transetto e della profondità di prelievo, i risultati della analisi granulometriche in termini di diametro medio dei grani (D_{50}) e di composizione granulometrica (percentuali di ghiaia, sabbia e limo/argilla).
Ne risulta che la spiaggia emersa, fino alla linea di costa, risulta caratterizzata dalla presenza di sabbia grossa/ghiaia fine con D_{50} compreso tra 0.3 e 2.8 mm circa. La prima fascia della spiaggia sommersa, fino alla profondità di -3.0÷-4.0 m, risulta caratterizzata dalla presenza di materiale più grossolano con D_{50} mediamente compreso tra 3.7 e 6.7 mm circa, con l'eccezione di due campioni più fini (D_{50} pari a 0.23 e 0.54 mm).
Procedendo verso il largo il materiale diventa via via più fine e si passa da sabbie medie (alla -5.0 m) a sabbie fini (alla -10.0 m).

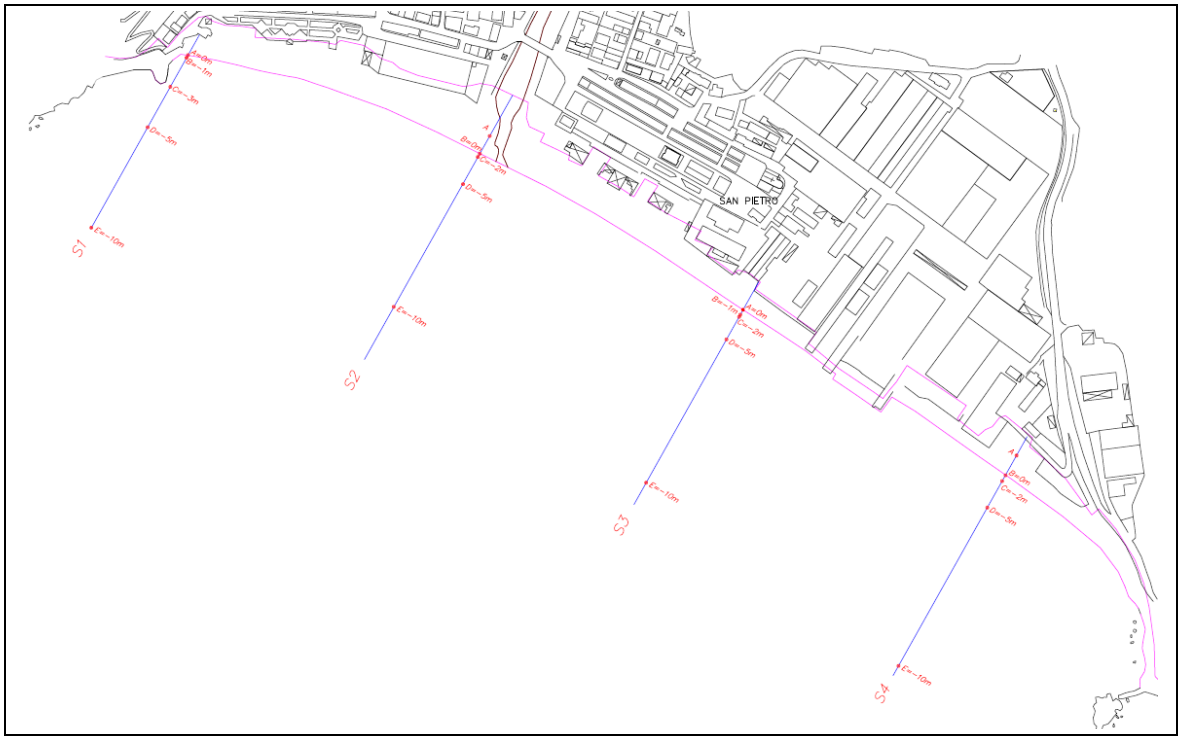


Fig. 2.2 – Planimetria con ubicazione dei profili e dei punti di prelievo (indagine granulometrica di ottobre 2018)

				CLASSI GRANULOMETRICHE		
SEZIONE	CAMPIONE	Prof. (m s.m.m.)	D_{50} (mm)	Ghiaia	Sabbia	Limo/argilla
1	A	0.00	2.340	11.83	86.84	1.33
	B	-1.00	6.700	70.26	29.40	0.34
	C	-3.00	0.540	0.20	96.29	3.51
	D	-5.00	0.210	0.00	95.47	4.53
	E	-10.00	0.180	0.00	95.20	4.80
2	A	emersa	1.600	3.45	95.65	0.90
	B	0.00	2.810	13.97	84.49	1.54
	C	-2.00	5.600	56.78	42.53	0.69
	D	-5.00	0.380	0.00	97.60	2.40
	E	-10.00	0.160	0.00	94.73	5.27
3	A	0.00	1.320	10.40	88.05	1.54
	B	-1.00	4.300	44.72	54.42	0.86
	C	-2.00	3.710	47.75	51.06	1.19
	D	-5.00	0.240	0.00	98.37	1.63
	E	-10.00	0.140	0.00	91.26	8.74
4	A	emersa	0.320	0.00	99.27	0.73
	B	0.00	1.270	26.45	72.32	1.24
	C	-2.00	0.230	0.00	98.33	1.67
	D	-5.00	0.290	0.00	98.31	1.69
	E	-10.00	0.130	0.00	93.09	6.91

Tab. 2.1 – Risultati analisi granulometriche (campagna di ottobre 2018)

2.2 Profilo di ripascimento

Il profilo di posa del ripascimento per la spiaggia di Renà prevede l'avanzamento della linea di riva di circa 7 m, mediante il versamento di materiale a differente granulometria.
Nello specifico, per la ricostruzione del profilo sommerso della spiaggia si prevede l'impiego di materiale più grossolano (pietrisco 15÷30 mm), al fine di aumentare l'efficacia dell'intervento e garantire una maggiore stabilità e resilienza del ripascimento nei confronti del moto ondoso caratteristico del paraggio. La parte emersa della spiaggia verrà ricostruita con materiale più fine (sabbia medio grossa con D_{50} 0.5÷1.0 mm), in modo tale da garantire una maggiore fruibilità della spiaggia nel corso della stagione balneare. Si prevede quindi l'allargamento della spiaggia emersa alla quota di +0.0 m s.m.m. e la ricostruzione del profilo con la pendenza attuale (1:12) fino alla quota di +3.00 m s.m.m; al di sotto del livello medio mare il profilo di ripascimento si raccorderà al fondale esistente con il profilo sommerso che compete alla granulometria del materiale più grossolano ("profilo di equilibrio").
Considerata la conformazione geomorfologica dei fondali antistati l'area di intervento (presenza di fondali più acclivi sottocosta fino a profondità di circa -4 m s.m.m. in ragione della differente composizione granulometrica e della classazione dei sedimenti, cfr. precedente paragrafo 7), il profilo di versamento sommerso si chiude a breve distanza da costa, a profondità di circa -3.0÷-3.5 m s.m.m..

Il profilo sommerso di ripascimento (profilo trasversale di equilibrio della spiaggia) è stato determinato con riferimento alle caratteristiche granulometriche medie del materiale che si intende

utilizzare per la ricostruzione della spiaggia sommersa (ovvero D_{50} pari a 22.5 mm), assumendo che la forma del profilo trasversale sia esprimibile tramite la semplice relazione proposta da Bruun (1954) e Dean (1977), che lega la profondità (d) alla distanza dalla linea di riva (y):

$$d = A y^{2/3},$$

dove A rappresenta un parametro semiempirico, definito da Moore (1982), funzione del diametro caratteristico D_{50} (espresso in mm e corrispondente al diametro del vaglio che trattiene il 50% in peso del materiale) del sedimento che costituisce la spiaggia attiva.
Di seguito, si riportano le formule proposte da Larson e Kraus nel 1992 (CERC 1995), e successivamente rielaborate dal Kraus per ottenere una funzione continua, per il calcolo del parametro A, in funzione del diametro mediano dei grani:

$A = 0.2665(d_{50})^{0.614}$	se $D_{50} \leq 0.26$ mm
$A = 0.2275(d_{50})^{0.496}$	se $0.26 < D_{50} \leq 0.47$ mm
$A = 0.2143(d_{50})^{0.4161}$	se $0.47 < D_{50} \leq 0.70$ mm
$A = 0.2101(d_{50})^{0.361}$	se $0.70 < D_{50} \leq 1.00$ mm
$A = 0.21(d_{50})^{0.48}$	se $1.00 < D_{50} \leq 1.77$ mm
$A = 0.23(d_{50})^{0.32}$	se $1.77 < D_{50} < 10.0$ mm
$A = 0.263(d_{50})^{0.261}$	se $10.0 \leq D_{50} < 40.0$ mm
$A = 0.46(d_{50})^{0.11}$	se $D_{50} \geq 40.0$ mm.

Nel caso specifico, considerando di impiegare materiale più grossolano per la ricostruzione del profilo sommerso (pietrisco 15÷30 mm,D_{50} = 22.5 mm) si ottiene un valore del parametro A di 0.59.

Nella successiva Fig. 2.3 si riporta una rappresentazione schematica del profilo di ripascimento considerato nell'ambito del presente intervento per la spiaggia di Renà.
L'intervento proposto consiste nel versamento di circa 50 m^3/ml di materiale, di cui 17 m^3/ml circa di materiale più grossolano (pietrisco 15÷30 mm) e 33 m^3/ml di sabbia (indicativamente 0.5÷1.0 mm). Considerando la lunghezza dell'arenile in località Renà (circa 340 m), risulta un quantitativo complessivo pari a circa 17'000 m^3.

Il ripascimento che verrà eseguito nel tratto più orientale, protetto dalla secca semiaffiorante, verrà interamente realizzato con il materiale più grossolano (pietrisco 15÷30 mm) per complessivi 6'000÷7'000 m^3. Allo stato attuale in questo tratto di litorale di fatto non esiste una spiaggia e il fondale è caratterizzato dalla presenza di ciottoli e ghiaia grossolana. L'intervento prevede un ampliamento di circa 5 m dell'esistente terrazzamento a quota +2.0 m s.m.m.; mediante versamento di materiale grossolano che, nella parte sommersa, andrà di fatto ad appoggiarsi al piede lato interno della secca (Fig. 2.4). Il profilo emerso di versamento della nuova spiaggia si raccorderà da quota +2.0 m s.m.m. alla linea di riva con pendenza 1:5; al di sotto del livello medio mare il profilo di ripascimento si raccorderà al fondale esistente (fino al piede lato interno della secca) assumendo la forma tipica del "profilo di equilibrio".

Nelle successive fasi progettuali (progettazione esecutiva) potrà essere valutato un incremento della frazione di materiale più grossolano per migliorare la stabilità (soprattutto nel tratto più orientale a tergo della secca), qualora ciò possa comunque essere considerato accettabile per la fruizione turistica. Questa considerazione nasce dal fatto che la pendenza della spiaggia emersa è più vicina a quella tipica di una spiaggia in ghiaia che a quella delle spiagge sabbiose, circostanza che fa presupporre che, anche nella spiaggia emersa, sia presente una sorta di "corazzatura" formata da materiale più grossolano di quello prelevato con i campioni superficiali.

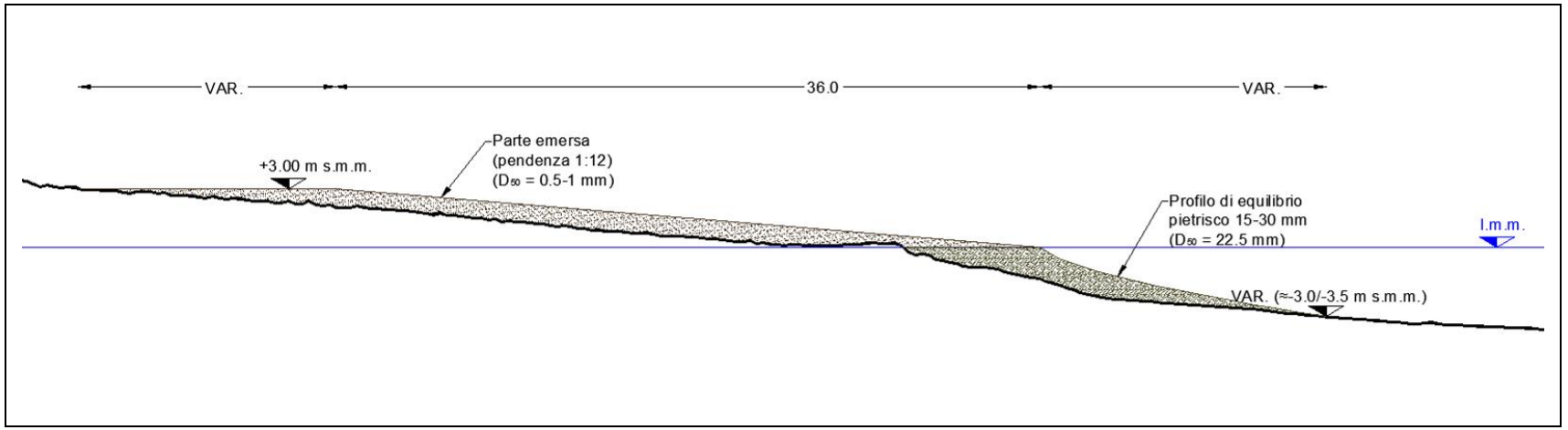


Fig. 2.3 – Sezione tipologica del profilo di ripascimento spiaggia di Renà

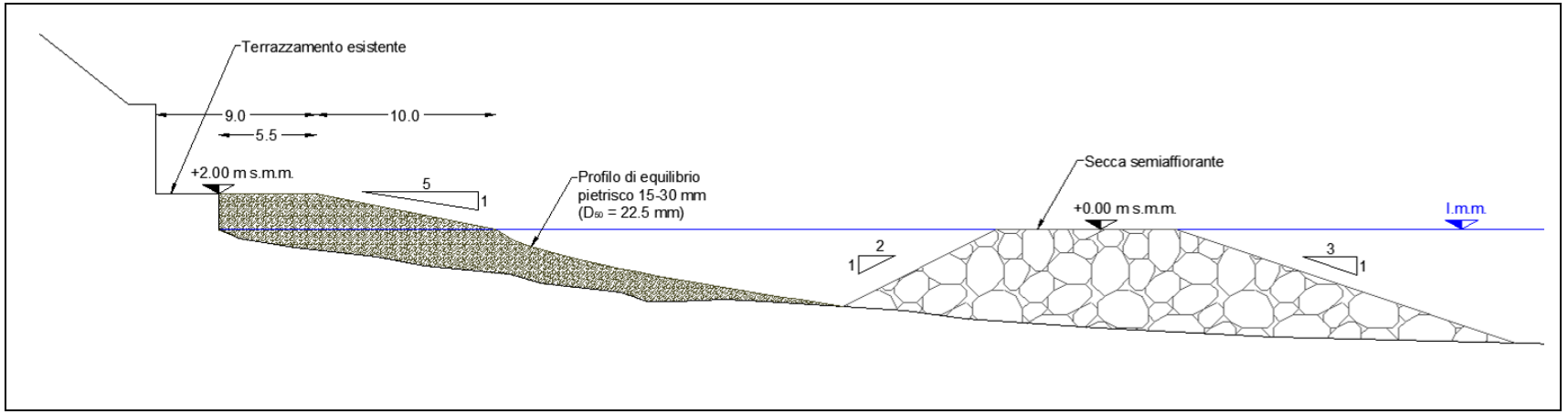


Fig. 2.4 – Sezione tipologica del profilo di ripascimento estremità orientale (a tergo della secca semiaffiorante)

3 PROPAGAZIONE SOTTO COSTA DELLE MAREGGIATE ESTREME

La propagazione fino a costa delle mareggiate estreme per il paraggio di riva Trigoso è stata condotta mediante il modello numerico STWAVE (Steady-state Spectral Wave Model), descritto in dettaglio nel successivo paragrafo 3.3. Le simulazioni sono state condotte con riferimento alla configurazione attuale e di progetto del litorale.

3.1 Caratteristiche delle mareggiate estreme

Nelle simulazioni eseguite per mezzo del codice di calcolo STWAVE sono state propagate le mareggiate con tempo di ritorno di 1 e 50 anni per i tre settori di traversia caratteristici del paraggio (Scirocco, Mezzogiorno e Libeccio). Le caratteristiche delle mareggiate estreme al largo del paraggio di Riva Trigoso sono state estratte dagli studi condotti a supporto del "Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero" (redatto dal Settore Ecosistema Costiero della Regione Liguria nel settembre 2011; cfr. art. 41 Legge Regionale n° 20/2006).
Nello specifico, i dati al largo relativi al paraggio oggetto di studio sono stati presi dalla "Relazione Paraggio Unità fisiografica di Riva Trigoso – da Punta Manara a Punta Baffe" (cfr. AMBITO COSTIERO 15 Unità fisiografiche Golfo del Tigullio, Baia del Silenzio e Riva Trigoso). Nell'ambito di tali studi il clima e gli eventi estremi al largo (Boa di La Spezia) sono stati trasferiti, mediante il metodo della trasposizione geografica, in un punto individuato come rappresentativo dell'intero Golfo del Tigullio. (coordinate: lat. 44° 16'; long. 9° 17,7').
Da questo punto le mareggiate estreme sono state propagate sotto costa all'interno dell'Ambito di studio, comprendente le unità fisiografiche del Golfo del Tigullio, della Baia del Silenzio e di Riva Trigoso. Le propagazioni sono state condotte con il modello STWAVE, facente parte del software NEMOS (Nearshore Evolution Modelling System). Le mareggiate sono state propagate in corrispondenza di un punto alla profondità di -50 m, rappresentativo del paraggio di riva Trigoso, e in più punti, posti circa alla profondità di -15 m, rappresentativi dei paraggi delle unità fisiografiche di Golfo del Tigullio e Baia del Silenzio.
Il punto alla -50 m (punto P), al largo del paraggio, è stato scelto nell'ambito del presente studio di dettaglio per la definizione delle caratteristiche delle mareggiate estreme (con tempo di ritorno di 1 e 50 anni) da fornire in input al codice di calcolo STWAVE. Il punto è ubicato al centro del paraggio, in corrispondenza del punto di coordinate 1533572 m EST; 4899010 m NORD (Fig. 3.1); le coordinate sono espresse nel sistema di riferimento Gauss Boaga Fuso Ovest.
Le caratteristiche delle mareggiate utilizzate per la propagazione sotto costa sono sintetizzate nella sottostante Tab. 3.1. Alle mareggiate estreme è stato associato un sovralzo del livello medio del mare di +0.50 m s.m.m..

				PUNTO P (-50 m)		
TEST	**Tempo di ritorno T_R**	**Sovralzo (m s.m.m.)**	**Settore di provenienza**	**H_S (m)**	**T_p (s)**	**Dir (°N)**
1	**T_R = 1 anno**	**+0.50**	**Scirocco**	**3.0**	7.9	161
2	**T_R = 1 anno**	**+0.50**	**Mezzogiorno**	**2.7**	7.2	180
3	**T_R = 1 anno**	**+0.50**	**Libeccio**	**4.5**	9.7	217
4	**T_R = 50 anni**	**+0.50**	**Scirocco**	**6.4**	12.2	164
5	**T_R = 50 anni**	**+0.50**	**Mezzogiorno**	**5.5**	11.0	181
6	**T_R = 50 anni**	**+0.50**	**Libeccio**	**6.7**	12.2	215

Tab. 3.1 - Caratteristiche delle mareggiate estreme nel punto P (alla -50 m)

3.2 Settaggio della griglia di calcolo

Le simulazioni sono state eseguite utilizzando la batimetria aggiornata del sito, ricavata in base alle carte nautiche dell'Istituto Idrografico della Marina e al rilievo locale di ottobre 2018, redatto a supporto delle attività oggetto del presente studio. Il modello STWAVE è in grado di simulare, oltre alla rifrazione e allo shoaling indotti dalla profondità e dalle correnti, anche i fenomeni di frangimento, diffrazione, interazione tra onde e il fenomeno di white capping.
Le propagazioni sono state eseguite al fine di ricavare la distribuzione alle basse profondità delle altezze d'onda delle mareggiate significative per il paraggio di riva Trigoso sia in configurazione attuale che di progetto. Per quanto riguarda la configurazione di progetto, la batimetria sottocosta è stata opportunamente modificata per rappresentare gli interventi previsti: secca semiaffiorante e ripascimento (Fig. 3.2).
La propagazione delle mareggiate estreme, come specificato nel precedente paragrafo 3.1, è stata condotta con riferimento agli eventi ondosi caratterizzati da tempi di ritorno di 1 e 50 anni, provenienti dai tre settori caratteristici del paraggio (Scirocco, Mezzogiorno e Libeccio)
La griglia di calcolo, riportata in Fig. 3.1, ha origine nel punto di coordinate 1535150 m EST; 4898675 m NORD (vertice SE, in basso a destra in figura), dimensioni 3'100x1'400 m e maglia quadrata con passo di 2 m. La base della griglia è inclinata di 68° rispetto alla direzione OE. Il bordo offshore della griglia è posto su una profondità media di circa 30÷40 m e si trova nelle vicinanze del punto P (cfr. precedente paragrafo 3.1). Le coordinate dell'origine della griglia di calcolo sono espresse nel sistema di riferimento Gauss Boaga Fuso Ovest.



Fig. 3.1 – Griglia di calcolo STWAVE (configurazione attuale del litorale)

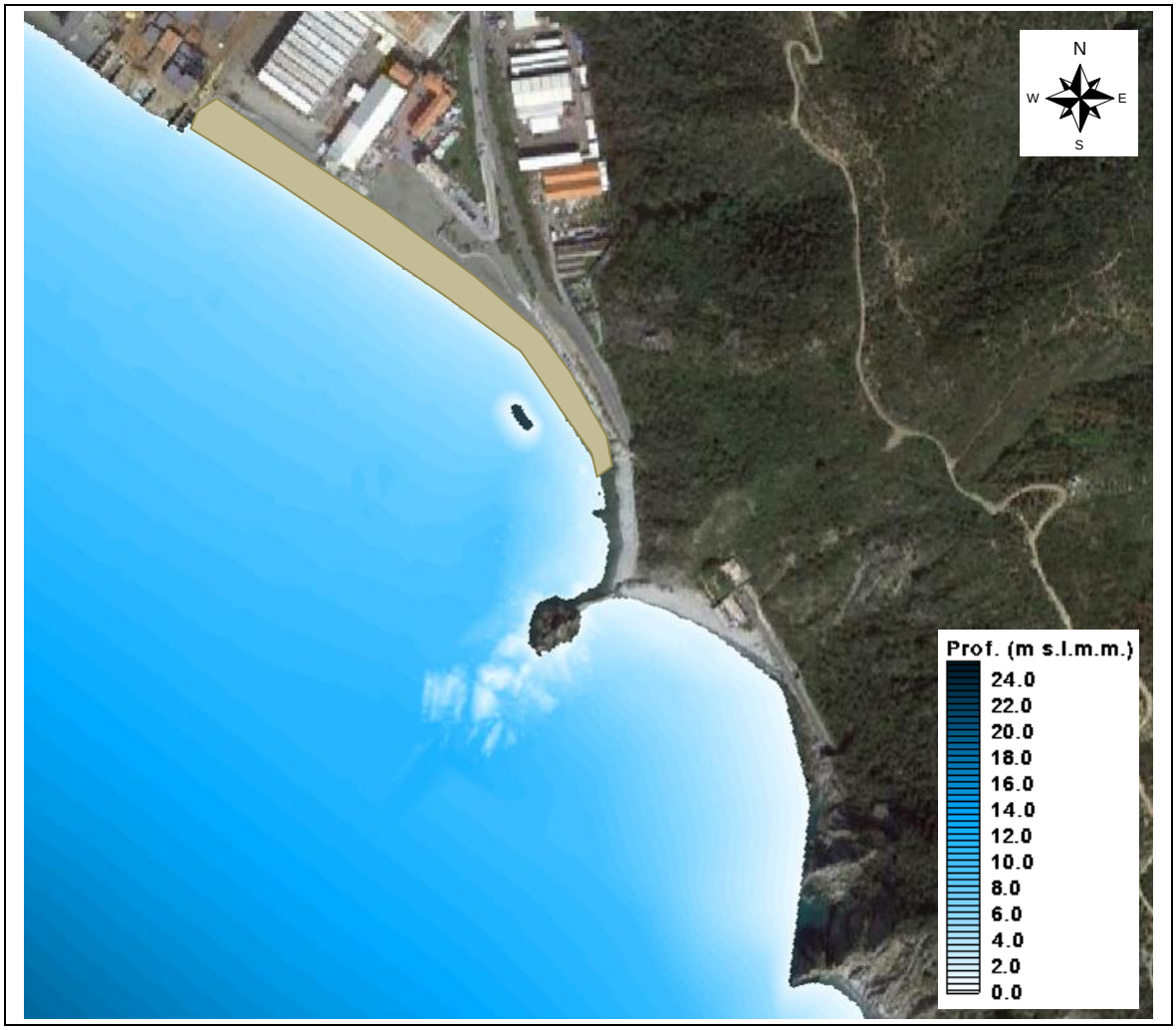


Fig. 3.2 – Griglia di calcolo STWAVE – Dettaglio area di intervento in configurazione di progetto

3.3 Descrizione del codice di calcolo STWAVE

Il modello matematico STWAVE (Steady-state spectral WAVE model) (Resio 1987, 1988; Davis 1992; Smith, Resio, Zundel 1999) è un modello stazionario spettrale alle differenze finite basato sull'equazione di conservazione dell'azione. Il modello descrive il cambiamento dei parametri caratteristici della mareggiata (altezza significativa, periodo, direzione media di propagazione, forma dello spettro di frequenza e spreading direzionale) dalle acque profonde, dove il campo d'onda è relativamente omogeneo su scala chilometrica e le zone sottocosta (le onde in tali zone sono fortemente influenzate dalle variazioni della batimetria, dal livello del mare, dalle correnti locali), dove i parametri caratteristici variano significativamente su scala dell'ordine della decina di metri.
Il modello STWAVE simula la rifrazione e lo shoaling indotti dalla profondità e dalle correnti, il frangimento, la diffrazione, l'interazione tra onde e il fenomeno di whitecapping.
Uno spettro d'onda è una rappresentazione statistica di stato del mare. Essenzialmente, uno spettro è rappresentato da una sovrapposizione lineare di onde monocromatiche e descrive la distribuzione

dell'energia del moto ondoso come una funzione della frequenza (spettro monodimensionale di frequenza) o della frequenza e direzione (spettro bidimensionale). Un esempio di spettro monodimensionale è rappresentato in Fig. 3.3.

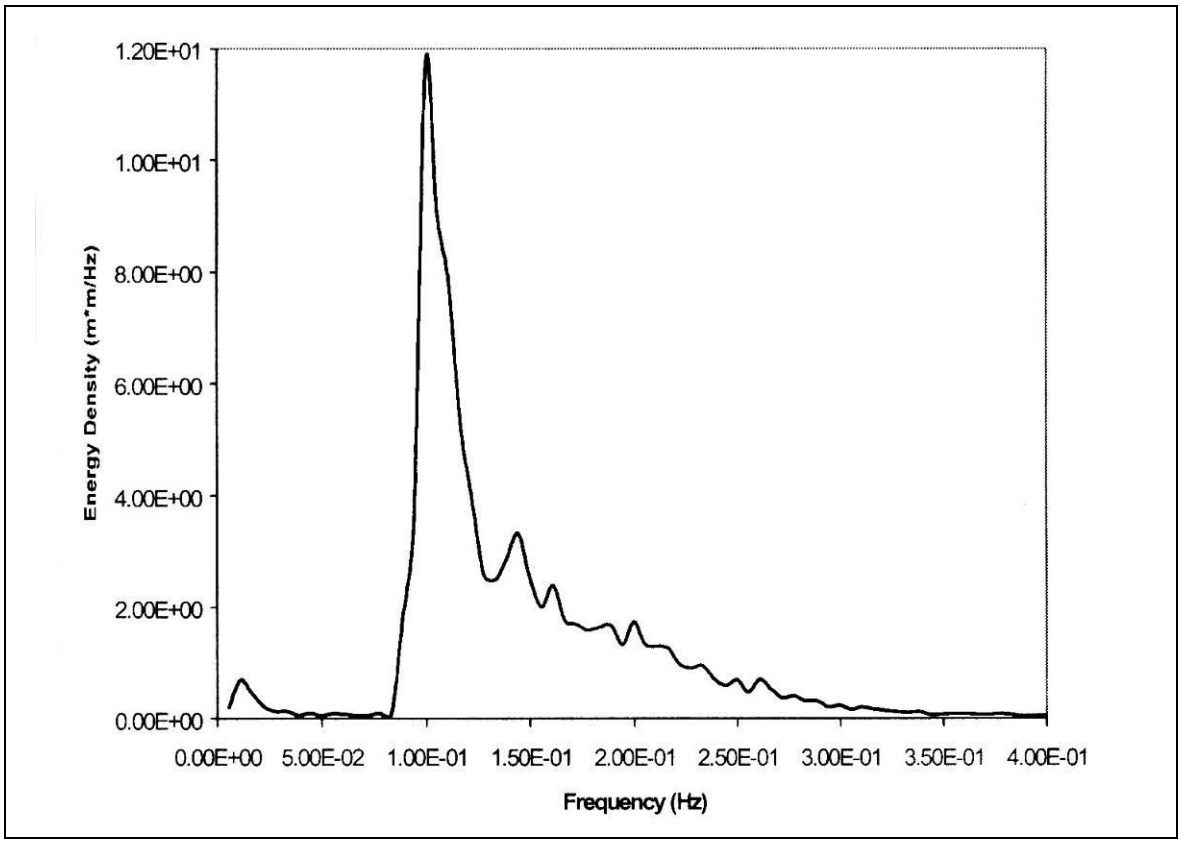


Fig. 3.3 – Spettro monodimensionale

Il periodo di picco dello spettro è dato dal reciproco della frequenza corrispondente al picco dello spettro. L'altezza d'onda significativa è pari 4 volte la radice quadrata dell'area sottostante lo spettro (momento di ordine 0 dello spettro). STWAVE è basato sulle seguenti assunzioni:

- è un modello semi-piano, ovvero l'energia del moto ondoso può propagarsi soltanto dal largo verso riva (±87.5° rispetto all'asse X della griglia di calcolo, che è tipicamente la direzione approssimata della normale al litorale). Le onde riflesse dalla spiaggia e dal fondale si muovono in direzioni al di fuori di questo semipiano e sono, pertanto, trascurate;
- la variazione dello spettro d'onda lungo il bordo più "al largo" del dominio di calcolo è generalmente poco rilevante (lo è senz'altro nel caso in oggetto, dato che tale bordo è lungo circa 3 km e disposto lungo batimetriche regolari). Pertanto lo spettro di input in STWAVE è costante lungo tale limite;
- è un modello stazionario: ciò riduce il tempo di calcolo ed è appropriato per condizioni ondose che variano più lentamente del tempo impiegato dalle onde per "attraversare" la griglia di calcolo;
- tiene conto soltanto di rifrazione e shoaling lineare e non rappresenta l'asimmetria dell'onda;
- l'interazione onda-corrente è basata su una corrente con velocità costante attraverso la

colonna d'acqua: se si verificano forti gradienti verticali nella corrente, la loro variazione per rifrazione e shoaling non è rappresentata nel modello;
- l'attrito sul fondo viene trascurato;
- il radiation stress è calcolato sulla base della teoria d'onda lineare.

STWAVE è un modello numerico alle differenze finite, basato su una griglia cartesiana ortogonale. Le celle della griglia sono assunte quadrate ($\Delta x = \Delta y$). Si possono ottenere griglie a diversa risoluzione andando a costruire griglie annidate. Ciò può essere ottenuto facendo "girare" il modello a una risoluzione più grossolana, salvando uno spettro per un punto più a riva. Questo spettro può quindi essere utilizzato come una condizione al contorno per una griglia di risoluzione maggiore. Una griglia schematica è rappresentata nella Fig. 3.4.
STWAVE opera in un sistema di coordinate locali, con l'asse X orientato in direzione perpendicolare alla spiaggia (con origine al largo) e asse Y orientato parallelamente alla costa, formando un sistema di coordinate che rispettano la regola della mano destra. L'orientazione dell'asse X (±87.5°) definisce il semipiano che è rappresentato nel modello. L'asse Y è generalmente allineato con le batimetriche al largo. Gli angoli di provenienza delle onde sono computati in senso antiorario dall'asse X. I confini laterali nel modello possono essere specificati come terra o mare indicando la profondità delle celle come positiva (mare) o negativa (terra). Si riassume alla seguente Fig. 3.5 gli input e gli output forniti dal modello.
Per generare uno spettro occorre specificare i seguenti parametri:

- periodo di picco (T_p);
- altezza d'onda;
- profondità;
- parametro di appuntimento dello spettro (γ).

Il parametro di appuntimento controlla la larghezza dello spettro in frequenza (numeri bassi forniscono picchi "larghi", ovvero condizioni di mare vivo, numeri elevati picchi "ristretti", ovvero condizioni di mare di swell). La distribuzione direzionale dello spettro è invece specificata mediante una direzione media e un coefficiente di spreading direzionale (*nn*).

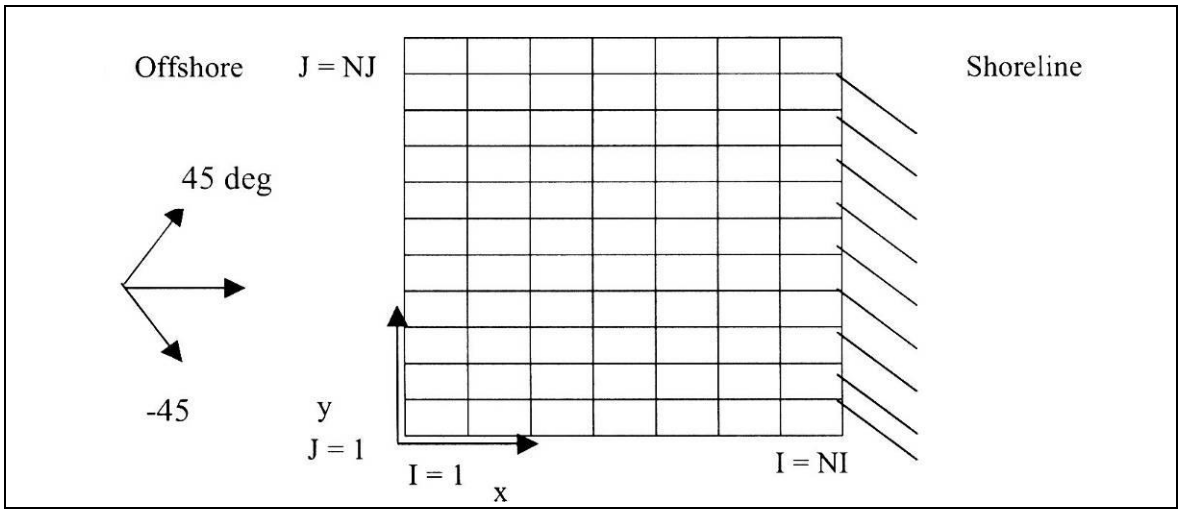


Fig. 3.4 – Convenzioni griglia STWAVE

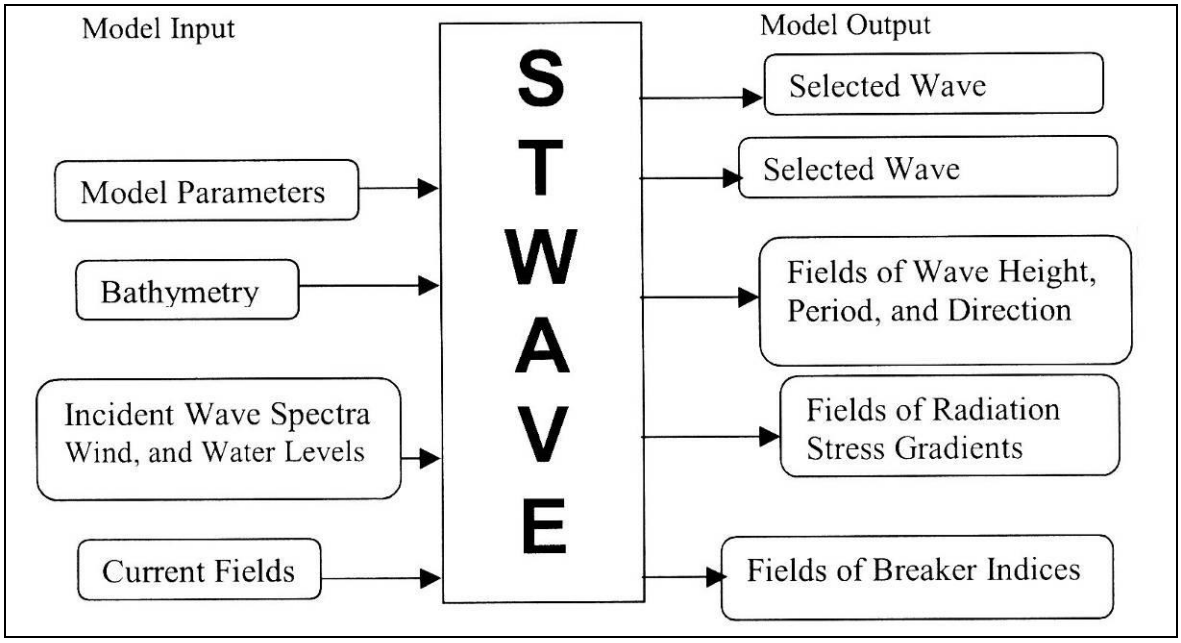


Fig. 3.5 – Input e Output STWAVE

L'energia nello spettro di frequenza è proporzionale a $\cos^{nn}(\alpha - \alpha_m)$, dove α è la direzione della componente spettrale e α_m è la direzione media di propagazione dell'onda. Una guida per la scelta di γ e *nn* è fornita nella Tab. 3.2. Gli spettri con periodi di picco elevati sono generalmente ristretti sia in frequenza che in direzione. Per piccoli periodi di picco gli spettri sono tipicamente allargati sia in frequenza che in direzione.

Tp (sec)	γ	***nn***
≤ 10	3.3	4 (JONSWAP)
11	4	8
12	4	10
13	5	12
14	5	16
15	6	18
16	6	20

Tab. 3.2 - Correlazione tra parametri spettrali (Thompson et al., 1996)

3.4 Piani d'onda delle mareggiate estreme

Nel presente paragrafo sono riportati i risultati delle simulazioni della propagazione locale delle mareggiate estreme caratterizzate dal tempo di ritorno di 1 e 50 anni, provenienti dai tre settori individuati. Le simulazioni sono state condotte per mezzo del codice di calcolo STWAVE con riferimento alla configurazione attuale e di progetto del litorale.
Le figure rappresentano, in termini di contour colorati, le altezze d'onda significativa, mentre le direzioni locali dell'onda sono indicate mediante vettori il cui modulo è proporzionale all'altezza d'onda significativa.
I risultati delle simulazioni sono rappresentati nelle successive figure in cui è stata messa a confronto la configurazione attuale con quella di progetto; in Fig. 3.6 (TEST 1), Fig. 3.7 (TEST 2), Fig. 3.8 (TEST 3), Fig. 3.9 (TEST 4) Fig. 3.10 (TEST 5) e Fig. 3.11 (TEST 6) si riportano i piani d'onda delle mareggiate sull'intera spiaggia di Riva Trigoso.

Dai risultati si osserva che tutte le mareggiate analizzate, comunque caratterizzate da lunghezze d'onda elevate ed in grado di sentire gli effetti del fondale a considerevole distanza dalla costa, raggiungono la riva ruotate rispetto al largo per effetto della rifrazione.
Tutte le simulazioni evidenziano l'attenuazione dovuta al frangimento, ma questo fenomeno, per le mareggiate con tempo di ritorno più basso (1 anno) si verifica immediatamente a ridosso della linea di riva: il profilo trasversale di spiaggia risulta infatti particolarmente ripido a ridosso della riva, dove il fondale è caratterizzato da materiale più grossolano. Questa circostanza determina la frequente occorrenza di fenomeni di frangimento di tipo collapsing, in grado di concentrare l'energia del moto ondoso (e i radiation stress) in aree molto ristrette.

Come si può osservare dal confronto tra i risultati delle simulazioni in configurazione attuale e di progetto, la presenza della secca nel tratto orientale del litorale, unitamente alla pezzatura utilizzata per il ripascimento retrostante (materiale grossolano), crea una zona più stabile in corrispondenza del limite orientale dell'intervento: La spiaggia di Renà risulta di conseguenza maggiormente protetta dal moto ondoso incidente a garanzia di una maggiore stabilità e durata dell'intervento.
A tal proposito, in Fig. 3.12 e Fig. 3.13, si riportano per maggiore chiarezza i risultati delle simulazioni in configurazione attuale e di progetto, a confronto, con riferimento ad un dettaglio della griglia di calcolo centrato nell'area di intervento. I risultati si riferiscono alle mareggiate maggiormente significative per il paraggio (eventi estremi provenienti da Libeccio, TEST 3 e 6).

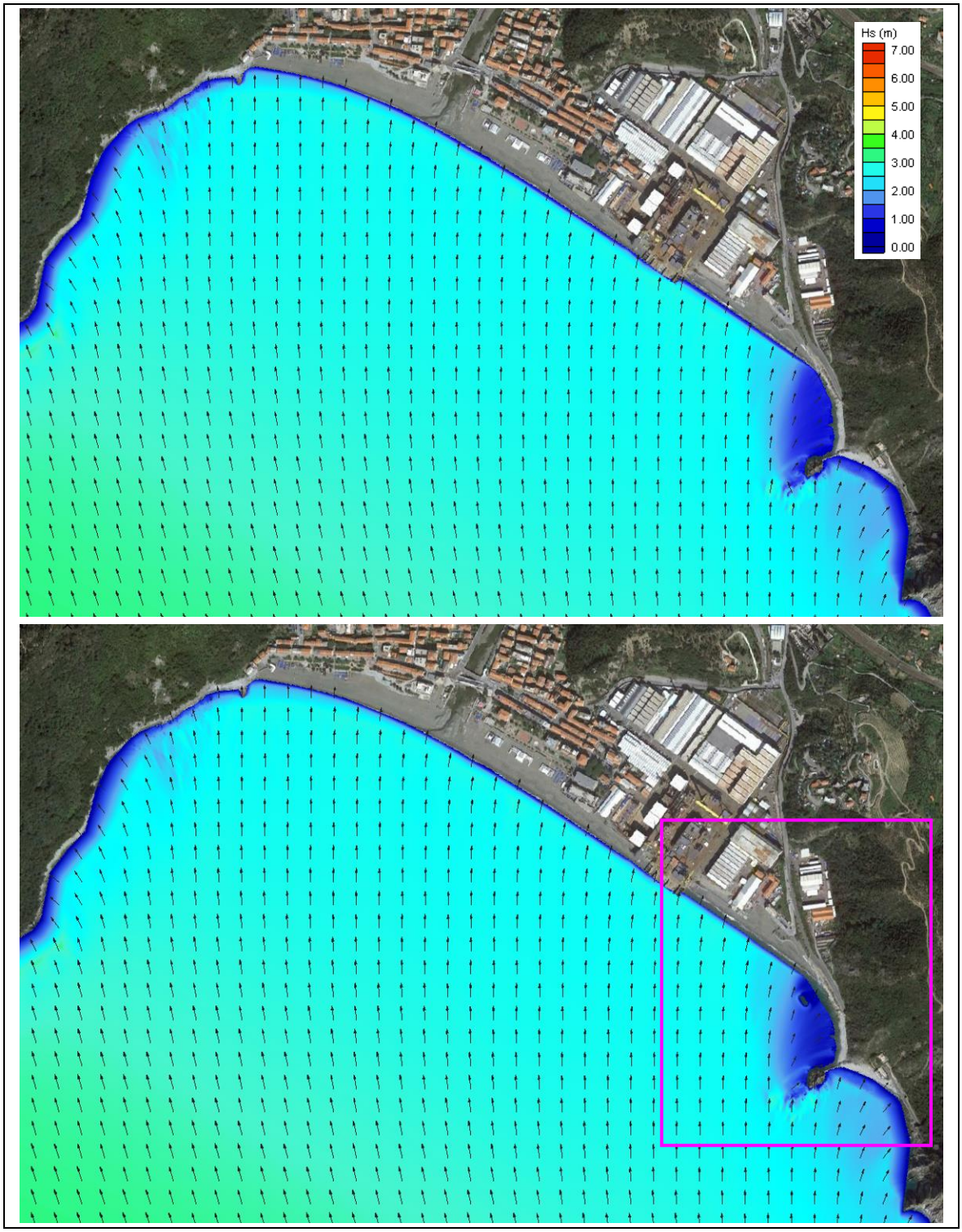


Fig. 3.6 – Piano d'onda TEST 1 – Mareggiata da Scirocco - T_R = 1 anno
Caratteristiche nel punto P (-50 m): Hs = 3.0 m; Tp = 7.9 s; Dir = 161°N
Configurazione attuale (in lato) e di progetto (in basso – in magenta il riquadro dell'area di intervento)

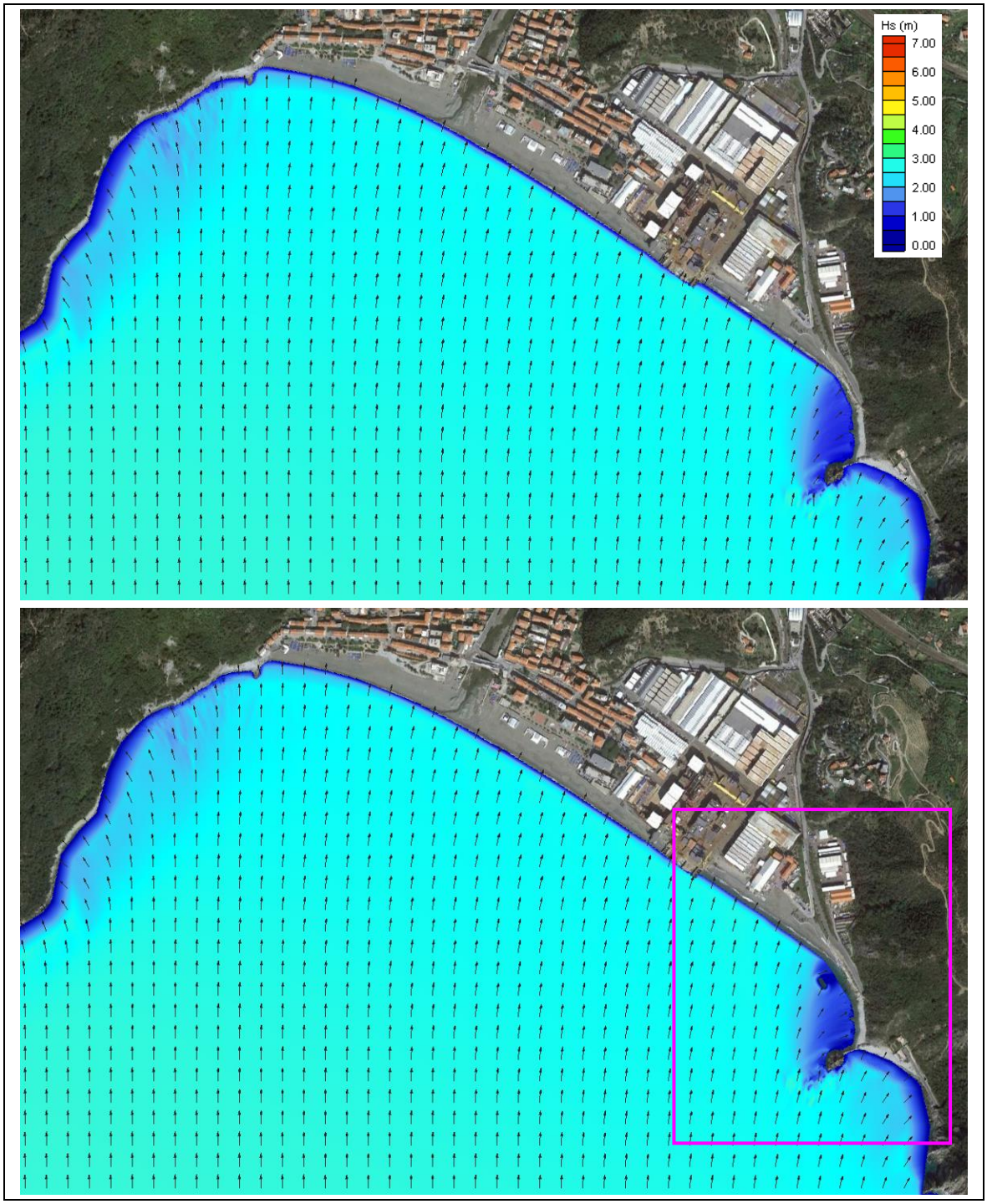


Fig. 3.7 – Piano d'onda TEST 2 – Mareggiata da Mezzogiorno - TR = 1 anno
Caratteristiche nel punto P (-50 m): Hs = 2.7 m; Tp = 7.2 s; Dir = 180°N
Configurazione attuale (in lato) e di progetto (in basso – in magenta il riquadro dell'area di intervento)

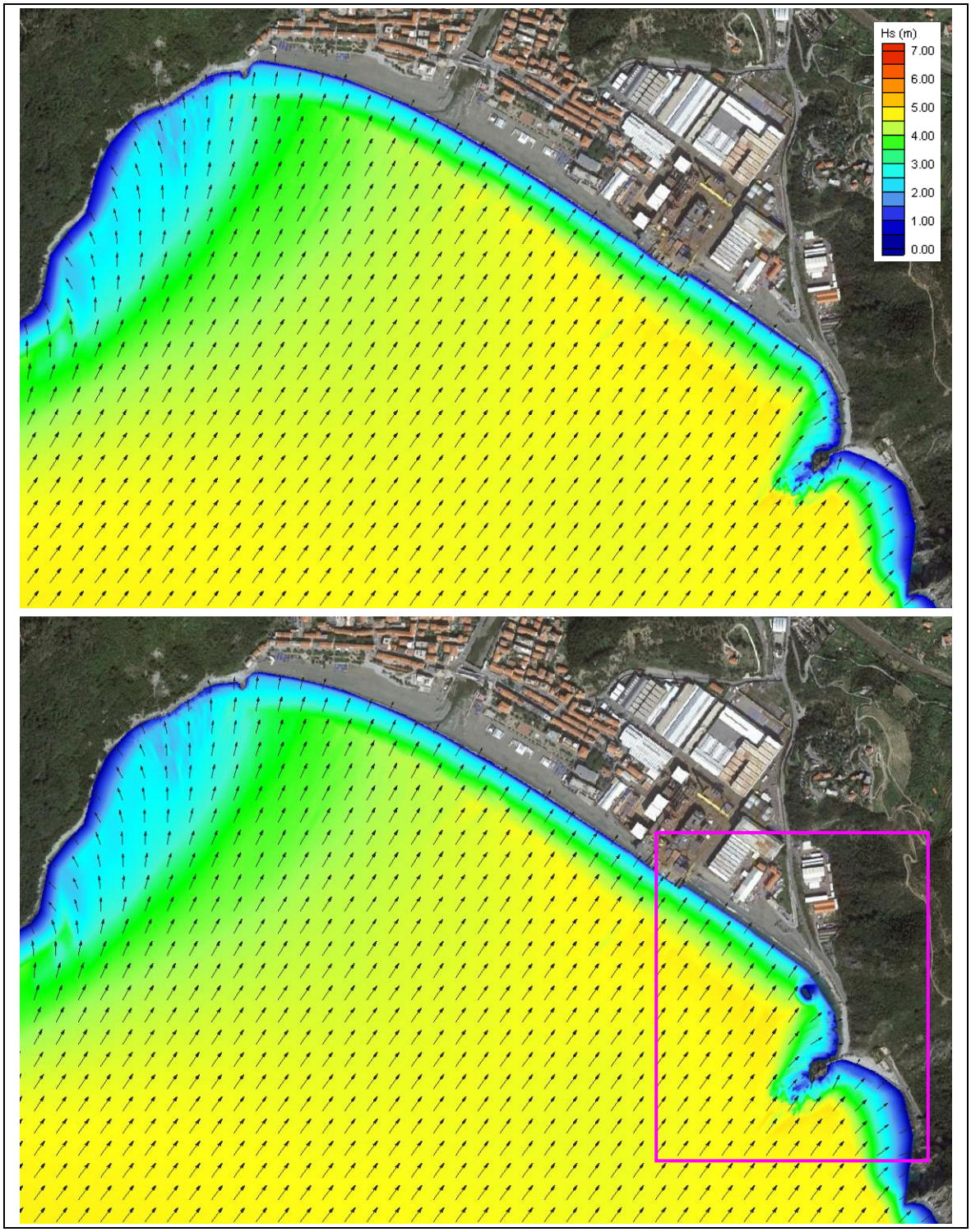


Fig. 3.8 – Piano d'onda TEST 3 – Mareggiata da Libeccio - TR = 1 anno
Caratteristiche nel punto P (-50 m): Hs = 4.5 m; Tp = 9.7 s; Dir = 217°N
Configurazione attuale (in lato) e di progetto (in basso – in magenta il riquadro dell'area di intervento)

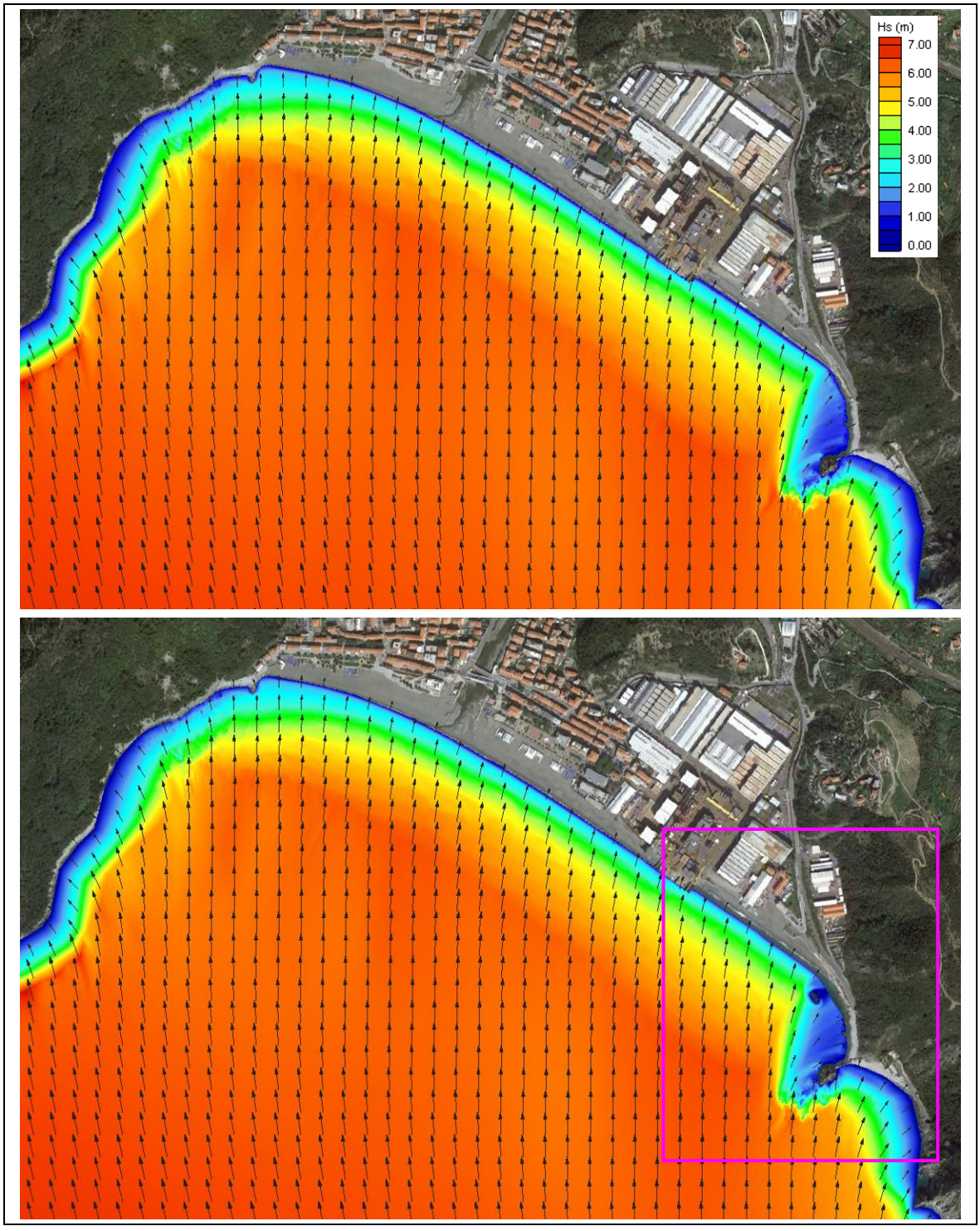


Fig. 3.9 – Piano d'onda TEST 4 – Mareggiata da Scirocco - TR = 50 anni
Caratteristiche nel punto P (-50 m): Hs = 6.4 m; Tp = 12.2 s; Dir = 164°N
Configurazione attuale (in lato) e di progetto (in basso – in magenta il riquadro dell'area di intervento)

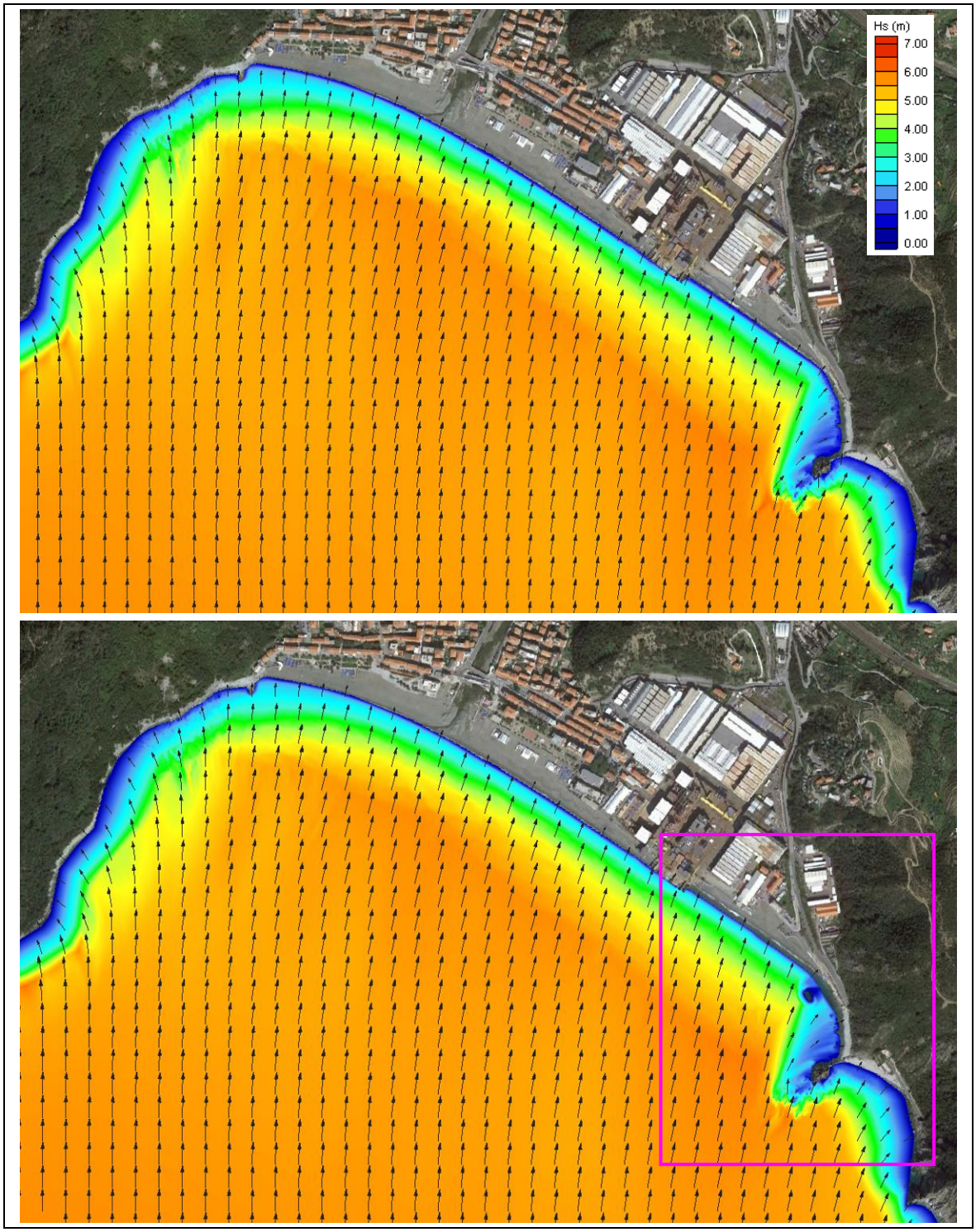


Fig. 3.10 – Piano d'onda TEST 5 – Mareggiata da Mezzogiorno - TR = 50 anni
Caratteristiche nel punto P (-50 m): Hs = 5.5 m; Tp = 11.0 s; Dir = 181°N
Configurazione attuale (in lato) e di progetto (in basso – in magenta il riquadro dell'area di intervento)

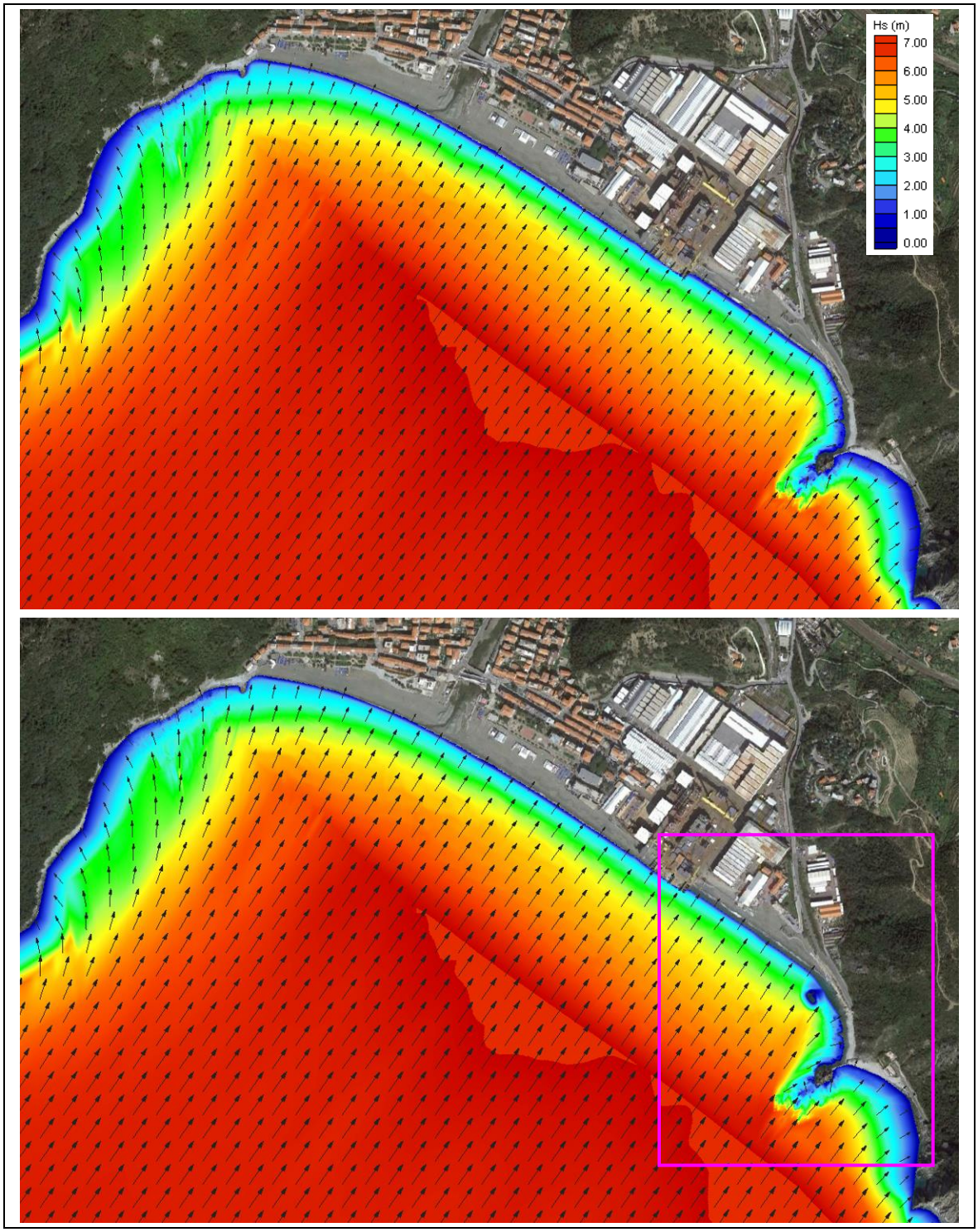


Fig. 3.11 – Piano d'onda TEST 6 – Mareggiata da Libeccio - TR = 50 anni
Caratteristiche nel punto P (-50 m): Hs = 6.7 m; Tp = 12.2 s; Dir = 215°
Configurazione attuale (in lato) e di progetto (in basso – in magenta il riquadro dell'area di intervento)

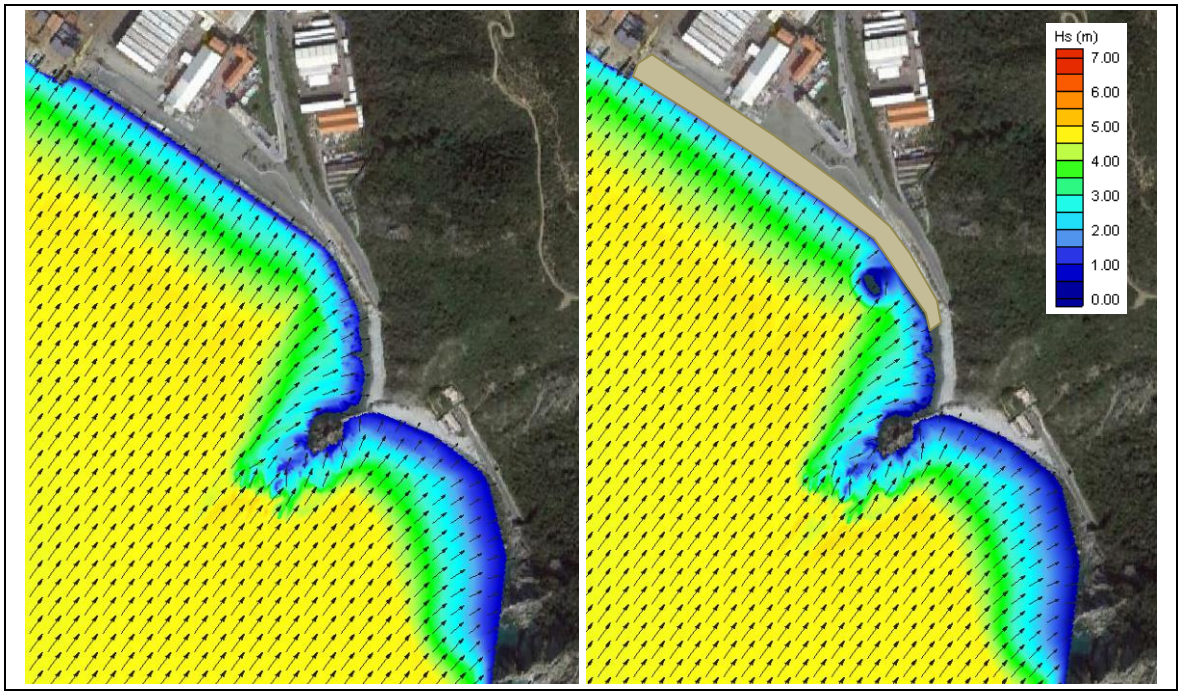


Fig. 3.12 – Dettaglio area di intervento - Piano d'onda TEST 3 – Mareggiata da Libeccio - TR = 1 anno
Configurazione attuale (a sinistra) e di progetto (a destra)

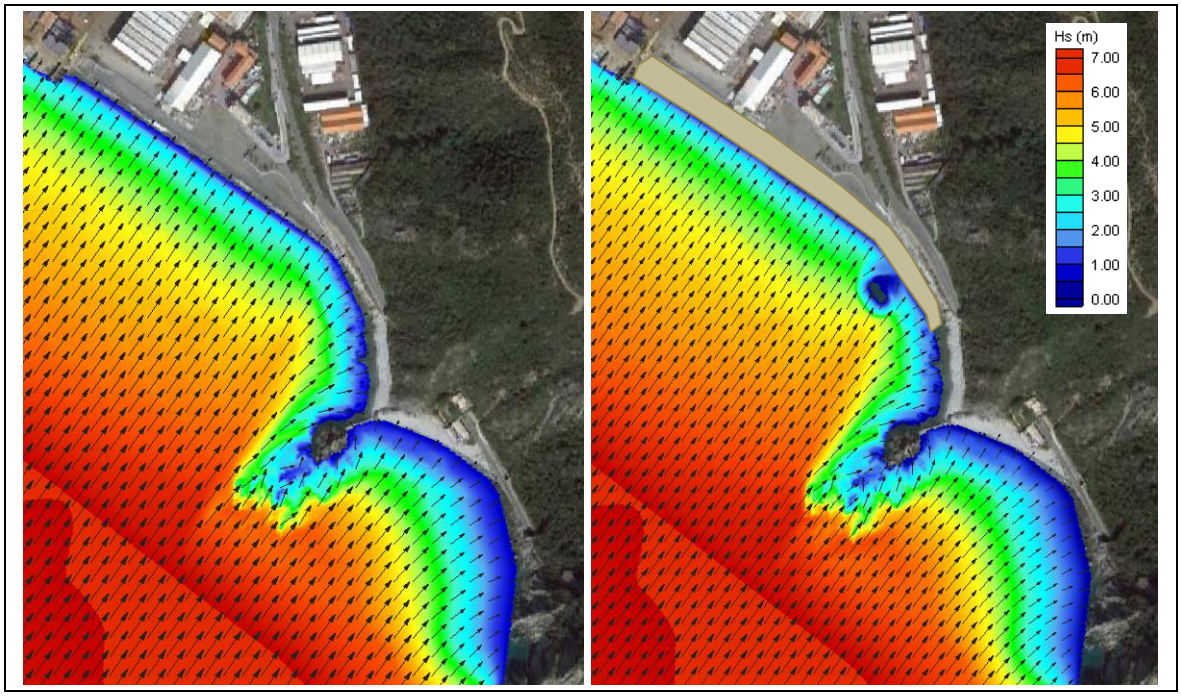


Fig. 3.13 – Dettaglio area di intervento - Piano d'onda TEST 6 – Mareggiata da Libeccio - TR = 50 anni
Configurazione attuale (a sinistra) e di progetto (a destra)

4 EFFETTI DELLE MAREGGIATE SUL PROFILO DI SPIAGGIA

Il presente paragrafo riporta i risultati delle simulazioni condotte per mezzo del codice di calcolo SBEACH; tale codice di calcolo permette di valutare l'evoluzione del profilo trasversale del litorale e la risalita dell'onda per azione di mareggiate ritenute significative ai fini dello studio. La risalita del moto ondoso è uno degli aspetti determinanti per quanto riguarda la stabilità della spiaggia, del cordone dunale (ove presente) e delle infrastrutture retrostanti.
La descrizione del codice di calcolo SBEACH è riportata in dettaglio nel successivo paragrafo 4.3.
L'analisi è stata condotta sulla base degli eventi di moto ondoso estremi caratterizzati da un tempo di ritorno di 1 e 50 anni (cfr. precedente paragrafo 3.4); l'analisi ha lo scopo di ottenere una valutazione qualitativa dell'impatto/efficacia sul profilo di spiaggia dell'intervento proposto per la difesa e la stabilizzazione della costa.
Le simulazioni hanno riguardato due profili rappresentativi del tratto di litorale oggetto di intervento: un profilo ubicato al centro della spiaggia di Renà (cfr. Fig. 2.3) e uno in corrispondenza del limite orientale dell'area di intervento, nel tratto in cui verrà realizzata la secca (cfr. Fig. 2.4).

Le simulazioni sono state condotte sia in configurazione attuale (assenza di intervento) che con riferimento alla soluzione progettuale proposta (cfr. precedente paragrafo 2). Per quanto riguarda il primo profilo (spiaggia di Renà) la soluzione progettuale prevede un ripascimento strutturale con granulometria differenziata (pietrisco nella parte sommersa e sabbia per la spiaggia emersa), mentre per quanto riguarda il secondo profilo (zona orientale) è stata rappresentata la secca semiaffiorante e il ripascimento con pietrisco.

Le simulazioni si riferiscono ad eventi "estremi" di moto ondoso caratterizzati da un tempo di ritorno di 1 e 50 anni. Con riferimento alle mareggiate estreme propagate sottocosta (cfr. paragrafo 3.4), per ciascuno dei due tempi di ritorno sono state considerate le direzioni di provenienza maggiormente critiche in relazione allo studio dell'evoluzione del profilo trasversale. Si tratta nello specifico delle mareggiate di Libeccio che oltre ad essere caratterizzate dai valori più elevati di altezza significativa, giungono sottocosta con direzione pressoché coincidente con la normale al litorale.
Di seguito, in Tab. 4.1, si riassumono le caratteristiche delle mareggiate estreme considerate per le simulazioni dell'evoluzione del profilo trasversale di spiaggia; l'input del modello SBEACH è stato fissato oltre la profondità di chiusura, su un fondale di circa 10 m. Le condizioni di input sono state estratte dai risultati della propagazione sottocosta condotta per mezzo del codice di calcolo STWAVE. La durata degli eventi simulati nel codice di calcolo SBEACH è stata assunta pari a 48 ore, comprensive di una fase montante, una fase stazionaria (di 18 ore) e una di caduta.

			PROFILO SPIAGGIA RENA'			PROFILO ZONA EST		
TEST	**CARATTERISTICHE MAREGGIATE**	**Sovralzo (m s.m.m.)**	**Hs (m)**	**Tp (s)**	**DIR (°N)**	**Hs (m)**	**Tp (s)**	**DIR (°N)**
SB_1	**Tempo ritorno 1 anno**	+0.50	4.37	9.7	215	4.40	9.7	215
SB_2	**Tempo ritorno 50 anni**	+0.50	6.00	12.2	215	6.00	12.2	215

Tab. 4.1 – Caratteristiche della mareggiate estreme di Libeccio nei punti di input (profondità 10.0 m)

In merito alle caratteristiche granulometriche da fornire in input al codice di calcolo, si fa presente che SBEACH consente di assegnare un unico valore del parametro D_{50} (diametro medio dei grani) rappresentativo del profilo della spiaggia emersa e sommersa. Il modello inoltre consente di rappresentare l'evoluzione del profilo trasversale di spiagge sabbiose, ovvero fino a granulometrie non superiori a 1 mm (valore caratteristico delle sabbie grossolane).

Sulla base delle granulometrie ipotizzate per il ripascimento della spiaggia di Renà (pietrisco 15÷30 mm per la parte sommersa di Renà e sabbia 0.5÷1.0 mm per la parte emersa), si è ragionevolmente ipotizzato di considerare come "stabile" la parte sommersa del profilo, rappresentandola nel modello SBEACH come una berma inerodibile. Per quanto riguarda la parte emersa più fine, essa è stata rappresentata nel modello con un valore medio rappresentativo delle caratteristiche ipotizzate per il materiale di apporto (sabbia 0.5÷1.0 mm).
Per quanto riguarda il profilo in configurazione attuale, le caratteristiche granulometriche medie della fascia attiva del litorale sono state assunte coincidenti con quelle della parte emersa del profilo di ripascimento (sabbia 0.5÷1.0 mm). Nello sviluppo della soluzione progettuale si è infatti ipotizzato che la parte emersa del profilo venga ricostruita con materiale di granulometria analoga a quella del materiale nativo.

Per quanto riguarda invece l'intervento nel tratto più orientale (secca e ripascimento con pietrisco sia per la parte sommersa che per quella emersa), il profilo di progetto è stato considerato come "stabile" vista la presenza della secca in massi naturali e del ripascimento grossolano. Le simulazioni sono state pertanto condotte con la sola finalità di stimare la risalita del moto ondoso.

L'analisi è stata eseguita con riferimento alla configurazione di progetto del litorale al fine di valutare la risalita dell'onda in corrispondenza della secca e della nuova spiaggia. Allo stato attuale, infatti, nell'estremità orientale del litorale non è presente una vera e propria spiaggia ma un terrazzamento a quota +2.0 m s.m.m. e un retrostante muro di contenimento della strada litoranea. Il modello SBEACH, essendo stato appositamente sviluppato per stimare l'evoluzione di profili di spiaggia e la risalita su profili sabbiosi (più o meno acclivi), non è in grado di rappresentare correttamente la risalita su pareti verticali.
Tuttavia, sulla base dei sopraluoghi eseguiti e delle informazioni disponibili, si fa presente che il muro e la scogliera radente in questa zona sono state più volte danneggiate per azione delle mareggiate, con altezze di risalita che hanno raggiunto quote di oltre strada.

4.1 Risultati profilo spiaggia Renà

Nel presente paragrafo si riportano i risultati delle simulazioni condotte per mezzo del codice di calcolo SBEACH per il profilo in corrispondenza della spiaggia di Renà. Le simulazioni sono state condotte sia con riferimento alla configurazione attuale del litorale (assenza di interventi) che a quella di progetto (ipotesi progettuale di ripascimento a granulometria differenziata). In particolare, in Fig. 4.1 e Fig. 4.2 si riportano i risultati delle simulazioni con riferimento rispettivamente alle mareggiate di Libeccio caratterizzate da un tempo di ritorno di 1 e 50 anni.

Per quanto riguarda la mareggiata più frequente (TR 1 anno; Fig. 4.1), si osserva come il profilo in configurazione attuale sia soggetto ad arretramento nella zona sottocosta (tra la +2.00 e la -3.00 m s.m.m.). Va tuttavia evidenziato che tale variazione nella realtà è più contenuta nella parte sommersa del profilo che risulta caratterizzata da una granulometria più grossolana rispetto alla parte emersa, a ragione non tanto delle analisi granulometriche effettuate quanto della pendenza del primo tratto del profilo. Tale condizione non è rappresentabile nel modello SBEACH che, come accennato in precedenza, consente di assegnare un'unica granulometria per il profilo
Con riferimento alla soluzione progettuale, la granulometria prescelta per la ricostruzione del profilo sommerso della spiaggia (pietrisco 15÷30 mm), più grossolana del materiale nativo, ha consentito di imporre con ragionevole certezza la condizione di "inerodibilità" del primo tratto del profilo sommerso, con conseguente miglioramento della stabilità della spiaggia. La parte emersa del profilo di spiaggia, più fine, arretra ma la berma sommersa più grossolana consente di contenere i fenomeni erosivi con evidente miglioramento della stabilità e della fruibilità della spiaggia.
La risalita del moto ondoso raggiunge la quota di +2.5 m s.m.m. in configurazione attuale e +2.8 in configurazione di progetto.

Per quanto riguarda invece la mareggiata più intensa (TR 50 anni; Fig. 4.2), si osserva come il profilo in configurazione attuale sia soggetto ad una erosione più consistente rispetto alla mareggiata con TR 1 anno; in particolare i fenomeni erosivi interessano una fascia più estesa della spiaggia emersa (fino a quota +4.50 m s.m.m.). In merito alle variazioni del profilo sommerso vale quanto osservato per il TEST SB_1.
Con riferimento alla soluzione progettuale, si osserva comunque un miglioramento rispetto alla configurazione attuale, anche se i fenomeni erosivi sono piuttosto intensi nella parte emersa del profilo, con arretramento consistente della spiaggia e perdita del materiale più fine verso il largo. La presenza della berma grossolana consente comunque di mantenere una "base stabile" della spiaggia; a seguito delle mareggiate più intense sarà quindi più agevole intervenire con interventi manutentivi ripristinando la sola parte emersa del profilo di spiaggia. Diversamente allo stato attuale bisognerebbe ricostruire l'intero profilo di spiaggia, sia la parte emersa che parzialmente anche quella sommersa (cfr. come evidenziato in questa zona l'arretramento è più contenuto rispetto a quello rappresentato nel modello). La risalita del moto ondoso raggiunge la quota di +2.7 m s.m.m. in configurazione attuale e +3.0 in configurazione di progetto.

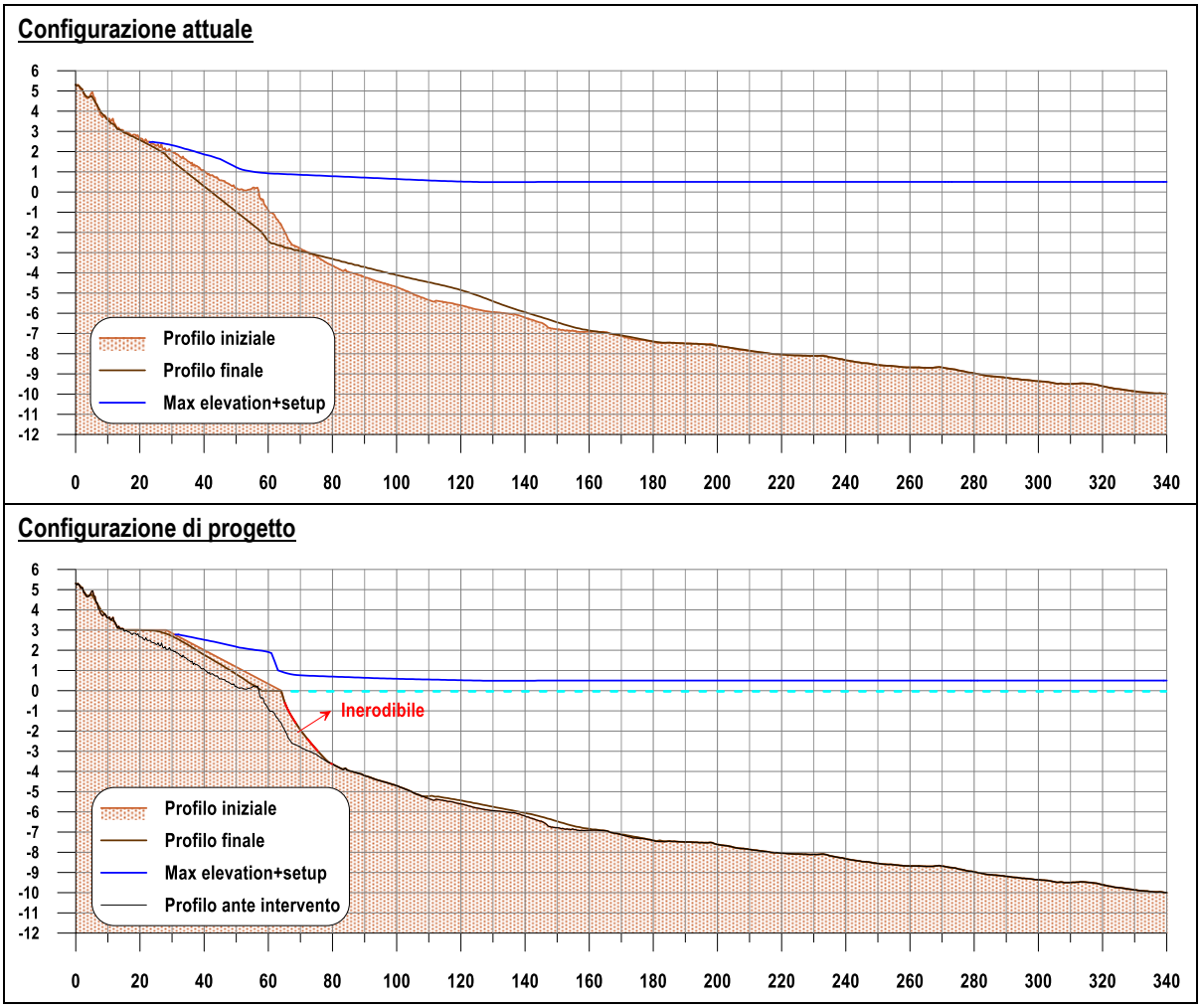


Fig. 4.1 – Spiaggia di Renà- TEST SB_1: TR 1 anno
Evoluzione del profilo trasversale e stima della risalita (dimensioni in metri)

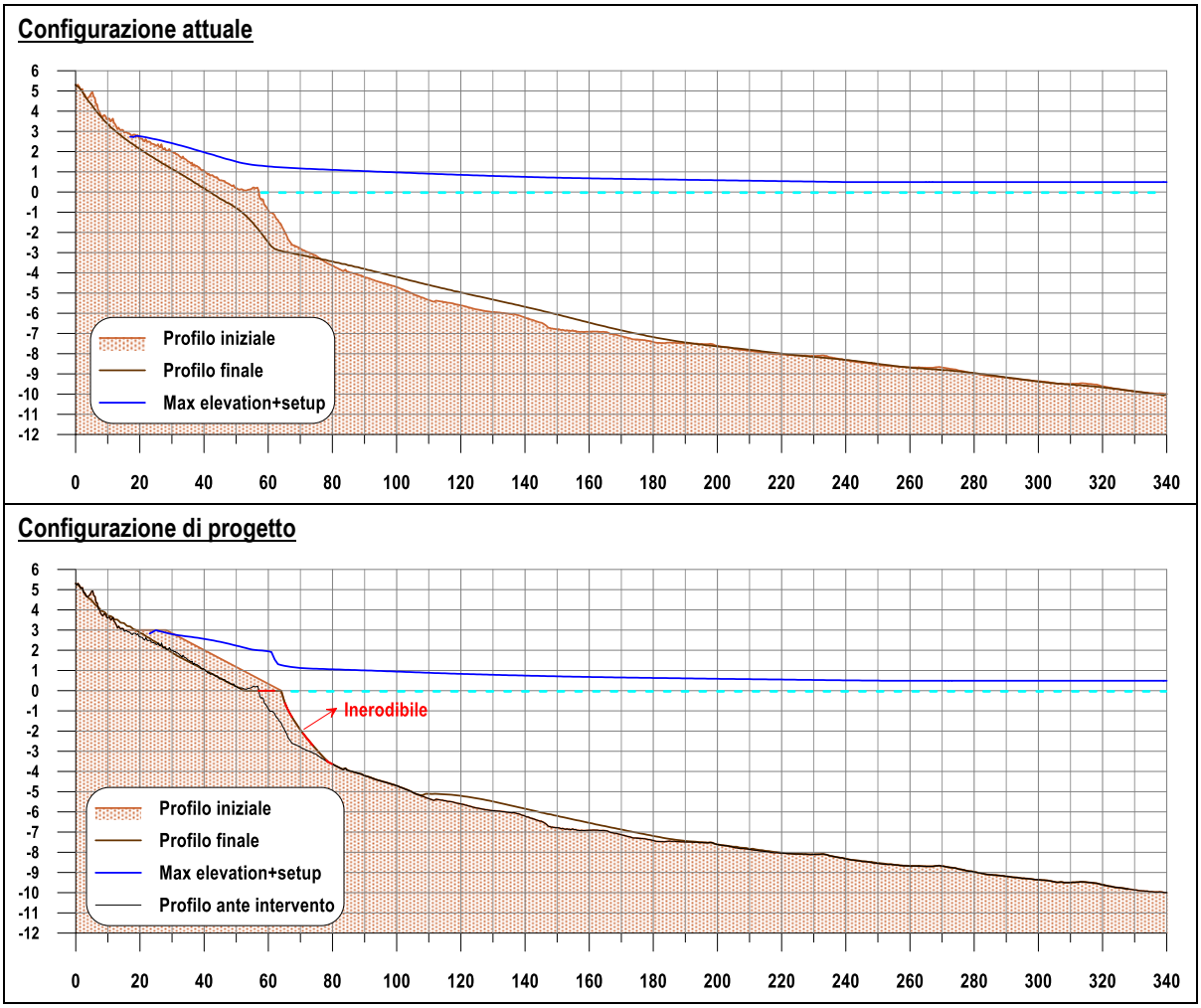


Fig. 4.2 - Spiaggia di Renà - TEST SB_2: TR 50 anni
Evoluzione del profilo trasversale e stima della risalita (dimensioni in metri)

4.2 Risultati profilo orientale (secca)

Nel presente paragrafo si riportano i risultati delle simulazioni condotte per mezzo del codice di calcolo SBEACH per il profilo più orientale in corrispondenza della secca semiaffiorante. In questo caso, come precedentemente accennato, le simulazioni per la stima della risalita del moto ondoso sono state condotte solamente con riferimento alla configurazione di progetto.
In particolare, in Fig. 4.3 e Fig. 4.4 si riportano i risultati delle simulazioni con riferimento rispettivamente alle mareggiate di Libeccio caratterizzate da un tempo di ritorno di 1 e 50 anni.
Le due simulazioni (TR 1 e 50 anni) mostrano risultati analoghi in termini di risalita del moto ondoso, che raggiunge quote di circa +2.9÷+3.0 m s.m.m.. Le mareggiate incidenti infatti frangono in corrispondenza della secca, come evidenziato anche dalle simulazioni condotte per mezzo del codice di calcolo STWAVE (cfr. precedente paragrafo 3.4); dalla secca verso costa si osserva un incremento del livello dovuto al setup.
La soluzione progettuale consente di ridurre l'impatto delle mareggiate sulla infrastrutture retrostanti (muri di contenimento e strada litoranea), riducendo significativamente la risalita del moto ondoso rispetto ai livelli raggiunti attualmente nel corso delle mareggiate più intense che si sono abbattute sul litorale.

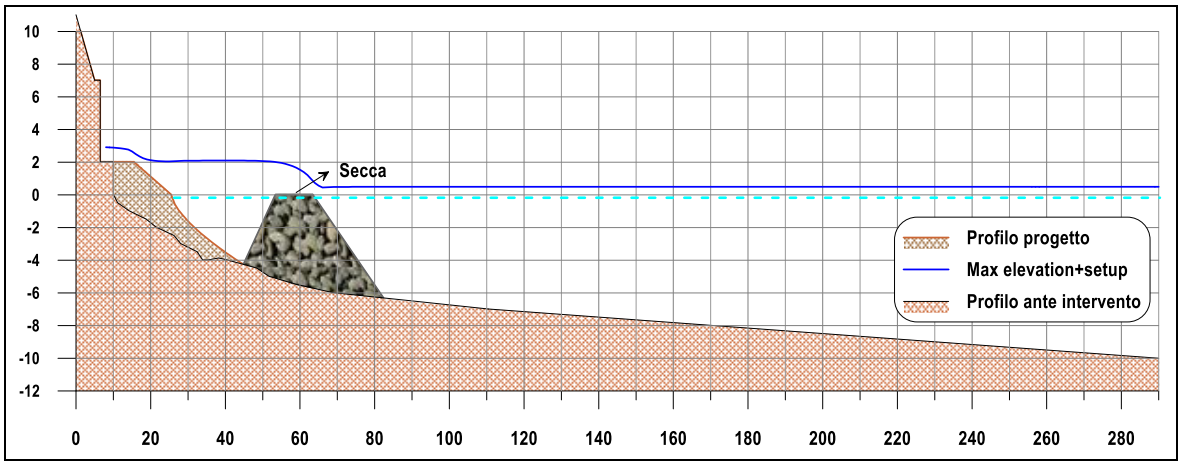


Fig. 4.3 – Profilo secca- TEST SB_1: TR 1 anno- Stima della risalita (dimensioni in metri)

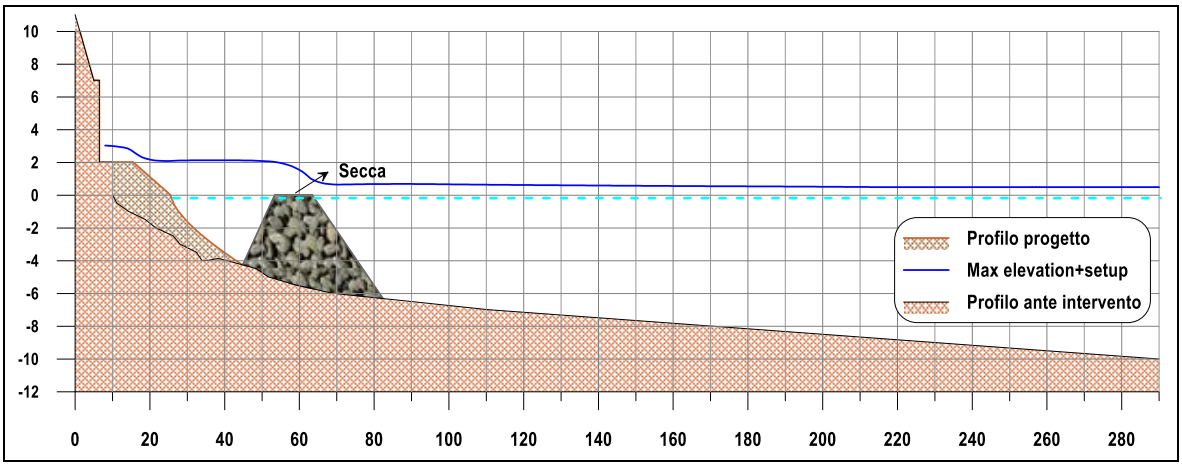


Fig. 4.4 – Profilo secca - TEST SB_2: TR 50 anni - Stima della risalita (dimensioni in metri)

4.3 Descrizione del codice di calcolo SBEACH

Il modello di simulazione numerica SBEACH (Storm-induced BEAch Change) è stato sviluppato dal US Army Engineer Waterways Experiment Station (Coastal Engineering Center) al fine di valutare e quantificare l'erosione del profilo del litorale sotto l'effetto di particolari mareggiate. Il modello originale è stato poi modificato e testato negli anni.
La previsione quantitativa della variazione del profilo del litorale in seguito all'azione delle onde e alle variazioni del livello del mare è uno dei maggiori problemi dell'ingegneria marittima. Il presente modello numerico (SBEACH) rappresenta un efficace strumento per valutare tali effetti a livello macroscopico, trascurando fenomeni su piccola scala come increspature del livello del mare ed evitando di addentrarsi in complesse formulazioni riguardanti flusso e concentrazione dei sedimenti.
Uno dei vantaggi offerti dal modello è quello di riprodurre le principali caratteristiche morfologiche del profilo, in particolare ostacoli, barriere e berme.
Il modello è formalmente basato sull'equazione di conservazione della massa, la cui formulazione richiede un'espressione matematica per quanto concerne il trasporto attraverso il litorale. In questo caso, dal momento che il modello risulta, per quanto affermato in precedenza, piuttosto generale e flessibile, è sufficiente adottare una qualsiasi formula per il trasporto litoraneo, teorica o anche empirica.

4.3.1 Approccio metodologico

Allo stato attuale, risulta chiaro come un qualsiasi modello numerico che si prefigga lo scopo di valutare i cambiamenti del profilo di una spiaggia debba basarsi su relazioni semi-empiriche derivate da misurazioni. Il modello presentato in questo contesto è stato sviluppato usando dati ricavati da esperimenti condotti anche su prototipi in scala (LWT). Si assume che i principali cambiamenti nella forma del profilo della spiaggia siano provocati dalle onde che frangono sulla riva: perciò, il trasporto litoraneo è determinato dalle caratteristiche dell'onda locale, del livello del mare e della geometria del profilo. L'equazione che esprime la conservazione del materiale è formulata in maniera tale da valutare la variazione del profilo in funzione del tempo.
La distribuzione dell'altezza d'onda attraverso la riva è calcolata applicando la teoria dell'onda di piccola ampiezza (small-amplitude wave) a partire dal punto di frangimento dell'onda; successivamente il modello di decadimento dell'onda frangente, sviluppato da Dally (1980), viene applicato per prevedere l'altezza d'onda nelle zone di frangimento. Il profilo viene suddiviso in specifiche regioni in relazione alle caratteristiche dell'onda, relative ad un dato intervallo temporale.
La distribuzione percentuale del trasporto del materiale lungo la spiaggia viene quindi calcolata attraverso relazioni semi-empiriche valide nelle differenti regioni di trasporto. Nel tratto finale del profilo, verso riva, il limite di risalita costituisce un confine attraverso il quale non può esserci trasporto di materiale, mentre il confine verso mare è rappresentato dalla profondità in corrispondenza della quale non si verificano più movimenti del materiale (o meglio, variazioni del profilo). Una volta nota la distribuzione del trasporto lungo il profilo, le variazioni geometriche del profilo stesso vengono calcolate attraverso l'equazione di conservazione della massa.
La procedura appena descritta è condotta ad ogni intervallo temporale seguendo lo schema risolutivo tipico dei metodi alle differenze finite, usando le condizioni dell'onda corrente incidente sulla spiaggia e il livello del mare, e aggiornando di volta in volta la geometria del profilo.

4.3.2 Modello adottato per le onde

Mentre le onde si avvicinano alla riva lungo un fondale leggermente inclinato, aumentano in altezza e diminuiscono in lunghezza; questo fenomeno è dovuto allo shoaling. Può, pertanto, essere assunto che le onde incidano normalmente la costa, così da poter trascurare la rifrazione.
L'onda continua a crescere in altezza finchè non si arriva ad un valore critico per quanto riguarda il rapporto tra altezza dell'onda e profondità del fondale: a quel punto l'onda frange. La distribuzione dell'altezza d'onda attraverso il litorale è calcolata secondo la teoria lineare.

4.3.3 Criterio di frangimento e altezza frangente

Il rapporto tra l'altezza d'onda e la profondità del litorale nel punto di frangimento (chiamato "breaker index") è stato sviluppato utilizzando i dati di CRIEPI. Alcune osservazioni, effettuate a partire dall'analisi dei dati a disposizione, hanno evidenziato come l'indice di frangimento dipenda principalmente dall'inclinazione del fondale prima del frangimento e dalla pendenza dell'onda (Galvin 1969, Weggel 1972, Singamsetti e Wind 1980, Sunamura 1981). L'indice di frangimento aumenta all'aumentare dell'inclinazione del fondale e diminuisce all'aumentare della pendenza dell'onda.
Un'analisi regressiva mostra come la pendenza del profilo della spiaggia e l'inclinazione dell'onda possano essere inglobate assieme in un'unica equazione:

$$\frac{H_b}{h_b} = 1.14\left(\frac{\tan\beta}{\sqrt{H_0 / L_0}}\right)^{0.21}$$

dove tanβ rappresenta la pendenza locale del litorale verso mare nel punto di frangimento.
In Fig. 4.5, i dati degli esperimenti di CRIEPI sono stati riportati assieme alla retta di cui alla precedente equazione. Il modello adottato per le onde al fine di prevedere le condizioni di frangimento utilizza l'equazione appena descritta.

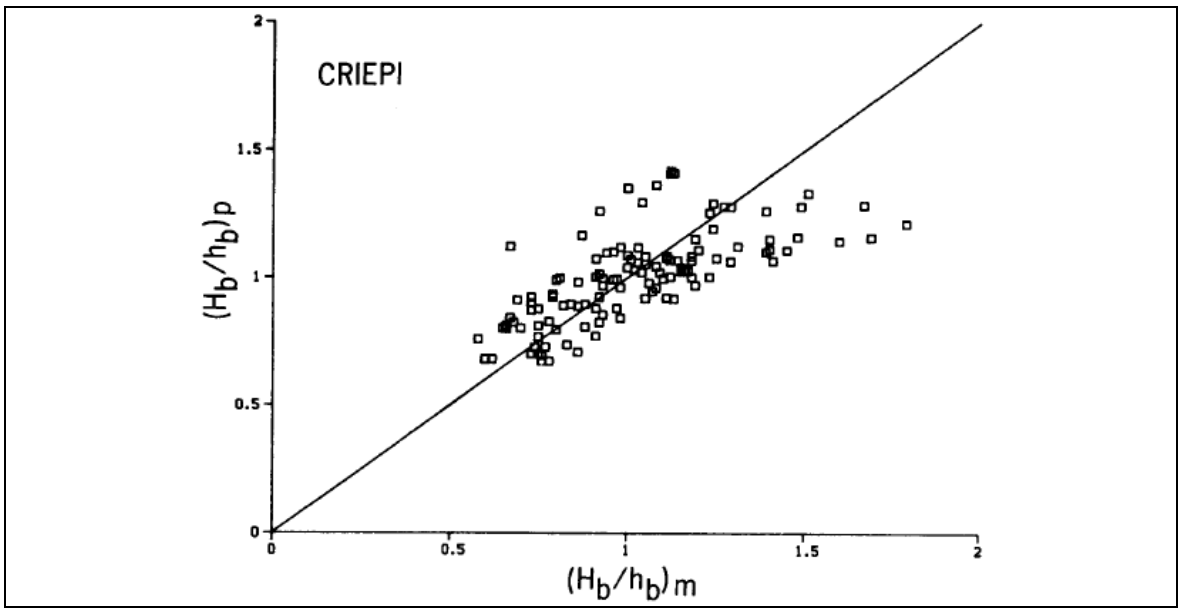


Fig. 4.5 - Confronto tra il rapporto di frangimento misurato e calcolato con l'equazione

4.3.4 Modello di decadimento dell'onda frangente

La maggior parte dei modelli utilizzati per descrivere il decadimento dell'altezza d'onda nella zona di frangimento contengono parametri empirici, i cui valori devono essere stimati attraverso una fase di calibrazione utilizzando dati misurati. Il modello per le onde, utilizzato in questo contesto, è stato proposto da Dally (1980); esso è stato verificato sia con dati di laboratorio (Dally 1980), sia con dati misurati in situ (Ebersole 1987). L'equazione che governa il modello di decadimento dell'onda nella regione di frangimento può essere scritta, nella sua forma più generale, come:

$$\frac{dF}{dx} = -\frac{k}{h}(F - F_s)$$

dove k rappresenta il coefficiente empirico del decadimento dell'onda ed F_s il flusso di energia dell'onda stabile.

Nell'equazione precedente, la coordinata x ha origine nel punto di frangimento ed è positiva verso mare. L'ipotesi assunta nel formulare tale equazione è che la dissipazione di energia per unità di area sia proporzionale alla differenza tra il flusso di energia esistente e il flusso di energia stabile (l'onda che possiede tale valore di energia non frange).
Utilizzando la teoria lineare, il flusso dell'energia in un fondale poco profondo risulta:

$$F = \frac{1}{8}\rho g H^2 \sqrt{gh}$$

Il flusso di energia stabile è generalmente una funzione della profondità del mare, ed, in particolare, un coefficiente Γ viene usato per esprimere il rapporto tra l'altezza locale dell'onda e la profondità del mare in corrispondenza delle condizioni di stabilità:

$$H_s = \Gamma h$$

I valori misurati da CRIEPI della distribuzione dell'altezza d'onda sono stati usati per valutare l'efficienza del modello proposto e per stimare, quindi, il valore dei due parametri empirici k e Γ.
L'espressione dell'equazione per un profilo di forma qualsiasi, applicando la teoria lineare, risulta:

$$H = \left[\frac{1}{\sqrt{h}}\left(H_b^2\sqrt{h_b}\,e^{-k\int_0^x \frac{dx}{h}} + e^{-k\int_0^x \frac{dx}{h}} k\Gamma^2 \int_0^x h\sqrt{h}\,e^{k\int_0^x \frac{dx}{h}} dx\right)\right]^{1/2}$$

dove, come accennato in precedenza, la coordinata x ha origine nel punto di frangimento.
La Fig. 4.6 mostra un confronto tra le altezze d'onda misurate, in diversi intervalli temporali, nella zona di frangimento e le relative curve derivanti dall'equazione precedente.
Il calcolo del setup e del setdown è inglobato nel calcolo dell'altezza d'onda; i valori di tali grandezze vengono determinati risolvendo la seguente equazione differenziale assieme all'equazione di decadimento:

$$\frac{dS_{xx}}{dx} = -\rho g(h+\eta)\frac{d\eta}{dx}$$

dove S_{xx} rappresenta la componente del radiation stress diretta verso terra e η il setup.

Il radiation stress, utilizzando le approssimazioni per fondali poco profondi, risulta:

$$S_{xx} = \frac{3}{16}\rho g H^2$$

Il valore del setup nella prima cella di calcolo è fornito dalla soluzione analitica dell'equazione generale, assumendo che non vi siano perdite di energia:

$$\eta = \frac{-\pi H^2}{4L\sinh\left(\frac{4\pi h}{L}\right)}$$

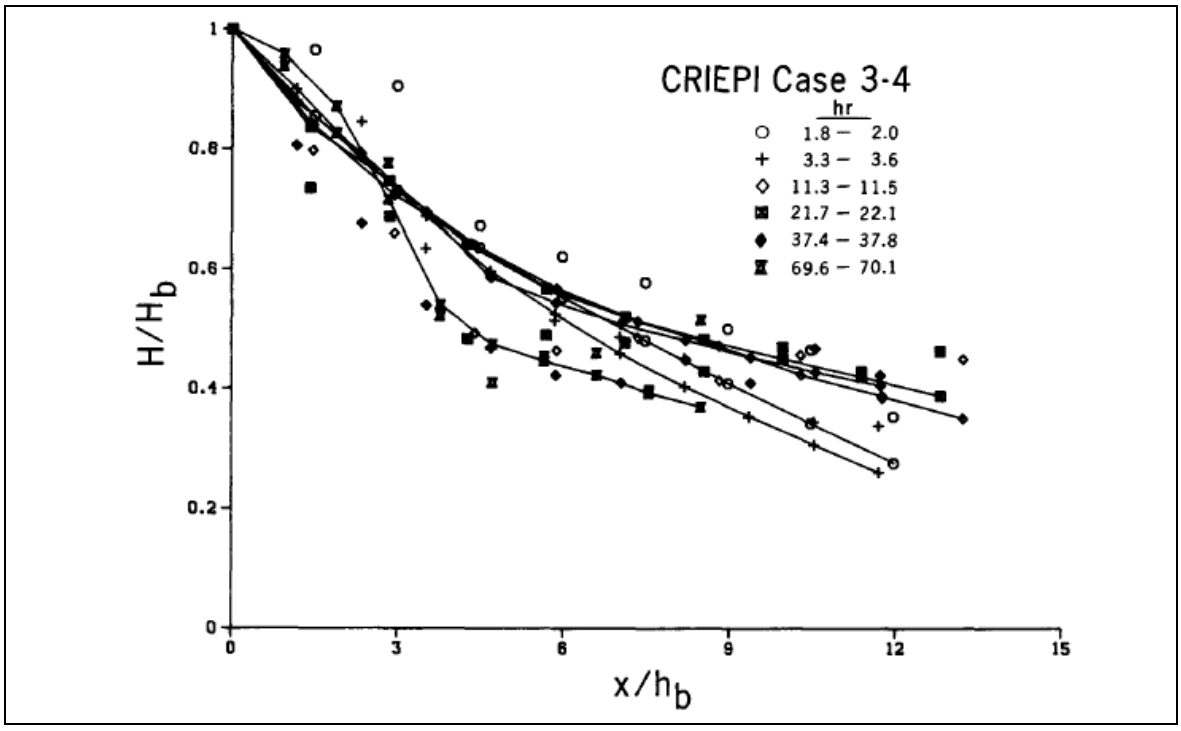


Fig. 4.6 – Confronto tra altezza d'onda misurata e calcolata

4.3.5 Equazioni del trasporto lungo il profilo di spiaggia e verso del trasporto

La distribuzione del trasporto lungo il profilo di spiaggia (cross-shore) è stata calcolata utilizzando alcune relazioni, che si differenziano a seconda della zona del profilo di spiaggia in cui si va ad operare; il profilo, infatti, può essere suddiviso in 4 zone (Fig. 4.7).
Nella zona di frangimento (zona III) la distribuzione percentuale del trasporto è funzione della dissipazione di energia per unità di volume; sia verso mare che verso terra, rispetto alla zona di frangimento, vengono applicate relazioni semi-empiriche per il trasporto ricavate da esperimenti di laboratorio. L'entità del trasporto in tutte e quattro le zone è governata da quello calcolato nella zona di frangimento, dove prevalgono le onde frangenti.

$$q = \begin{cases} K\left(D - D_{eq} + \dfrac{\varepsilon}{K}\dfrac{dh}{dx}\right) & \Leftarrow D > D_{eq} - \dfrac{\varepsilon}{K}\dfrac{dh}{dx} \\ 0 & \Leftarrow D < D_{eq} - \dfrac{\varepsilon}{K}\dfrac{dh}{dx} \end{cases}$$

dove K rappresenta il coefficiente empirico della percentuale di trasporto, D l'energia di dissipazione dell'onda per unità di volume, D_{eq} l'energia di dissipazione di equilibrio per unità di volume ed ε il coefficiente di trasporto per il termine dipendente dall'inclinazione

L'energia dissipata per unità di volume è data dalla variazione del flusso di energia F dell'onda:

$$D = \frac{1}{h}\frac{dF}{dx}$$

L'equazione mostra come non vi sia trasporto nel caso in cui D diventi inferiore a D_{eq}, corretto dal termine che dipende dall'inclinazione del profilo; questo può accadere in seguito ad una variazione del livello del mare.

Fisicamente, la dissipazione dell'energia D_{eq} rappresenta uno stato in cui il trasporto netto, mediato nel tempo attraverso ciascuna sezione del profilo della spiaggia, risulta nullo. Tale valore di dissipazione dell'energia può essere espresso in funzione di un parametro geometrico del profilo A:

$$D_{eq} = \frac{5}{24}\rho g^{3/2}\gamma^2 A^{3/2}$$

dove γ rappresenta il rapporto tra l'altezza d'onda e la profondità nel punto di frangimento (indice di frangimento, H_b/h_b).
Dall'equazione precedente si può dedurre che la dissipazione D contiene implicitamente un termine proporzionale alla pendenza del profilo di spiaggia; l'analisi dei dati sperimentali ha dimostrato come vi sia effettivamente una relazione tra tale pendenza e il trasporto solido. La pendenza del profilo è stata quindi inserita esplicitamente nella relazione che esprime il trasporto solido; Dean (1984) ha ulteriormente modificato tale relazione facendo dipendere D_{eq} dal rapporto tra il valore della pendenza e la pendenza critica per la stabilità del profilo.

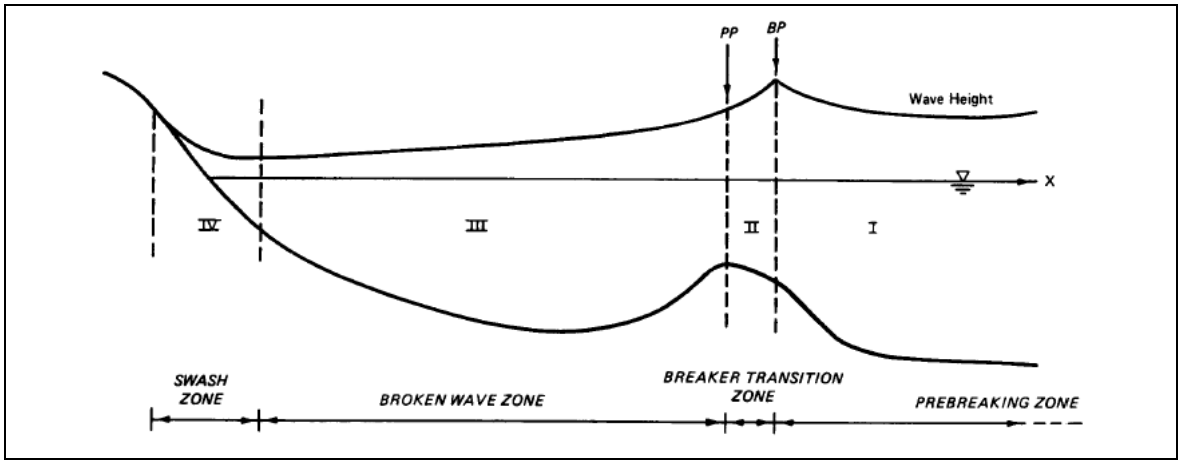


Fig. 4.7 - Rappresentazione schematica delle 4 zone di trasporto

I valori del coefficiente K ottenuti da prove di laboratorio, anche se da esperimenti non completamente affini, sono nel range di 1.1÷8.7 10^{-6} m^4/N, mentre il coefficiente ε, analogamente determinato, risulta dell'ordine di 0.0006 m^2/s.
In ogni caso, negli studi condotti per lo sviluppo del presente modello, la maggiore compatibilità di risultati tra le simulazioni effettuate con il modello e le variazioni di profilo misurate effettivamente, è stata ottenuta utilizzando il valore di D_{eq} calcolato con i coefficiente proposti da Moore (1982) e Kriebel (1982) [K = 2.2 10^{-6} m^4/N e ε = 0.0006 m^2/s] e successivamente ridotto del 25%.

L'equazione del profilo di equilibrio, tenendo in considerazione anche il termine dipendente dalla pendenza del profilo, può essere scritta come segue:

$$h\sqrt{h} + \frac{\varepsilon}{K}\frac{24}{5\rho g^{3/2}\gamma^2} = A^{3/2}x$$

Nell'equazione la profondità del fondale è una funzione implicita della distanza dalla riva; inoltre si può osservare come verso mare il profilo risulti pressochè coincidente con il profilo di Dean.
Nel modello numerico, le regioni di frangimento vengono individuate ad ogni intervallo temporale e il trasporto litoraneo viene determinato attraverso l'equazione di trasporto. Le onde vengono considerate totalmente frangenti a partire dal punto di collasso dell'onda posto al confine verso riva della zona di frangimento o a partire dal punto in cui l'onda si riforma. La posizione del punto di collasso viene definita con riferimento al punto di frangimento e alla "lunghezza del frangimento" (ampiezza della breaker transition zone in Fig. 4.7). Galvin (1969) ha stimato che la lunghezza di frangimento l_p sia almeno pari a quattro volte l'altezza di frangimento dell'onda, mostrando perciò una legame con l'inclinazione della spiaggia tanβ; l'equazione di Galvin è la seguente:

$$\frac{l_p}{H_b} = 4.0 - 9.25\tan\beta$$

L'equazione è stata testata per prevedere la lunghezza di frangimento, ma fornisce distanze non confrontabili con quelle realmente misurate; pertanto, nel presente modello numerico è stato adottato un valore pari a tre volte l'altezza d'onda di frangimento.
Per la regione posta verso il largo rispetto al punto di frangimento, il trasporto solido cross-shore decresce con andamento esponenziale in funzione della distanza verso il largo; il coefficiente di decadimento, per il trasporto diretto verso il largo, dipende dall'altezza d'onda al frangimento e dal D_{50} dei sedimenti, mentre per quello diretto verso riva è costante.
Per la zona II, interessata dal frangimento, viene ancora usato un andamento esponenziale, ma con un coefficiente di decadimento pari al 20% di quello impiegato per la regione più al largo.
L'andamento del trasporto nella regione III e IV, verso riva, è lineare e si annulla nel punto di massima risalita dell'onda; il trasporto in questa regione tende ad annullarsi con l'avvicinarsi, nella zona II di frangimento, del profilo a quello di equilibrio.
Nella zona IV, in prossimità della linea di riva, tendono a svilupparsi pendenze molto elevate, limitate dall'instabilità della scarpata (dipendente dall'angolo di attrito di picco e residuo del materiale, rispettivamente 28° e 18° nei test di laboratorio effettuati).

4.3.6 Modello di variazione del profilo

Le variazioni del profilo sono calcolate ad ogni intervallo temporale attraverso l'equazione della distribuzione del trasporto solido lungo il litorale e l'equazione di conservazione della massa.
L'equazione di conservazione della massa può essere scritta come segue:

$$\frac{\partial q}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial t}$$

Le condizioni al contorno standard applicate nel modello assumono che non vi sia trasporto (verso riva) oltre il limite di massima risalita dell'onda, definito da una relazione empirica, e (verso mare) a profondità superiori a quella per la quale la relazione di decadimento esponenziale fornisce valori di trasporto inferiori ad una data soglia.

Nel calcolo della distribuzione dell'altezza d'onda attraverso la riva ad un determinato intervallo temporale, viene utilizzato il profilo della spiaggia calcolato nel precedente step temporale e le percentuali di trasporto lungo il litorale vengono calcolate esplicitamente. La conservazione della massa viene riportata in forma differenziale come:

$$\frac{h_i^{k+1} - h_i^k}{\Delta t} = \frac{1}{2}\left[\frac{q_{i+1}^{k+1} - q_i^{k+1}}{\Delta x} + \frac{q_{i+1}^k - q_i^k}{\Delta x}\right]$$

dove k rappresenta il livello temporale e *i* il numero della cella considerata.

L'equazione della massa viene discretizzata su due livelli temporali utilizzando i valori di trasporto solido, calcolati facendo riferimento al livello temporale corrente e a quello precedente.
Il modello numerico, presentato in questo contesto, risulta essere stabile sotto una ampia gamma di condizioni, anche con batimetrie particolarmente irregolari.
Nel caso di un profilo di spiaggia esposto a mareggiate con condizioni di onda e di livello del mare costanti, la geometria del profilo, derivante dalla simulazione con il presente modello, si avvicina notevolmente ad una situazione quasi-stazionaria, rappresentata da un profilo di equilibrio. L'avvicinamento ad una condizione di equilibrio è controllato dalla velocità con cui la dissipazione dell'energia nella zona di frangimento si avvicina al valore di equilibrio D_{eq}. All'equilibrio, il punto di frangimento è stazionario e la dissipazione dell'energia per unità di volume dell'acqua è costante attraverso tutta la zona di frangimento, risultando all'incirca pari a D_{eq}, corretto dal termine dipendente dall'inclinazione del profilo.

5 DIMENSIONAMENTO DELLE SCOGLIERE

Tutte le scogliere emerse sono previste con mantellata di massi naturali di III° categoria (da 3 a 7 ton).
Le opere previste nel progetto sono raggiunte dall'onda dopo frangimento ed in generale quando lo stesso si è trasformato in onda di traslazione. Per valutare il peso dei massi di scarpata necessario alla stabilità, è stata utilizzata la usuale formulazione di Hudson

$$W = (W_r/(S_r - 1)^3 \times A^3/(K_0 \text{ ctg } \alpha))$$

Nella quale sono stati introdotti

- W_r = 2.6 t/mc
- K= 2

SESTRI LEVANTE - RENA'

FORMULA di HUDSON

La formula di Hudson e rappresentata dalla seguente espressione

W=(Wr/(Sr-1)³*A³/(Kctg@))

dove

Wr e' il peso specifico del litotipo usato per la scarpata	= t/mc	2.6	
A e' l'altezza d'onda incidente sull'opera	= m	variabile	
ctg@ e' la inclinazione della scarpata sull'orizzontale	=	variabile	
K e' un coefficiente		K =	2

Viene fornita peraltro una tabella di variazione dei valori di W al variare di A e di ctg@

	altezza d' onda incidente														
pendenza	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	3.75	4	4.25	4.5	4.75	5
1/1	1.24	1.97	2.94	4.18	5.74	7.63	9.91	12.60	15.74	19.36	23.49	28.18	33.45	39.34	45.88
1.5/1	0.83	1.31	1.96	2.79	3.82	5.09	6.61	8.40	10.49	12.91	15.66	18.79	22.30	26.23	30.59
2/1	0.62	0.98	1.47	2.09	2.87	3.82	4.96	6.30	7.87	9.68	11.75	14.09	16.72	19.67	22.94
2.5/1	0.50	0.79	1.17	1.67	2.29	3.05	3.96	5.04	6.30	7.74	9.40	11.27	13.38	15.74	18.35
3/1	0.41	0.66	0.98	1.39	1.91	2.54	3.30	4.20	5.25	6.45	7.83	9.39	11.15	13.11	15.29
3.5/1	0.35	0.56	0.84	1.19	1.64	2.18	2.83	3.60	4.50	5.53	6.71	8.05	9.56	11.24	13.11
4/1	0.31	0.49	0.73	1.05	1.43	1.91	2.48	3.15	3.93	4.84	5.87	7.04	8.36	9.84	11.47
4.5/1	0.28	0.44	0.65	0.93	1.27	1.70	2.20	2.80	3.50	4.30	5.22	6.26	7.43	8.74	10.20
5/1	0.25	0.39	0.59	0.84	1.15	1.53	1.98	2.52	3.15	3.87	4.70	5.64	6.69	7.87	9.18

categorie	1ª	da 50 kg a ton 1
	2ª	da ton 1.01 a ton 3.0
	3ª	da ton 3.01 a ton 7.0
	4ª	oltre 7.01 ton

Si può rilevare dal grafico che i massi di III° categoria (3-7 ton) indicati in progetto sono stabili sulle varie pendenze previste anche su sollecitazioni di onde formate, decisamente superiori a quelle che si possono presentare alle base dell'opera.
Per quanto riguarda invece la mantellata della secca, si è sviluppata la verifica con file estratti dal CEM per l'impiego della formulazione di Van Der Meer sul dimensionamento delle scogliere sommerse.
Le caratteristiche dell'onda, estratte da STWAVE al piede esterno della secca sono:
H_s = 4.4 m
T_p = 12.2 s
I due files corrispondono a sommergenza 0, come previsto relativamente a quota medio mare, e sommergenza 50 cm.

I massi progettati per la scarpata sono di IV° categoria.
La stabilità è verificata con un parametro di danno pari a 6 corrispondente alla fase iniziale del danneggiamento intermedio per scogliere con pendenza 3/1.

Rock, 2 layer armoured submerged structures			Rock, 2 layer armoured submerged structures		
CEM Tab.VI-5-25			**CEM Tab.VI-5-25**		
γ_S (kN/m^3) =	**24.5**	rock specific weight	γ_S (kN/m^3) =	**24.5**	rock specific weight
γ_a (kN/m^3) =	**10.1**	water specific weight	γ_a (kN/m^3) =	**10.1**	water specific weight
Δ =	1.427		Δ =	1.427	
H (m) =	**4.40**	design significant wave height	H (m) =	**4.40**	design significant wave height
T_P (s) =	**12.20**	design peak wave period (T_P)	T_P (s) =	**12.20**	design peak wave period (T_P)
h (m) =	**7.5**	water depth	h (m) =	**7.0**	water depth
Rc =	**-0.50**		Rc =	**0.00**	
h'$_C$ (m) =	7.0	crest height above seabed	h'$_C$ (m) =	7.0	crest height above seabed
s_{OP} =	0.019		s_{OP} =	0.019	
s =	**6.0**	damage parameter	s =	**6.0**	damage parameter
N_S* =	**7.59**	spectral stability number	N_S* =	**7.09**	spectral stability number
Hs/D_{n50} =	2.89		Hs/D_{n50} =	2.70	
D_{n50} (m) =	1.52		**D_{n50} (m) =**	1.63	
W_T (kN) =	**86.435**	**unit weight**	**W_T (kN) =**	**105.727**	**unit weight**
$W_{T,min}$ (kN) =	64.826		$W_{T,min}$ (kN) =	79.295	
$W_{T,max}$ (kN) =	108.044		$W_{T,max}$ (kN) =	132.159	
n =	**2**	number of layers	n =	**2**	number of layers
s (m) =	3.044	armour thickness	s (m) =	3.255	armour thickness
CON SOVRALZO			**SENZA SOVRALZO**		