ELABORATO 3.a

INTEGRAZIONE ANALISI METEOMARINE CON MODELLAZIONE EFFETTO SECONDA SECCA E CONFRONTO CON SITUAZIONE ESISTENTE (UNA SECCA)

INDICE

1	**PREMESSA**	**4**
2	**DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE**	**5**
2.1	CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE DEL MATERIALE NATIVO	10
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	15
3.4	PIANI D'ONDA DELLE MAREGGIATE ESTREME	18
4	**DIMENSIONAMENTO DELLA MANTELLATA DELLA SECCA**	**26**

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 2.1 – Planimetria generale di progetto 7
Fig. 2.2 – Planimetria con ubicazione dei profili e dei punti di prelievo (indagine granulometrica di ottobre 2018) 10
Fig. 3.1 – Griglia di calcolo STWAVE (configurazione attuale del litorale)....13
Fig. 3.2 – Dettaglio griglia di calcolo STWAVE Configurazione attuale (in alto) e di progetto (in basso) 14
Fig. 3.3 – Spettro monodimensionale 16
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

INDICE DELLE TABELLE

Tab. 2.1 – Risultati analisi granulometriche (campagna di ottobre 2018) 11
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

1 PREMESSA

La presente relazione riporta i risultati della modellazione numerica della propagazione di mareggiate estreme con riferimento alla configurazione attuale e di progetto del litorale in località Renà (Comune di Sestri Levante).
La soluzione progettuale, che prevede un ripascimento e la realizzazione di un ulteriore secca in massi naturali a Sud-Est dell'esistente (recentemente realizzata), 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 al largo riportati nel "Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero" (2011): la batimetria e le caratteristiche granulometriche e sedimentologiche dei sedimenti del fondale e del materiale utilizzato per il ripascimento sono state ricostruite sulla base dei rilievi topobatimetrici e delle informazioni disponibili.

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.

Nel recente passato (ottobre 2018), nell'ambito degli studi a supporto della realizzazione del precedente intervento (secca e ripascimento) è stata condotta una campagna di caratterizzazione granulometrica della spiaggia emersa e sommersa fino alla profondità di -10 m s.m.m.; i risultati delle indagini sono descritti 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.
Più in dettaglio, l'intervento consiste di fatto nel completamento di una più generale strategia di difesa, già messa in atto con la realizzazione del precedente intervento, ovvero nella realizzazione di un ulteriore secca semiaffiorante in massi naturali e in un contestuale ripascimento con materiale grossolano a tergo dell'opera di difesa.

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

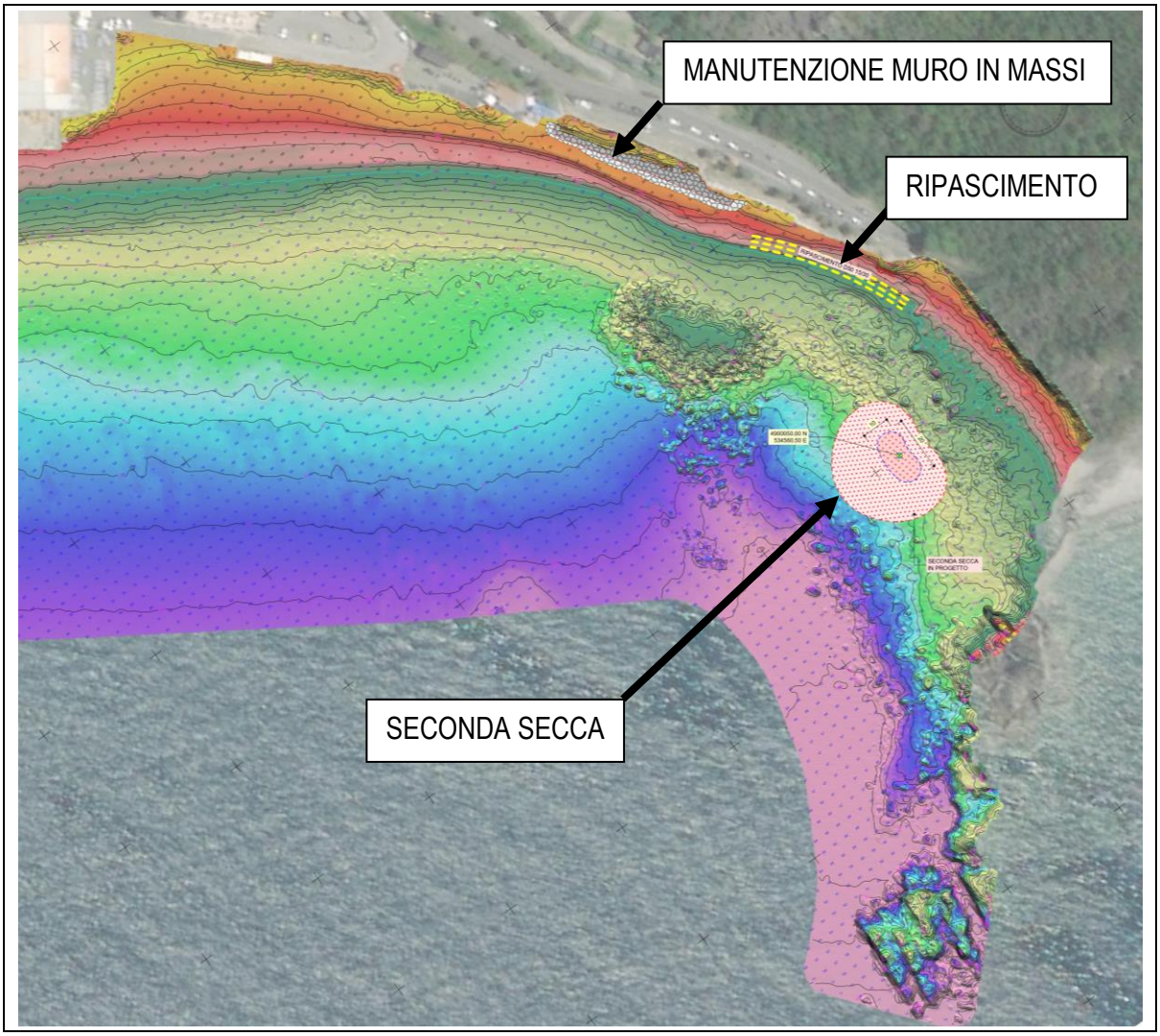
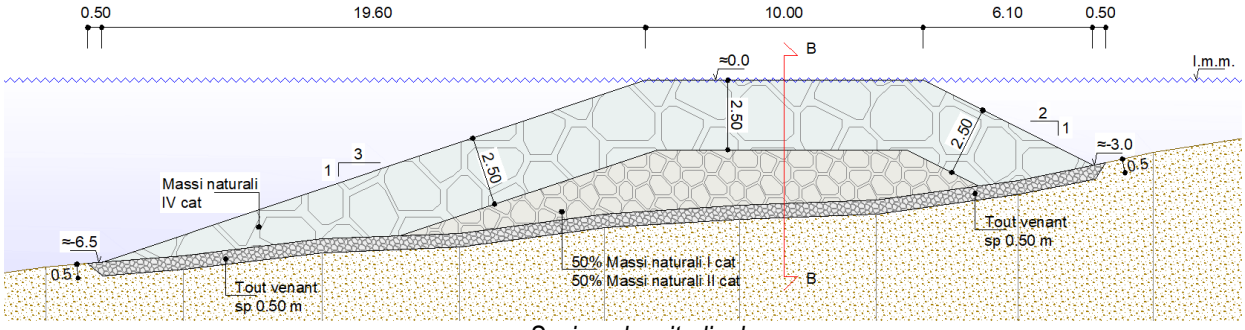


Fig. 2.1 – Planimetria generale di progetto

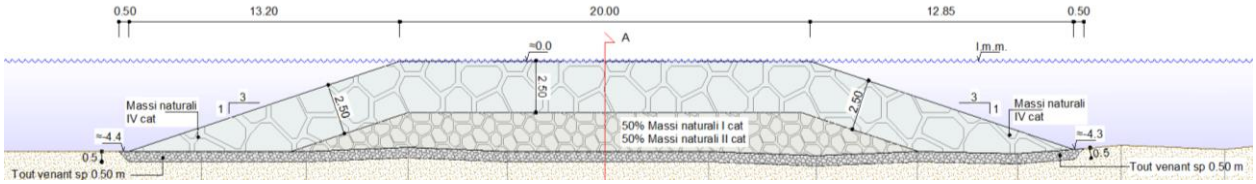
Le previsioni progettuali sono le seguenti:

A) seconda secca verso levante (opera fissa a protezione dell'infrastruttura strada galleria verso Moneglia)

La nuova secca artificiale ed il ripascimento sono stati descritti nel progetto di prefattibilità del giugno 2019, con verifiche tecniche ed ambientali già sottoposte al Settore VIA regionale ed alla conferenza dei servizi. Peraltro relativamente alla secca le istruttorie degli uffici hanno rinviato la realizzazione ad azioni di controllo locale, i cui esiti sono stati descritti al paragrafo 3, come pure l'efficacia dell'eseguito è stata valutata al paragrafo 4.
La secca è posizionata a Nord dello scoglio Asseu e più precisamente con centro nelle coordinate UTM 534560.50 m E ed 4900050.00 m N.
Le dimensioni di berma della secca sono 10x20 metri, con sezione riportata nelle seguenti immagini



Sezione longitudinale



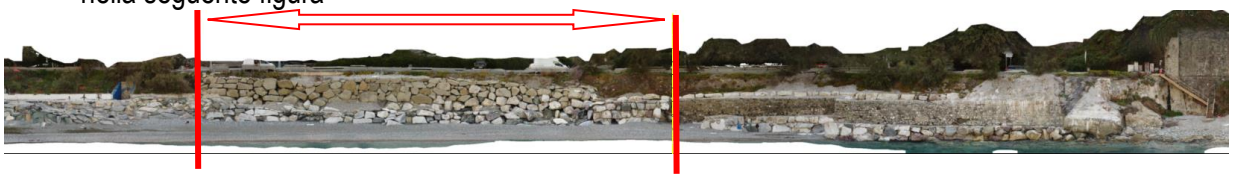
Sezione trasversale

ed i volumi/pesi dei materiali lapidei sono contenuti in

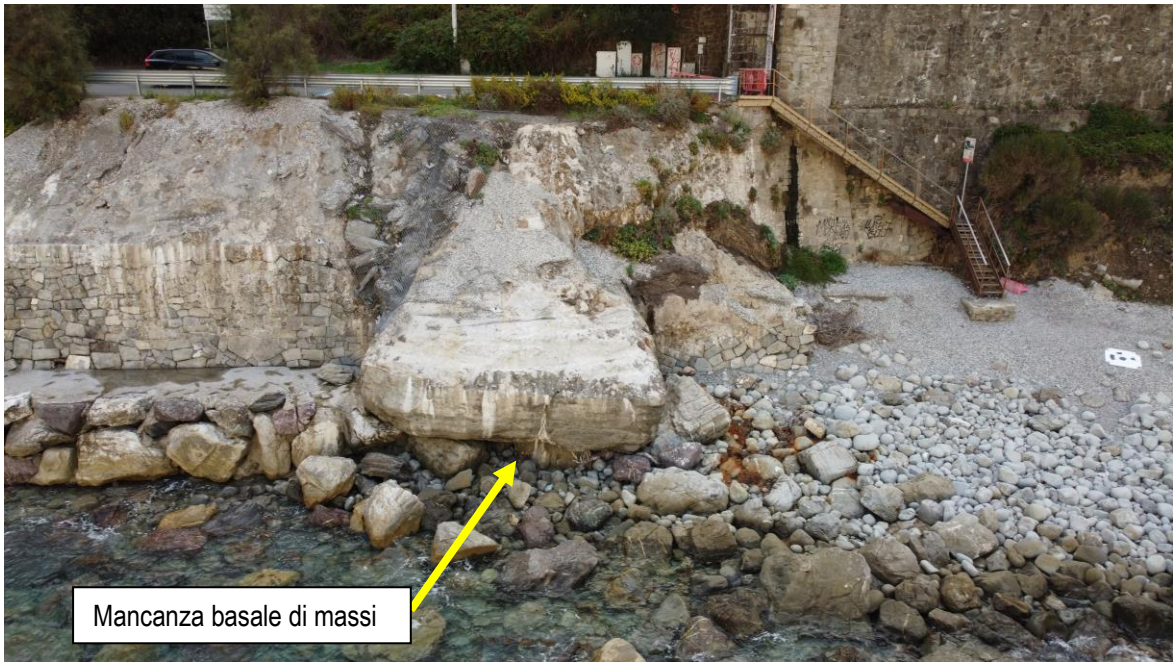
			mc	ton
-	Tout venant	≈	700	1 250
-	Massi I categoria	≈	750	1000
-	Massi II categoria	≈	750	1000
-	Massi IV categoria	≈	2500	5650

B) manutenzione muro in massi aderente alla strada delle gallerie di interesse interregionale.

L'intervento si sviluppa per una lunghezza di circa 70 metri, corrispondenti al tratto riportato nella seguente figura



E' previsto di rinforzare il piede della scarpata con una berma a quota +4.0 mslmm, di ampiezza minima 2.5 metri, pendenza scarpata 3/2, fondata a quota -0.5 mslmm su uno strato di tout venant di spessore medio 0.50 m.
Nella zona più a sud, in corrispondenza della scala in ferro che scende dalla strada alla spiaggia, è stata rilevata una mancanza basale di massi, come visionabile nel seguente fotogramma.



Il vuoto sarà riempito con alcuni massi di II e III categoria.

C) ulteriore ripascimento strutturale.

Il PFTE redatto al giugno 2019 prevedeva i seguenti volumi di materiale di apporto:

10 000	mc	Ripascimento spiaggia esistente fronte via Amerigo Vespucci
9 000	mc	Ripascimento alle spalle della secca di ponente
15 000	mc	Ripascimento spiaggia esistente fronte via Amerigo Vespucci e a tergo della secca
11 000	mc	Ripascimento alle spalle della secca di levante
45 000	mc	Volume totale di ripascimento previsto

Il volume di materiale da ripascimento apportato sul litorale oggetto di intervento risulta:

10 933.13	mc	I° lotto
6 011.16	mc	II° lotto
27 005.22	mc	III° lotto – I° Stralcio
43 949.51	mc	Volume totale di materiale apportato

Pertanto per raggiungere la volumetria individuata nel PFTE restano ancora da versare 45000-43950 =1050 mc di materiale, per il quale si prevede di utilizzare ancora granulometria 15/30 mm.

In esito ai fondi disponibili si prevede di versare circa 3’500 mc, pertanto 2’450 mc in più rispetto ai 45'000 mc previsti nel PFTE. Eventuali ribassi d’asta, e disponibili, potranno anch’essi essere utilizzati per ripascimento.

Il materiale sarà versato e steso sul tratto protetto dalle due secche

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).

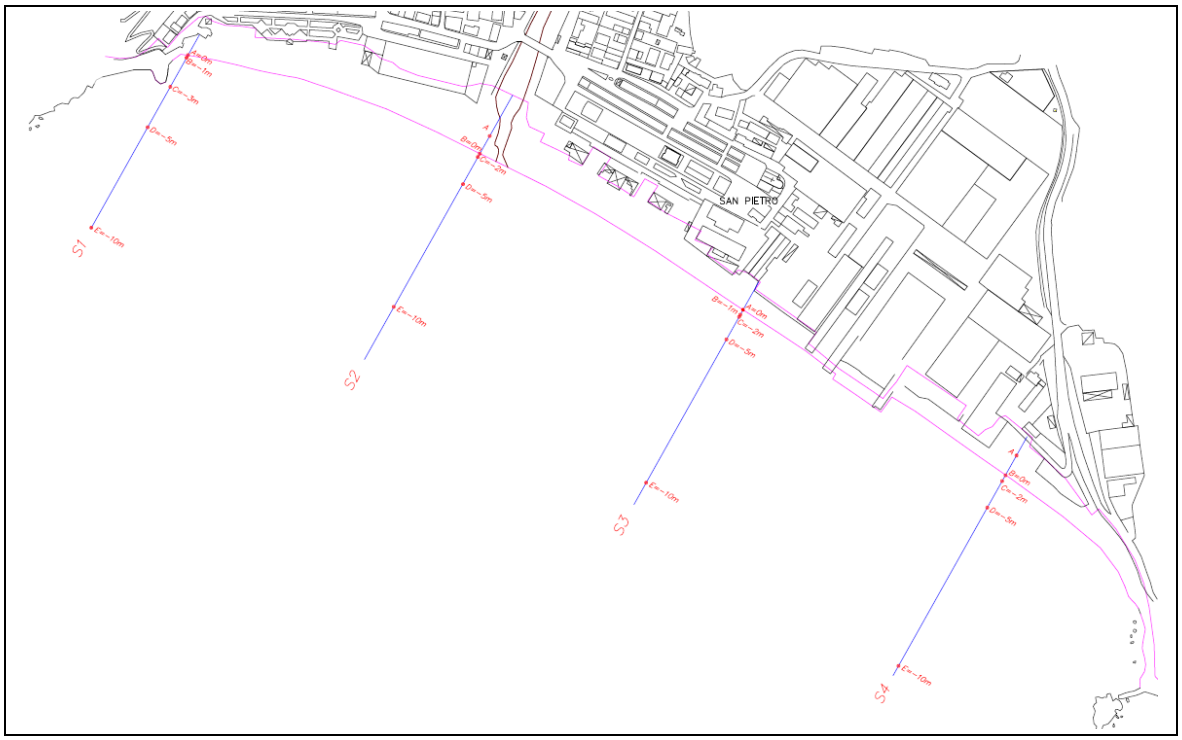


Fig. 2.2 – Planimetria con ubicazione dei profili e dei punti di prelievo (indagine granulometrica di ottobre 2018)

				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)

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 ad un recente rilievo locale.
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 (Fig. 3.2). Per quanto riguarda la configurazione di progetto, la batimetria sottocosta è stata opportunamente modificata per rappresentare gli interventi previsti: ulteriore secca semiaffiorante e ripascimento (vedi dettaglio in 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)

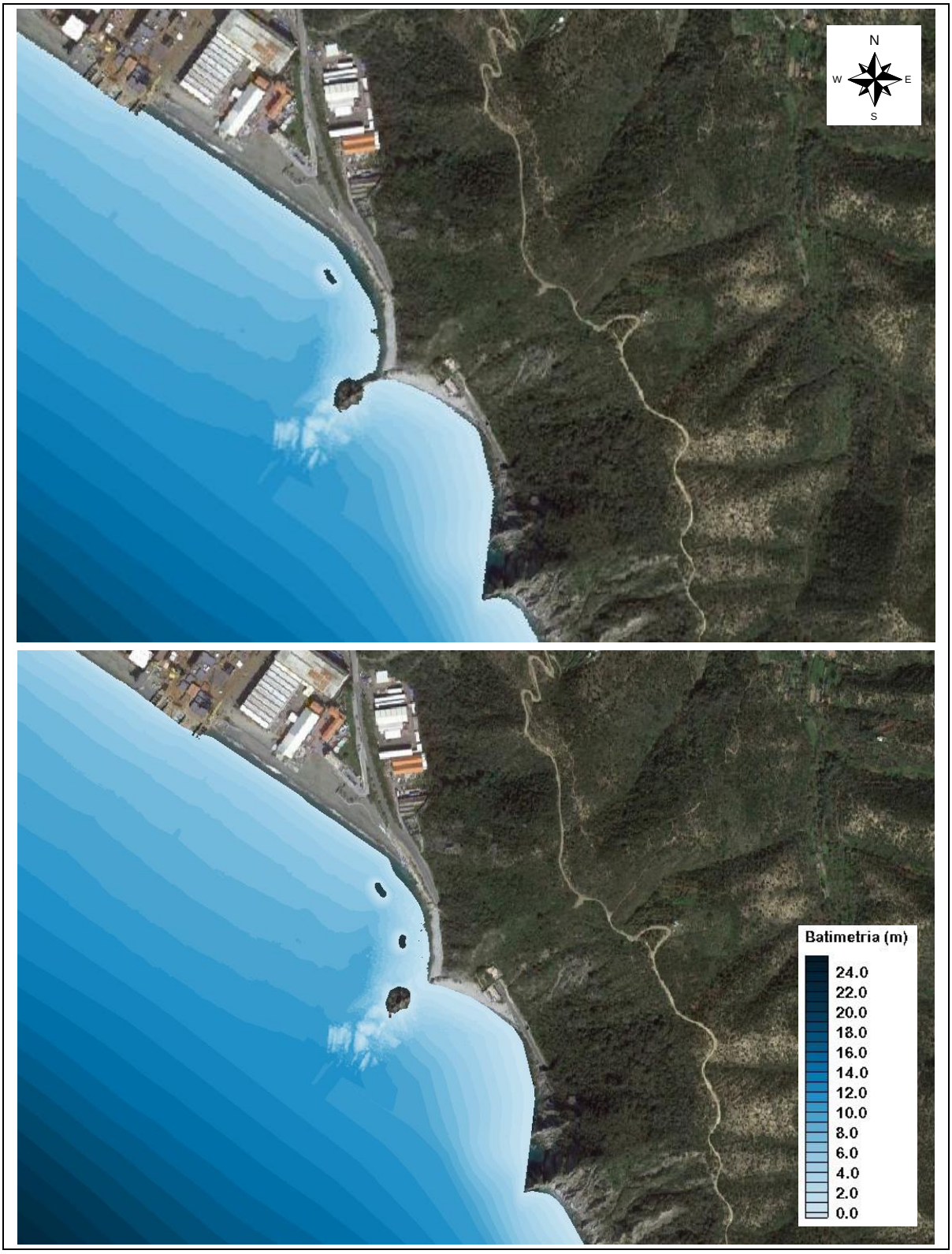


Fig. 3.2 – Dettaglio griglia di calcolo STWAVE
Configurazione attuale (in alto) e di progetto (in basso)

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.

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.

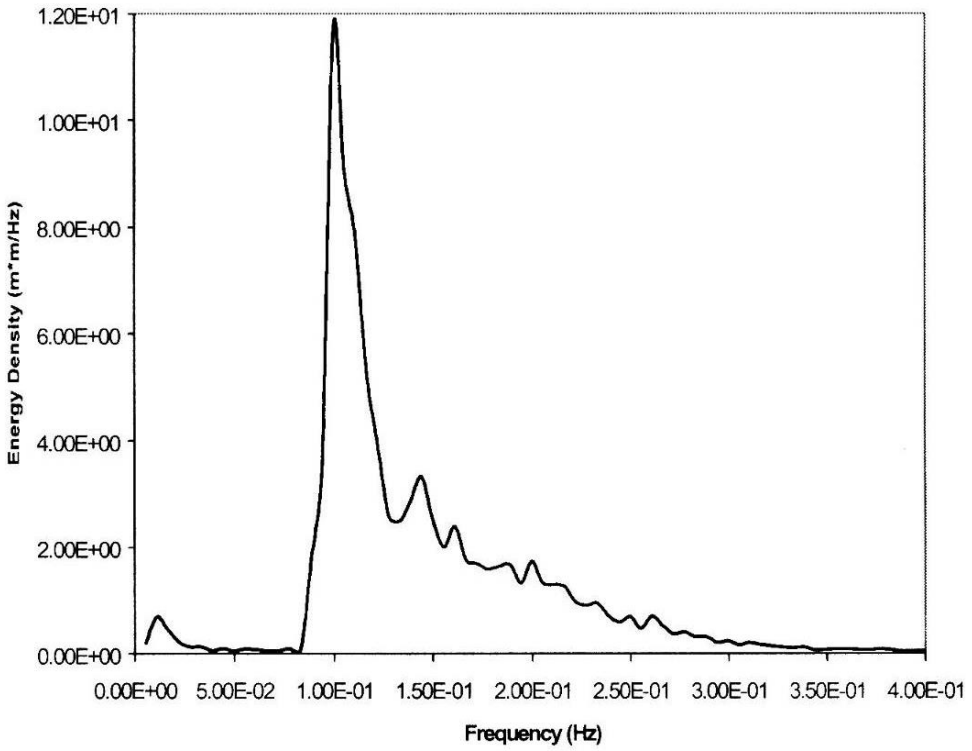


Fig. 3.3 – Spettro monodimensionale

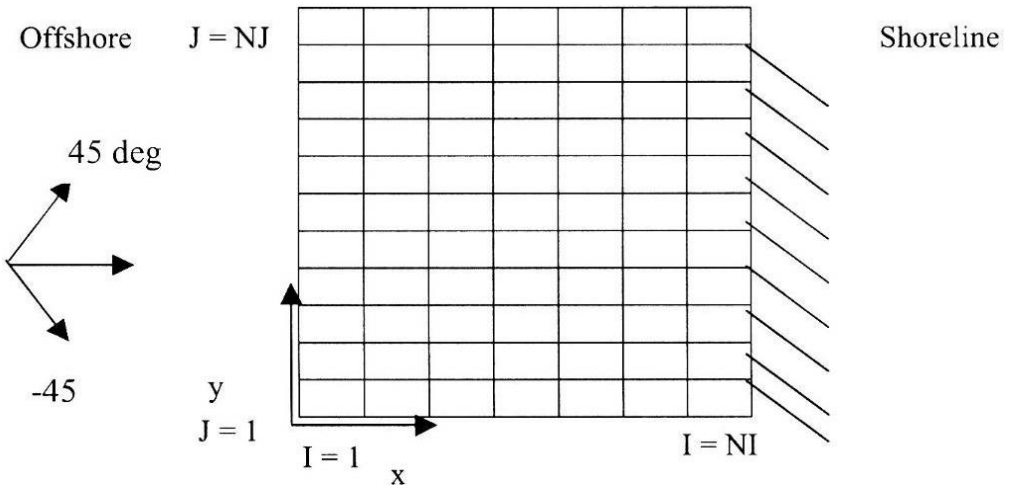


Fig. 3.4 – Convenzioni griglia STWAVE

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*).

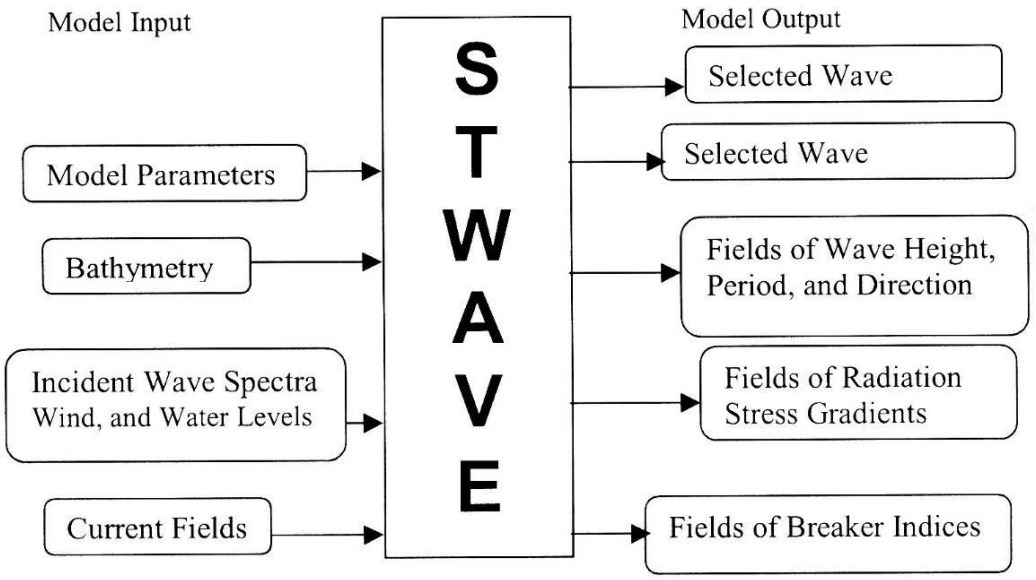


Fig. 3.5 – Input e Output STWAVE

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, l'aggiunta di un ulteriore secca (a Sud-Est dell'esistente, di recente realizzazione), unitamente al ripascimento retrostante (realizzato con materiale grossolano), consente di stabilizzare e proteggere anche il tratto più orientale dell'arenile. 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).

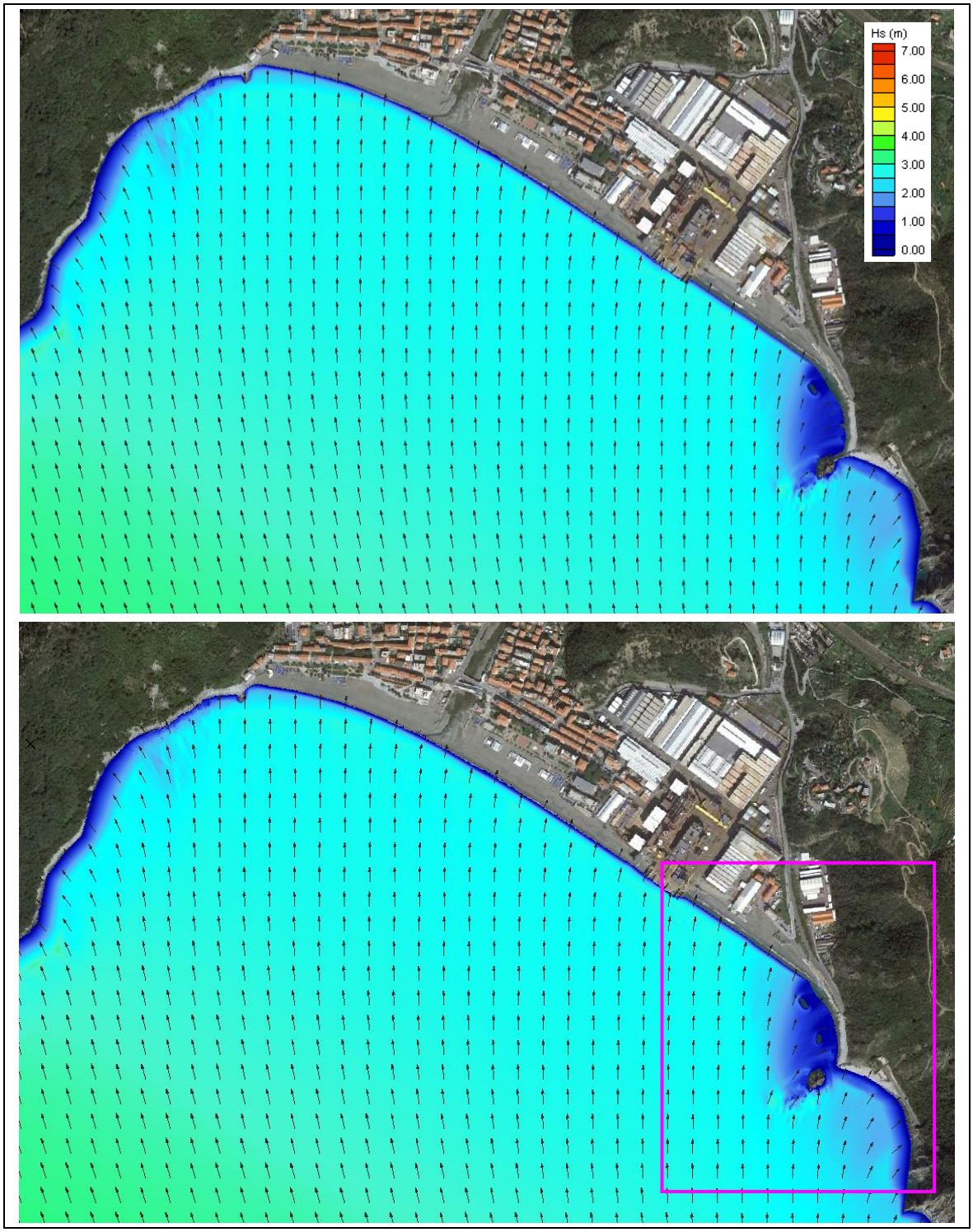


Fig. 3.6 – Piano d'onda TEST 1 – Mareggiata da Scirocco - T_R = 1 anno
Caratteristiche nel punto P (-50 m): Hs = 3.0 m; Tp = 7.9 s; Dir = 161°N
Configurazione attuale (in lato) e di progetto (in basso – in magenta il riquadro dell'area di intervento)

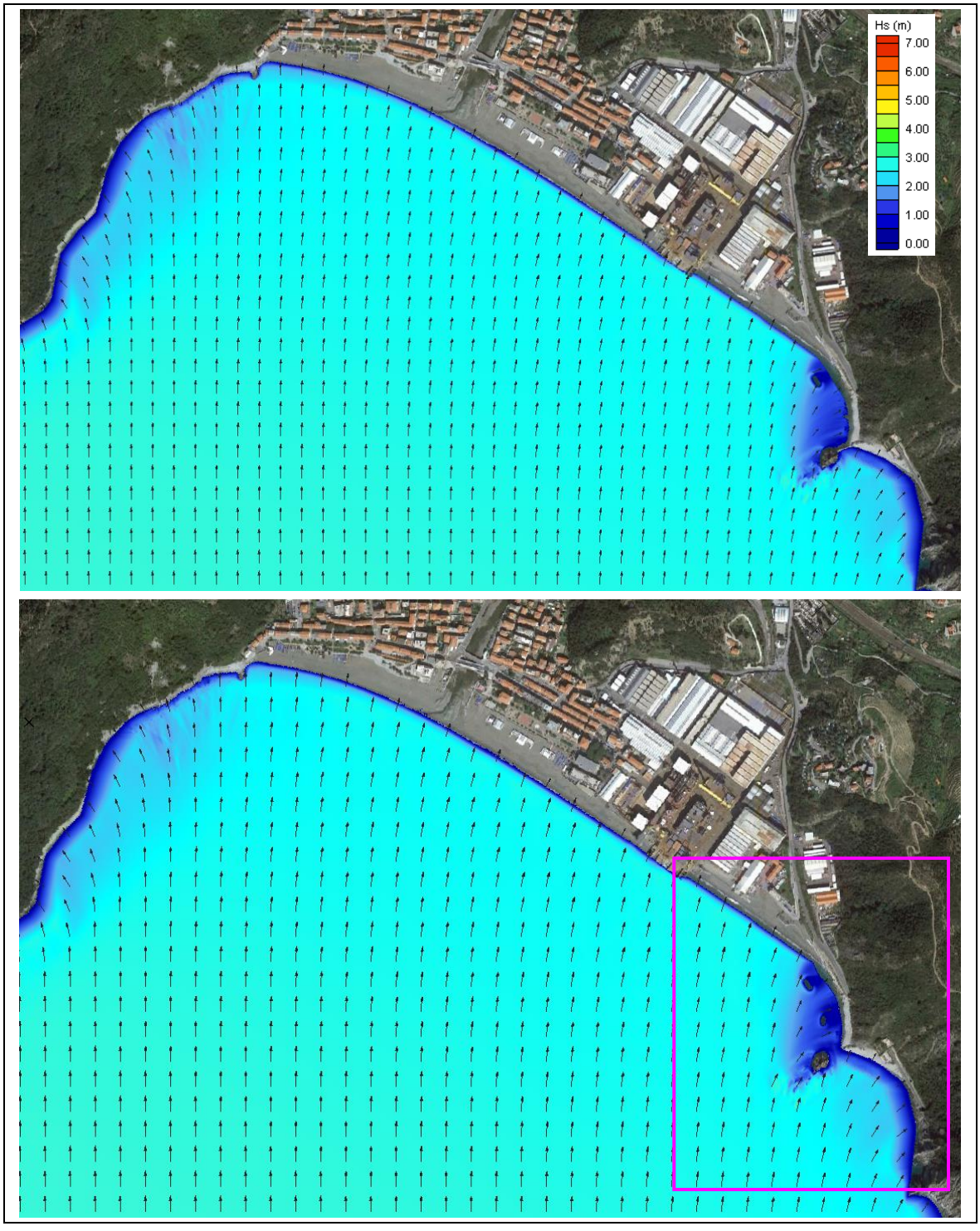


Fig. 3.7 – Piano d'onda TEST 2 – Mareggiata da Mezzogiorno - TR = 1 anno
Caratteristiche nel punto P (-50 m): Hs = 2.7 m; Tp = 7.2 s; Dir = 180°N
Configurazione attuale (in lato) e di progetto (in basso – in magenta il riquadro dell'area di intervento)

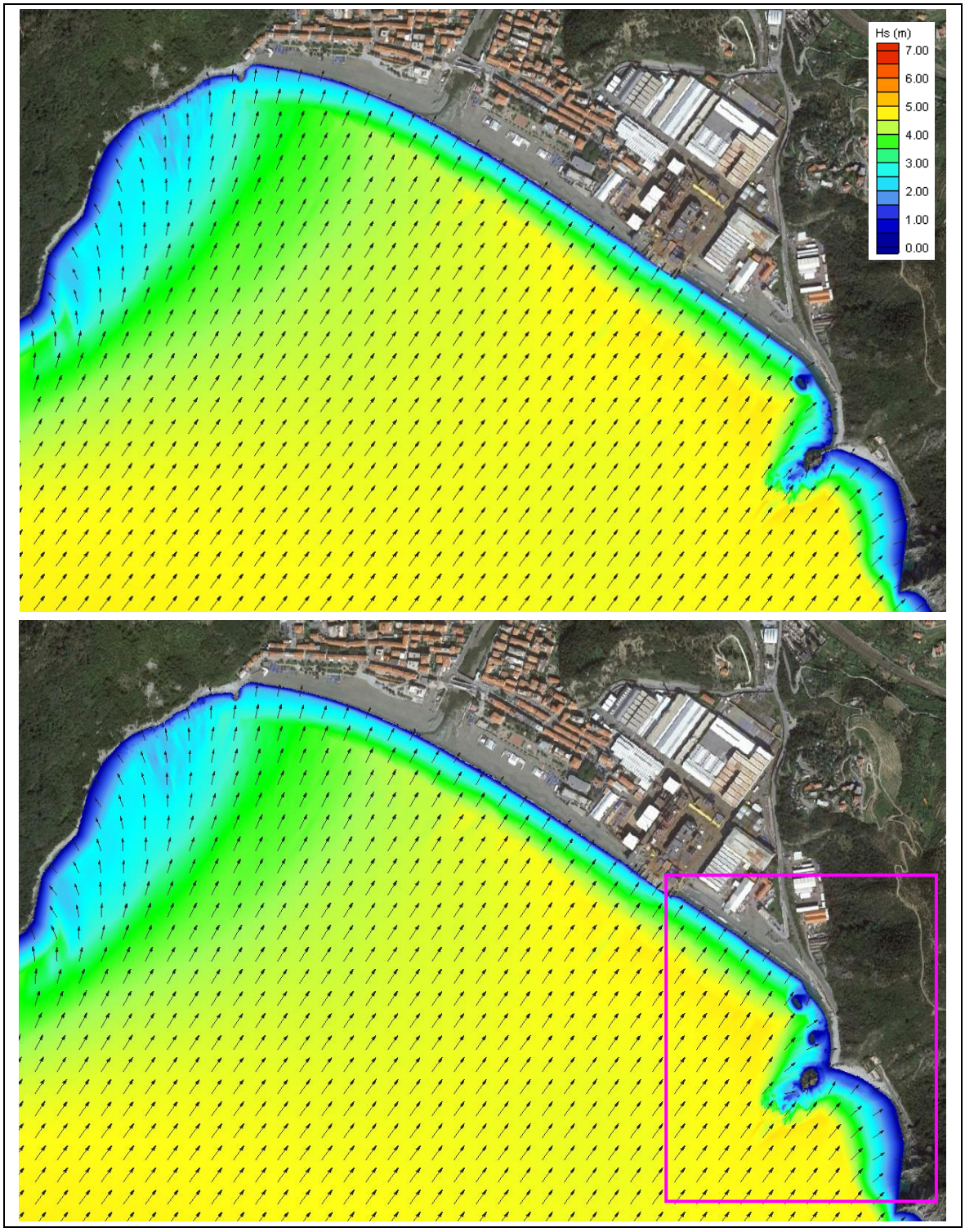


Fig. 3.8 – Piano d'onda TEST 3 – Mareggiata da Libeccio - TR = 1 anno
Caratteristiche nel punto P (-50 m): Hs = 4.5 m; Tp = 9.7 s; Dir = 217°N
Configurazione attuale (in lato) e di progetto (in basso – in magenta il riquadro dell'area di intervento)

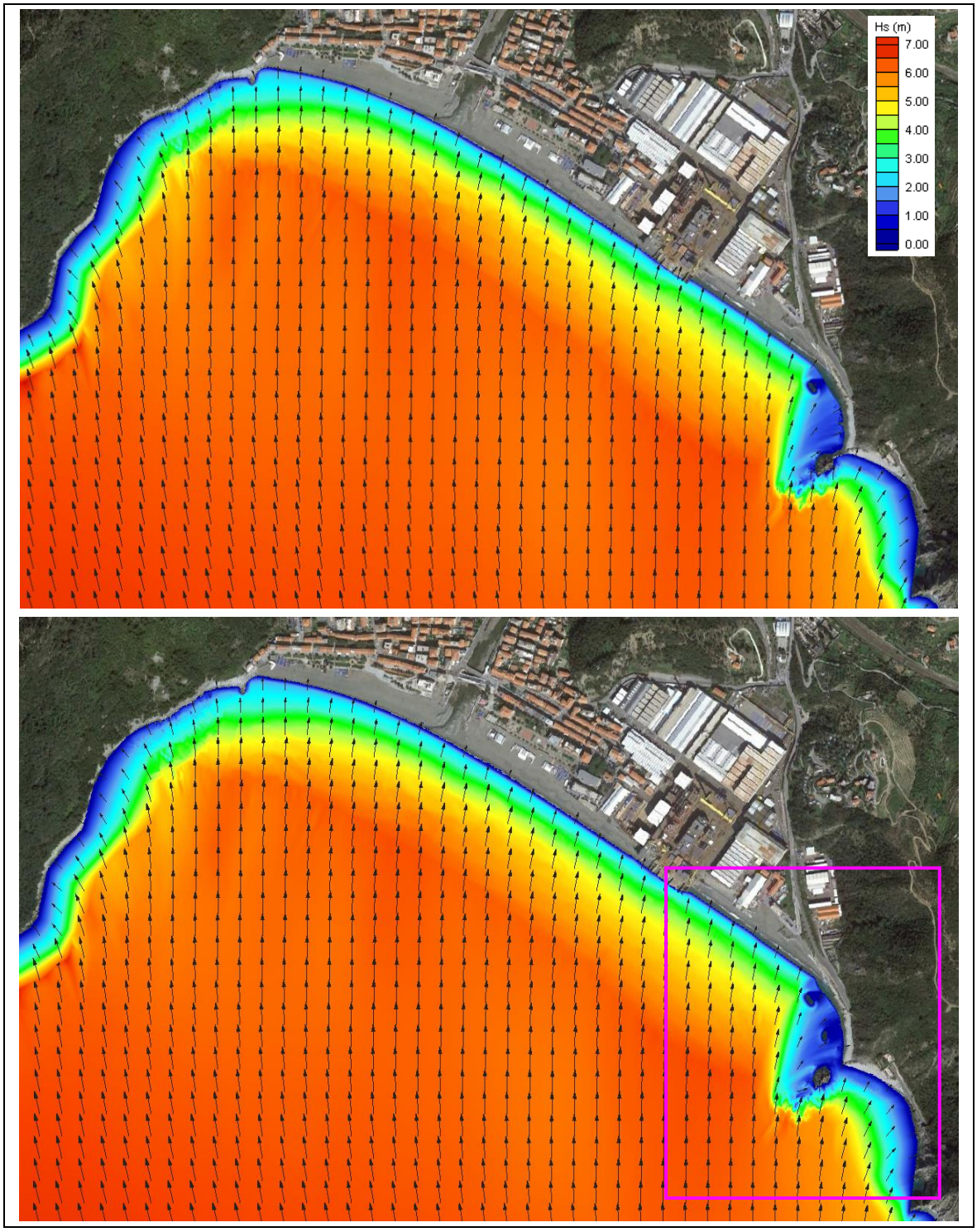


Fig. 3.9 – Piano d'onda TEST 4 – Mareggiata da Scirocco - TR = 50 anni
Caratteristiche nel punto P (-50 m): Hs = 6.4 m; Tp = 12.2 s; Dir = 164°N
Configurazione attuale (in lato) e di progetto (in basso – in magenta il riquadro dell'area di intervento)

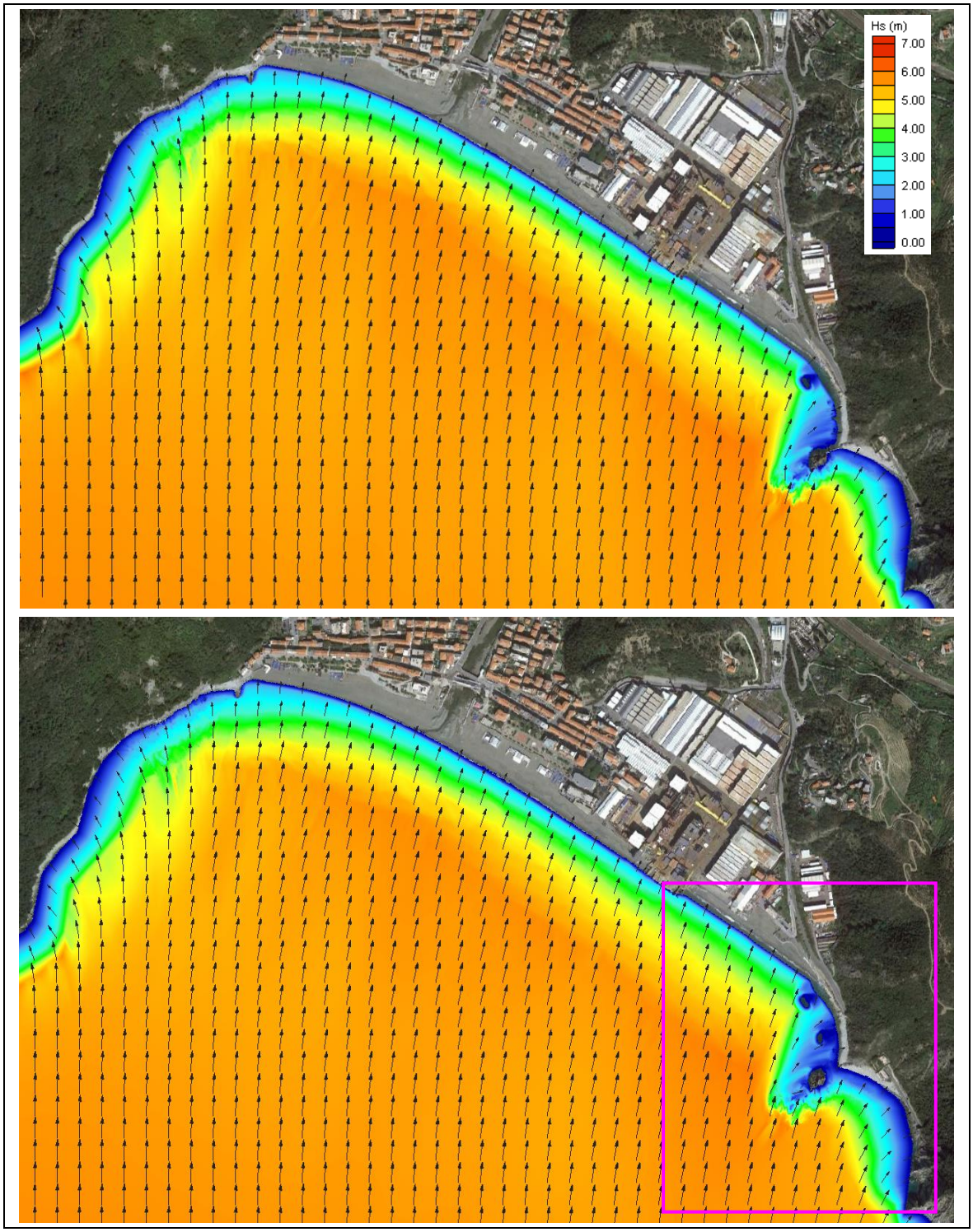


Fig. 3.10 – Piano d'onda TEST 5 – Mareggiata da Mezzogiorno - TR = 50 anni
Caratteristiche nel punto P (-50 m): Hs = 5.5 m; Tp = 11.0 s; Dir = 181°N
Configurazione attuale (in lato) e di progetto (in basso – in magenta il riquadro dell'area di intervento)

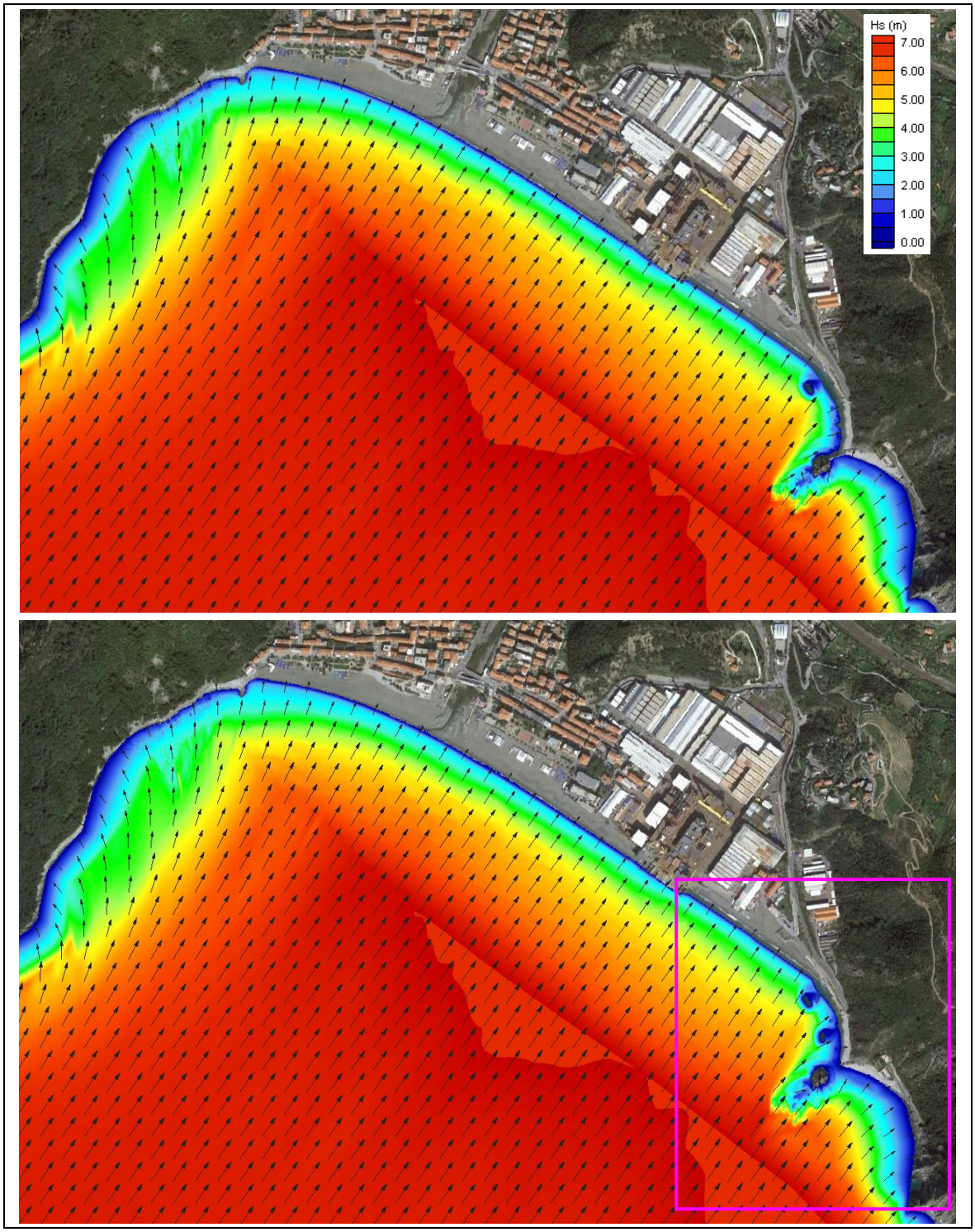


Fig. 3.11 – Piano d'onda TEST 6 – Mareggiata da Libeccio - TR = 50 anni
Caratteristiche nel punto P (-50 m): Hs = 6.7 m; Tp = 12.2 s; Dir = 215°
Configurazione attuale (in lato) e di progetto (in basso – in magenta il riquadro dell'area di intervento)

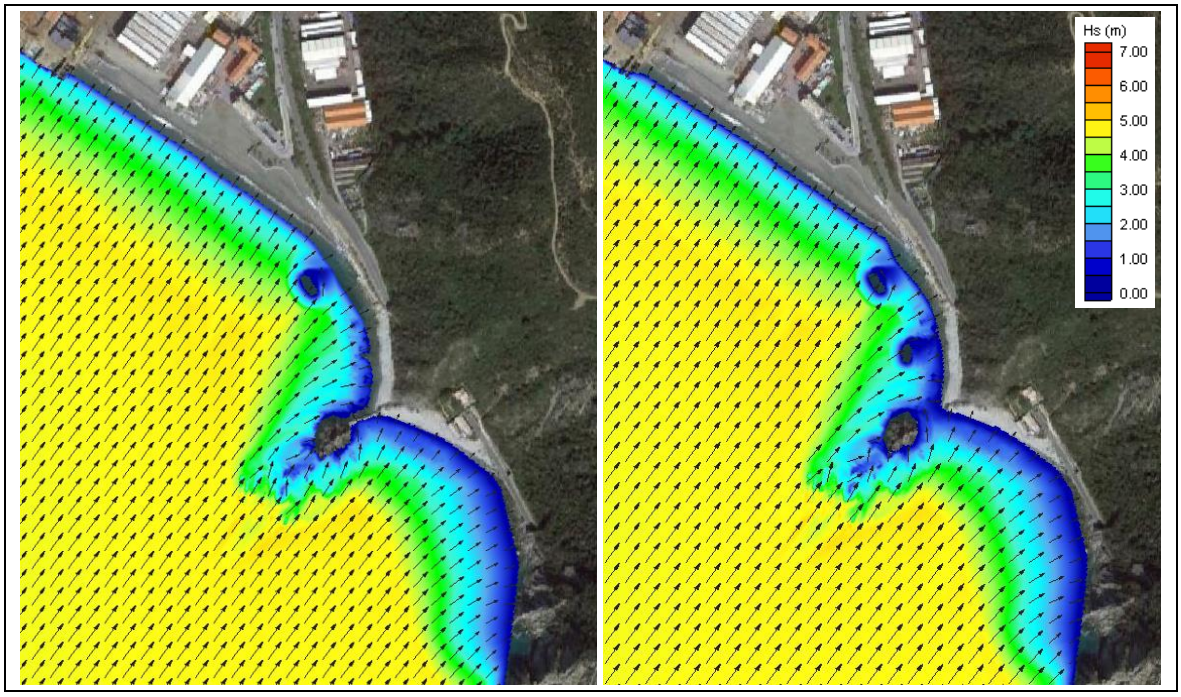


Fig. 3.12 – Dettaglio area di intervento - Piano d'onda TEST 3 – Mareggiata da Libeccio - TR = 1 anno
Configurazione attuale (a sinistra) e di progetto (a destra)

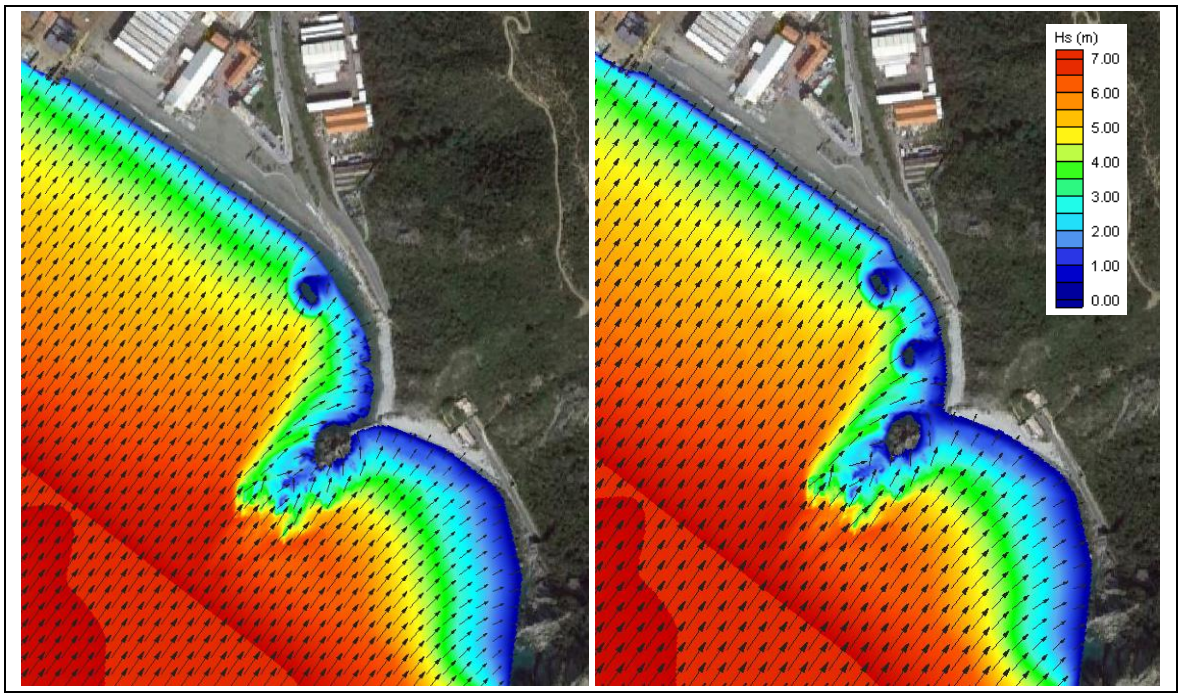


Fig. 3.13 – Dettaglio area di intervento - Piano d'onda TEST 6 – Mareggiata da Libeccio - TR = 50 anni
Configurazione attuale (a sinistra) e di progetto (a destra)

4 DIMENSIONAMENTO DELLA MANTELLATA DELLA SECCA

Per la determinazione della categoria dei massi componenti 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 = 4.1 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		
CEM Tab.VI-5-25		
γ_S (kN/m^3) =	**24.5**	rock specific weight
γ_a (kN/m^3) =	**10.1**	water specific weight
Δ =	1.427	
H (m) =	**4.10**	design significant wave height
T_P (s) =	**12.20**	design peak wave period (T_P)
h (m) =	**7.0**	water depth
Rc =	**-0.50**	
h'$_C$ (m) =	6.5	crest height above seabed
s_{OP} =	0.018	
s =	**6.0**	damage parameter
N_S* =	**7.62**	spectral stability number
Hs/D_{n50} =	2.84	
D_{n50} (m) =	1.45	
W_T (kN) =	**73.971**	**unit weight**
$W_{T,min}$ (kN) =	55.478	
$W_{T,max}$ (kN) =	92.464	

CON SOVRALZO

Rock, 2 layer armoured submerged structures		
CEM Tab.VI-5-25		
γ_S (kN/m^3) =	**24.5**	rock specific weight
γ_a (kN/m^3) =	**10.1**	water specific weight
Δ =	1.427	
H (m) =	**4.10**	design significant wave height
T_P (s) =	**12.20**	design peak wave period (T_P)
h (m) =	**6.5**	water depth
Rc =	**0.00**	
h'$_C$ (m) =	6.5	crest height above seabed
s_{OP} =	0.018	
s =	**6.0**	damage parameter
N_S* =	**7.09**	spectral stability number
Hs/D_{n50} =	2.64	
D_{n50} (m) =	1.55	
W_T (kN) =	**91.795**	**unit weight**
$W_{T,min}$ (kN) =	68.846	
$W_{T,max}$ (kN) =	114.743	

SENZA SOVRALZO