

STUDIOGAGGERO

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

COMUNE DI BORGHETTO S.S.

El. A

DECRETO DEL COMMISSARIO DELEGATO 8 /2020 - BORGHETTO SANTO SPIRITO
INTERVENTI CODICE 1074
- POSIZIONE 235 : RIPRISTINO FUNZIONALITA' STRUTTURE SEMISOMMERSE IN MASSI NATURALI
- POSIZIONE 236: REALIZZAZIONE QUARTA SECCA
- POSIZIONE 237: SALPAMENTO PENNELLO, MANUTENZIONE ROSA DEI VENTI, SBARRAMENTO SOMMERSO

COMPENDIO RELAZIONI

NP 2179

Luglio 2020

NP 2179 Borghetto S.S.

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

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI SAVONA
PAOLO GAGGERO
INGEGNERE N° 463

NP 2179

COMUNE DI BORGHETTO S.S.

DECRETO DEL COMMISSARIO DELEGATO 8 /2020 - BORGHETTO SANTO SPIRITO
INTERVENTI CODICE 1074
- POSIZIONE 235 : RIPRISTINO FUNZIONALITA' STRUTTURE SEMISOMMERSE IN MASSI NATURALI
- POSIZIONE 236: REALIZZAZIONE QUARTA SECCA
- POSIZIONE 237: SALPAMENTO PENNELLO, MANUTENZIONE ROSA DEI VENTI, SBARRAMENTO SOMMERSO

El. A: COMPENDIO RELAZIONI

Luglio 2020

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

INDICE

1. PREMESSE 4
2. DESCRIZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO 5
3. RILIEVI BATIMETRICI 9
4. QUADRO DEGLI INTERVENTI 10
5. CALCOLO RUN UP 14
6. DIMENSIONAMENTO MASSI DI SCARPATA 22
7. VINCOLI 26
8. DISPONIBILITA' DEI MATERIALI 27
9. TEMPI REALIZZATIVI E CRONOPROGRAMMA 28
10. QUADRO ECONOMICO 29
DOCUMENTAZIONE ALLEGATA 34

ELENCO ELABORATI

SCRITTI

El. A Compendio relazioni (il presente elaborato)

El. B Computo metrico estimativo

El. C Quadro economico

El. D Elenco prezzi ed analisi

El. E Cronoprogramma

El. F Disciplinare descrittivo e prestazionale degli elementi tecnici

El. G Prime indicazioni e prescrizioni per la redazione del piano di sicurezza e coordinamento

El. H Relazione paesaggistica

El. I Studio preliminare ambientale

GRAFICI

Tav. 01 Inquadramento cartografico

Tav. 02 Planimetria di stato attuale con raffronto batimetrico

Tav. 03 Codice 1074 – Posizione 235 – Stato attuale – Planimetria e sezioni

Tav. 04 Codice 1074 – Posizione 235 – Progetto – Planimetria e sezioni

Tav. 05 Codice 1074 – Posizione 236– Progetto – Planimetrie generali

Tav. 06 Codice 1074 – Posizione 236– Progetto – Planimetria e sezione

Tav. 07 Codice 1074 – Posizione 237– Progetto – Planimetria e sezioni

1. PREMESSE

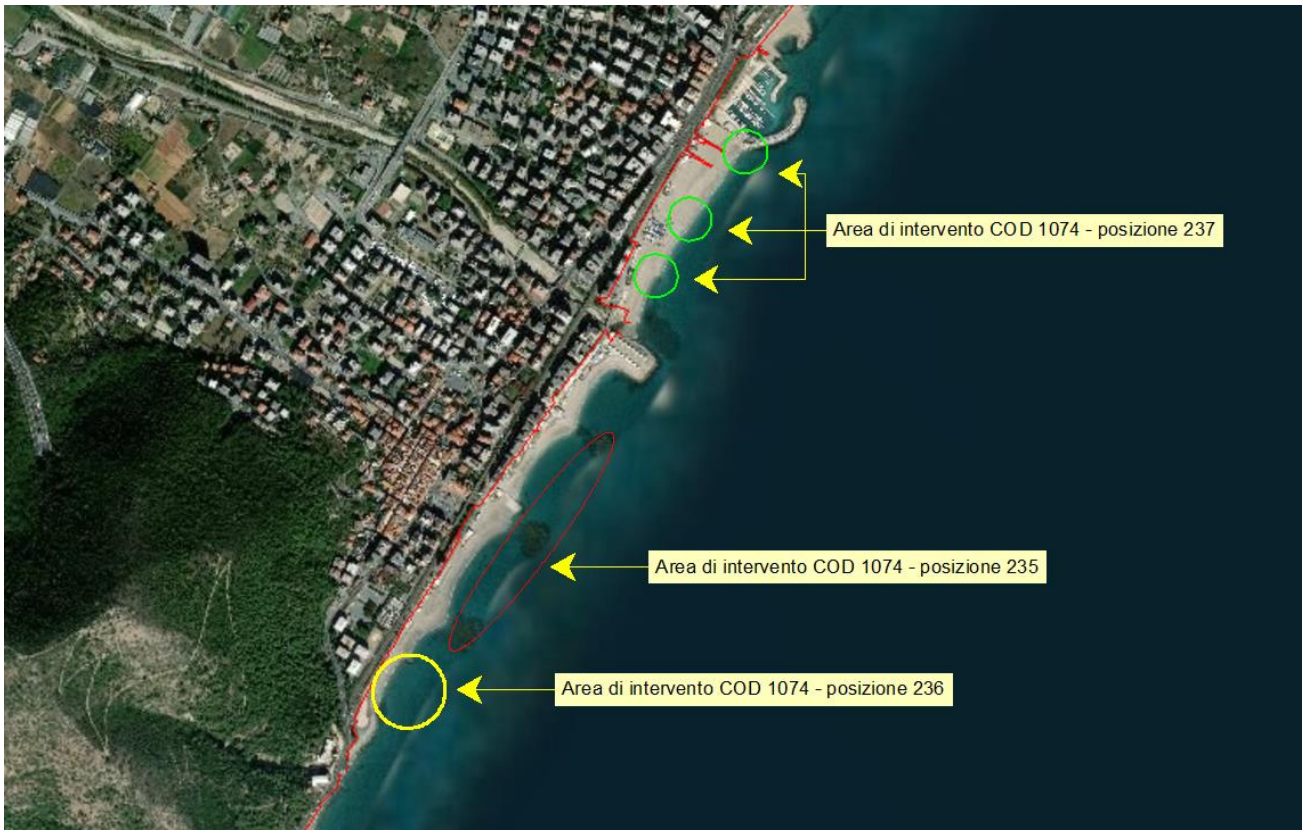
In esito ai danni provocati dalla mareggiare eccezionale del 29/30 ottobre 2018, la Amministrazione del Comune di Borghetto Santo Spirito ha attivato le iniziative per richiedere ed ottenere l'intervento della Protezione Civile finalizzato al ripristino delle opere danneggiate ed all'aumento della resilienza delle strutture ed infrastrutture.

Pertanto, in esito al bando di cui alla DGR 624 del 19.07.2019, ha ricevuto dalla Regione Liguria il finanziamento della progettazione definitiva degli interventi prospettati sul proprio litorale, e successivamente, nell'ordinanza del Commissario Delegato n°8/2020 validata dal Capo delle Protezione Civile ha ottenuto quale soggetto attuatore, il finanziamento di 3 interventi al codice 1074:

CODICE 1074			
POSIZIONE 235	€ 500.000,00	relativo a	Ripristino funzionalità strutture semisommerse in massi naturali
POSIZIONE 236	€ 1.350.000,00	relativo a	Realizzazione quarta secca
POSIZIONE 237	€ 400.000,00	relativo a	Salpamento pennello, manutenzione rosa dei venti, sbarramento sommerso

2. DESCRIZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO

Le aree su cui si prevede di intervenire sono situate nel Comune di Borghetto Santo Spirito, come individuato nel seguente fotogramma satellitare.



Il tratto costiero interessato è lungo circa ml 1.300 ed è compreso in

- unità fisiografica compresa tra Capo Lena (Identificativo 30) e Porto di Loano (identificativo 22) per un'estensione di circa 10 km



- paraggio compreso tra il limite di paraggio Capo S.Spirito (Identificativo 109) e il limite di unità fisiografica Porto di Loano (identificativo 22) per un'estensione di circa 4.5 km



- cella/e costiere



Identificativo	263		Identificativo	264		Identificativo	269
Codice cella	UF_11020201		Codice cella	UF_11020303		Codice cella	UF_11020402
Lunghezza	63		Lunghezza	111		Lunghezza	84
Identificativo	266		Identificativo	265		Identificativo	267
Codice cella	UF_11020301		Codice cella	UF_11020304		Codice cella	UF_11020403
Lunghezza	122		Lunghezza	337		Lunghezza	195
Identificativo	262		Identificativo	270			
Codice cella	UF_11020302		Codice cella	UF_11020401			
Lunghezza	229		Lunghezza	103			

Il mare antistante è caratterizzato dal sito di interesse comunitario (ex SIC) ZSC IT 1324973 mentre il versante collinare a tergo è caratterizzato dal sito di interesse IT 1324910.



L'area è compresa nelle aree sensibili di cui a tabella 1.4 della D.G.R. 1209/2016 (tratto di costa da molo est Imperia a Porto Loano) ma non ricade all'interno dei tratti di costa particolarmente sensibili.

Le opere su cui intervenire sono

Codice 1074	Posizione 235	Tre secche semisommerse prospicienti il tratto di ponente del litorale
	Posizione 236	Specchio acqueo di rimpetto alle celle litoranee 266 e 262 (estremità SO) e celle stesse
	Posizione 237	Arenile di levante

3. RILIEVI BATIMETRICI

Il progetto definitivo si fonda su un rilievo batimetrico esteso dall'imboccatura del porticciolo turistico di Borghetto fino al confine comunale con Ceriale, effettuato nel maggio/giugno 2020 a cura del Dott. Geologo Maifredi. La campagna batimetrica eseguita ha previsto una serie di transetti distanziati ogni 50 ml fino ai 6 m di profondità e due aree più raffittite, ogni 10 ml fino alla batimetrica -3m. In tavola 2 è ripotato il sopracitato rilievo, oltre ai rilievi eseguiti dal nostro studio negli anni 2007/2008.

I rilievi non hanno evidenziato sostanziali differenze con quelli precedenti, peraltro erano limitati al litorale a ponente del molo focivo destro del Torrente Varatella. A levante il rilievo ha riportato una situazione di avanzamento della battigia rispetto a situazioni precedenti.

4. QUADRO DEGLI INTERVENTI

Nel presente paragrafo vengono analizzati gli interventi a progetto, suddivisi per posizione di finanziamento.

CODICE 1074

POSIZIONE 235

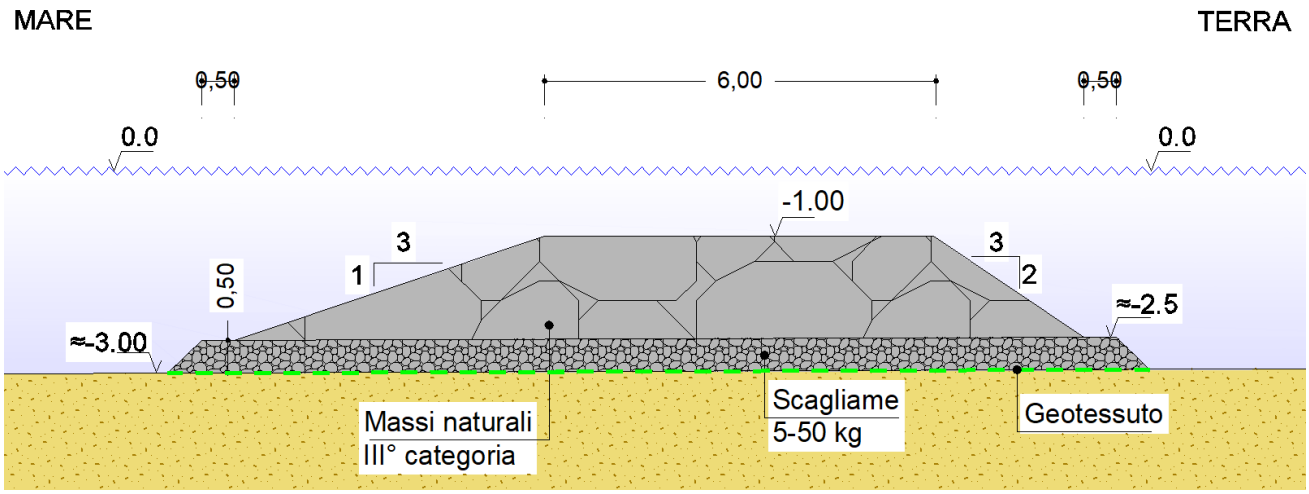
RIPRISTINO FUNZIONALITA' STRUTTURE SEMISOMMERSE IN MASSI NATURALI

Nel progetto vengono presentati gli interventi previsti per il ripristino della funzionalità delle 3 strutture (secche) semisommerse realizzate a protezione del litorale marino di ponente. Viene fatto riferimento al progetto degli ''interventi integrativi del sistema di opere di difesa della costa tra Capo S. Spirito ed il torrente Varatella'' approvato con Decreto 2379 del 23/08/2010 e passato a procedura di screening conclusasi con parere finale dell'ufficio VIA prot. IN/2010/13049 del 31/05/2010.

Gli atti citati hanno approvato la realizzazione di una barriera longitudinale sommersa tra le secche B e C, documentante la opportunità tecnica con modellazione matematica proposta HYDROSOIL SRL di Padova. La barriera, in esito a varie proposte, venne infine realizzata con 2 geotubi affiancati e contenuti entro 2 file di massi naturali. L'esito iniziale fu molto favorevole; lo scopo era quello di ridurre le cuspidi della linea di battigia in corrispondenza tra le secche B e C, o meglio di favorire l'avanzamento della spiaggia anche nella falcatura centrale. Per motivazioni ancora da chiarire, i geotubi si sono appiattiti e successivamente distrutti, per poi essere asportati a brandelli da incaricati del Comune. Poiché il tema dei geotubi che si rompono non è nuovo, appare opportuno riprendere il tema con una struttura in massi naturali, che lo stesso consiglio superiore dei LLPP ha definito di ''facile rimozione'' , come richiesto a suo tempo dal procedimento di screening. L'attuale progetto pertanto propone le barriere sommerse tra le dighe A/B e B/C con le seguenti dimensioni:

- Berma di larghezza 6.0 ml, a quota -1.0 ml;
- Scarpata lato mare, pendenza 3/1;
- Scarpata lato terra, pendenza 3/2;
- Imbasamento: pietrame di cava (5-50 kg);
- Separazione tra fondale e nuovi massi: geocomposito (georete + geogriglia)

Pertanto la sezione tipologica è la seguente:



I massi di nuovo apporto sono di terza categoria, con peso compreso tra le 3.0 e le 7.0 ton. Si prevede di salpare ed introdurre i massi piatti presenti all'interno della geometria progettuale, previo salpamento, svuotamento e conferimento a discarica dei geotubi esistenti.

L'intervento sul sistema difensivo esistente pertanto si conclude con ripristini (riposizionamento massi) sulle scarpate delle secche, ove necessario, e ripristini (eventuali) sulle tubazioni di carico delle acque meteoriche.

CODICE 1074

POSIZIONE 236

REALIZZAZIONE QUARTA SECCA

Il progetto approvato con Decreto 2379 del 2010 comprendeva anche (e soprattutto) un ripascimento strutturale di 15 000 mc accompagnato da una quarta secca già prevista nel progetto generale di fattibilità. Il complesso di tali opere viene riproposto integralmente, previa verifica dei fondali che localmente hanno subito qualche modesta modifica come evidenziato dal rilievo del maggio/giugno 2020 (Alessandro Maifredi). E' pure previsto il contemporaneo salpamento del breve pennello in massi compreso tra la nuova secca (denominata D) e quella più a levante (denominata C).

Le caratteristiche della secca sono quelle costitutive già indicate nel progetto approvato nel 2010:

- Berma semisommersa a quota 0.0 sul l.m.m. di dimensione 15*30 con pendenza 5/1 su ambedue i lati mare e terra. Le mantellate sono previste in massi di III°

categoria ed il nucleo ad altezza variabile in elementi di I° categoria, imbasato su tout venant.

Il centro della secca D dista dal centro della più vicina C circa ml 160 e la secca D dista dalla attuale battigia circa ml 100 e dal ferro della ferrovia circa ml 130.

Durante l'intervento, con i fondi residuali previa autorizzazione, si provvederà anche a ripristinare la scarpata in massi che sostiene la passeggiata a mare di collegamento con il territorio di Ceriale.

CODICE 1074

POSIZIONE 237

SALPAMENTO PENNNELLO, MANUTENZIONE ROSA DEI VENTI, SBARRAMENTO SOMMERSO

Nel progetto sono compresi anche interventi che, pur non compresi in programmi precedenti, sono attesi da molto tempo sul litorale. Essi riguardano il litorale di levante, e sono:

Molo rosa dei venti

Il molo è attualmente coperto di sabbia; nel tempo ha mostrato la sua efficacia e pertanto si rende opportuno un ripristino con potenziamento della testata. Nell'intorno dell'opera, si prevede innanzitutto di recuperare la maggior parte del materiale caduto ai piedi dell'opera e/o trasportato dai marosi lungo la stessa: ciò è possibile soprattutto per il materiale grossolano (massi di 3ª categoria) quando questo non ha subito fratture e/o rotture che ne abbiano diminuito la massa.

Pertanto l'opera di salpamento costituisce il primo momento dei lavori della testata.

I materiali dovranno essere gestiti in modo tale da ricostituire la geometria originaria, rapportata alla nuova linea di battigia, eventualmente con movimentazione e posizionamento in punti non prospicienti alla zona di salpamento. Per la realizzazione dell'intervento è prevista fornitura di massi, con caratteristiche litologiche del tutto simili all'esistente e di peso maggiore alle 3.0 ton (III° categoria), per circa 2000 ton.

Tutte le operazioni sono previste via terra.

La superficie della testata del molo è attesa dalle forze dell'ordine come area per elisoccorso.

Molo di ponente

Salpamento del pennello esistente e riutilizzo del materiale salpato a rifiorimento e risagomatura del molo rosa dei venti.

Tutte le operazioni sono previste via terra.

Berma dissipativa in radice al molo soraflutto

Si prevede di realizzare una berma dissipativa in radice al molo sopraflutto del porticciolo turistico, caratterizzata da una quota sommitale semiemergente rispetto al l.m.m. di circa 0.50 m; l'ampiezza di tale berma risulta variabile in funzione dello sviluppo perimetrale (pari a circa 70 ml,) con valore massimo dell'avanzamento pari a circa 25 ml. La pendenza della scarpata è pari a 3/2.

Tutte le operazioni sono previste via terra.

L'esigenza dell'opera è nata dopo la realizzazione dell'approdo turistico; l'insabbiamento continuo della bocca portuale crea problemi generali al litorale, che invece potrebbe godere dl materiale fine transeunte longhshore.

L'angolo di ponente del molo del porto è inoltre con frequenza tracimato durante le mareggiate. La berma dissipativa svolge quindi la duplice funzione:

sicurezza di mezzi e persone in banchina;

riduzione della frequenza dell'insabbiamento portuale;

incremento della disponibilità di sabbie pulite in spiaggia e utili anche a operazioni manutentive lungo tutto il litorale, sia a levante sia a ponente della foce del Torrente Varatella.

In somme a disposizione si prevede altresì la manutenzione e la sistemazione dello scarico a mare esistente, situato nell'immediato ponente del braccio sopraflutto del porticciolo turistico.

5. CALCOLO RUN UP

I valori di run-up vengono riferiti ad una probabilità di superamento assunta pari al 2%, in esito all'irregolarità delle onde e del fenomeno di risalita stesso,

Al fine di valutare la risposta idraulica fornita dalla mantellata a progetto per l'opera di difesa si può fare ricorso alla seguente relazione sperimentale di Van der Meer :

$$R_{u2\%} = 1.6 \cdot \gamma \cdot H_s \cdot \xi_{0p}$$

dove :

- γ rappresenta il prodotto di diversi coefficienti parziali che separatamente tengono in conto della scabrezza e permeabilità della scarpata, dell'obliquità dell'attacco ondoso sulla scarpata, dell'effetto della bassa profondità che può modificare la distribuzione delle altezze d'onda del moto ondoso irregolare incidente, della presenza di berme in corrispondenza del profilo della scarpata e di pareti molto ripide poste sulla sommità della scarpata stessa;
- H_s rappresenta l'altezza d'onda significativa di progetto alla profondità considerata, ricavata dalla teoria dell'onda solitaria (massima altezza d'onda incidente pari a 0.78 volte la profondità antistante l'opera);
- ξ_{0p} rappresenta il numero di Iribarren (parametro di frangimento) che descrive la tipologia di frangimento dell'onda sulla scarpata.

Più precisamente, di seguito s'intende illustrare i vari parametri che compongono il fattore γ rappresentato nell'ultima relazione citata. Tali termini assumono un significato di inibitori nei confronti del run-up sulla mantellata e, in condizioni maggiormente sfavorevoli, risultano unitari.

In particolare, il citato parametro γ è composto dai seguenti fattori:

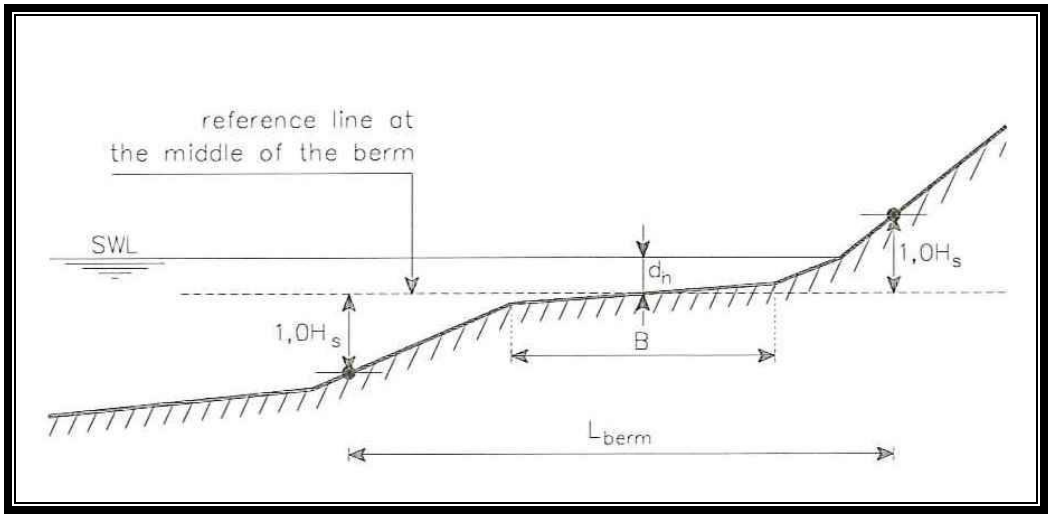
$$\gamma = \gamma_b \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_f \cdot \gamma_v$$

dove:

γ_b rappresenta il fattore di riduzione del run-up sulla scarpata in relazione alla presenza sulla stessa di berme, ossia di porzioni la cui pendenza non superi il valore di 1/15.

Con particolare riferimento alla figura successiva, il valore del parametro γ_b viene valutato attraverso la relazione:

$$\gamma_b = 1 - \frac{B}{L_{berm}} \cdot \left[1 - 0.5 \cdot \left(\frac{d_h}{H_s} \right)^2 \right]$$

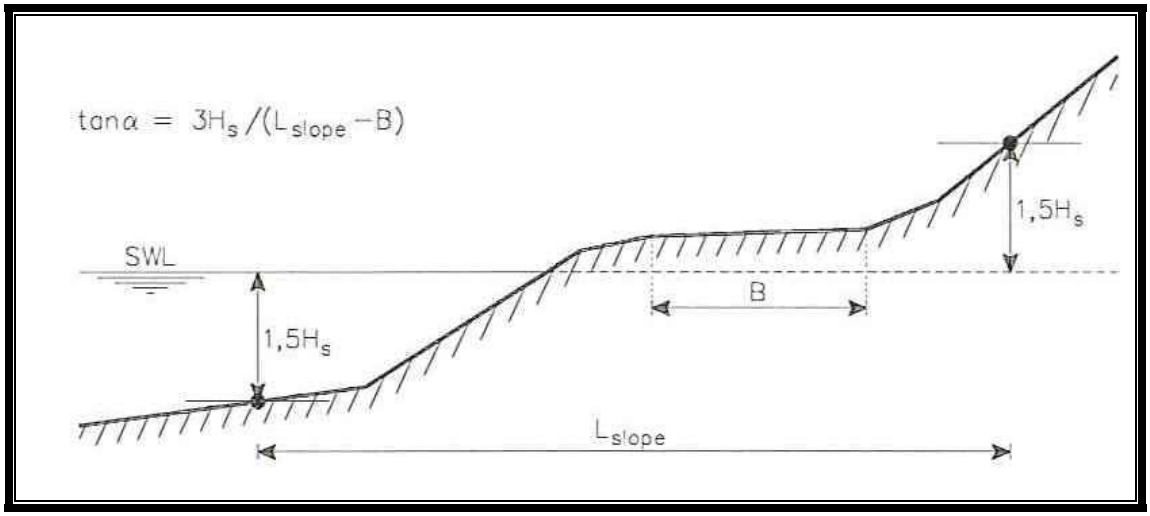


Si precisa che, nella relazione che consente di calcolare il valore di γ_b, oltre ai parametri facilmente deducibili conoscendo la geometria della sezione della scarpata, la grandezza L_{berm} si può ricavare conoscendo le pendenza della mantellata verso mare e verso terra rispetto alla posizione della berma e l'altezza dell'onda significativa considerata.

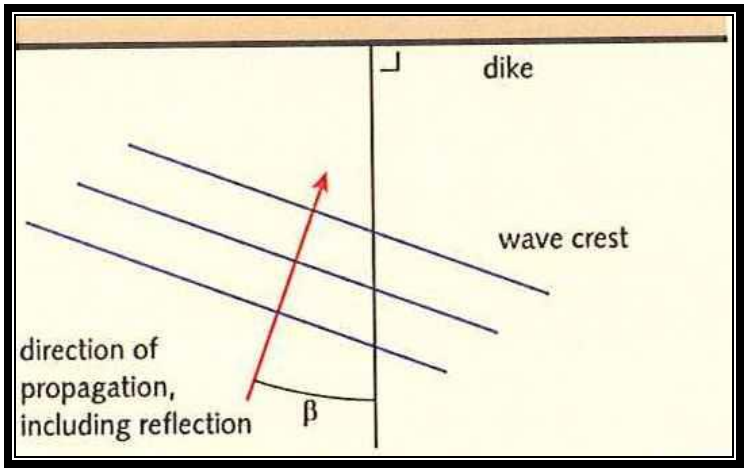
Nel caso in esame non è prevista una berma sommersa ma unicamente una berma emersa radente l'esistente muro paraonde; si dovrà pertanto fare riferimento unicamente alla seguente relazione che permette di considerare la pendenza media della scarpata in caso di presenza di berma emersa:

$$\tan \alpha_{medio} = \frac{3 \cdot H_s}{\left(L_{slope} - B \right)}$$

Dove



γ_β rappresenta il fattore di riduzione del run-up sulla scarpata in riferimento all'angolo di attacco del fronte d'onda nei confronti dell'ortogonale all'asse longitudinale dell'opera di difesa.



Con riferimento alla figura sopra riportata il valore del parametro γ_β viene calcolato attraverso l'espressione:

$$\gamma_\beta = 1 - 0.0022 \cdot \beta$$

nella quale β (considerato in gradi sessadecimali) rappresenta l'angolo formato dalla direzione di propagazione del fronte d'onda e l'ortogonale all'asse longitudinale dell'opera di difesa.

γ_f rappresenta il parametro riduttivo del run-up sulla scarpata in funzione del tipo di rugosità della stessa. A seconda della tipologia di materiale, della geometria e dell'assetto degli elementi che costituiscono la mantellata si ha un corrispondente effetto nei confronti della risalita dell'onda sull'opera considerata.

Nella tabella seguente si illustrano alcuni valori assunti dal fattore γ_f in diverse condizioni della scarpata:

Tipo di scarpata	γ_f
Conglomerato liscio o asfalto	1.00
Blocchi ravvicinati e lisci	1.00
Scarpata rivestita da uno strato di almeno 3 cm di materiale vegetale	0.95
Blocchi naturali la cui densità di posa e' pari a circa 0.5 per 0.5 mq	0.75
Blocchi naturali in due strati	0.60
Strato esterno di blocchi il cui diametro medio risulta minore di $H_s/3$	0.60

γ_v identifica il fattore di riduzione del run-up sulla scarpata in considerazione della presenza sulla sommità della stessa di pareti il cui angolo d'inclinazione sia maggiore di 45°. Tale parametro γ_v è stato valutato attraverso la relazione:

$$\gamma_v = 1.35 - 0.0078 \cdot \delta$$

nella quale δ, che indica l'angolo d'inclinazione rispetto all'orizzontale della parete posta in sommità all'opera di difesa .

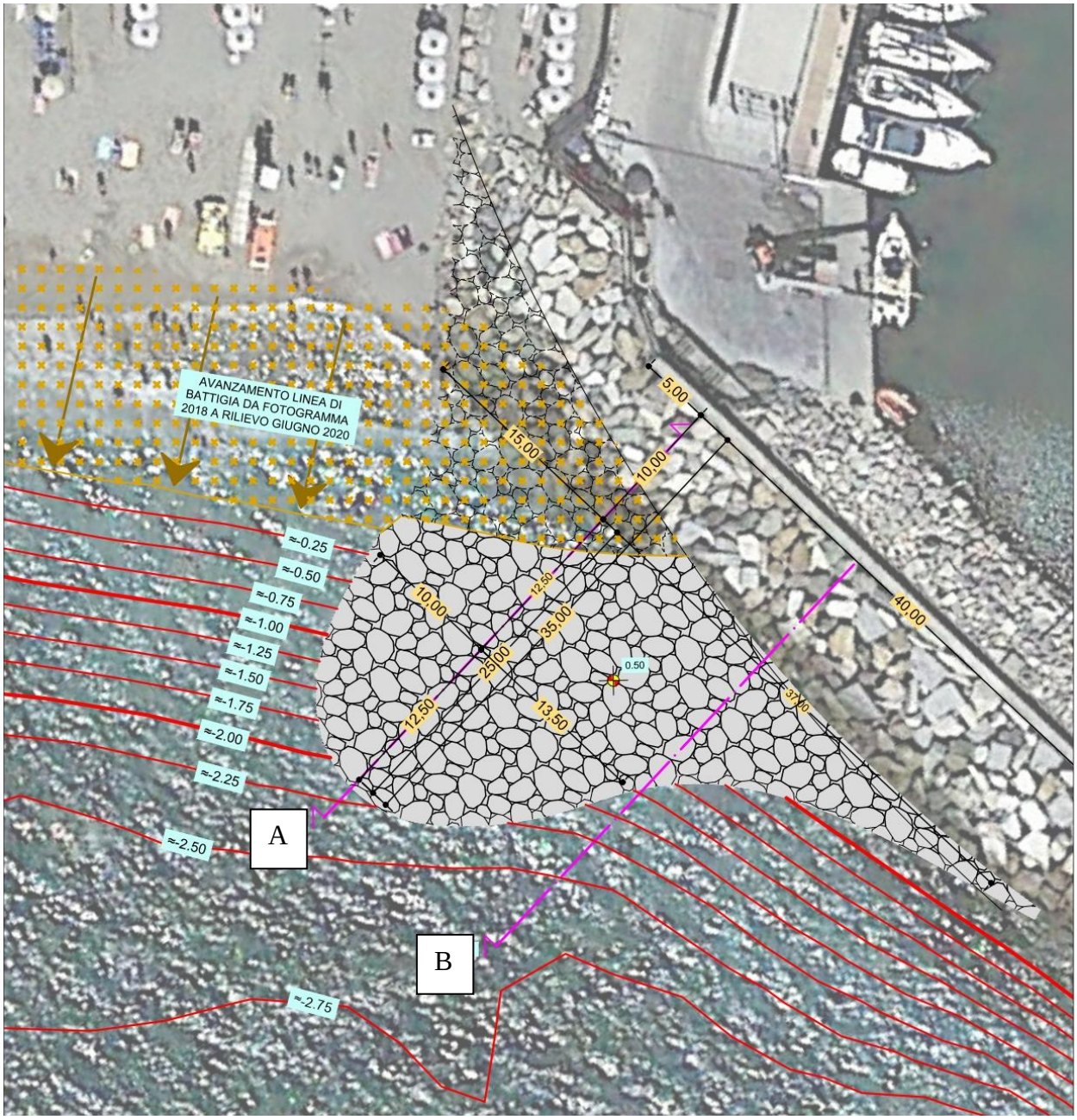
E' opportuno precisare che per quanto concerne il parametro ξ_{0p}, considerato nell'espressione di valutazione del run-up sulla scarpata, esso viene ricavato tramite la relazione:

$$\xi_{0p} = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{L_{0p}}}} \quad \text{dove:} \quad L_{0p} = \frac{g \cdot T_p^2}{2 \cdot \pi} \quad \text{e} \quad T_p = 9 \cdot \sqrt{\frac{H_s}{4 \cdot g}} \quad *\pi$$

e α rappresenta, come già indicato, il valore medio dell'angolo d'inclinazione della scarpata.

Run Up della configurazione di progetto

Il valore di Run-up 2% viene calcolato in corrispondenza di n° 2 sezioni, individuate nella seguente planimetria:



La massima profondità di imbasamento dell'opera di difesa risulta pari a circa -2.35 mslmm in corrispondenza della sezione A e -2.10 mslmm in corrispondenza della sezione B ; si considera, a

favore di sicurezza , un sovralzo del l.m.m. pari a 0.70 cm, valore cautelativo ma compatibile con il livello registrato dal mareografo di Genova durante la mareggiata di ottobre 2018.

Risulta pertanto

Hs = 0.78 x Hf

Sezione A = 0.78 x (2.35+0.70)= 2.38 m

Sezione B = 0.78 x (2.10+0.70)= 2.18 m

Si procederà ora al calcolo dei coefficienti componenti la formula del Run Up.

γ_β - Attacco dell'onda

Indipendente dalla possibile inclinazione dell'onda rispetto all'opera di difesa, a favore di sicurezza, la verifica verrà effettuata sotto l'ipotesi di ortogonalità di incidenza dell'onda, pertanto assumendo un coefficiente con valore unitario.

γ_b - Pendenza media della scarpata

La tangente dell'angolo della pendenza media della scarpata risulta pari a :

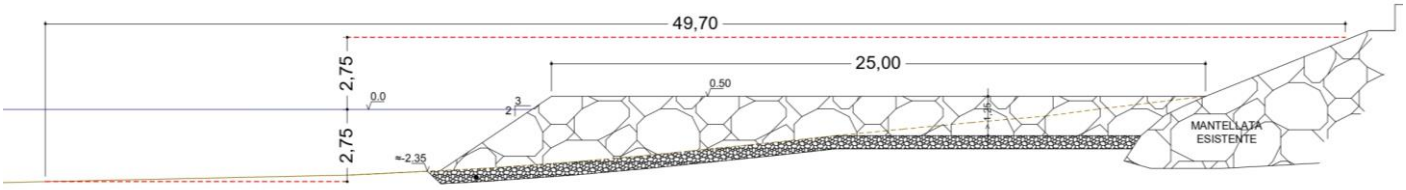
$$\tan \alpha_{medio} = \frac{3 \cdot H_s}{\left(L_{slope} - B\right)}$$

L'angolo di pendenza media, e di conseguenza la tangente dello stesso, risulta funzione dell'altezza d'onda sia a numeratore sia a denominatore (all'interno del coeff. $L_{slope,}$ come 1.5 * H_s); in via cautelativa il valore di H_s a numeratore sarà calcolato tenuto conto del sovralzo di 0.70 ml del l.m.m., mentre il valore di H_S a denominatore sarà considerato senza sovralzo.

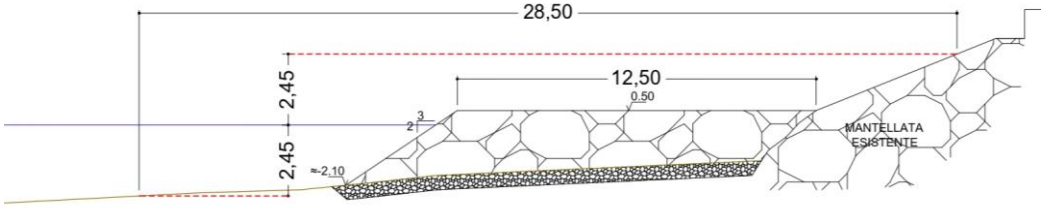
Risulta :

	H_s numeratore		H_s numeratore
Sezione A	0.78 x (2.35+0.70)= 2.38 m	Sezione B	0.78 x (2.10+0.70)= 2.18 m
	H_{S1} per calcolo L_{slope}		H_{S1} per calcolo L_{slope}
	0.78 x 2.35 x 1.50 = 2.75 m		0.78 x 2.10 x 1.50 = 2.46 m

Il valore L_{slope} viene determinato graficamente, e risulta pari a:



Sezione A



Sezione B

Il valore di Tan α medio risulta pari a :

$$\text{Sezione A} \quad \text{Tan } \alpha_{\text{medio}} = \frac{3^* 2.38}{49.70\text{-}25.00} = 0.289$$

$$\text{Sezione A} \quad \text{Tan } \alpha_{\text{medio}} = \frac{3^* 2.18}{28.50\text{-}12.50} = 0.409$$

γ_f - Tipo di scarpata

Per scarpate in blocchi naturali in due strati il coefficiente assume il valori di 0.60

γ_v -Paramenti verticali a tergo della scarpata

La mantellata esistente presenta a tergo un muro paraonde verticale, pertanto l'angolo è pari a 90°

$$\gamma_v = 1.35 - 0.0078 \cdot \delta$$ = 1.35- 0.0078 x 90 = 0.6480

Nella seguente tabella vengono riassunti tutti parametri e coefficienti necessari per la determinazione del valore di $R_{u\ 2\%}$

	SEZIONE A			**SEZIONE A**	
Hs	2.38	m		2.18	m
Tp	6.96	s		6.66	s
Lop	75.60	m		69.29	m
Tan α medio	0.289	-		0.409	-
ξ_{0p}	1.63	-		2.31	-
γ_b	1.0000	-		1.0000	-
γ_β	1.0000	-		1.0000	-
γ_f	0.6000	-		0.6000	-
γ_v	0.6480	-		0.6480	-

SEZIONE A $R_{u\ 2\%}$= 1.6 x 2.38 x 1.63 x 1.000 x 1.000 x 0.600 x 0.648 = 2.41 ml

SEZIONE B $R_{u\ 2\%}$= 1.6 x 2.18 x 2.31 x 1.000 x 1.000 x 0.600 x 0.648 = 3.13 ml

Il valore di run up calcolato risulta inferiore alla quota del muro paraonde dell'opera esistente, pari a circa 4.0 m.

6. DIMENSIONAMENTO MASSI DI SCARPATA

La determinazione del peso del singolo elemento costituente la mantellata è condotta con la collaudata espressione di Hudson (1959), largamente diffusa in letteratura, ricavata in base ad un gran numero di risultati sperimentali.
La formulazione risulta la seguente:

$$W = \frac{\gamma \cdot H^3}{K_D \cdot (\gamma / \gamma_w - 1)^3 \cdot \cot\theta}$$

In cui :

γ = densità del materiale costituente la mantellata (2 600 kg/mc)

γ_W = densità dell'acqua di mare (1 030 kg/mc)

H = Altezza dell'onda di calcolo (m)

K_D = E' un coefficiente di stabilità in funzione della forma dei massi, della scabrezza superficiale della mantellata, del grado di ammorsamento dei massi, dell'ubicazione della sezione allo studio (2).

θ = Angolo che la scarpata forma con l'orizzontale

L' altezza d'onda di calcolo viene ricavata dalla teoria dell'onda solitaria (massima altezza d'onda incidente pari a 0.78 volte la profondità antistante l'opera), caso per caso per ciascuno dei 3 interventi previsti.

Posizione 235 – Ripristino funzionalità strutture semisommerse in massi naturali

Le maggiori profondità locali antistanti l'opera si attestano su valori compresi tra circa 2.60 e 3.20 m. Pertanto, considerato un sovralzo del l.m.m. pari a circa 0.70 m, si ottiene:

$$Hs = ((2.60 \div 3.20) + 0.70) \times 0.78 = 2.57 \div 3.04 \text{ m}$$

	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

La pendenza assunta a progetto, pari a 3/1, risulta stabile con il tonnellaggio di massi di III° categoria (3÷7 ton).

Posizione 236 – Realizzazione quarta secca

Le maggiori profondità locali antistanti l'opera si attestano su valori di circa 3.30 m. Pertanto, considerato un sovralzo del l.m.m. pari a circa 0.70 m, si ottiene:

$$Hs = (3.30+0.70) \times 0.78 = 3.12 \text{ m}$$

	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

La pendenza assunta a progetto, pari a 5/1, risulta stabile con il tonnellaggio di massi di III° categoria (3÷7 ton).

Posizione 237 – Salpamento pennello, manutenzione rosa dei venti, sbarramento sommerso

Le maggiori profondità locali antistanti l'opera si attestano su valori di circa 2.35 m. Pertanto, considerato un sovralzo del l.m.m. pari a circa 0.70 m, si ottiene:

$$Hs = (2.35+0.70) \times 0.78 = 2.38 \text{ m}$$

	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

La pendenza assunta a progetto, pari a 3/2, risulta stabile con il tonnellaggio di massi di III° categoria (3÷7 ton).

7. VINCOLI

L’area di intervento ricade completamente nel territorio costiero compreso nella fascia entro i 300 ml.

La verifica sul sito di Liguria Vincoli non ha evidenziato la presenza di aree da tutelare, come osservabile nella seguente planimetria



L’area oggetto di intervento non è soggetta a vincolo idrogeologico.

8. DISPONIBILITA’ DEI MATERIALI

Si prevede l’utilizzo delle seguenti pezzature:

- Tout venant
- Pietrame di cava
- Massi naturali I° categoria
- Massi naturali III° categoria

Il prodotto di cava risulta solitamente di facile reperibilità sul mercato: il recente sviluppo di lavori marittimi di ripristino ha però talvolta esaurito le scorte, per cui le cave sono in affanno per servire la clientela. Non tutte le cave forniscono materiale di III° categoria: ne esistono peraltro in provincia di Imperia, di Savona e di Genova, per citare le più vicine.

Gli interventi a progetto si attuano con l'impiego dei seguenti materiali:

CODICE 1074				
POSIZIONE 235	Pietrame di cava	4 200	ton	circa
	Massi III° categoria	4 700	ton	circa
POSIZIONE 236	Tout venant	1 050	mc	circa
	Massi I° categoria	3 000	ton	circa
	Massi III° categoria	5 500	ton	circa
POSIZIONE 237	Tout venant	800	mc	circa
	Massi III° categoria	5 800	ton	circa

9. TEMPI REALIZZATIVI E CRONOPROGRAMMA

CODICE 1074 – POSIZIONE 235															
LAVORAZIONI	GIORNI														
	05	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55				
Predisposizione cantiere															
Sistemazione secche esistenti															
Rimozione geotubi															
Soglia sommersa															
Sicurezza															

CODICE 1074 – POSIZIONE 236															
LAVORAZIONI	GIORNI														
	05	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
Predisposizione cantiere															
Salpamento pennello															
Secca															
Ripascimento															
Sicurezza															

CODICE 1074 – POSIZIONE 237															
LAVORAZIONI	GIORNI														
	05	10	15	20	25	30	35	40	45						
Predisposizione cantiere															
Salpamento pennello															
Molo rosa dei venti: allungamento e sistemazione															
Sbarramento sommerso															
Sicurezza															

Nota: il presente cronoprogramma tiene conto di un 20% di giornate con clima meteomarino avverso.

10. QUADRO ECONOMICO

Il finanziamento dei 3 interventi al codice 1074, prevede:

CODICE 1074			
POSIZIONE 235	€ 500.000,00	relativo a	Ripristino funzionalità strutture semisommerse in massi naturali
POSIZIONE 236	€ 1.350.000,00	relativo a	Realizzazione quarta secca
POSIZIONE 237	€ 400.000,00	relativo a	Salpamento pennello, manutenzione rosa dei venti, sbarramento sommerso

Suddivisi secondo i prospetti riportati nelle successive pagine.

CODICE 1074 POSIZIONE 235 RIPRISTINO FUNZIONALITA' STRUTTURE SEMISOMMERSE IN MASSI NATURALI			
A) LAVORI			
	Lavori soggetti a ribasso	€	390 204.24
	Sicurezza	€	4 795.76
	TOTALE LAVORI A)	**€**	**395 000.00**
B) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE			
B1	Lavori in economia, previsti in progetto ed esclusi dall'appalto , ivi inclusi i rimborsi previa fattura	€	-
B2	Rilievi, accertamenti ed indagini	€	-
B3	Allacciamento ai pubblici servizi	€	-
B4	Imprevisti	€	6 848.00
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	€	€ 40 000.00
B8	Spese per attività tecnico-amministrative connesse alla progettazione, di supporto al responsabile del procedimento, e di verifica e validazione	€	-
B9	Eventuali spese per commissioni giudicatrici	€	-
B10	Spese per pubblicità e, ove previsto, per opere artistiche	€	-
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	€	-
B12	IVA sui lavori (22% di A))	€	39 500.00
B13	CNPAIA (4% di B7)	€	1 600.00
B14	IVA sui spese tecniche e CNPAIA (22% di B7+B13)	€	9 152.00
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	€	7 900.00
	TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE B)	**€**	**105 000.00**
A) LAVORI		€	395 000.00
B) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE		€	105 000.00
	TOTALE INTERVENTO	**€**	**500 000.00**

CODICE 1074 POSIZIONE 236 REALIZZAZIONE QUARTA SECCA			
A) LAVORI			
	Lavori soggetti a ribasso	€	891 329.14
	Sicurezza	€	8 670.86
	TOTALE LAVORI A)	**€**	**900 000.00**
B) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE			
B1	Lavori in economia, previsti in progetto ed esclusi dall'appalto , ivi inclusi i rimborsi previa fattura	€	-
B2	Rilievi, accertamenti ed indagini (compresi rilievi)	€	15 000.00
B3	Allacciamento ai pubblici servizi	€	-
B4	Imprevisti	€	87 308.00
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	€	90 000.00
B8	Spese per attività tecnico-amministrative connesse alla progettazione, di supporto al responsabile del procedimento, e di verifica e validazione	€	5 000.00
B9	Eventuali spese per commissioni giudicatrici	€	5 000.00
B10	Spese per pubblicità e, ove previsto, per opere artistiche	€	2 500.00
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	€	5 000.00
B12	IVA sui lavori (22% di A))	€	198 000.00
B13	CNPAIA (4% di B7)	€	3 600.00
B14	IVA sui spese tecniche e CNPAIA (22% di B7+B13)	€	20 592.00
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	€	18 000.00
	TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE B)	**€**	**450 000.00**
A) LAVORI		€	900 000.00
B) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE		€	450 000.00
	TOTALE INTERVENTO	**€**	**1 350 000.00**

CODICE 1074 POSIZIONE 237 SALPAMENTO PENNELLO, MANUTENZIONE ROSA DEI VENTI E SBARRAMENTO SOMMERSO			
A) LAVORI			
	Lavori soggetti a ribasso	€	249 317.60
	Sicurezza	€	5 682.40
	TOTALE LAVORI A)	**€**	**255 000.00**
B) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE			
B1	Lavori in economia, previsti in progetto ed esclusi dall'appalto , ivi inclusi i rimborsi previa fattura	€	25 000.00
B2	Rilievi, accertamenti ed indagini (compresi rilievi)	€	-
B3	Allacciamento ai pubblici servizi	€	-
B4	Imprevisti	€	9 392.00
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	€	35 000.00
B8	Spese per attività tecnico-amministrative connesse alla progettazione, di supporto al responsabile del procedimento, e di verifica e validazione	€	-
B9	Eventuali spese per commissioni giudicatrici	€	-
B10	Spese per pubblicità e, ove previsto, per opere artistiche	€	-
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	€	5 000.00
B12	IVA sui lavori (22% di A))	€	56 100.00
B13	CNPAIA (4% di B7)	€	1 400.00
B14	IVA sui spese tecniche e CNPAIA (22% di B7+B13)	€	8 008.00
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	€	5 100.00
	TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE B)	**€**	**145 000.00**
A) LAVORI		€	255 000.00
B) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE		€	145 000.00
	TOTALE INTERVENTO	**€**	**400 000.00**

A) LAVORI					
		POSIZIONE 235	POSIZIONE 236	POSIZIONE 237	SOMMANO
	Lavori soggetti a ribasso	€ 390 204.24	€ 891 329.14	€ 249 317.60	€ 1 530 850.98
	Sicurezza	€ 4 795.76	€ 8 670.86	€ 5 682.40	€ 19 149.02
	TOTALE LAVORI A)	**€ 395 000.00**	**€ 900 000.00**	**€ 255 000.00**	**€ 1 550 000.00**
B) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE					
B1	Lavori in economia, previsti in progetto ed esclusi dall'appalto , ivi inclusi i rimborsi previa fattura	€ -	€ -	€ 25 000.00	€ 25 000.00
B2	Rilievi, accertamenti ed indagini	€ -	€ 15 000.00	€ -	€ 15 000.00
B3	Allacciamento ai pubblici servizi	€ -	€ -	€ -	€ -
B4	Imprevisti	€ 6 848.00	€ 87 308.00	€ 9 392.00	€ 103 548.00
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	€ 40 000.00	€ 90 000.00	€ 35 000.00	€ 165 000.00
B8	Spese per attività tecnico-amministrative connesse alla progettazione, di supporto al responsabile del procedimento, e di verifica e validazione	€ -	€ 5 000.00	€ -	€ 5 000.00
B9	Eventuali spese per commissioni giudicatrici	€ -	€ 5 000.00	€ -	€ 5 000.00
B10	Spese per pubblicità e, ove previsto, per opere artistiche	€ -	€ 2 500.00	€ -	€ 2 500.00
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	€ -	€ 5 000.00	€ 5 000.00	€ 10 000.00
B12	IVA sui lavori (10% di A))	€ 39 500.00	€ 198 000.00	€ 56 100.00	€ 293 600.00
B13	CNPAIA (4% di B7)	€ 1 600.00	€ 3 600.00	€ 1 400.00	€ 6 600.00
B14	IVA sui spese tecniche e CNPAIA (22% di B7+B13)	€ 9 152.00	€ 20 592.00	€ 8 008.00	€ 37 752.00
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	€ 7 900.00	€ 18 000.00	€ 5 100.00	€ 31 000.00
	TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE B)	**€ 105 000.00**	**€ 450 000.00**	**€ 145 000.00**	**€ 700 000.00**
A) LAVORI		€ 395 000.00	€ 900 000.00	€ 255 000.00	€ 1 550 000.00
B) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE		€ 105 000.00	€ 450 000.00	€ 145 000.00	€ 700 000.00
	TOTALE INTERVENTO	**€ 500 000.00**	**€ 1 350 000.00**	**€ 400 000.00**	**€ 2 250 000.00**

DOCUMENTAZIONE ALLEGATA

Si allegano:

- Relazione HYDROSOLI srl
- Decreto regionale 2379/2010 di approvazione degli interventi integrativi

HydroSoil S.r.l.

via Panà 56/a - 35027 Noventa Padovana (PD) - tel.049 8703933 fax 049 8707868 - e.mail: info@hydrosoil.com
C.F./P. I.V.A. 03349460281 - R.I. PD-1998-60718 - R.E.A. 305234 - cap. soc. € 15.600,00 int vers.

Regione Liguria

Committente:
Comune di Borghetto Santo Spirito (SV)

STUDI IDRAULICO-MARITTIMI FINALIZZATI ALL'OTTIMIZZAZIONE FUNZIONALE DELLE OPERE DI DIFESA DELLA SPIAGGIA DI BORGHETTO S. SPIRITO



Elaborato unico

RELAZIONE TECNICA

Professionisti: **Ing. MASSIMO TONDELLO**
Ordine ingegneri della provincia di Padova n. 2771

Coordinamento Scientifico: **Prof. Ing. PIERO RUOL**
Ordine ingegneri della provincia di Padova n. 1683

Collaboratori: **Ing. Nicola Sguotti**
Ordine ingegneri della provincia di Padova n. 4389

Ing. Silvia Beriotto
Ordine ingegneri della provincia di Venezia n. 3483

Commessa: HS 438-08	REV: 01	Data: 5 Novembre 2008

INDICE

1 PREMESSA 6

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO 7

3 DATI DI MAREA 8

4 REGIME ANEMOLOGICO LOCALE 10

5 CLIMA ONDOSO AL LARGO 12

6 CLIMA ONDOSO LOCALE 17

6.1.1 Settaggio del modello 17

6.1.2 Risultati propagazione clima ondoso nel punto P 20

7 CONFIGURAZIONE ATTUALE DELLE OPERE DI DIFESA DELL'ARENILE DI BORGHETTO S.S. 24

8 DINAMICA LITORANEA IN CONFIGURAZIONE ATTUALE 28

8.1 PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO 28

8.1.1 Settaggio del modello 28

8.1.2 Caratteristiche delle mareggiate 29

8.1.3 Risultati codice di calcolo STWAVE 29

8.2 CIRCOLAZIONE IDRODINAMICA 32

8.2.1 Settaggio del modello 32

8.2.2 Condizioni ondametriche imposte nel modello 34

8.2.3 Condizioni anemometriche imposte nel modello 35

8.2.4 Risultati circolazione idrodinamica in configurazione attuale 35

8.2.4.1 TEST1 - Mareggiata di Levante (1 g/anno) 36

8.2.4.2 TEST2 - Mareggiata di Scirocco (1 g/anno) 37

8.2.4.3 TEST 3 - Mareggiata di Levante (7 gg/anno) 38

8.2.4.4 TEST4 - Mareggiata di Scirocco (7 gg/anno) 39

8.3 TRASPORTO SOLIDO 40

8.3.1 Settaggio del modello 40

8.3.2 Sedimentologia utilizzata 40

8.3.3 Risultati trasporto solido in configurazione attuale 41
8.3.3.1 TEST1- Mareggiata di Levante (1 g/anno) 42
8.3.3.2 TEST2 - Mareggiata di Scirocco (1 gg/anno) 43
8.3.3.3 TEST 3 - Mareggiata di Levante (7 gg/anno) 44
8.3.3.4 TEST4 - Mareggiata di Scirocco (7 gg/anno) 45
8.4 EVOLUZIONE DELLA LINEA DI RIVA 46
8.4.1 Propagazione del moto ondoso sottocosta 46
8.4.2 Premessa alla modellazione 47
8.4.3 Profondità di chiusura e altezza di swash 48
8.4.4 Dati sedimentologici 49
8.4.5 Taratura 51
8.4.5.1 Parametri utilizzati nel modello 51
8.4.5.2 Risultati della taratura 55
8.4.6 Evoluzione morfologica a 5 anni in configurazione attuale 57
8.4.6.1 Parametri utilizzati nel modello 57
8.4.6.2 Risultati dell'evoluzione morfologica in configurazione attuale 58
9 PROBLEMATICHE LAMENTATE E INTERVENTI PROPOSTI 60
9.1 SOLUZIONE CON BARRIERA SOMMERSA IN GEOTUBI E PIETRAME (CONFIGURAZIONE "1") 62
9.2 SOLUZIONE CON BARRIERA SOMMERSA IN GEOTUBI E PIETRAME, PENNELLI SOMMERSI E UNA NUOVA SECCA (CONFIGURAZIONE "2") 62
9.3 SOLUZIONE CON QUATTRO NUOVE SECCHE E PROLUNGAMENTO SOMMERSO DEL MOLO ITALIA (CONFIGURAZIONE "3") 63
9.4 SOLUZIONE CON SOLO IMPORTANTE RIPASCIMENTO (CONFIGURAZIONE "4") 63
9.5 CONSIDERAZIONI SUGLI INTERVENTI PROPOSTI 64
10 DINAMICA LITORANEA IN CONFIGURAZIONE MODIFICATA 65
10.1 DINAMICA LITORANEA IN CONFIGURAZIONE "1" 65
10.2 DINAMICA LITORANEA IN CONFIGURAZIONE "2" 68
10.2.1 Propagazione del moto ondoso 68
10.2.2 Circolazione idrodinamica 70
10.2.3 Trasporto solido 71
10.2.4 Evoluzione della linea di riva 73

10.3 DINAMICA LITORANEA IN CONFIGURAZIONE "3" 76
10.3.1 Propagazione del moto ondoso 76
10.3.2 Circolazione idrodinamica 78
10.3.3 Trasporto solido 79
10.3.4 Evoluzione della linea di riva 81
10.4 DINAMICA LITORANEA IN CONFIGURAZIONE "4" 84
11 CONCLUSIONI 86

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 2.1 - Inquadramento geografico del paraggio 7
Fig. 3.1 – Posizionamento stazione RMN di Imperia 9
Fig. 3.2 - Andamento dei livelli di marea relativo al periodo luglio 1998 - dicembre 2007 per la stazione di Imperia 9
Fig. 4.1 - Rosa delle registrazioni e delle velocità del vento (23 luglio 1998 – 31 dicembre 2007) – Stazione RMN di Imperia 10
Fig. 4.2 - Rosa dei venti (23 luglio 1998 – 31 dicembre 2007) – Stazione RMN di Imperia 11
Fig. 5.1 - Ubicazione del punto CNR di coordinate 8° 30' E, 44° 00' N 12
Fig. 5.2 - Mediterraneo occidentale. Distribuzione dei punti WAM 13
Fig. 5.3 – Rose delle registrazioni nel punto CNR al largo 15
Fig. 5.4 – Rose delle energie (punto CNR al largo) 15
Fig. 5.5 – Rose delle altezze massime (punto CNR al largo) 16
Fig. 6.1 – BIG GRID 18
Fig. 6.2 – MEDIUM GRID e ubicazione punto P 19
Fig. 6.3 – Rose delle registrazioni nel punto P 21
Fig. 6.4 – Rosa delle energie nel punto P 22
Fig. 6.5 – Rosa delle altezze massime nel punto P 22
Fig. 6.6 – Curva di durata nel punto P 23
Fig. 6.7 – Curva di durata nel punto P per i settori di Levante (60°-120°N) e Scirocco (120°-190°N) 23
Fig. 7.1 – Molo Royal e, sulla destra, prima secca 25
Fig. 7.2 – Pennello a Nord dei bagni "Royal", di fronte alla seconda secca 25
Fig. 7.3 – Seconda secca 26
Fig. 7.4 – Vista della spiaggia dai bagni "Royal" verso Sud 26
Fig. 7.5 – Tratto di spiaggia verso Capo S. Spirito 27
Fig. 8.1 – Griglia STWAVE e ubicazione punto P 28
Fig. 8.2 - TEST 1 – Mareggiata di Levante (1g/anno) – Caratteristiche in P: H_S = 1.81 m, T_P= 7.7 s, Dir = 85°N 30
Fig. 8.3 - TEST 2 – Mareggiata di Scirocco (1g/anno) – Caratteristiche in P: H_S = 1.92 m, T_P= 7.4 s, Dir = 155°N 30
Fig. 8.4 - TEST 3 – Mareggiata di Levante (7gg/anno) – Caratteristiche in P: H_S = 0.93 m, T_P= 5.9 s, Dir = 85°N 31
Fig. 8.5 - TEST 4 – Mareggiata di Scirocco (7gg/anno) – Caratteristiche in P: H_S = 1.15 m, T_P= 6.2 s, Dir = 155°N 31
Fig. 8.6 – Dominio di calcolo del modello STWAVE (bordo della griglia in rosso) e dominio di calcolo del modello ADCIRC impiegati per lo studio della circolazione idrodinamica 33
Fig. 8.7 – Dettaglio del dominio di calcolo del modello ADCIRC 34
Fig. 8.8 - Wave setup – TEST 1 – Caratteristiche in P: H_S = 1.81 m, T_P= 7.7 s, Dir = 85°N 36
Fig. 8.9 - TEST 1 – Idrodinamica litoranea stato attuale 36
Fig. 8.10 - Wave setup – TEST 2 – Caratteristiche in P: H_S = 1.92 m, T_P= 7.4 s, Dir = 155°N 37
Fig. 8.11 - TEST 2 – Idrodinamica litoranea stato attuale 37

Fig. 8.12 - Wave setup – TEST 3 – Caratteristiche in P: H_S = 0.93 m, T_P= 5.9 s, Dir = 85°N 38
Fig. 8.13 - TEST 3 – Idrodinamica litoranea stato attuale 38
Fig. 8.14 - Wave setup – TEST 4 – Caratteristiche in P: H_S = 1.15 m, T_P= 6.2 s, Dir = 155°N 39
Fig. 8.15 - TEST 4 – Idrodinamica litoranea stato attuale 39
Fig. 8.16 – Trasporto solido – TEST 1 – Caratteristiche in P: H_S = 1.81 m, T_P= 7.7 s, Dir = 85°N 42
Fig. 8.17 - TEST 1 – Evoluzione del fondale stato attuale 42
Fig. 8.18 - Trasporto solido – TEST 2 – Caratteristiche in P: H_S = 1.92 m, T_P= 7.4 s, Dir = 155°N 43
Fig. 8.19 - TEST 2 – Evoluzione del fondale stato attuale 43
Fig. 8.20 - Trasporto solido – TEST 3 – Caratteristiche in P: H_S = 0.93 m, T_P= 5.9 s, Dir = 85°N 44
Fig. 8.21 - TEST 3 – Evoluzione del fondale stato attuale 44
Fig. 8.22 - Trasporto solido – TEST 4 – Caratteristiche in P: H_S = 1.15 m, T_P= 6.2 s, Dir = 155°N 45
Fig. 8.23 - TEST 4 – Evoluzione del fondale stato attuale 45
Fig. 8.24 – Ubicazione delle boe virtuali (stazioni) poste alla profondità di –6 m s.m.m. 47
Fig. 8.25 – Individuazione $H_{0,12}$ – Curva di durata nel punto P 48
Fig. 8.26 – Ubicazione profilo di calcolo 49
Fig. 8.27 – Confronto tra profilo rilevato e profilo di equilibrio 50
Fig. 8.28 – Griglia di calcolo taratura GENESIS – 1° fase (in alto) e 2° fase (in basso) 53
Fig. 8.29 – Planimetria con griglie di calcolo STWAVE e GENESIS 54
Fig. 8.30 – Evoluzione della linea di riva (taratura 2005-2008) 56
Fig. 8.31 – Griglia di calcolo GENESIS (configurazione attuale) 57
Fig. 8.32 – Andamento trasporto solido longitudinale (configurazione attuale) 58
Fig. 8.33 – Evoluzione della linea di riva (evoluzione a 5 anni in configurazione attuale) 59
Fig. 9.1 –Configurazione di progetto 1 62
Fig. 9.2 –Configurazione di progetto 2 62
Fig. 9.3 –Configurazione di progetto 3 63
Fig. 9.4 –Configurazione di progetto 4 63
Fig. 10.1 – Andamento trasporto solido longitudinale (configurazione attuale in verde, configurazione “1” in magenta) .. 66
Fig. 10.2 – Evoluzione della linea di riva (evoluzione a 5 anni in configurazione “1”) 67
Fig. 10.3 – Dettaglio della batimetria in configurazione di progetto “2” 68
Fig. 10.4 - TEST 1 – Mareggiata di Levante (1g/anno) – Caratteristiche in P: H_S = 1.81 m, T_P= 7.7 s, Dir = 85°N 69
Fig. 10.5 - TEST 2 – Mareggiata di Scirocco (1g/anno) – Caratteristiche in P: H_S = 1.92 m, T_P= 7.4 s, Dir = 155°N 69
Fig. 10.6 - TEST 1 – Mareggiata di Levante – Idrodinamica litoranea configurazione “2” Caratteristiche in P: H_S = 1.81 m, T_P= 7.7 s, Dir = 85°N 70
Fig. 10.7 - TEST 2 – Mareggiata di Scirocco –Idrodinamica litoranea configurazione “2” Caratteristiche in P: H_S = 1.92 m, T_P= 7.4 s, Dir = 155°N 71
Fig. 10.8 - TEST 1 – Mareggiata di Levante – Evoluzione del fondale configurazione “2” Caratteristiche in P: H_S = 1.81 m, T_P= 7.7 s, Dir = 85°N 72
Fig. 10.9 - TEST 2 – Mareggiata di Scirocco –Evoluzione fondale configurazione “2” Caratteristiche in P: H_S = 1.92 m, T_P= 7.4 s, Dir = 155°N 72
Fig. 10.10 – Andamento trasporto solido longitudinale (configurazione attuale in verde, configurazione “2” in magenta) 74
Fig. 10.11 – Evoluzione della linea di riva (evoluzione a 5 anni in configurazione “2”) 75
Fig. 10.12 – Dettaglio della batimetria in configurazione di progetto “3” 76
Fig. 10.13 - TEST 1 – Mareggiata di Levante (1g/anno) – Caratteristiche in P: H_S = 1.81 m, T_P= 7.7 s, Dir = 85°N 77
Fig. 10.14 - TEST 2 – Mareggiata di Scirocco (1g/anno) – Caratteristiche in P: H_S = 1.92 m, T_P= 7.4 s, Dir = 155°N 77
Fig. 10.15 - TEST 1 – Mareggiata di Levante – Idrodinamica litoranea configurazione “3” Caratteristiche in P: H_S = 1.81 m, T_P= 7.7 s, Dir = 85°N 78
Fig. 10.16 - TEST 2 – Mareggiata di Scirocco –Idrodinamica litoranea configurazione “3” Caratteristiche in P: H_S = 1.92 m, T_P= 7.4 s, Dir = 155°N 79
Fig. 10.17 - TEST 1 – Mareggiata di Levante – Evoluzione del fondale configurazione “3” Caratteristiche in P: H_S = 1.81 m, T_P= 7.7 s, Dir = 85°N 80
Fig. 10.18 - TEST 2 – Mareggiata di Scirocco –Evoluzione fondale configurazione “3” Caratteristiche in P: H_S = 1.92 m, T_P= 7.4 s, Dir = 155°N 80
Fig. 10.19 – Andamento trasporto solido longitudinale (configurazione attuale in verde, configurazione “3” in viola) 82

Fig. 10.20 – Evoluzione della linea di riva (evoluzione a 5 anni in configurazione “3”) 83
Fig. 10.21 – Andamento trasporto solido longitudinale evoluzione a 5 anni (configurazione attuale in verde, configurazione “4” in magenta) 84
Fig. 10.22 – Evoluzione della linea di riva (evoluzione a 5 anni in configurazione “4”) 85

INDICE DELLE TABELLE

Tab. 5.1 - Registrazioni di moto ondoso ordinate per altezza e direzione di provenienza (punto CNR al largo) 14
Tab. 6.1 - Registrazioni di moto ondoso ordinate per altezza e direzione di provenienza (punto P) 21
Tab. 8.1 – Caratteristiche mareggiate significative propagate con il codice di calcolo STWAVE 29
Tab. 8.2 - Caratteristiche delle mareggiate considerate nello studio 34
Tab. 8.3 – Condizioni anemometriche imposte nel modello di circolazione idrodinamica 35
Tab. 8.4 – Caratteristiche sedimenti del fondale 40
Tab. 8.5 - Parametri impiegati nella taratura del modello 53

ELENCO DEGLI ALLEGATI

Allegato A Descrizione dei codici di calcolo
Allegato B Simulazioni dell'evoluzione morfologica
Tavola 1 – Taratura
Tavola 2 – Evoluzione in configurazione attuale
Tavola 3 – Evoluzione in configurazione di progetto “1”
Tavola 4 – Evoluzione in configurazione di progetto “2”
Tavola 5 – Evoluzione in configurazione di progetto “3”
Tavola 6 – Evoluzione in configurazione di progetto “4”

1 PREMESSA

In seguito al contratto di consulenza stipulato tra il Comune di Borghetto S. Spirito e la società Hydrosoil S.r.l. di Noventa Padovana, sono stati eseguiti una serie di studi idraulico-marittimi finalizzati all'ottimizzazione funzionale delle opere di difesa della spiaggia di Borghetto S. Spirito.

Gli studi sono stati condotti con l'ausilio di idonei modelli matematici in grado di simulare la propagazione del moto ondoso nei pressi del paraggio, la circolazione idrodinamica locale, il trasporto di sedimenti e l'evoluzione della linea di riva nel tratto di costa in oggetto.

L'analisi dei risultati ottenuti dalla modellistica matematica ha permesso di valutare l'impatto delle opere di difesa sulla dinamica litoranea.

La redazione dello studio idraulico-marittimo è stata articolata sviluppando i seguenti temi:

- definizione del clima meteo marino (dati di moto ondoso, vento e marea) al largo del paraggio;
- trasferimento del clima dal largo ad un punto sottocosta, antistante il paraggio di interesse;
- studio della circolazione idrodinamica indotta dal moto ondoso in configurazione attuale e di progetto;
- studio della tendenza evolutiva dei fondali per effetto dell'azione combinata di onde e correnti in configurazione attuale e di progetto;
- analisi dell'evoluzione recente della linea di riva;
- studio dell'evoluzione morfologica del litorale in configurazione attuale e di progetto.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il tratto di litorale oggetto di studio è situato sulla Riviera di Ponente della Regione Liguria, nel Comune di Borghetto S. Spirito, e si estende dalla foce del torrente Varatella, a Nord, fino alle scogliere di Capo S. Spirito, a Sud.
Le batimetrie utilizzate per la propagazione locale del clima sono state ricavate dalla carta nautica dell'I.I.M., mentre le batimetrie di dettaglio dell'area sono state ricavate sulla base di due recenti rilievi locali forniti dal Committente (giugno 2007 e luglio 2008).



Fig. 2.1 - Inquadramento geografico del paraggio

3 DATI DI MAREA

I dati di marea, utilizzati nel presente studio, sono stati acquisiti dal sito dell'APAT (www.idromare.com) e si riferiscono alla stazione della Rete Mareografica Nazionale (RMN) di Imperia. La stazione è ubicata a Porto Maurizio, presso la capitaneria di Porto. Il palo meteorologico è ubicato presso il molo corto, in corrispondenza del punto di coordinate Long. 08° 01' 07.72", Lat. 43° 52' 42.38" (Fig. 3.1).

I livelli di marea registrati sono riferiti allo zero dell'I.G.M..

Il periodo per il quale sono disponibili le registrazioni di marea va, in generale, dal 1896, anno in cui iniziano le osservazioni sistematiche e strutturate in reti in Italia, fino al 2007.
Nel 1998 l'ultima rete mareografica, impiantata nel 1986 dal Ministero dei Lavori Pubblici su una parte di installazioni già esistenti, cessa l'attività per essere sostituita da quella della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.
La sostituzione in questo caso ha comportato, come peraltro è successo in altre stazioni, l'adozione di quote di riferimento probabilmente non congruenti con le precedenti. Pertanto, per avere uniformità di dati, sono stati scaricati dal sito dell'APAT i dati di marea, registrati ad intervalli orari, che si riferiscono solo all'ultimo periodo (dal 3 luglio 1998 al 31 dicembre 2007).
Si sottolinea che, durante la fase di elaborazione dei dati, sono state riscontrate alcune lacune parziali (registrazioni mancanti).

La serie storica dei dati registrati dal mareografo, a partire da luglio 1998, è riportata in Fig. 3.2.
Le registrazioni sono state depurate dei dati mancanti e di una registrazione evidentemente anomala. Infatti, il livello di marea oscilla tra +0.52 m e -0.42 m, con l'anomalia rappresentata da un livello di -2.42 m, registrato il 4 agosto 2004 alle ore 1.00 (dato palesemente errato).

Con riferimento ai dati, si può notare che l'escursione di marea è sempre molto contenuta e che, durante i mesi primaverili, i livelli medi del mare sono leggermente inferiori ai livelli medi autunnali.



Fig. 3.1 – Posizionamento stazione RMN di Imperia

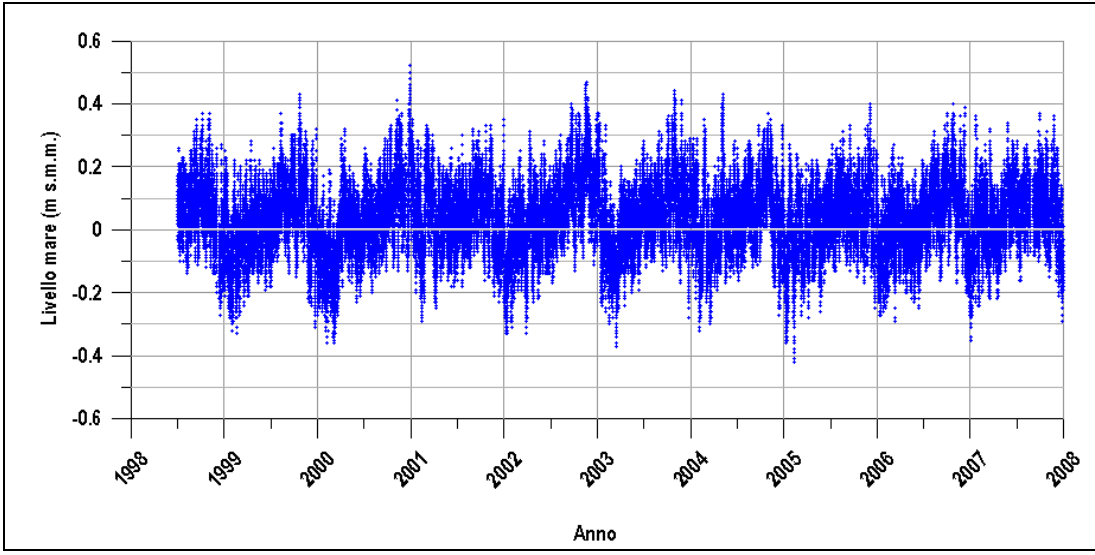


Fig. 3.2 - Andamento dei livelli di marea relativo al periodo luglio 1998 - dicembre 2007 per la stazione di Imperia

4 REGIME ANEMOLOGICO LOCALE

I dati di vento, come quelli di marea, sono stati acquisiti dal sito dell'APAT (www.idromare.com) e si riferiscono alla stazione RMN di Imperia. La stazione è ubicata a Porto Maurizio presso la Capitaneria di Porto. Il palo meteorologico è ubicato presso il molo corto, in corrispondenza del punto di coordinate Long. 08° 01' 07.72", Lat. 43° 52' 42.38" (Fig. 3.1).

Per uniformità dei dati (rispetto ai dati di marea già discussi) e, dal momento che nel periodo precedente al 1998 sono state riscontrate significative lacune di registrazione, i dati analizzati sono quelli relativi al periodo che va dal 23 luglio 1998 al 31 dicembre 2007. I dati, trascurando le limitate lacune, sono stati registrati ad intervalli orari.
Come si può notare in Fig. 4.1 e Fig. 4.2, il paraggio di Imperia (con esposizione simile a quella di Borghetto S.S.) è caratterizzato dalla prevalenza di venti di N, NE e W,SW. Per i settori del I e III quadrante si raggiungono picchi di 40-45 m/s.

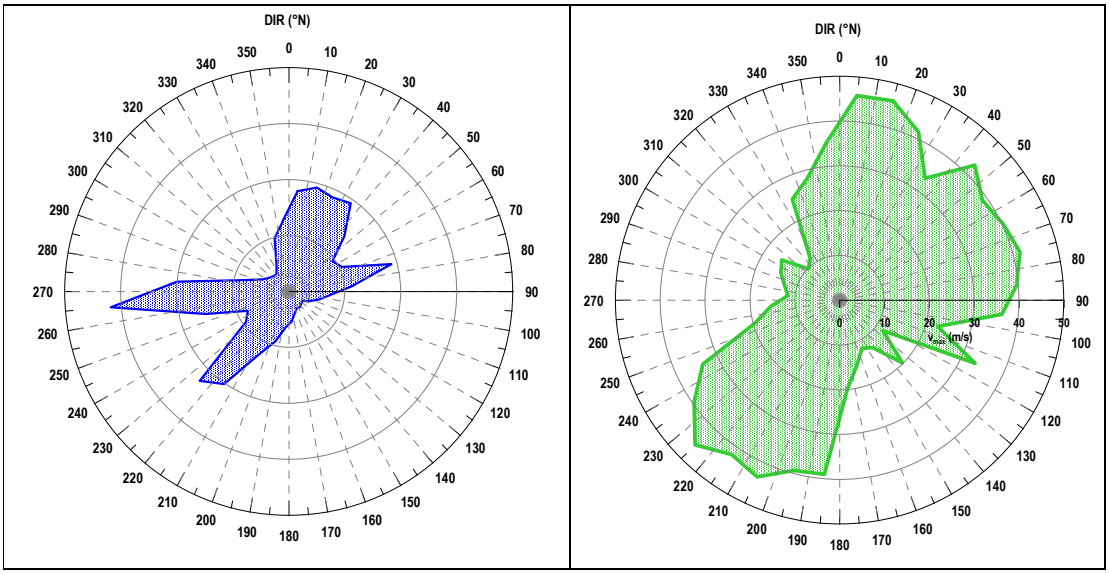


Fig. 4.1 - Rosa delle registrazioni e delle velocità del vento (23 luglio 1998 – 31 dicembre 2007) – Stazione RMN di Imperia

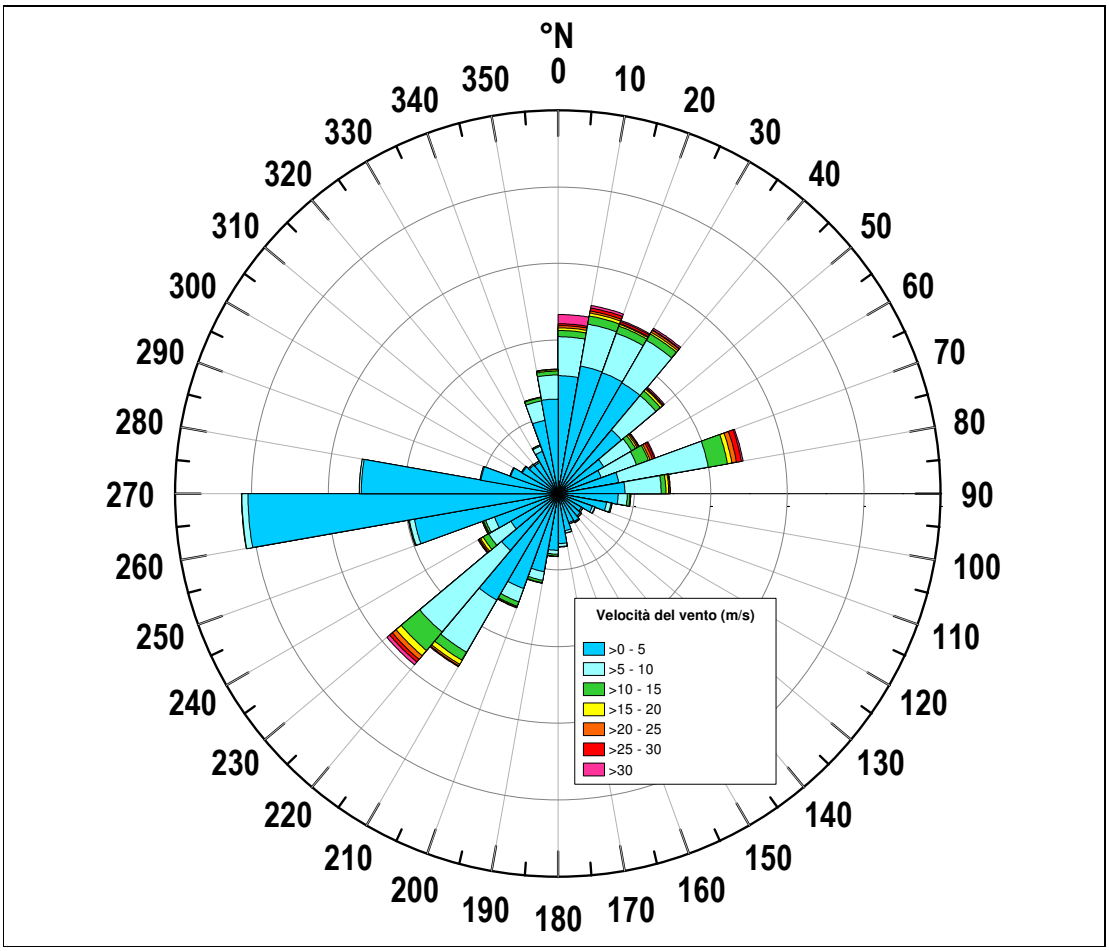


Fig. 4.2 - Rosa dei venti (23 luglio 1998 – 31 dicembre 2007) – Stazione RMN di Imperia

5 CLIMA ONDOSO AL LARGO

I dati utilizzati nello studio sono stati forniti dal CNR e si riferiscono al punto di coordinate (8° 30' E, 44° 00' N), situato nel Mar Ligure e posto in corrispondenza di un fondale di circa 1000 m (Fig. 5.1).

I dati CNR derivano dalla ricostruzione delle condizioni meteomarine mediante modelli matematici (calibrati in base a misure del satellite topex poseidon e registrazioni di boe ondametriche), sviluppati a partire da osservazioni meteorologiche ottenute dall'archivio del Centro Meteorologico Europeo (ECMWF).
L'informazione è disponibile in una serie di punti uniformemente distribuiti con un intervallo di 0.5 gradi geografici (55 km in latitudine; circa 40 km in longitudine alla nostra latitudine). Un esempio della distribuzione dei punti di output del modello WAM (Wave Model) con risoluzione 0.5° è fornito dalla Fig. 5.2, che mostra la loro distribuzione per il Mediterraneo Occidentale. L'output del modello WAM viene immagazzinato al centro europeo sotto forma di campi esaorari.
Le informazioni originali, disponibili come campi bidimensionali, sono state organizzate in serie temporali che comprendono altezza significativa H_S, periodo medio spettrale e di picco (T_{01} e T_p), direzione media di provenienza (DIR). I relativi valori coprono il periodo luglio 1992 - giugno 2002, ad intervalli di sei ore. Per ragioni di proprietà dei dati originali, le serie temporali non sono rese disponibili come tali a terzi, ma vengono rielaborate per ricavare la climatologia nel punto offshore prescelto.

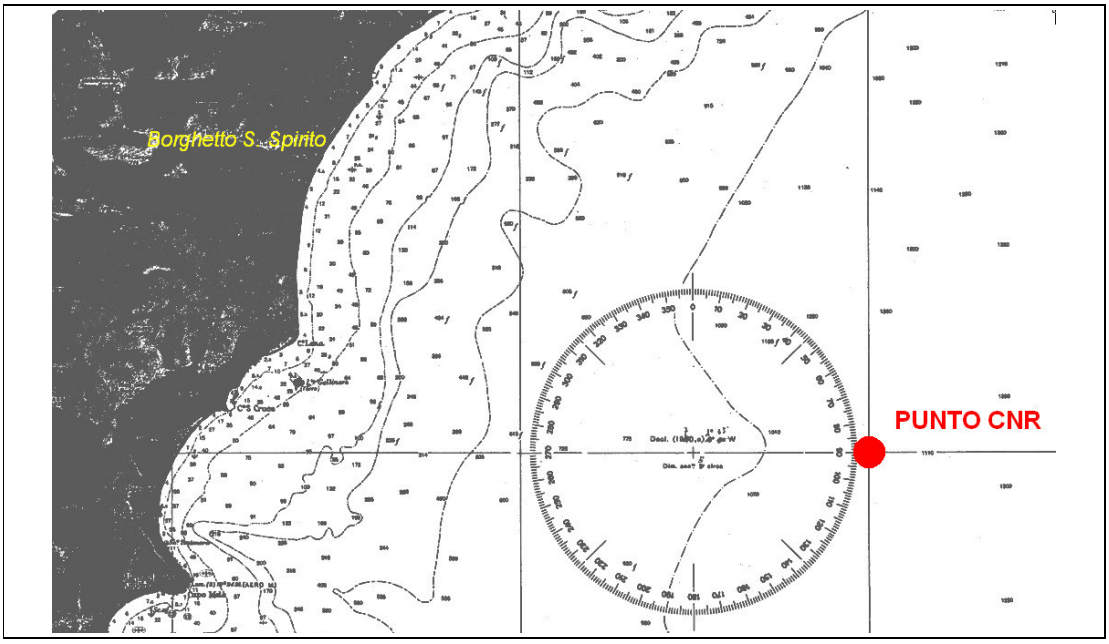


Fig. 5.1 - Ubicazione del punto CNR di coordinate 8° 30' E, 44° 00' N

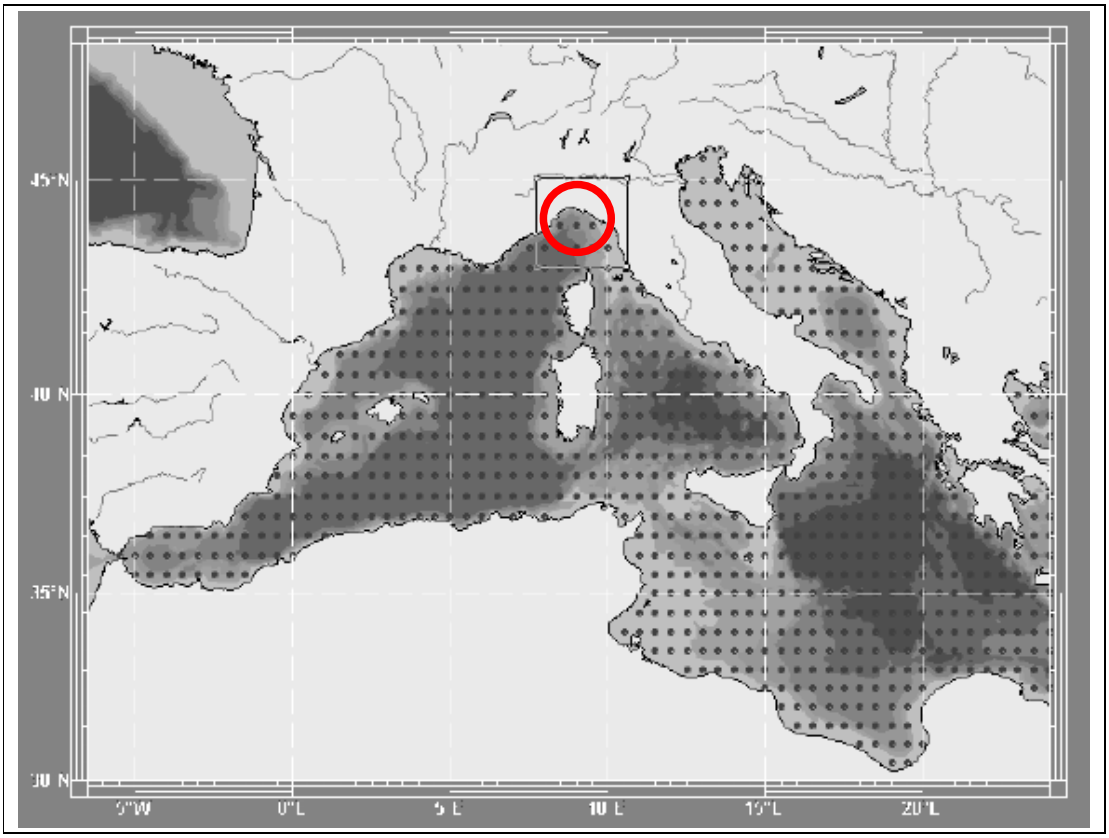


Fig. 5.2 - Mediterraneo occidentale. Distribuzione dei punti WAM

In Tab. 5.1 sono riportate le caratteristiche delle onde “al largo”, cioè nel punto CNR prescelto, ordinate per classi di direzione di provenienza e di altezza significativa (H_s).
Di seguito (Fig. 5.3, Fig. 5.4 e Fig. 5.5) vengono riportate rispettivamente le rose delle registrazioni, delle energie e delle altezze significative massime al largo.

Si può notare che gli eventi con percentuale di apparizione più elevata corrispondono a mareggiate provenienti da Grecale (45°N) e da Libeccio (215°N), con prevalenza di quelle provenienti da Libeccio.

In termini di energia del moto ondoso, si evidenziano ancora dei picchi di energia in corrispondenza delle medesime direzioni di 45°N e 215°N, con il picco di Libeccio molto più accentuato rispetto a quello di Grecale.

La rosa delle altezze massime evidenzia la presenza di altezze d’onda sempre inferiori a 5 m, con massimi registrati per le mareggiate di Libeccio e, in misura minore, Greco-Levante.

		H_S (m)									
DIR		0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50
(°N)		0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
0	10	349	685	356	178	109	***14***	0	0	0	0
10	20	534	712	260	103	55	21	***14***	0	0	0
20	30	617	726	281	83	55	27	***14***	0	0	0
30	40	740	884	507	199	75	0	***21***	0	0	0
40	50	842	842	521	253	116	41	***7***	0	0	0
50	60	795	726	405	172	34	7	7	***7***	0	0
60	70	713	644	301	96	7	***7***	0	0	0	0
70	80	589	528	178	41	48	7	7	0	***7***	0
80	90	501	458	157	89	7	7	0	0	***14***	0
90	100	589	302	158	62	28	0	***7***	0	0	0
100	110	480	309	110	28	14	***7***	0	0	0	0
110	120	561	432	102	48	14	0	7	***7***	0	0
120	130	767	513	226	103	49	7	***14***	0	0	0
130	140	1142	630	343	76	41	0	***14***	0	0	0
140	150	1213	807	275	68	14	***21***	0	0	0	0
150	160	1493	740	226	83	28	7	0	***7***	0	0
160	170	1636	617	281	69	7	***14***	0	0	0	0
170	180	1862	829	322	76	28	***14***	0	0	0	0
180	190	2102	1060	452	165	104	0	7	0	***14***	0
190	200	3931	2328	944	365	206	82	0	0	***28***	0
200	210	6874	4137	1952	857	446	117	55	***49***	0	0
210	220	9144	4179	2328	1309	692	362	157	21	***21***	0
220	230	6347	2551	1253	699	459	260	136	76	21	***28***
230	240	2875	1300	534	158	56	21	7	***7***	0	0
240	250	712	282	103	28	0	***7***	0	0	0	0
250	260	199	84	35	7	***7***	0	0	0	0	0
260	270	124	109	28	***7***	0	0	0	0	0	0
270	280	70	56	28	7	***7***	0	0	0	0	0
280	290	35	62	28	***14***	0	0	0	0	0	0
290	300	83	63	***21***	0	0	0	0	0	0	0
300	310	42	35	28	7	0	***7***	0	0	0	0
310	320	96	56	14	***7***	0	0	0	0	0	0
320	330	62	96	28	***21***	0	0	0	0	0	0
330	340	109	55	14	7	***14***	0	0	0	0	0
340	350	76	130	83	7	14	0	7	***7***	0	0
350	360	267	247	117	96	28	7	0	***7***	0	0

Tab. 5.1 - Registrazioni di moto ondoso ordinate per altezza e direzione di provenienza (punto CNR al largo)

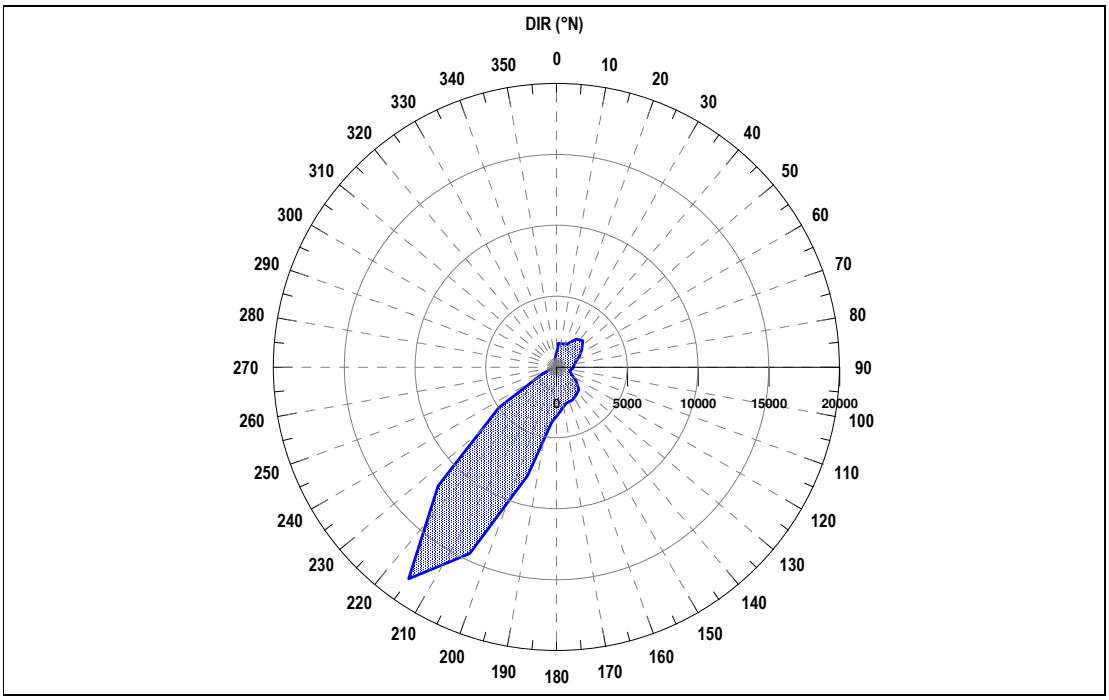


Fig. 5.3 – Rose delle registrazioni nel punto CNR al largo

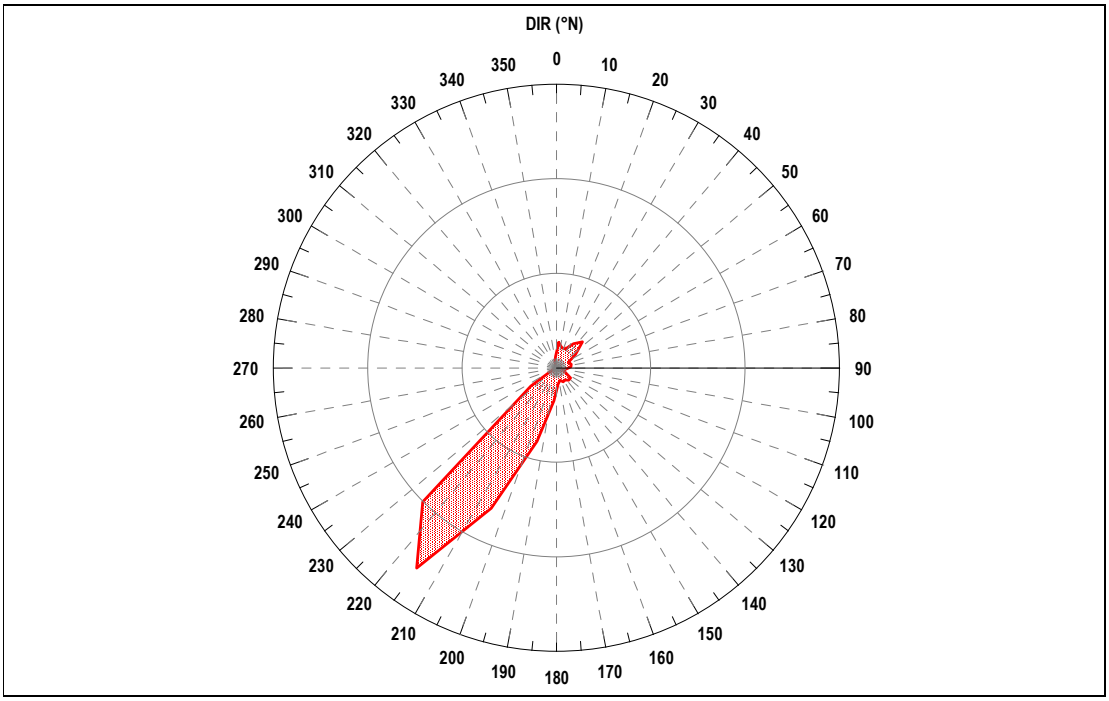


Fig. 5.4 – Rose delle energie (punto CNR al largo)

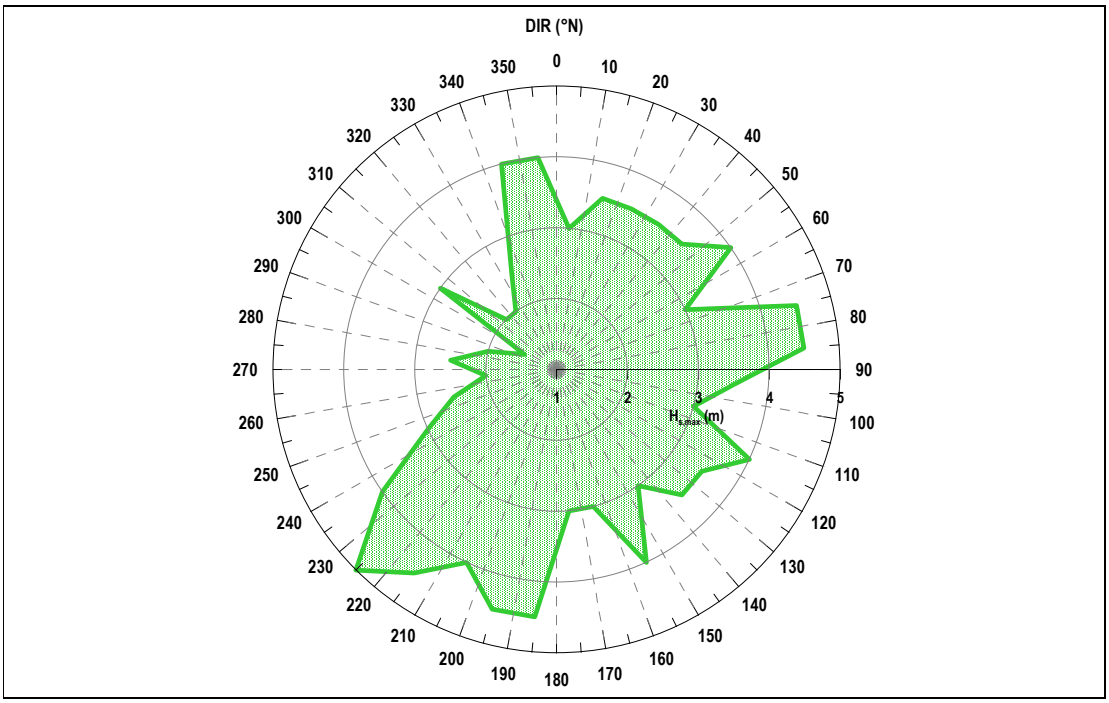


Fig. 5.5 – Rose delle altezze massime (punto CNR al largo)

6 CLIMA ONDOSO LOCALE

Nel presente paragrafo sono descritti i risultati della propagazione del moto ondoso dal punto CNR (8° 30' E, 44° 00' N) al largo fino al paraggio di Borghetto S.S.
Lo studio della propagazione del moto ondoso dal punto CNR ad un punto sottocosta (punto P) è stato condotto mediante il modello numerico SWAN (Simulating WAve Nearshore), descritto in dettaglio nell'allegato "A".

Le propagazioni hanno consentito di determinare il clima in corrispondenza di un punto antistante il litorale di Borghetto S. Spirito (Fig. 6.2), posto in un fondale di circa 9 m. Il punto P si trova in corrispondenza delle coordinate (1439903 m EST; 4883965 m NORD). Le coordinate sono espresse nel sistema di riferimento Gauss-Boaga Fuso Ovest.

6.1.1 Settaggio del modello

La propagazione del moto ondoso, condotta mediante il modello numerico SWAN, è stata basata sulla batimetria aggiornata del sito, ricavata in base alle carte nautiche e ai due recenti rilievi locali.
Nel modello il dominio di calcolo è stato discretizzato mediante due griglie annidate con passo decrescente (Fig. 6.1 e Fig. 6.2), aventi le seguenti caratteristiche:

- *BIG GRID*: origine nel punto di coordinate (1445802.9 m EST; 4858546 m NORD), dimensioni 35000 x 20000, maglia quadrata con passo 100 m, inclinata di circa 58° rispetto all'asse Est del sistema di riferimento adottato;
- *MEDIUM GRID*: origine nel punto di coordinate (1439601.4 m EST; 4880727.1 m NORD), dimensioni 6000 x 3000, maglia quadrata con passo 50 m, inclinata di 58° rispetto all'asse Est del sistema di riferimento adottato.

Le coordinate dei punti di origine delle griglie di calcolo sono espresse nel sistema di riferimento Gauss-Boaga Fuso Ovest.

I parametri significativi del moto ondoso sono stati rappresentati con uno spettro bidimensionale di tipo JONSWAP avente fattore di appuntimento del picco (γ) e "spreading" direzionale (s), desunti dalla ripidità dell'onda (mediante la formula di Wilson, 1965). Lo spettro è stato poi discretizzato in 25 frequenze (f_1=0.04 Hz, f_{n+1}=1.1 f_n) e 24 direzioni (equispaziate di 15°).
Per le simulazioni è stata utilizzata la tecnica del ciclo annidato: si è inizialmente usata una griglia di calcolo (BIG GRID), discretizzata in maglie di calcolo di 100 m di lato. Le condizioni al contorno sono state assunte costanti lungo i bordi di tale griglia (e pari a quelle esistenti nel punto CNR al largo), con l'accortezza di scalare i parametri d'onda in funzione della profondità nella porzione di bordo immediatamente sottoriva, dove avvengono fenomeni di frangimento dovuti al fondo.
I risultati della simulazione sulla BIG GRID sono serviti da input per il secondo ciclo di calcolo effettuato sulla griglia MEDIUM GRID, discretizzata in maglie di 50 m di lato.

Gli altri settaggi del modello sono stati operati mirando alla conservatività dei risultati. Questa scelta è stata suggerita dal fatto che, nelle simulazioni in cui non viene fornito al modello l'input del vento, la diffusività intrinseca dello schema numerico di avvezione tende a ridurre leggermente l'altezza d'onda in assenza di fenomeni dissipativi.

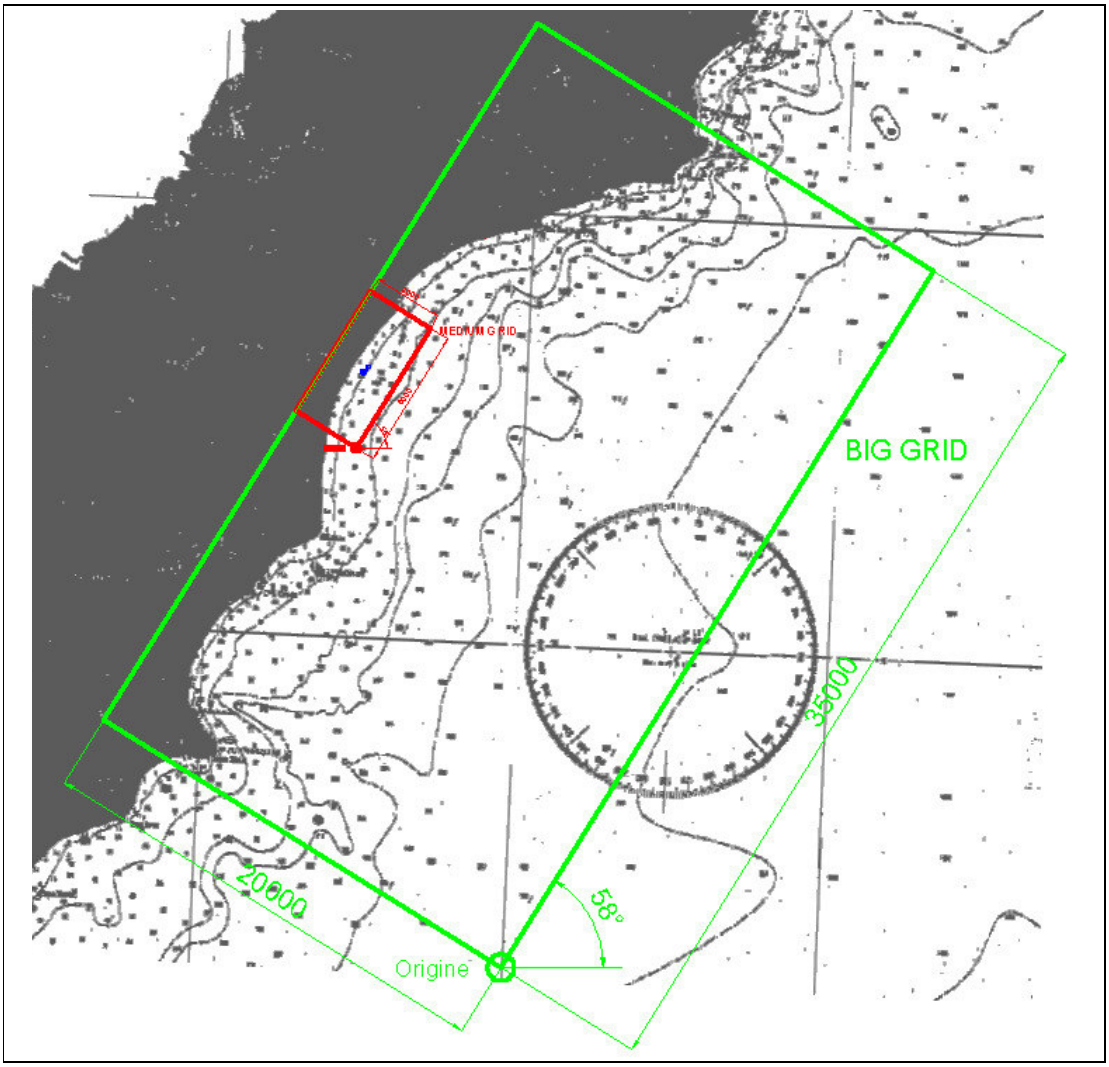


Fig. 6.1 – BIG GRID

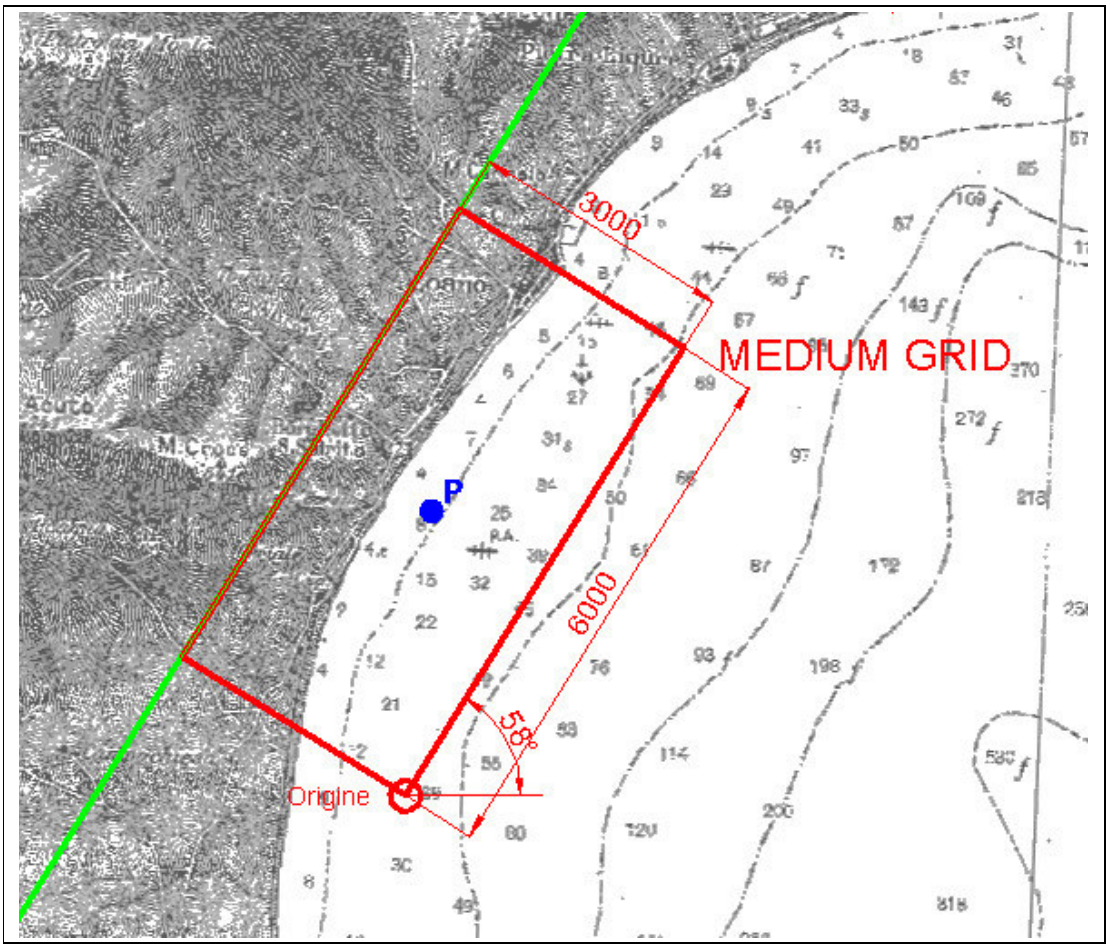


Fig. 6.2 – MEDIUM GRID e ubicazione punto P

6.1.2 Risultati propagazione clima ondoso nel punto P

Di seguito si riportano i risultati della propagazione del clima ondoso dal punto CNR al largo, di coordinate (8° 30'E, 44° 00'N), al punto sottocosta (P) precedentemente definito.
Sulla base dell'analisi del clima ondoso nel punto CNR, è stato possibile individuare un settore di provenienza per le mareggiate in grado di interessare il paraggio (compreso tra 35° e 265°N).
Di conseguenza, le propagazioni del clima ondoso dal largo al punto P sono state condotte propagando gli eventi ondosi compresi all'interno del settore 35°-265°N.

Le caratteristiche del clima ondoso nel punto P sono state utilizzate come input per le simulazioni di circolazione idrodinamica e trasporto solido (codici di calcolo ADCIRC e PTM) e per lo studio dell'evoluzione morfologica del litorale (codice di calcolo GENESIS).

Nella successiva Tab. 6.1 sono riportate le frequenze (in parti per 100000) del moto ondoso nel punto P, ordinate per classi di altezza significativa e direzione di provenienza; i dati sono stati ottenuti per mezzo delle simulazioni condotte con il codice di calcolo SWAN.

Di seguito (Fig. 6.3, Fig. 6.4 e Fig. 6.5) sono riportate rispettivamente le rose delle registrazioni, delle energie e delle altezze significative massime trasformate nel punto P.
Dall'analisi delle rose delle energie e delle altezze massime, risulta evidente come l'energia del moto ondoso sia concentrata nel settore 60°-190°N. La rosa delle energie presenta due picchi principali in corrispondenza delle direzioni di Levante e Scirocco.
Le onde caratterizzate dai massimi valori di altezza significativa (dell'ordine di 4 m) provengono da 105°N.

Nella successiva Fig. 6.6 si riporta la curva di durata relativa al punto P, relativa a tutto il settore 60-190°N. Sono state, inoltre, ricostruite anche le curve di durata relative ai due settori locali di provenienza delle mareggiate 60°-120°N e 120°-190°N (Fig. 6.7), individuati sulla base della rosa delle energie riportata in Fig. 6.4.
Le curve di durata sono state ottenute sulla base dei risultati della propagazione del clima ondoso nel punto P (cfr. Tab. 6.1).

DIR		H_S (m)								
		0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
(°N)		0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50
60	70	***4042***	0	0	0	0	0	0	0	0
70	80	3391	1439	***41***	0	0	0	0	0	0
80	90	501	1459	315	62	***14***	0	0	0	0
90	100	589	302	315	137	14	14	0	***7***	0
100	110	480	309	110	90	42	7	7	0	***14***
110	120	561	432	102	48	14	0	7	***7***	0
120	130	767	513	226	103	49	7	***14***	0	0
130	140	1142	630	343	144	76	0	***14***	0	0
140	150	1213	807	501	118	21	0	***7***	0	0
150	160	1500	1679	612	77	***14***	0	0	0	0
160	170	3351	4113	***125***	0	0	0	0	0	0
170	180	20527	***219***	0	0	0	0	0	0	0
180	190	***38758***	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 6.1 - Registrazioni di moto ondoso ordinate per altezza e direzione di provenienza (punto P)

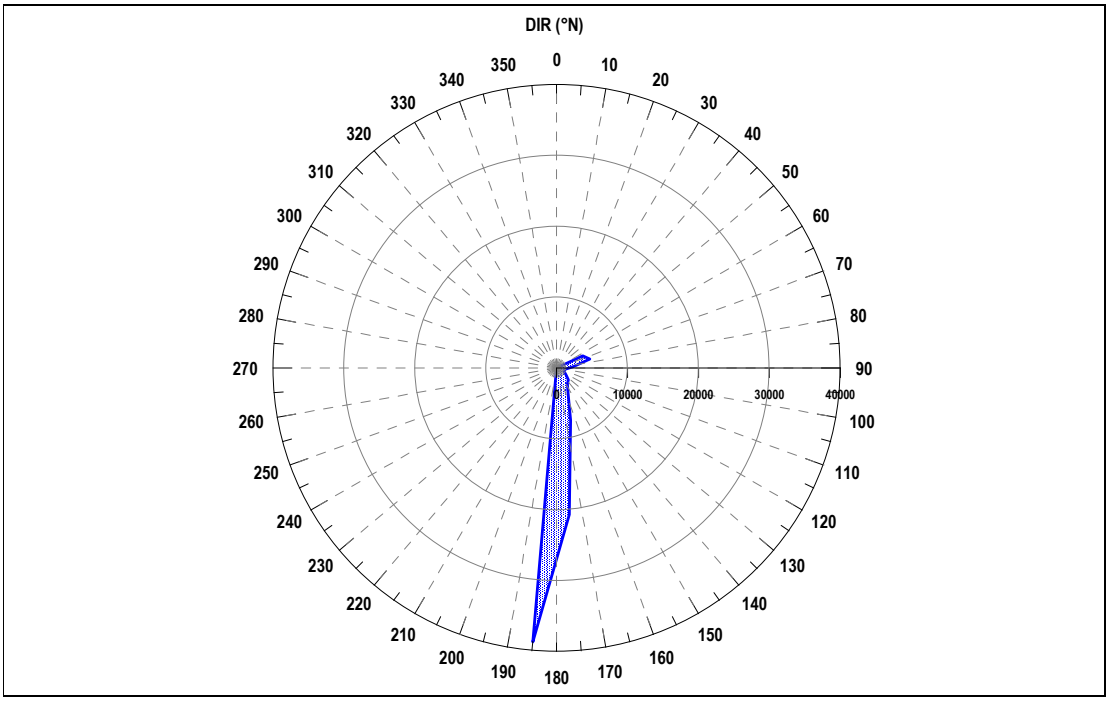


Fig. 6.3 – Rose delle registrazioni nel punto P

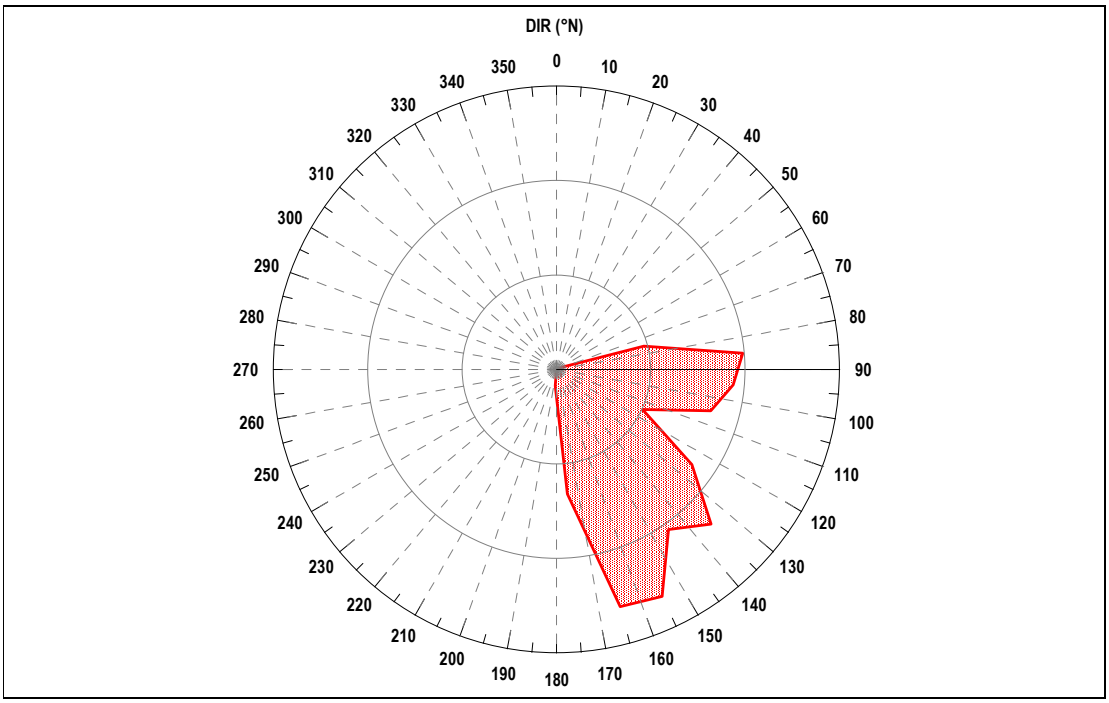


Fig. 6.4 – Rosa delle energie nel punto P

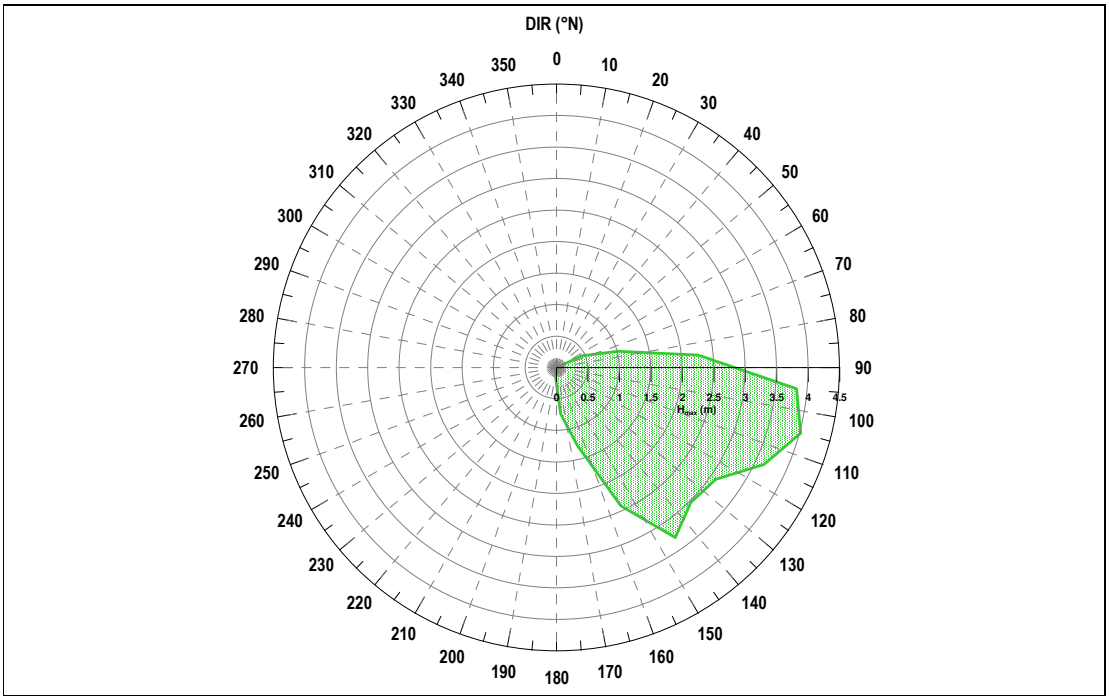


Fig. 6.5 – Rosa delle altezze massime nel punto P

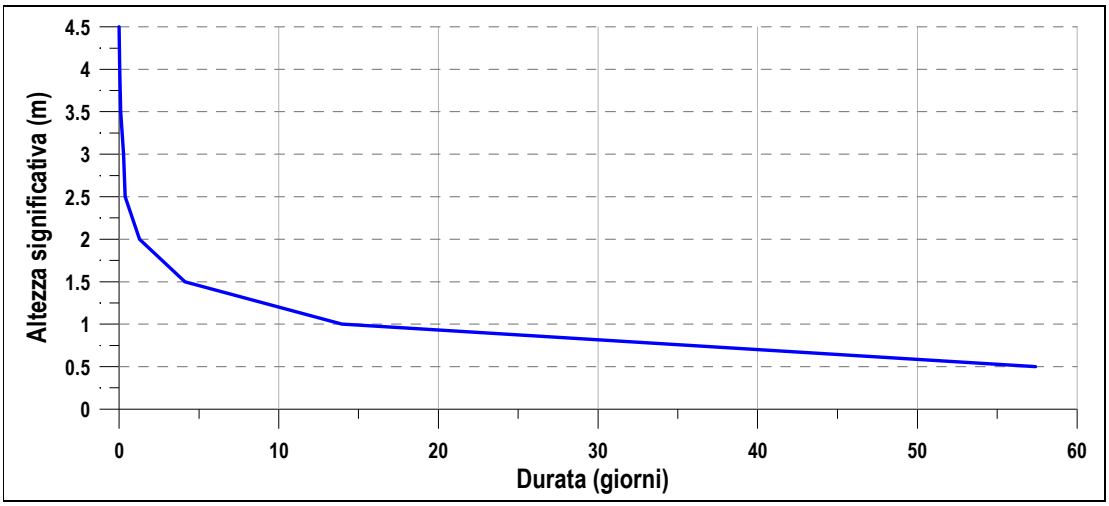


Fig. 6.6 – Curva di durata nel punto P

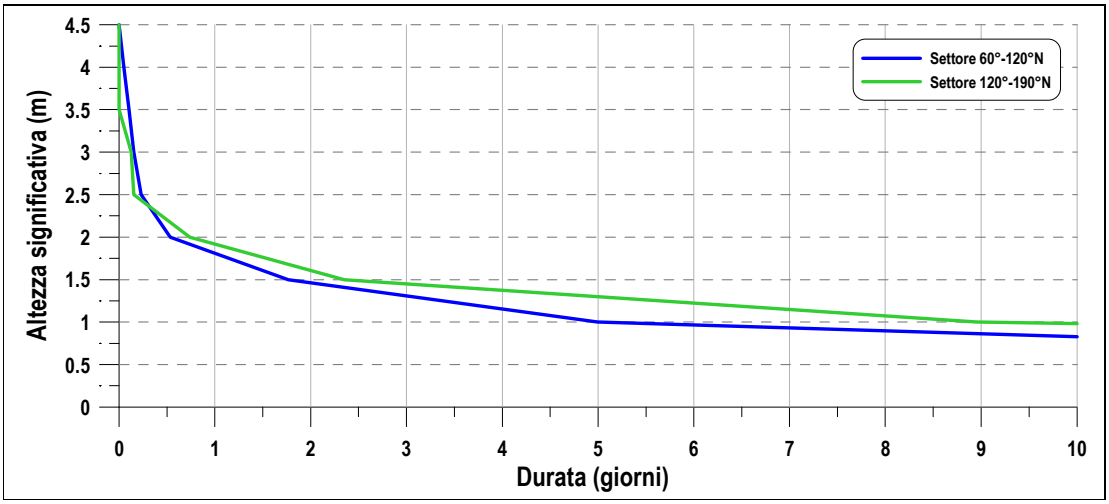


Fig. 6.7 – Curva di durata nel punto P per i settori di Levante (60°-120°N) e Scirocco (120°-190°N)

7 CONFIGURAZIONE ATTUALE DELLE OPERE DI DIFESA DELL'ARENILE DI BORGHETTO S.S.

Attualmente il litorale di Borghetto S. Spirito, dalla foce del Torrente Varatella a Capo Santo Spirito, è caratterizzato dalla presenza di un sistema di difesa costituito da una serie di pennelli e da tre secche emerse.

A Nord, il tratto di litorale oggetto di studio è delimitato dal molo Italia, costituito da un terrapieno delimitato verso mare da scarpate in massi naturali.

Procedendo verso Sud, di fronte al molo "Occhio di Cubia", si trova la prima secca, realizzata agli inizi del 2003 (Fig. 7.1). La secca è caratterizzata da una quota di coronamento pressoché coincidente con il livello medio mare. Sulla riva, in corrispondenza della secca, è presente il pennello in massi naturali, la cui testata è collegata alla secca tramite un setto sommerso in sacchi.

Immediatamente a Nord dei bagni "Royal" si trova un altro pennello, di dimensioni maggiori rispetto a quello posto di fronte alla prima secca, e costituito, come il molo Italia, da un terrapieno protetto da scarpate in massi naturali (Fig. 7.2).
Di fronte al pennello si trova la seconda secca (Fig. 7.3). Quest'ultima è stata realizzata nella primavera del 2007 nell'ambito di un progetto che ha comportato la realizzazione di due ulteriori secche semi-affioranti a Sud di quella realizzata nel 2003. Le due nuove secche sono costituite da massi naturali (mantellata in massi di II e III categoria) e hanno una quota di coronamento pari a circa la quota del medio mare.

Tra la seconda e la terza secca, a Sud dei bagni "Nicolino", si trova un pennello in massi naturali (Fig. 7.4).
Infine, procedendo ancora verso Sud, si incontra appunto la terza secca, realizzata anch'essa nel 2007, e, prima di Capo S. Spirito, due corti pennelli in massi naturali (Fig. 7.5).

Procedendo verso Sud, tra Capo S. Spirito e il primo pennello di Ceriale, il litorale è caratterizzato dalla presenza di un tratto di costa alta.



Fig. 7.1 – Molo Royal e, sulla destra, prima secca



Fig. 7.2 – Pennello a Nord dei bagni "Royal", di fronte alla seconda secca



Fig. 7.3 – Seconda secca



Fig. 7.4 – Vista della spiaggia dai bagni "Royal" verso Sud



Fig. 7.5 – Tratto di spiaggia verso Capo S. Spirito

8 DINAMICA LITORANEA IN CONFIGURAZIONE ATTUALE

8.1 Propagazione del moto ondoso

Nel presente paragrafo sono descritti i risultati della propagazione locale di alcune mareggiate ritenute significative per la valutazione della dinamica litoranea del paraggio in oggetto, cioè mareggiate caratterizzate da una frequenza media annua pari rispettivamente a 1 e 7 gg/anno.
Lo studio della propagazione locale, a partire dal punto sottocosta (punto P, posto su un fondale di circa 9), è stato condotto mediante il codice di calcolo STWAVE, descritto nell'allegato "A".

8.1.1 Settaggio del modello

Per la definizione del dominio di calcolo del modello sono stati impiegati i dati batimetrici dei due recenti rilievi locali forniti dal Committente (giugno 2007 e luglio 2008). Il dominio di calcolo (Fig. 8.1) è stato discretizzato mediante una griglia con origine nel punto di coordinate 1439396.9 m Est; 4882892.3 m Nord, sistema di riferimento Gauss-Boaga Fuso Ovest.

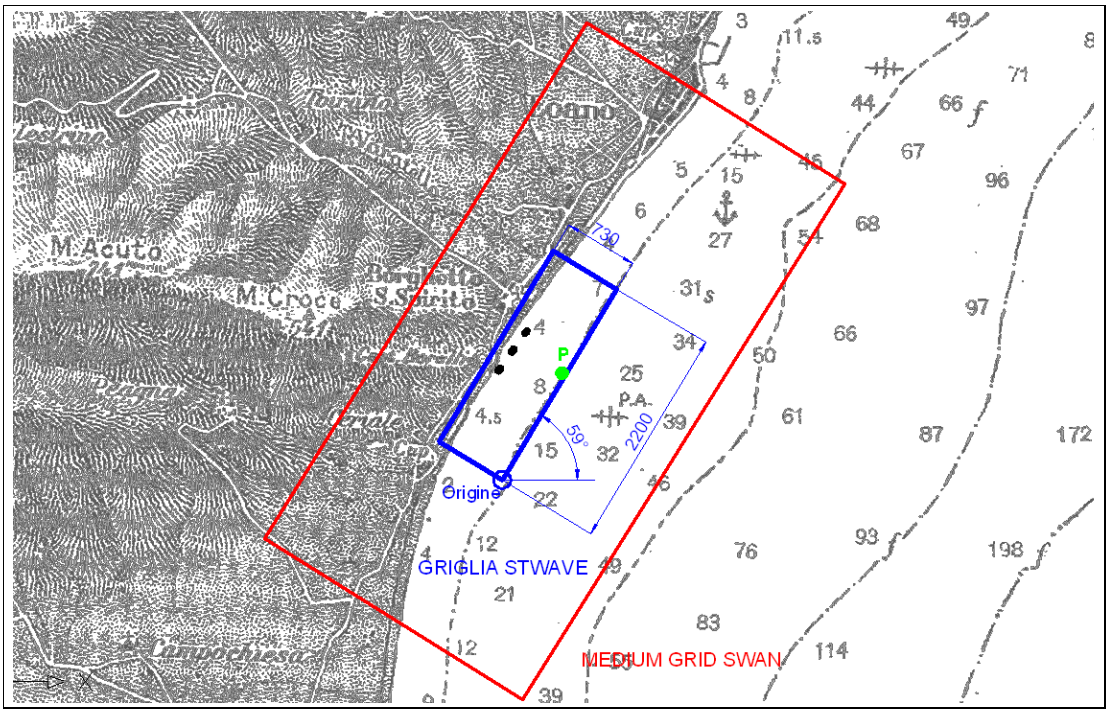


Fig. 8.1 – Griglia STWAVE e ubicazione punto P

La griglia è stata definita con direzione pressoché parallela al litorale oggetto di studio e risulta inclinata di circa 59° rispetto all'asse Est-Ovest. Essa è caratterizzata da una maglia quadrata regolare con passo costante pari a 2 m e le dimensioni totali risultano essere pari a 2200 m x 730 m. Il bordo offshore della griglia è posto su una profondità costante di circa 9 m e passa in corrispondenza del punto P.

8.1.2 Caratteristiche delle mareggiate

Le caratteristiche delle mareggiate sono state ricavate con riferimento al clima ondoso nel punto P (cfr par. 6.1.2). In particolare, sono state considerate le curve di durata relative ai due settori locali di provenienza delle mareggiate 60°-120°N e 120°-190°N, individuati in precedenza; l'analisi delle curve (Fig. 6.7) ha permesso di individuare, per ciascuno dei due settori considerati, l'altezza significativa delle mareggiate caratterizzate da una frequenza media annua pari a 1 e 7 gg/anno.

Le direzioni di provenienza da associare alle mareggiate così individuate sono state ricavate con riferimento alla rosa delle energie nel punto P (Fig. 6.4). Per ciascun settore (60°-120°N e 120°-190°N) è stata scelta la direzione relativa al picco di frequenza delle energie, in corrispondenza delle direzioni di Levante - 85°N - e Scirocco - 155°N (cfr. paragrafo 6.1.2).
Il periodo medio è stato determinato, in funzione delle caratteristiche della mareggiata (H_S e DIR), sulla base dei risultati delle propagazioni del clima ondoso nel punto P, condotte per mezzo del codice di calcolo SWAN. Il periodo di picco (T_p), fornito in input al codice di calcolo STWAVE, è stato ricavato sulla base del valore del corrispondente periodo medio (T_{01}) e dello spreading direzionale γ, utilizzando formule proposte in letteratura ("Technical note" of the EUROWAVES project: www.oceanor.no /projects/eurowaves/). Le caratteristiche dei TEST sono riassunte nella successiva Tab. 8.1.

TEST	Caratteristiche mareggiata	Settore di provenienza	H_S (m)	Dir (°)	T_{01} (s)	T_p (s)
1	Frequenza = 1 g/anno	Levante	**1.81**	85.0	6.5	7.7
2	Frequenza = 1 g/anno	Scirocco	**1.92**	155.0	6.2	7.4
3	Frequenza = 7 gg/anno	Levante	**0.93**	85.0	5.0	5.9
3	Frequenza = 7 gg/anno	Scirocco	**1.15**	155.0	5.2	6.2

Tab. 8.1 – Caratteristiche mareggiate significative propagate con il codice di calcolo STWAVE

8.1.3 Risultati codice di calcolo STWAVE

I risultati ottenuti dalle simulazioni della propagazione del moto ondoso sottocosta (applicando il codice di calcolo STWAVE) sono rappresentati nelle successive figure (da Fig. 8.2 a Fig. 8.5).
Le figure rappresentano, in termini di gradazione cromatica, le altezze d'onda significative, mentre le direzioni locali dell'onda vengono indicate mediante vettori il cui modulo è proporzionale all'altezza d'onda significativa.

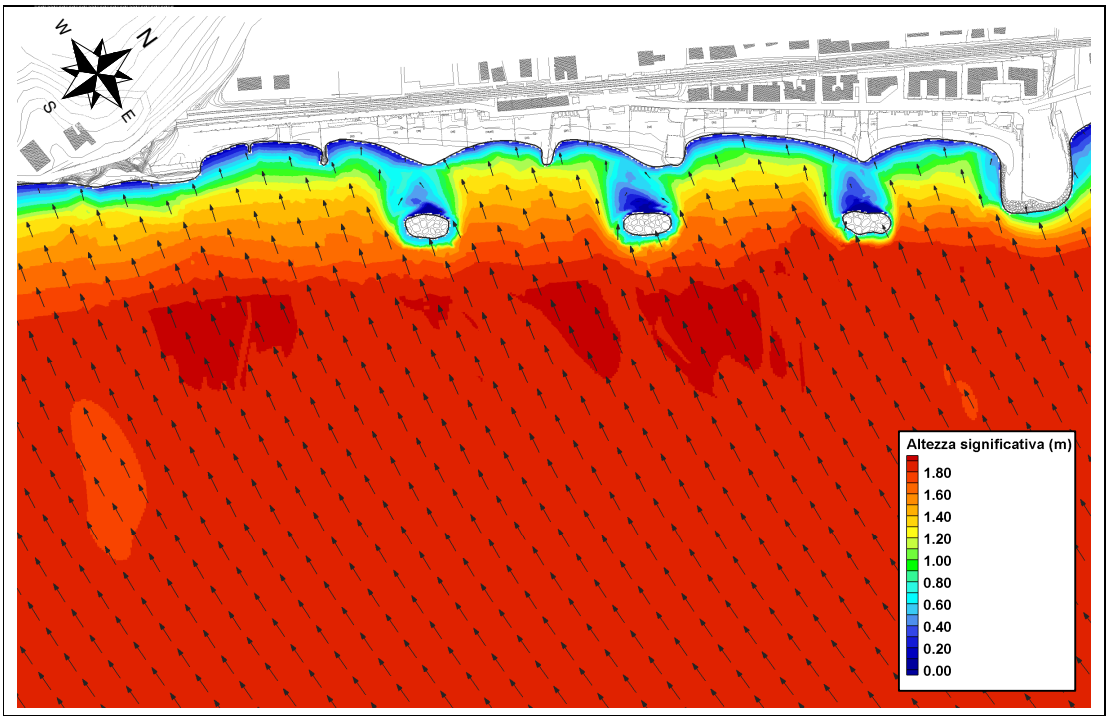


Fig. 8.2 - TEST 1 – Mareggiata di Levante (1g/anno) – Caratteristiche in P: H_S = 1.81 m, T_P= 7.7 s, Dir = 85°N

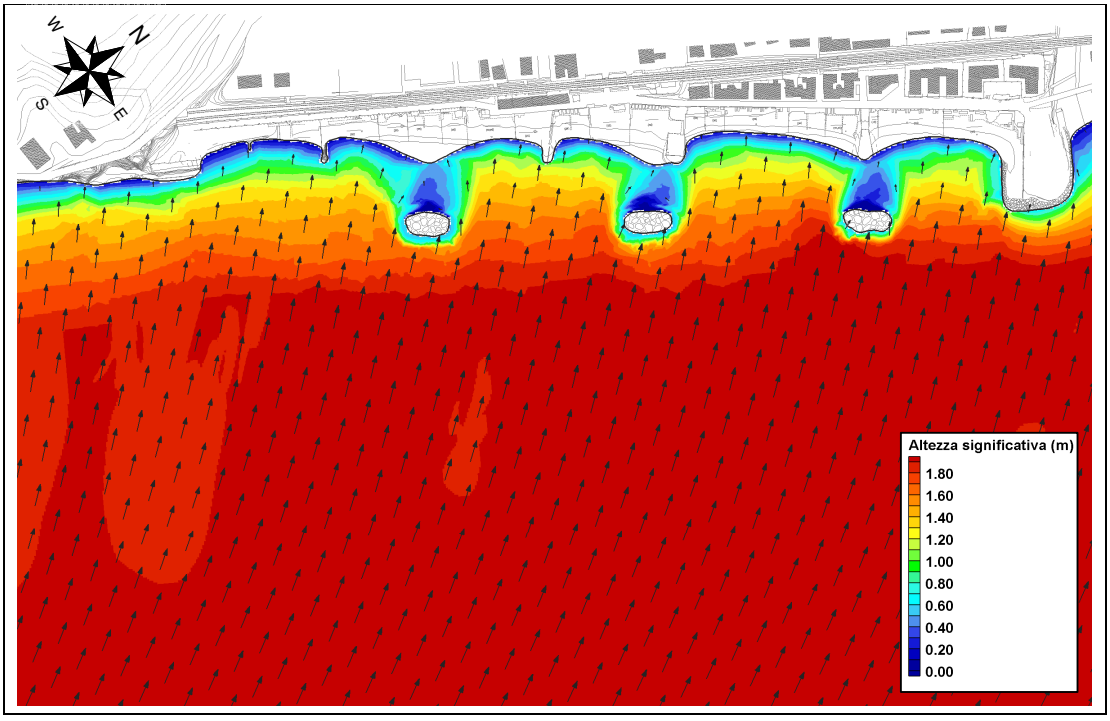


Fig. 8.3 - TEST 2 – Mareggiata di Scirocco (1g/anno) – Caratteristiche in P: H_S = 1.92 m, T_P= 7.4 s, Dir = 155°N

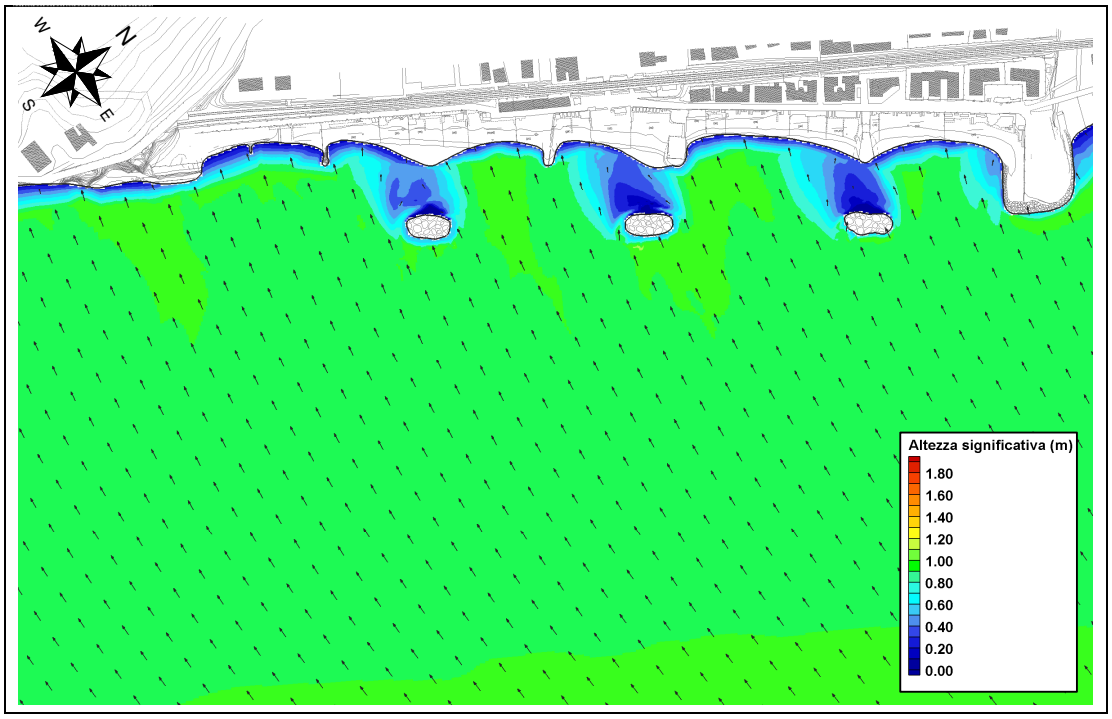


Fig. 8.4 - TEST 3 – Mareggiata di Levante (7gg/anno) – Caratteristiche in P: H_S = 0.93 m, T_P= 5.9 s, Dir = 85°N

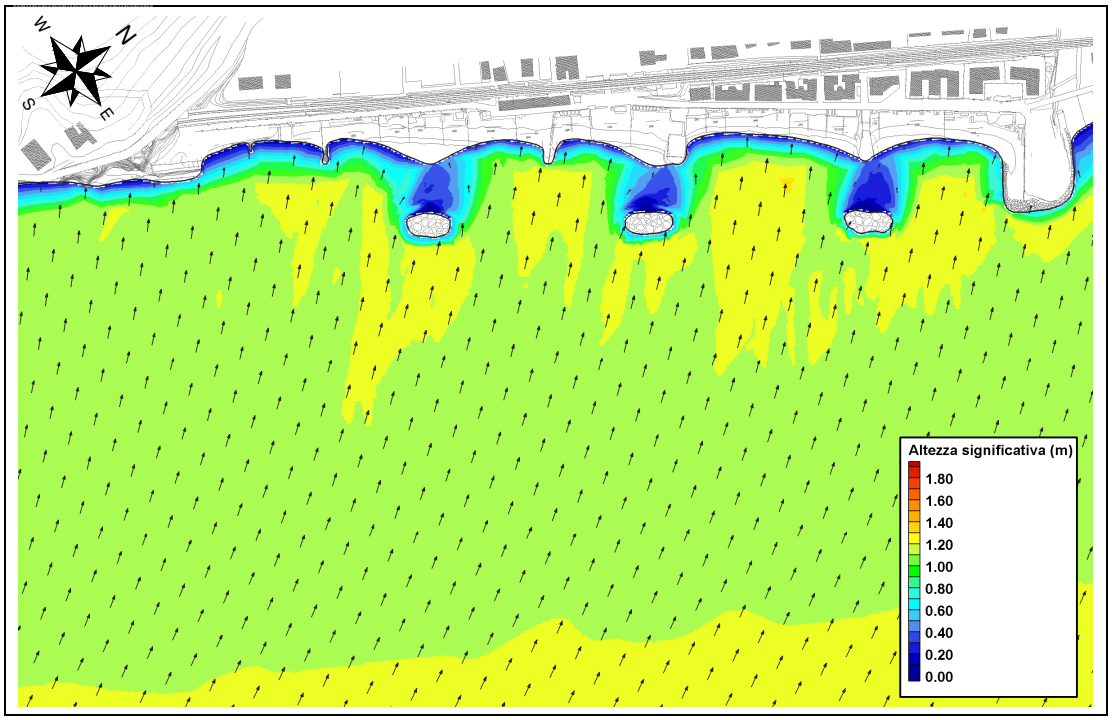


Fig. 8.5 - TEST 4 – Mareggiata di Scirocco (7gg/anno) – Caratteristiche in P: H_S = 1.15 m, T_P= 6.2 s, Dir = 155°N

8.2 Circolazione idrodinamica

Lo studio dell'idrodinamica costiera che si instaura nei fondali del litorale di Borghetto a seguito della persistenza di determinate mareggiate, è stato condotto mediante l'utilizzo del codice di calcolo ADCIRC (ADvanced CIRCulation model - descritto nel dettaglio nell'allegato "A" - sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineers, USACE), accoppiato al codice di calcolo STWAVE.

Per lo studio delle correnti costiere sono state considerate come forzanti principali il moto ondoso e il vento. Il campo di moto ondoso sottocosta (forzante del modello idrodinamico) è stato ricavato, a partire dalle condizioni meteomarine nel punto di output P, per mezzo del codice di calcolo STWAVE che si interfaccia con il codice di calcolo ADCIRC, fornendogli i valori dei radiation stress che generano le correnti litoranee.

In particolare, sono stati utilizzati i risultati ottenuti dalle propagazioni di mareggiate caratterizzate da una determinata frequenza media annua, i cui risultati sono riportati nel precedente paragrafo.

Lo studio è stato condotto considerando, in una prima fase, la configurazione attuale del litorale e, successivamente, differenti configurazioni di progetto (cfr. par. 9.2 e 9.3), al fine di valutare l'impatto delle nuove opere sulla circolazione idrodinamica locale.

8.2.1 Settaggio del modello

Per la costruzione del dominio del modello matematico sono stati impiegati i dati batimetrici a disposizione (base cartografica dell'Istituto Idrografico della Marina e recenti rilievi locali).

Lo studio della propagazione del moto ondoso mediante il codice di calcolo STWAVE, decritto nel precedente paragrafo, è stato condotto impiegando una griglia locale (Fig. 8.6 – bordo rettangolare in rosso), e ha fornito le forzanti sul dominio del codice di calcolo ADCIRC.

Lo studio della circolazione è stato condotto mediante il codice di calcolo ADCIRC, impiegando un dominio costituito da un contorno offshore di tipo semicircolare con raggio pari a circa 1100 m e un contorno inshore che riproduce la configurazione del litorale e delle opere presenti nella configurazione attuale (Fig. 8.6).

Il dominio di calcolo è stato ricoperto con una mesh a maglie triangolari costituita da elementi di dimensioni variabili dai 16 m, sul contorno offshore, ai 2 m, sul contorno inshore. Nella successiva Fig. 8.7 viene riportato un dettaglio della batimetria nell'area oggetto di studio.
Dall'osservazione della batimetria dell'area si può notare che il fondale si presenta abbastanza regolare, con batimetriche parallele al litorale, fino a profondità dell'ordine dei 3.5 m; a profondità inferiori la batimetria risente della presenza delle secche, con presenza di depositi ed erosioni localizzate. Le anomalie sono soprattutto presenti in prossimità del piede delle secche e nei tratti compresi tra il litorale e le secche stesse.

La presenza di tali localizzazioni contribuisce a creare una discontinuità delle correnti litoranee, come si potrà osservare successivamente dai risultati delle simulazioni.

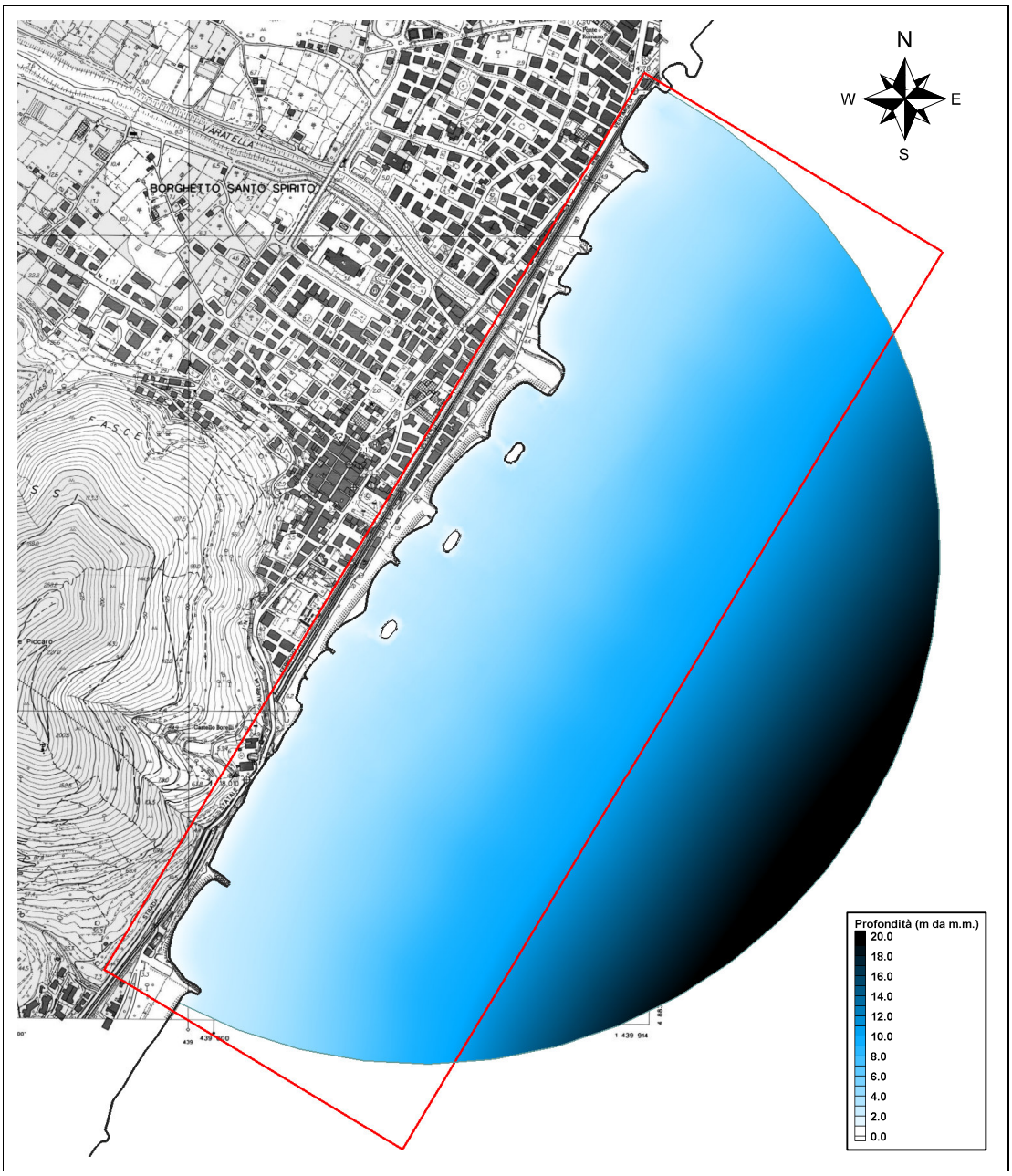


Fig. 8.6 – Dominio di calcolo del modello STWAVE (bordo della griglia in rosso) e dominio di calcolo del modello ADCIRC impiegati per lo studio della circolazione idrodinamica

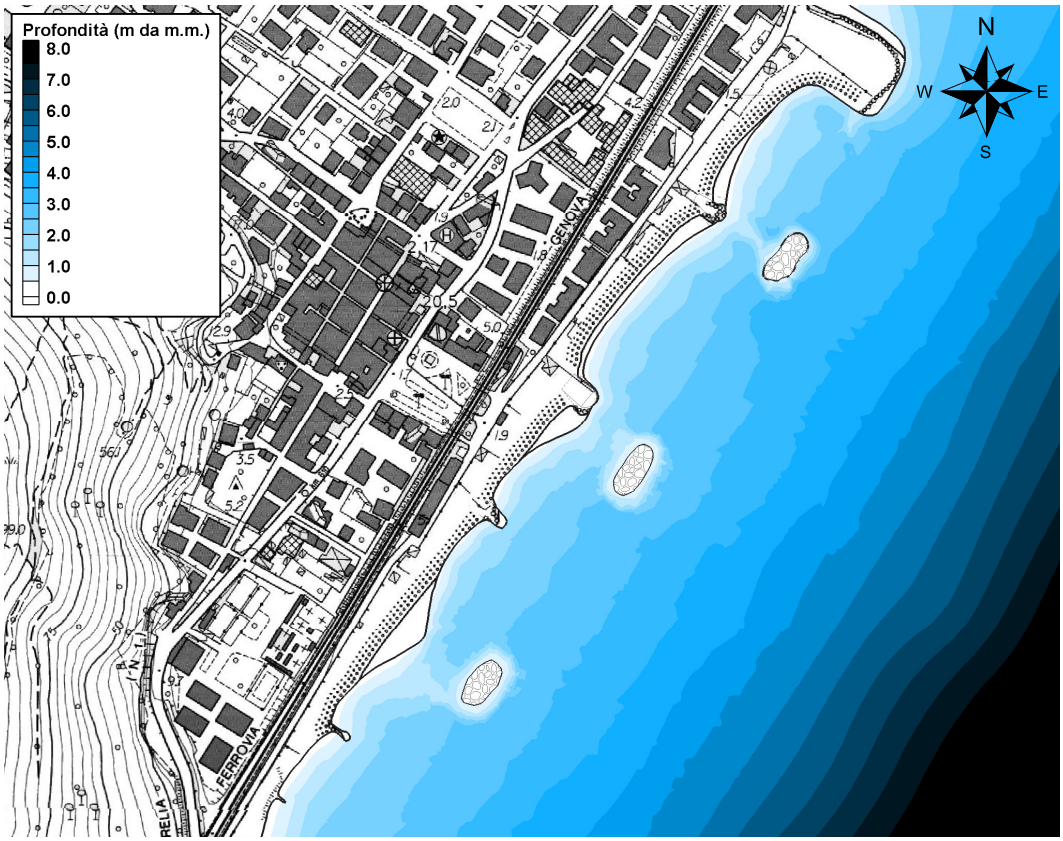


Fig. 8.7 – Dettaglio del dominio di calcolo del modello ADCIRC

8.2.2 Condizioni ondametriche imposte nel modello

Lo studio della circolazione, come già anticipato, è stato effettuato impiegando i risultati della propagazione del moto ondoso sottocosta, le cui condizioni di input sono state ricavate a partire dalla climatologia disponibile in corrispondenza del punto di output P. Le caratteristiche delle mareggiate considerate come input nello studio delle propagazione, e quindi dell'idrodinamica costiera, sono riportate nella seguente Tab. 8.2.

TEST	Frequenza (gg/anno)	Nel punto P		
		H_S (m)	T_P(s)	Dir (°N)
1	1	1.81	7.7	85
2	1	1.92	7.4	155
3	7	0.93	5.9	85
4	7	1.15	6.2	155

Tab. 8.2 - Caratteristiche delle mareggiate considerate nello studio

8.2.3 Condizioni anemometriche imposte nel modello

Le condizioni anemometriche associate alle mareggiate e imposte come ulteriore condizione di input nel modello idrodinamico sono state individuate sulla base delle caratteristiche delle mareggiate (altezza d'onda significativa e periodo di picco). Per ciascuna mareggiata analizzata è stata ricavata una condizione anemometrica congrua con i corrispondenti valori di altezza d'onda e periodo di picco al largo (individuati a partire dalle caratteristiche delle mareggiate nei punti di output, sulla base della propagazione del clima). La direzione di provenienza del vento è stata assegnata pari a quella di provenienza delle mareggiate al largo.

I valori delle velocità del vento, corrispondenti alle diverse mareggiate, sono riportati in Tab. 8.3.

TEST	Frequenza (gg/anno)	VENTO	
		V(m/s)	Dir (°N)
1	1	6.2	60
2	1	7.6	180
3	7	4.0	60
4	7	5.1	180

Tab. 8.3 – Condizioni anemometriche imposte nel modello di circolazione idrodinamica

8.2.4 Risultati circolazione idrodinamica in configurazione attuale

I risultati dello studio della circolazione idrodinamica litoranea, calcolata per mezzo del codice di calcolo ADCIRC interfacciato con il codice di calcolo STWAVE, sono rappresentati nelle figure riportate nei successivi paragrafi (da Fig. 8.8 a Fig. 8.15).

I risultati riportano in forma grafica il sovralzo (wave setup) e le velocità medie della corrente (mediate sul profilo verticale) generati dalle mareggiate: il sovralzo e le velocità sono rappresentati in termini di gradazioni cromatiche, mentre la direzione locale della corrente viene indicata mediante vettori il cui modulo è proporzionale alla velocità stessa.

Si può facilmente osservare che la corrente litoranea, in assenza di opere, si sviluppa con andamento abbastanza regolare in prossimità della riva (cfr. Fig. 8.9, tratto a SW delle secche), mentre con la presenza delle secche tende a concentrarsi sul lato esterno delle secche, riducendo notevolmente la dinamica dello specchio acqueo protetto; solo in corrispondenza delle testate dei pennelli si osservano concentrazioni di flusso di entità significativa.

8.2.4.1 TEST1 - Mareggiata di Levante (1 g/anno)

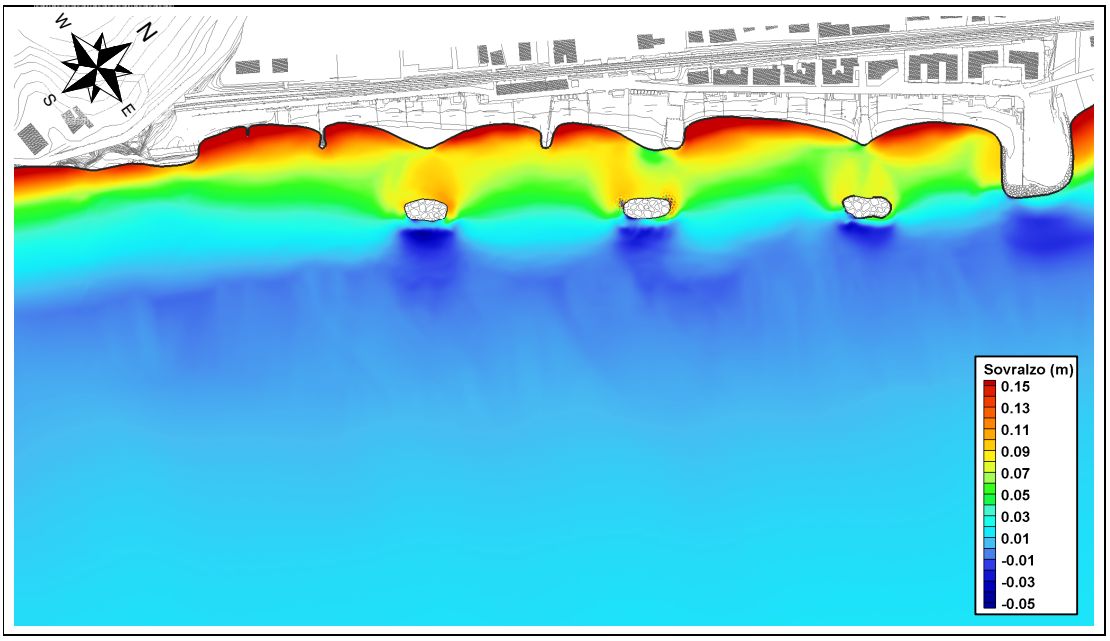


Fig. 8.8 - Wave setup – TEST 1 – Caratteristiche in P: H_S = 1.81 m, T_P= 7.7 s, Dir = 85°N

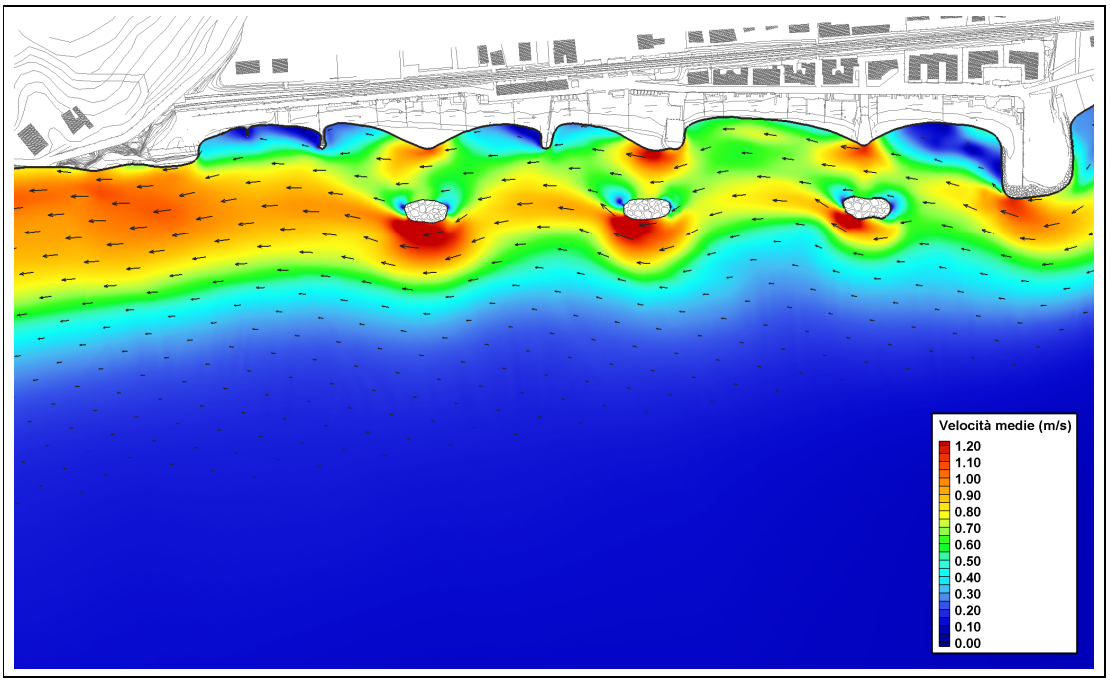


Fig. 8.9 - TEST 1 – Idrodinamica litoranea stato attuale

8.2.4.2 *TEST2 - Mareggiata di Scirocco (1 g/anno)*

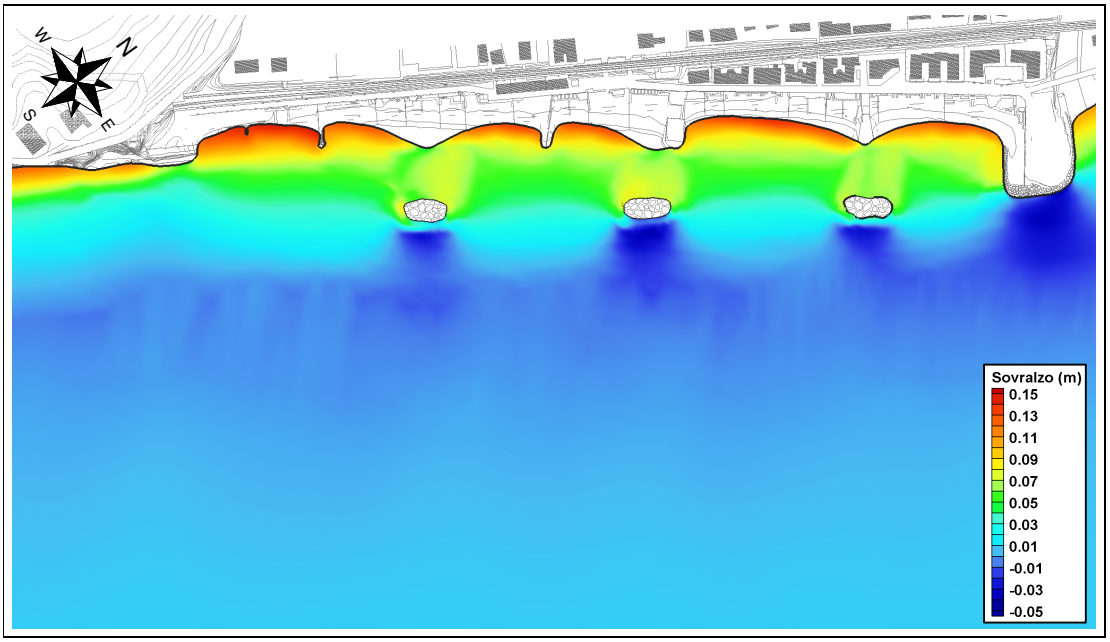


Fig. 8.10 - Wave setup – TEST 2 – Caratteristiche in P: H_S = 1.92 m, T_P= 7.4 s, Dir = 155°N

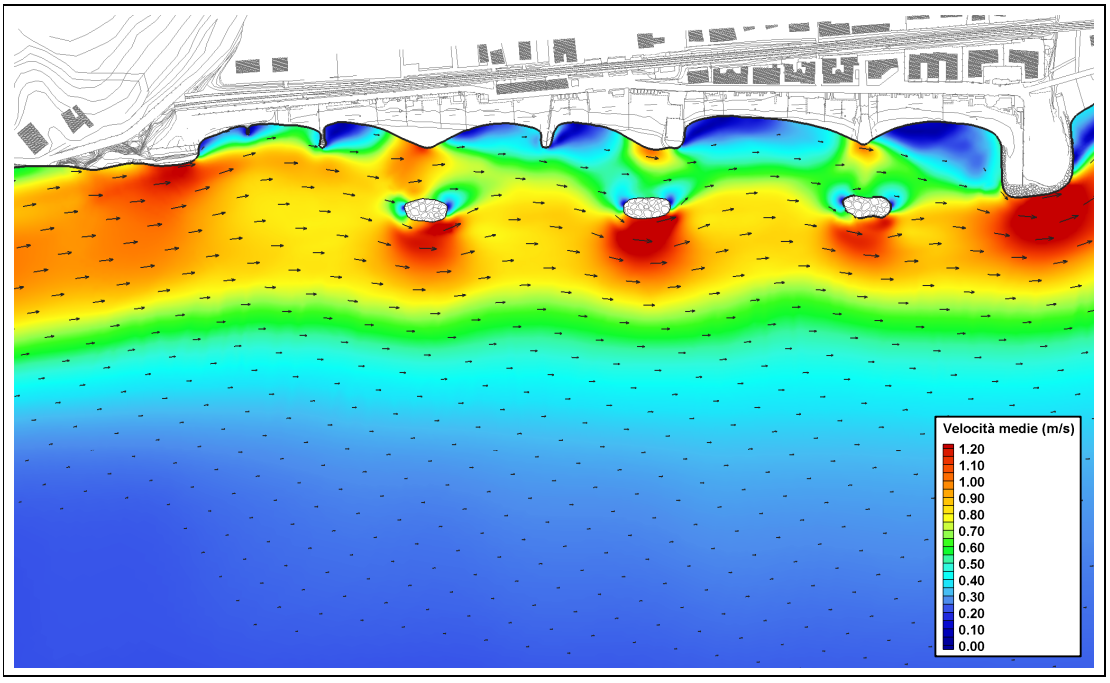


Fig. 8.11 - TEST 2 – Idrodinamica litoranea stato attuale

8.2.4.3 TEST 3 - Mareggiata di Levante (7 gg/anno)

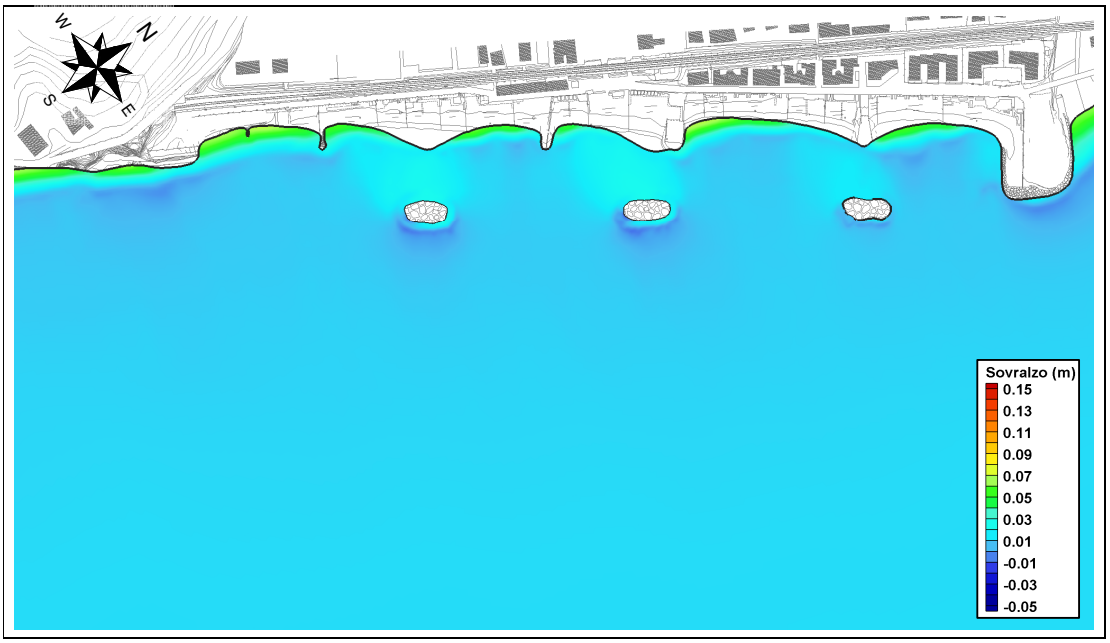


Fig. 8.12 - Wave setup – TEST 3 – Caratteristiche in P: H_S = 0.93 m, T_P= 5.9 s, Dir = 85°N

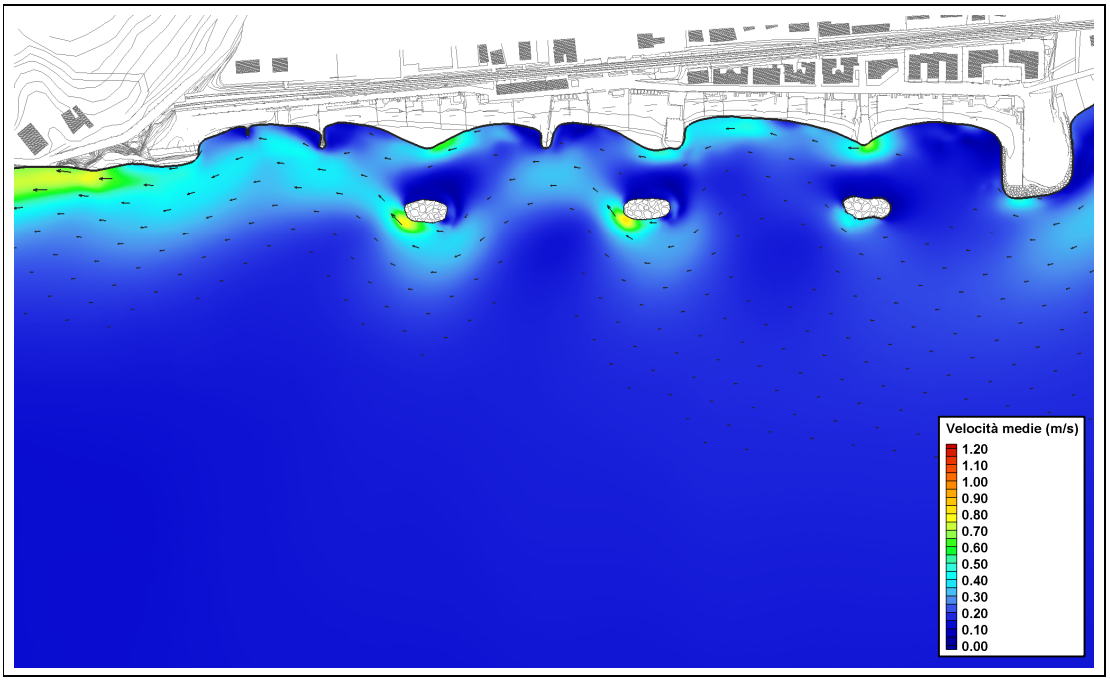


Fig. 8.13 - TEST 3 – Idrodinamica litoranea stato attuale

8.2.4.4 TEST4 - Mareggiata di Scirocco (7 gg/anno)

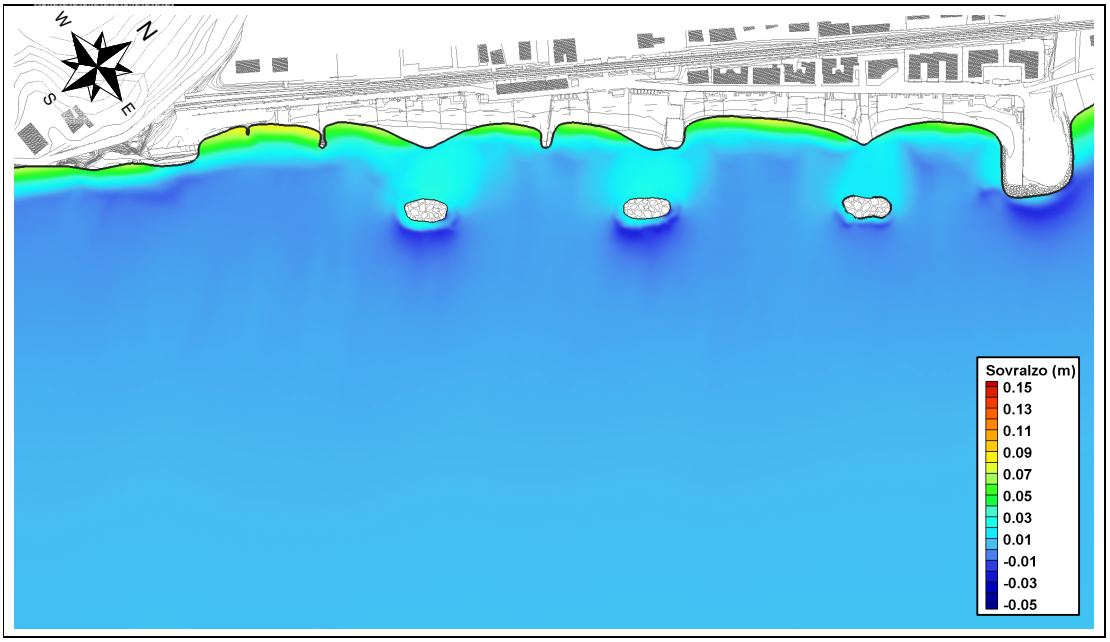


Fig. 8.14 - Wave setup – TEST 4 – Caratteristiche in P: H_S = 1.15 m, T_P= 6.2 s, Dir = 155°N

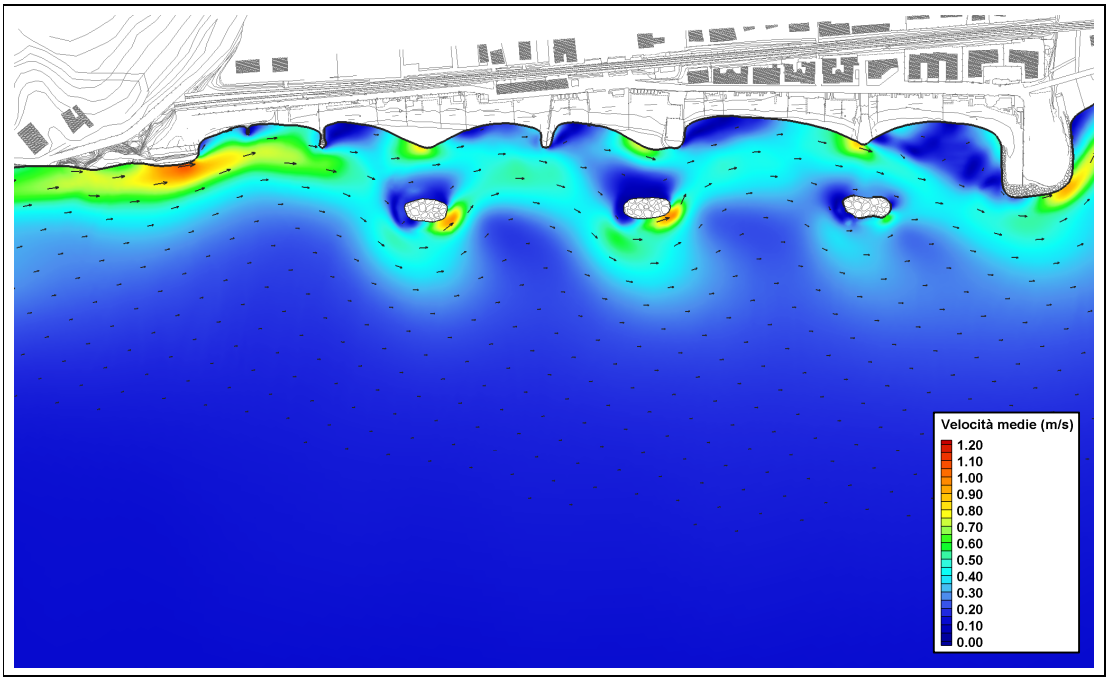


Fig. 8.15 - TEST 4 – Idrodinamica litoranea stato attuale

8.3 Trasporto solido

Lo studio della dinamica litoranea e, in particolare, del trasporto solido nel tratto di litorale in esame a seguito della persistenza di determinate mareggiate, è stato condotto mediante l'impiego del codice di calcolo PTM (Particle Tracking Module - descritto nel dettaglio nell'allegato "A" - sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineers, USACE), accoppiato ai codici di calcolo STWAVE e ADCIRC.
Il codice di calcolo PTM consente di interpretare correttamente i fenomeni responsabili del trasporto dei sedimenti e dell'evoluzione dei fondali, anche se la mancanza di un monitoraggio approfondito dei fenomeni non consente di arrivare ad una stima quantitativa della dinamica sedimentaria; le simulazioni hanno comunque permesso di evidenziare, seppur qualitativamente, le aree di erosione e deposizione generate dall'azione combinata di onde e correnti.

Per lo studio del trasporto solido sono state considerate come forzanti principali il campo di moto ondoso (STWAVE) e il campo di velocità e livelli generato dalla circolazione idrodinamica (ADCIRC). In particolare, sono stati utilizzati i risultati riportati nel precedente paragrafo, ottenuti dallo studio della circolazione idrodinamica generata da mareggiate con frequenza media annua rispettivamente pari a 1 e 7gg/anno, per i due settori di traversia individuati, nella configurazione attuale.

8.3.1 Settaggio del modello

Il modello matematico PTM sfrutta completamente la geometria, dominio di calcolo e batimetria, del codice di calcolo ADCIRC. Conseguentemente, lo studio del trasporto litoraneo è stato condotto impiegando il dominio definito nel precedente paragrafo 8.2.1.

8.3.2 Sedimentologia utilizzata

La sedimentologia utilizzata per definire le caratteristiche del materiale nativo che costituisce i fondali è stata definita in via approssimata.
In assenza di informazioni più dettagliate, e in considerazione della complessità tessiturale dei sedimenti del fondale, si è assunto che questi siano costituiti da un fuso granulometrico abbastanza uniforme. Il diametro caratteristico D_{50} è stato indirettamente ricavato sulla base dell'analisi di un profilo trasversale di spiaggia, estratto dal recente rilievo dei fondali antistanti l'area di intervento (cfr paragrafo 8.4.4); gli altri diametri caratteristici, input del modello matematico, sono stati ricavati considerando un fuso granulometrico abbastanza uniforme (sabbia media). Nella successiva tabella Tab. 8.4 sono riportate le caratteristiche del materiale impiegate nello studio.

D	Diametro (mm)
D_{35}	0.3
D_{50}	0.4
D_{90}	0.5

Tab. 8.4 – Caratteristiche sedimenti del fondale

8.3.3 Risultati trasporto solido in configurazione attuale

I risultati delle simulazioni, ottenuti per mezzo del codice di calcolo PTM, sono rappresentati nelle figure riportate nei successivi paragrafi (da Fig. 8.16 a Fig. 8.23).
Per ciascuna delle mareggiate analizzate sono stati riportati i risultati in termini di gradazioni cromatiche, rappresentando il trasporto solido, nella prima figura, e l'evoluzione del fondale, nella seconda. L'andamento del trasporto dei sedimenti fornisce una indicazione della quantità di sedimenti che viene mobilitata a seguito dell'azione delle onde e della circolazione che si instaura nel fondale; i risultati sono stati riportati con scala cromatica adottando un "indice" che varia da un valore minimo pari a 0 (nessuna mobilitazione di sedimenti) a un valore massimo pari a 1 (massima quantità di sedimenti mobilizzati nelle simulazioni effettuate), mentre i vettori indicano la direzione del trasporto solido.

L'evoluzione del fondale fornisce una tendenza qualitativa della dinamica sedimentaria (erosione/deposizione); i risultati sono stati riportati adottando un "indice" che varia da un valore minimo pari a -1 (zona di massima erosione) ad un valore massimo pari a 1 (zona di massima deposizione).

I risultati delle simulazioni, in particolare quelle con mareggiate da 1 g/anno dove la movimentazione di sedimenti è sensibilmente più elevata, mostrano chiaramente come vi sia ancora una tendenza alla deposizione a tergo delle secche (dove tendono a formarsi i tomboli) ed una corrispondente, più modesta, tendenza erosiva negli specchi acquei tra le secche (dove, in assenza di ripascimento, potrebbe verificarsi un ulteriore aumento delle profondità).

8.3.3.1 *TEST1- Mareggiata di Levante (1 g/anno)*

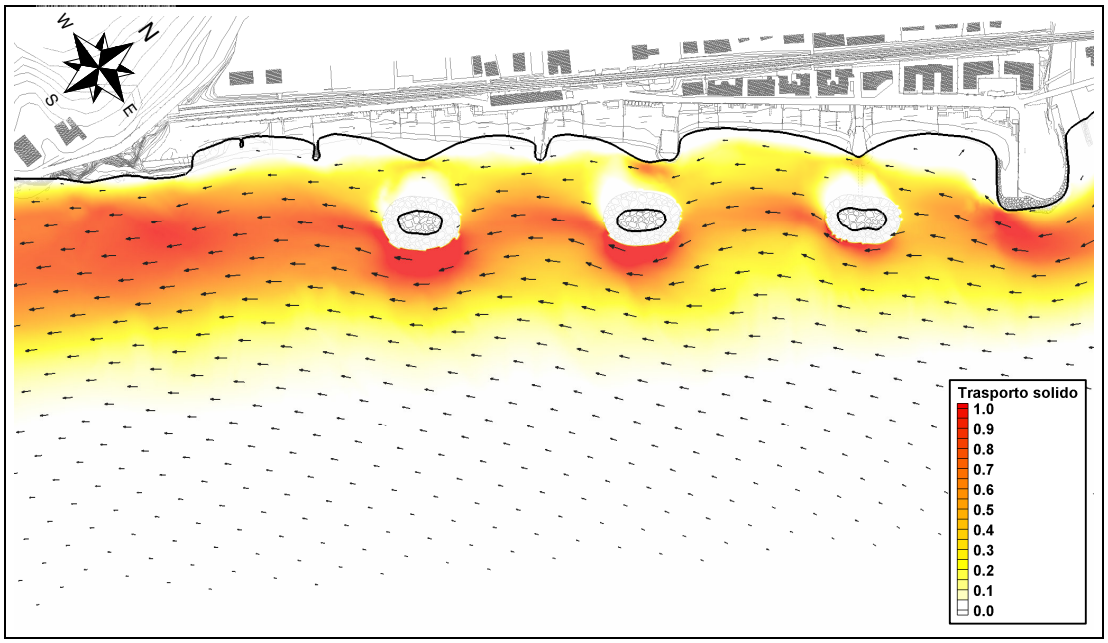


Fig. 8.16 – Trasporto solido – TEST 1 – Caratteristiche in P: H_S = 1.81 m, T_P= 7.7 s, Dir = 85°N

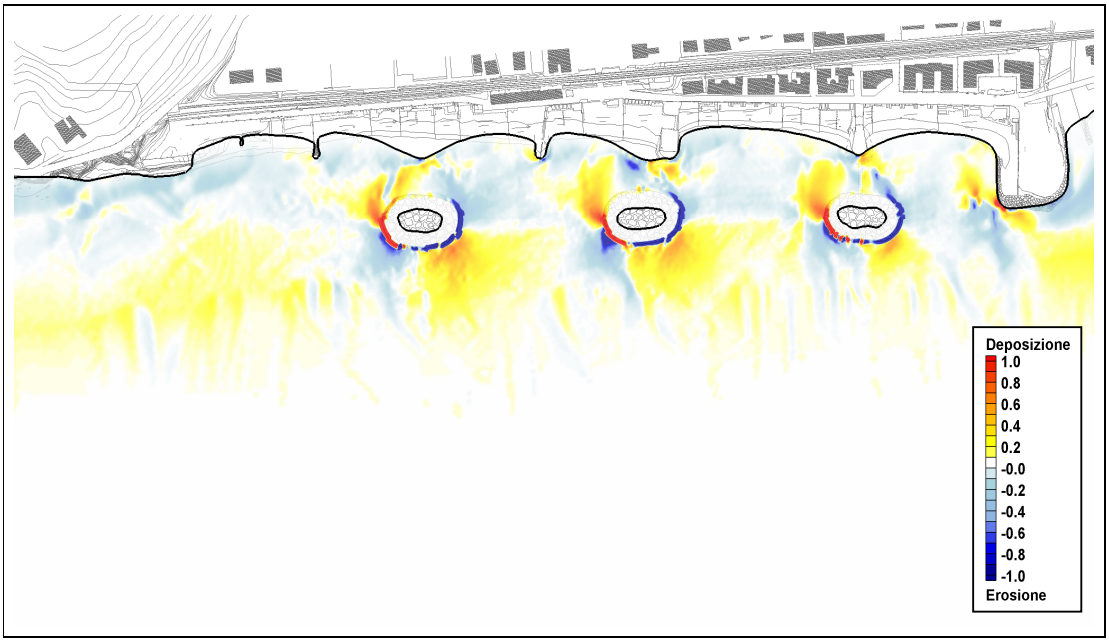


Fig. 8.17 - TEST 1 – Evoluzione del fondale stato attuale

8.3.3.2 *TEST2 - Mareggiata di Scirocco (1 gg/anno)*

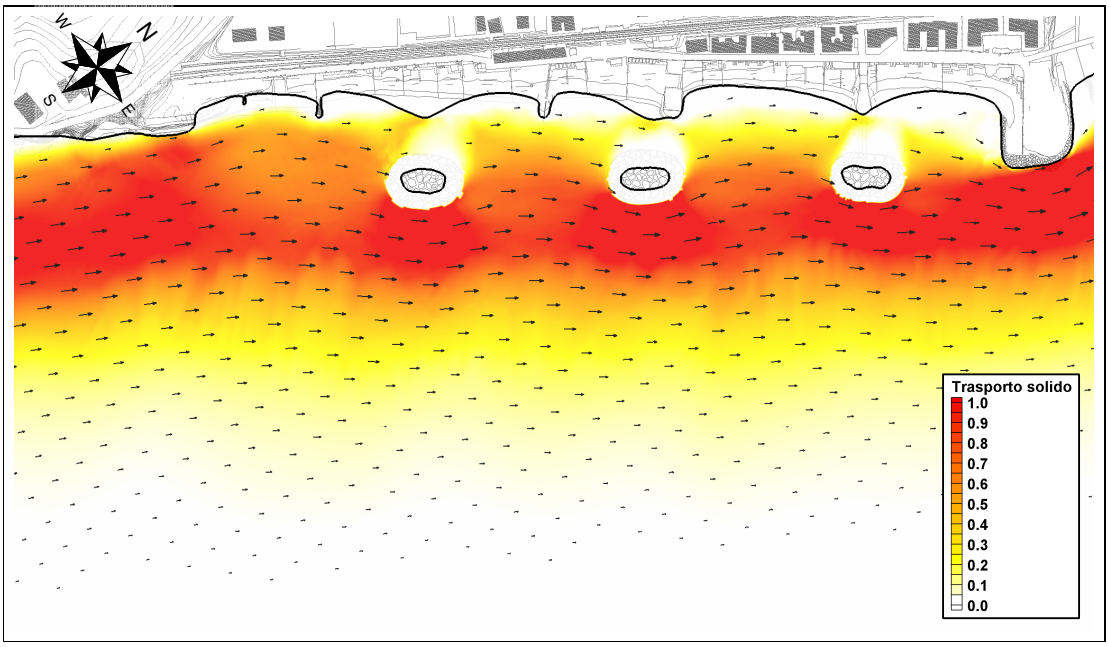


Fig. 8.18 - Trasporto solido – TEST 2 – Caratteristiche in P: H_S = 1.92 m, T_P= 7.4 s, Dir = 155°N

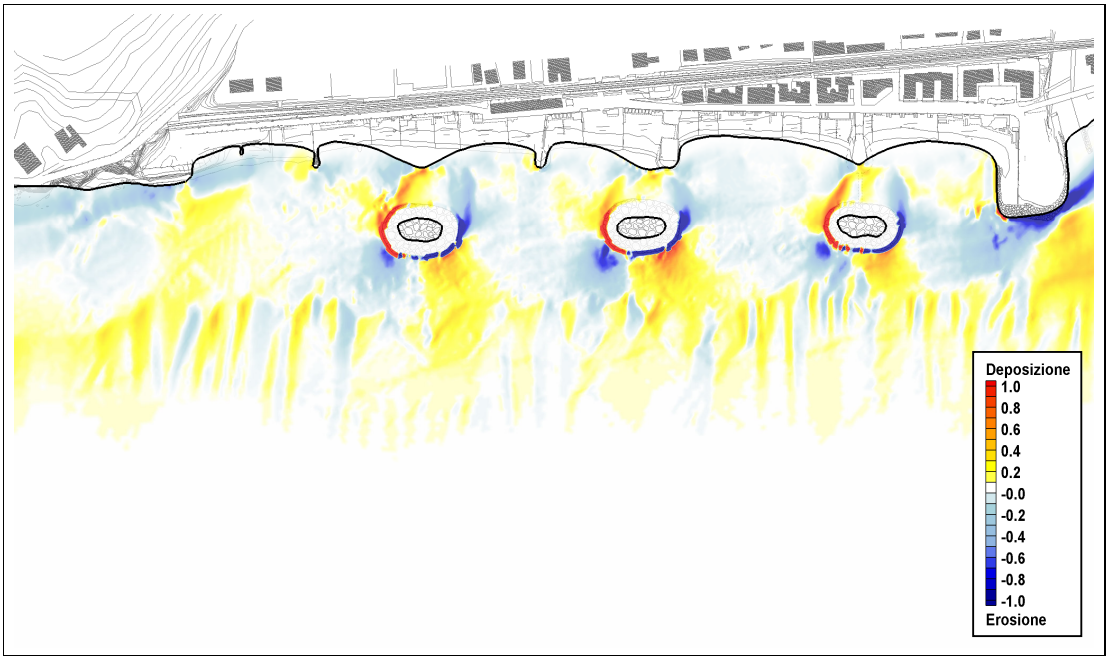


Fig. 8.19 - TEST 2 – Evoluzione del fondale stato attuale

8.3.3.3 TEST 3 - Mareggiata di Levante (7 gg/anno)

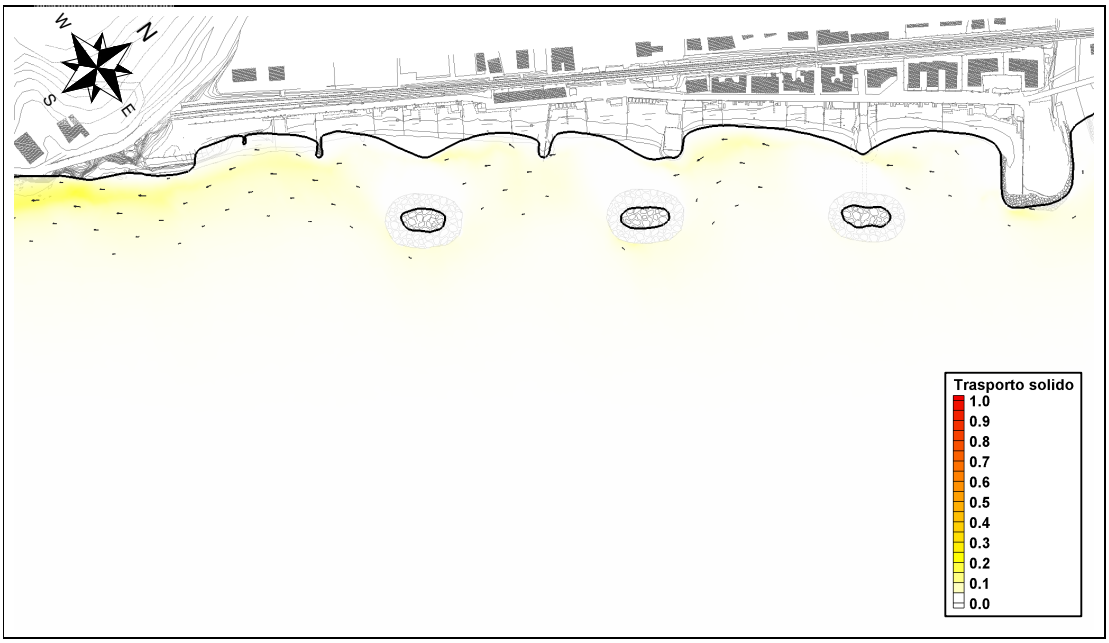


Fig. 8.20 - Trasporto solido – TEST 3 – Caratteristiche in P: H_S = 0.93 m, T_P= 5.9 s, Dir = 85°N

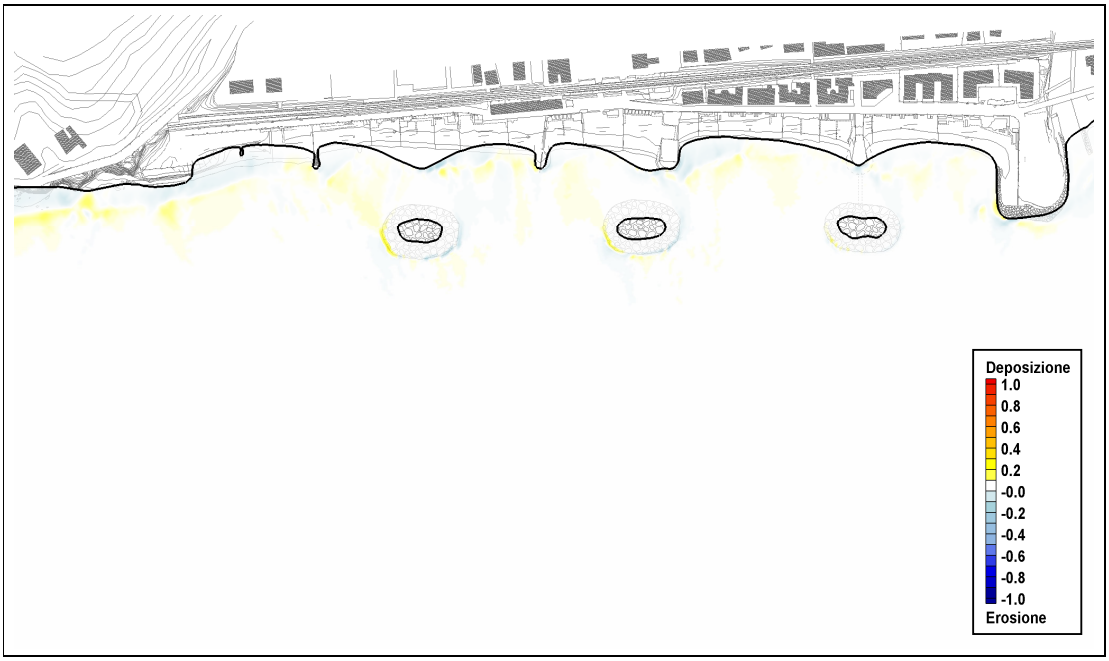


Fig. 8.21 - TEST 3 – Evoluzione del fondale stato attuale

8.3.3.4 TEST4 - Mareggiata di Scirocco (7 gg/anno)

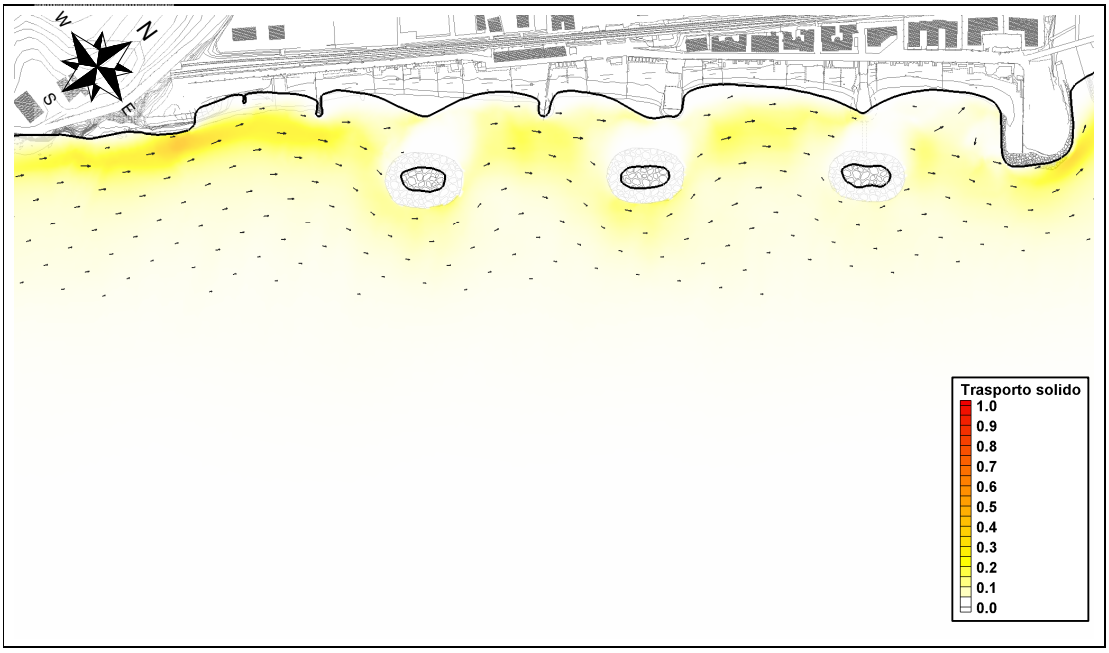


Fig. 8.22 - Trasporto solido – TEST 4 – Caratteristiche in P: H_S = 1.15 m, T_P= 6.2 s, Dir = 155°N

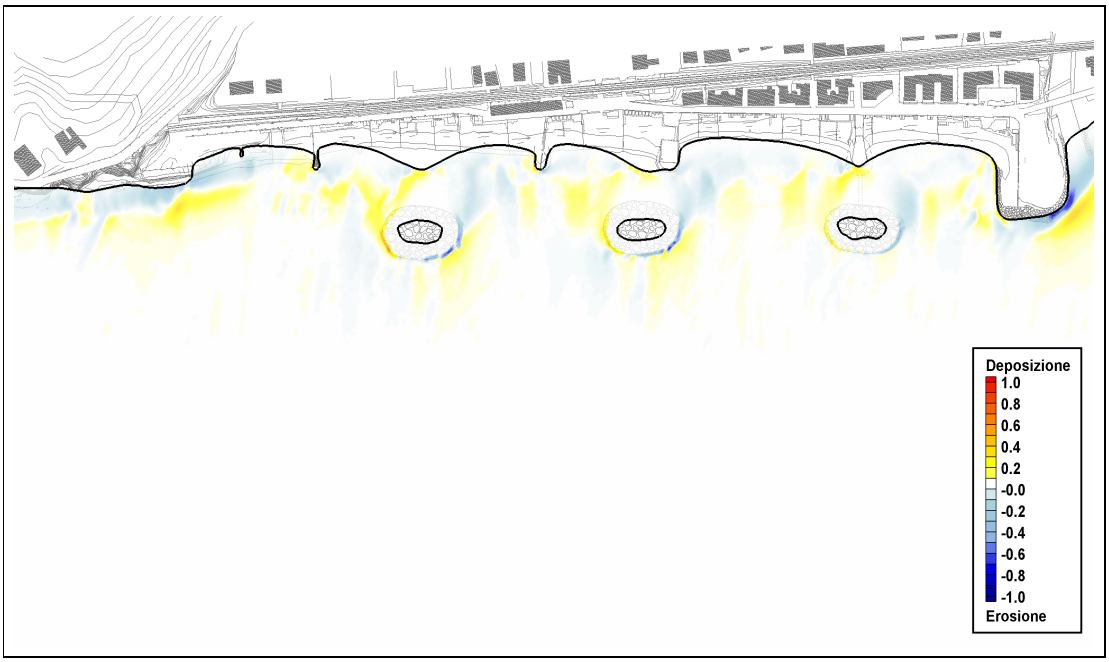


Fig. 8.23 - TEST 4 – Evoluzione del fondale stato attuale

8.4 Evoluzione della linea di riva

Lo studio morfologico dell'evoluzione del litorale di Borghetto S. Spirito è stato condotto mediante l'utilizzo del codice di calcolo GENESIS (sviluppato dal centro di ricerca americano CERC Coastal Engineering Research Center), sulla base della linea di riva del 2005 e di quella di luglio 2008, estratta dal rilievo locale fornito dal committente.

Inizialmente è stata condotta una fase di taratura del modello, basata sull'evoluzione del litorale nel periodo 2005-2008. Successivamente, una volta individuati i valori più idonei per le costanti di taratura (K_1 e K_2), sono state eseguite le simulazioni di evoluzione a 5 anni del litorale in stato attuale e nelle configurazioni di progetto proposte. Le simulazioni di taratura e di evoluzione in stato attuale sono descritte nei successivi paragrafi 8.4.5 e 8.4.6, mentre le simulazioni di evoluzione nelle configurazioni di progetto sono descritte nel successivo capitolo 10.

Ai fini della modellazione matematica, è stato individuato un dominio di calcolo idoneo per il sito in esame, schematizzando opportunamente (come in seguito specificato) le singolarità presenti.

8.4.1 Propagazione del moto ondoso sottocosta

La fase iniziale dello studio di evoluzione morfologica è consistita nel trasferimento sottocosta, al limite esterno della fascia attiva, delle caratteristiche del clima ondoso precedentemente determinate nel punto P, posto su un fondale di circa 9 m. Il trasferimento è stato effettuato mediante il codice di calcolo STWAVE, descritto in dettaglio nell'allegato A.

Sono state, quindi, scelte una serie di stazioni (in pratica una serie di boe virtuali), poste lungo la costa in corrispondenza della batimetrica –6 m s.m.m. e posizionate ad una distanza di 40 m tra loro; tali stazioni sono state ritenute significative per rappresentare le differenti condizioni di moto ondoso lungo il litorale (Fig. 8.24).
La griglia di calcolo STWAVE, ruotata di 58° rispetto all'asse Est del sistema di riferimento adottato, ha origine nel punto di coordinate (1439105.2 m EST; 4882530.7 m NORD), dimensioni 2900 x 800 m e passo di calcolo 20 m (Fig. 8.29). Le coordinate dell'origine delle griglie di calcolo sono espresse nel sistema di riferimento Gauss-Boaga Fuso Ovest.

Il file di input che descrive il moto ondoso nelle simulazioni condotte con il modello GENESIS è stato ricavato creando una sequenza di eventi casualmente ordinata, sulla base del clima ondoso in P. Una volta fissato l'intervallo temporale di calcolo (pari a 3 ore, nel caso in esame), l'andamento del clima meteomarino dell'anno medio risulta descritto da un numero di eventi pari al numero di intervalli di calcolo compresi nell'anno.
Il codice di calcolo associa a ciascuno degli intervalli temporali una serie di valori di altezza significativa, periodo e direzione media di provenienza, tale per cui l'andamento globale del clima ottenibile dalla sequenza ricostruita rappresenta efficacemente il clima vero.
Gli eventi caratterizzati da altezza significativa inferiore a 0.5 m, nel punto CNR al largo, sono stati considerati come calme.

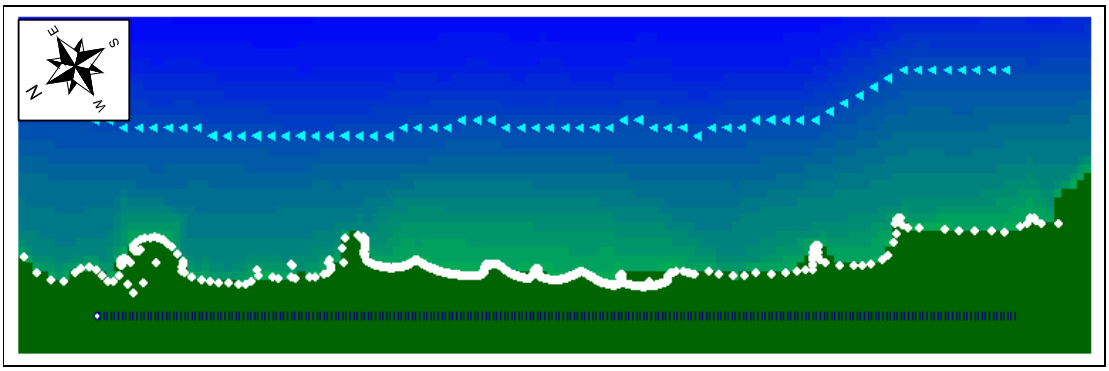


Fig. 8.24 – Ubicazione delle boe virtuali (stazioni) poste alla profondità di –6 m s.m.m.

8.4.2 Premessa alla modellazione

I modelli matematici costituiscono un valido strumento per l'analisi e la previsione dell'evoluzione della morfologia costiera. Il principale vantaggio dei modelli matematici risiede nella possibilità, una volta implementati, di studiare in tempi ragionevolmente brevi diverse soluzioni progettuali ovvero l'effetto di forzanti di natura diversa (mareggiate eccezionali, variazioni del clima, ecc.).
La modellazione dell'evoluzione morfologica di un litorale coinvolge fenomeni di natura diversa quali il moto ondoso incidente il litorale stesso, la presenza di correnti costiere, il trasporto solido longitudinale (in direzione parallela alla linea di riva), il trasporto solido trasversale (perpendicolare alla linea di riva), l'influenza di strutture presenti all'interno della zona attiva della spiaggia (quella cioè interessata da fenomeni di migrazione dei sedimenti per azione del moto ondoso) e di eventuali interventi di dragaggio o ripascimento artificiale.
In primo luogo è fondamentale la determinazione delle forzanti del sistema, cioè del clima meteomarino locale. Una volta determinate le forzanti, si passa quindi alla valutazione del trasporto solido nelle diverse direzioni, valutazione che si basa su criteri semiempirici che legano le caratteristiche del moto ondoso alla geometria della spiaggia ed alle caratteristiche dei sedimenti che la costituiscono.
Va quindi analizzata l'influenza delle strutture presenti all'interno della zona attiva, sia in termini di modificazione della propagazione locale del moto ondoso che di interazione con il regime di trasporto solido, cioè di valutazione della variazione indotta localmente sulle forzanti del sistema dalla presenza di opere e della capacità di queste ultime di intercettare, totalmente o in una parte da quantificare, il trasporto solido. Alla stregua delle opere in zona attiva vanno considerati anche gli interventi di dragaggio e ripascimento, che modificano localmente il campo di moto delle onde incidenti e, di conseguenza, alterano in alcune zone il budget di sedimenti passibile di migrazione per effetto delle forzanti già determinate. Si rimanda all'allegato A per una descrizione del codice di calcolo GENESIS.

8.4.3 Profondità di chiusura e altezza di swash

La profondità di chiusura rappresenta la profondità limite al di sotto della quale il profilo trasversale non subisce cambiamenti significativi, nell'intervallo di tempo per cui si esegue la simulazione.
La valutazione corretta della profondità di chiusura per un dato sito è normalmente condotta sulla base dell'analisi di dati storici che documentino l'evoluzione del tempo del profilo trasversale in sezioni significative del sito in oggetto. Qualora tali dati non siano disponibili, è possibile valutare la profondità tramite la relazione di Hallermeier (1983):

$$h_c = 1.6 \cdot H_{0,12},$$

dove $H_{0,12}$ rappresenta il valore dell'altezza significativa superata in media per 12 ore all'anno. Utilizzando la tabella del clima ondoso medio ricostruito nel punto P (descritto in dettaglio al precedente paragrafo 6.1.2) è stato possibile ricostruire la curva di durata e determinare il valore di $H_{0,12}$.

In Fig. 8.25 è rappresentata la curva di durata per il calcolo della $H_{0,12}$. Sulla base della frequenza annua è stata valutata un'altezza d'onda $H_{0,12}$ pari a 2.43 m. La profondità di chiusura h_c è risultata di conseguenza pari a circa 3.9 m; l'altezza di swash D_B è stata stimata in 1.5 m. Di conseguenza l'altezza complessiva della fascia attiva risulta di 5.4 m.
Nel caso di future valutazioni quantitative si consiglia comunque di acquisire, con idoneo monitoraggio, dati sulla variabilità dei profili e sulla reale profondità di chiusura.

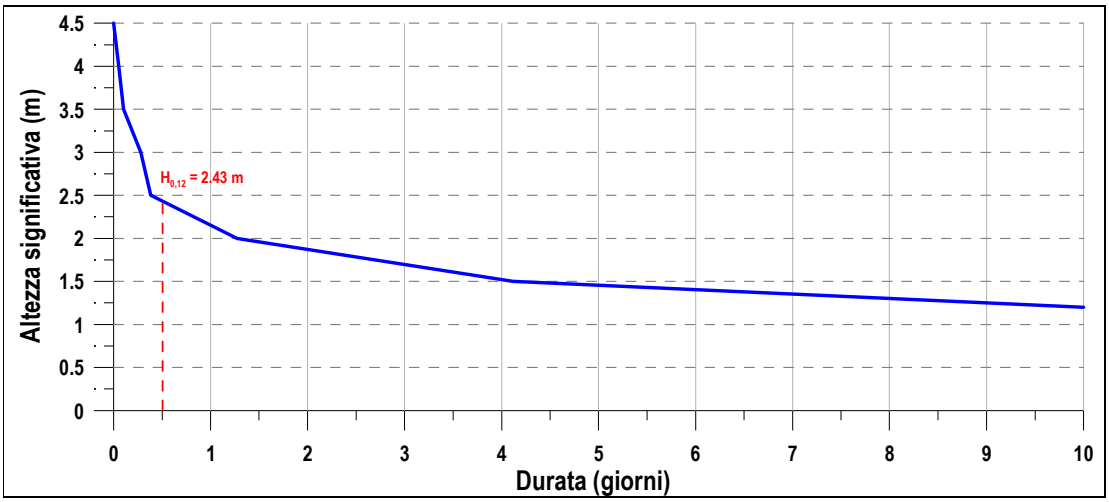


Fig. 8.25 – Individuazione $H_{0,12}$ – Curva di durata nel punto P

8.4.4 Dati sedimentologici

Le caratteristiche granulometriche del materiale che costituisce la fascia attiva del litorale sono state indirettamente ricavate sulla base dell'analisi un profilo trasversale di spiaggia, estratto dal recente rilievo dei fondali antistanti l'area di intervento. L'ubicazione del profilo è riportata in Fig. 8.26.
La granulometria caratteristica della spiaggia attiva è stata ricavata ipotizzando che il profilo esistente fosse "equilibrato", e dunque rappresentabile tramite l'equazione del profilo di equilibrio proposta da Dean (1977; $y = A x^{2/3}$ dove y è la profondità locale alla distanza x da riva).
Dal confronto tra la sezione rilevata e quella calcolata tramite il profilo di equilibrio di Dean, è stato ricavato, attraverso il best-fit delle curve, il valore corrispondente del parametro A, che risulta pari a 0.145 $m^{1/3}$ (Fig. 8.27). Attraverso le formule di Larson e Kraus, si ricava, quindi, un valore del diametro mediano dei grani dell'ordine di 0.4 mm.
Pertanto, per la rappresentazione del sedimento costituente la spiaggia è stato scelto come "diametro caratteristico" un valore di D_{50} pari a 0.4 mm; tale diametro, non necessariamente coincidente punto per punto al diametro mediano del sedimento presente all'interno della fascia attiva, consente tuttavia di simulare nella maniera più corretta la dinamica litoranea.

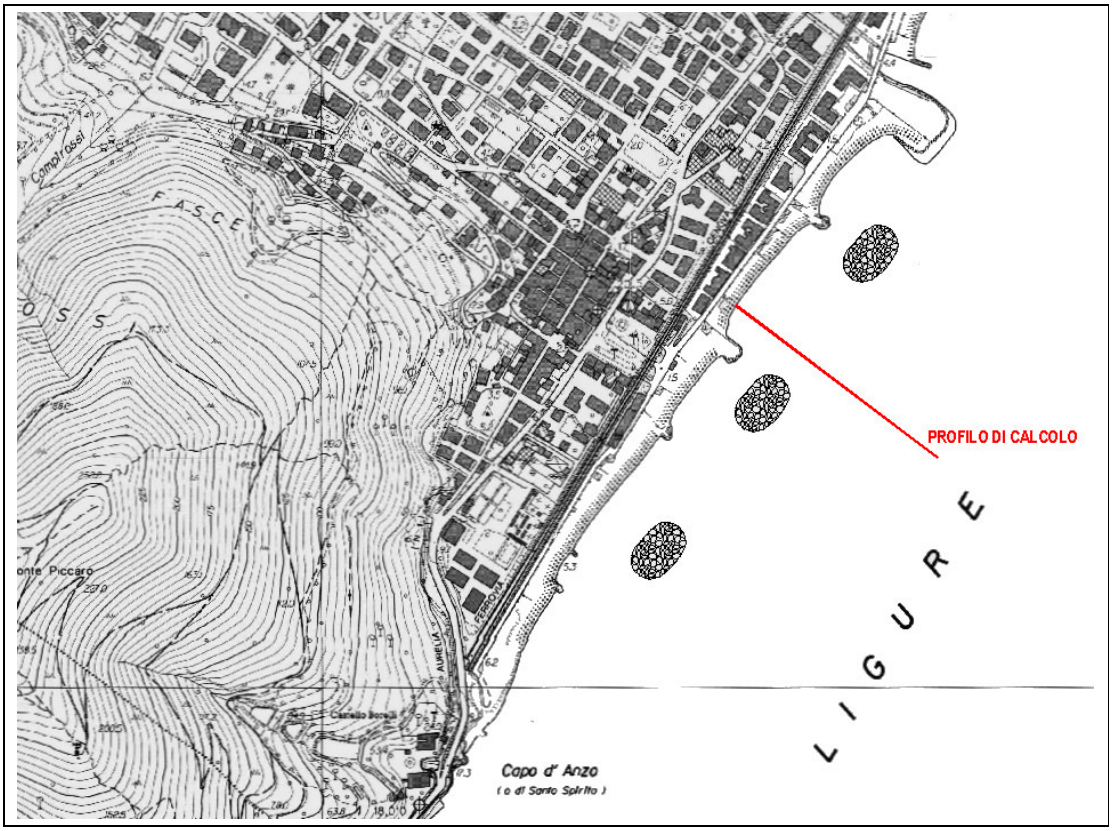


Fig. 8.26 – Ubicazione profilo di calcolo

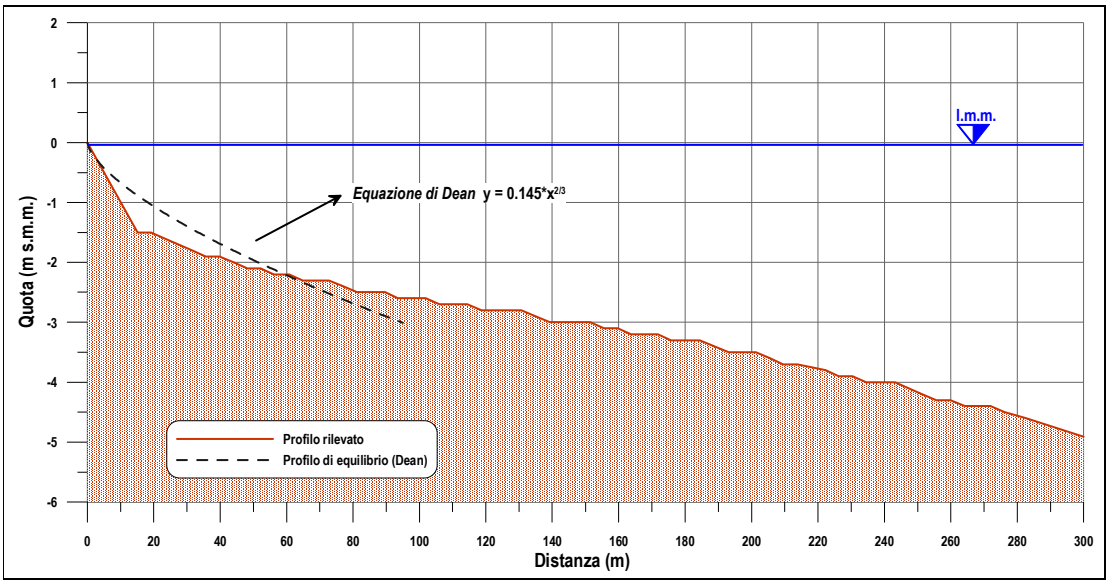


Fig. 8.27 – Confronto tra profilo rilevato e profilo di equilibrio

8.4.5 Taratura

La fase di taratura consente di adattare il modello matematico alla situazione del paraggio oggetto di studio: il modello, infatti, interpreta necessariamente la realtà fisica in maniera semplificata, tenendo conto qualitativamente dei principali fenomeni che governano l'evoluzione morfologica della costa.
I fenomeni responsabili dell'evoluzione, tuttavia, sono molteplici e la loro influenza non può essere sempre valutata con metodi deterministici in termini quantitativi.

L'operazione di taratura consente, in maniera implicita, di tenere conto di tutti i fattori non direttamente esplicitabili sotto la forma di relazioni causa-effetto. Il principale obiettivo della taratura è la determinazione dei coefficienti K_1 e K_2, che servono appunto per "tarare" la formula del CERC (1984), esprimente la relazione tra trasporto solido e flusso di energia in direzione parallela alla riva.

La taratura, condotta con riferimento alle linee di riva del 2005 e del 2008, consiste nel variare i parametri di calibrazione del codice di calcolo fino ad ottenere dal modello stesso la ricostruzione più fedele possibile dell'evoluzione misurata nell'intervallo temporale prescelto (2005-2008).

8.4.5.1 Parametri utilizzati nel modello

La griglia di calcolo GENESIS, comprendente il tratto di costa compreso tra l'approdo di Borghetto (a Nord) e il pennello di Ceriale (a Sud), è stata costruita suddividendo il litorale in 250 celle della lunghezza di 10 m ciascuna, per un totale di 2500 m (Fig. 8.28).
La griglia, il cui asse X è ruotato di -122° all'asse Est del sistema di riferimento adottato, ha origine nel punto di coordinate (1439920.1 m EST; 4885193.4 m NORD (Fig. 8.29). Le coordinate dell'origine della griglia di calcolo sono espresse nel sistema di riferimento Gauss-Boaga Fuso Ovest.

La taratura è stata condotta con riferimento ad un periodo di 3 anni (2005-2008). Durante questo intervallo temporale sono stati eseguiti due interventi di ripascimento sul litorale e sono state realizzate le due secche semi-affioranti, a Sud della prima secca realizzata nel 2003.
La simulazione di taratura è stata a sua volta suddivisa in due fasi per permettere di inserire nel modello le due secche realizzate nella primavera del 2007. La linea di riva finale, ricavata dalla prima fase di simulazione (da luglio 2005 ad aprile 2007), è stata utilizzata come input per la seconda fase di simulazione (da aprile 2007 a luglio 2008).
Per una descrizione dettagliata delle opere rigide di difesa attualmente presenti sul litorale di Borghetto si rimanda a quanto riportato nel precedente paragrafo 7.
Sulla base delle informazioni fornite dal Committente, i ripascimenti sono stati così caratterizzati:

- 1° intervento: 9000 m^3 di materiale versati nella primavera del 2007 tra il pennello posto di fronte alla seconda secca (bagni "Royal") e il pennello immediatamente a Nord di Capo S Spirito;
- 2° intervento: 5000 m^3 di materiale versati nella primavera del 2008 tra il molo Italia (bagni "La Playa") e il pennello immediatamente a Nord di Capo S Spirito.

Le due secche, realizzate nel 2007, sono state inserite nel modello all'inizio della seconda fase di simulazione (aprile 2007).
Tutte e tre le secche, sia quella realizzata nel 2003 che quelle più recenti, sono state schematizzate secondo l'approccio proposto da Ahrens, descritto in dettaglio nell'allegato A.

Le secche, costituite da una mantellata in massi di II e III categoria, sono state schematizzate utilizzando i seguenti parametri:

- diametro medio dei massi 0.9 m,
- pendenza delle scarpate 1:5,
- lunghezza del coronamento 50 m;
- larghezza del coronamento 20 m,
- quota di coronamento +0.0 m s.m.m.

La prima secca a Nord, realizzata nel 2003 di fronte al molo "Occhio di Cubia", è stata schematizzata con profondità al piede lato mare pari a circa 3 m, mentre le altre due secche, realizzate all'inizio del 2007, sono state schematizzate con profondità al piede lato mare pari a circa 2.5 m.

L'estensione del dominio di calcolo è stata determinata in base alla conformazione del litorale e delle opere presenti, che ha consentito di porre gli estremi in corrispondenza di punti notevoli dove fissare univocamente le condizioni al contorno.
L'estremo destro del dominio di calcolo è stato fissato, oltre il pennello di Ceriale, a Sud. Per quanto riguarda, invece, l'estremo sinistro, esso è stato posto oltre l'approdo di Borghetto, a Nord della foce del Varatella.

I pennelli presenti nel tratto di litorale studiato sono stati schematizzati con strutture di tipo "non diffracting" (vista la ridotta lunghezza degli stessi), con una lunghezza idonea e permeabilità nulla.
Il setto sommerso presente di fronte alla prima secca a Nord è stato anch'esso schematizzato come un pennello di tipo "non diffracting", con lunghezza idonea, ma permeabilità pari a 0.5.
Il molo Italia e il pennello a Nord dei bagni "Royal", caratterizzati da dimensioni maggiori rispetto agli altri pennelli e da un coronamento in calcestruzzo, sono stati, invece, schematizzati avanzando la linea inerodibile in corrispondenza della testata delle opere.

Il diametro mediano dei sedimenti che costituiscono la fascia attiva, sulla base dei risultati della back analysis del profilo trasversale di spiaggia (paragrafo 8.4.4), è stato assunto pari a 0.4 mm.

I parametri impiegati nel modello sono riassunti nella seguente Tab. 8.5. In particolare, si riportano i valori dei coefficienti di taratura-calibrazione K_1 e K_2, le caratteristiche della griglia di calcolo (dimensioni e spaziatura), il periodo individuato per la simulazione, lo step temporale di calcolo, le caratteristiche della climatologia fornita in input al modello (profondità della fascia attiva, ubicazione delle "stations") e le condizioni al contorno.

La linea di riva iniziale è quella del 2005, opportunamente integrata all'esterno dell'area di intervento con le altre linee di riva storiche fornite dal Committente.

PARAMETRO	VALORE	U.M.
Coefficiente di calibrazione K_1	0.04	
Coefficiente di calibrazione K_2	0.025	
Numero di celle totali	250	
Dimensioni di ogni cella	10	m
Data inizio simulazione	01/07/2005	
Data di fine simulazione	01/07/2008	
Dimensione step temporale di calcolo	1	h
Profondità a cui sono ubicate le stations	-6.0	m
Profondità di chiusura	-3.9	m
Altezza di swash	+1.5	m
Estremo destro	Aperto (Pinned Beach)	
Estremo sinistro	Aperto (Pinned Beach)	

Tab. 8.5 - Parametri impiegati nella taratura del modello

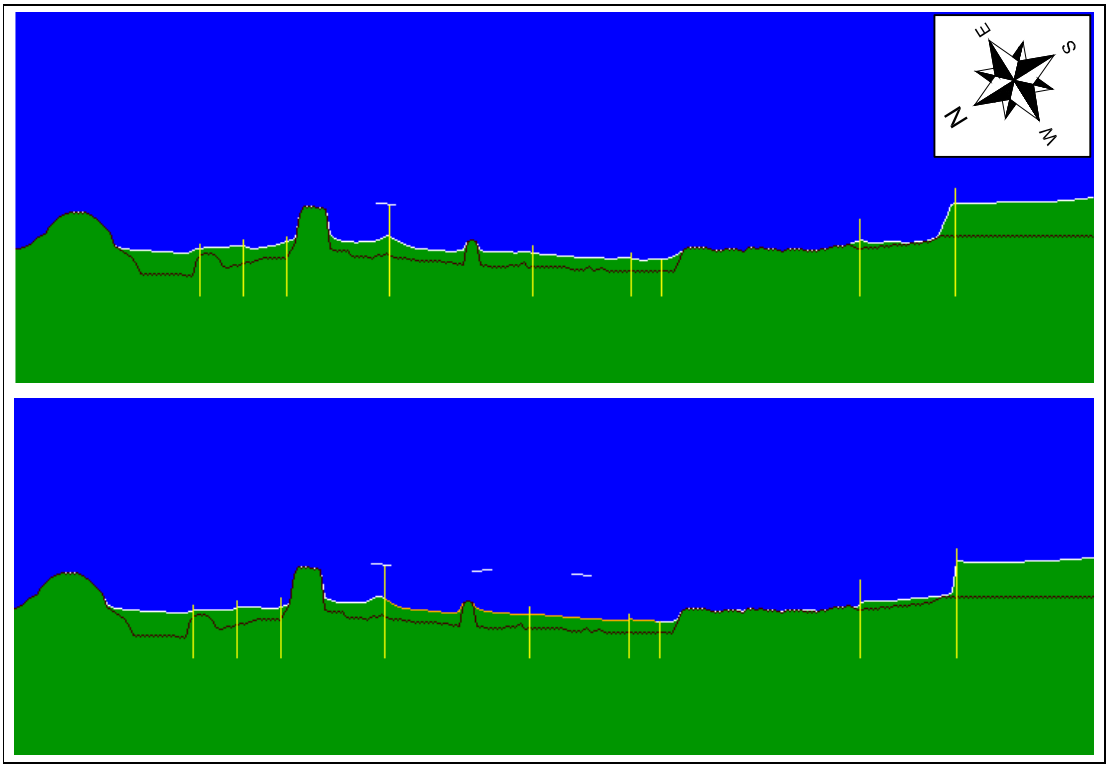


Fig. 8.28 – Griglia di calcolo taratura GENESIS – 1° fase (in alto) e 2° fase (in basso)

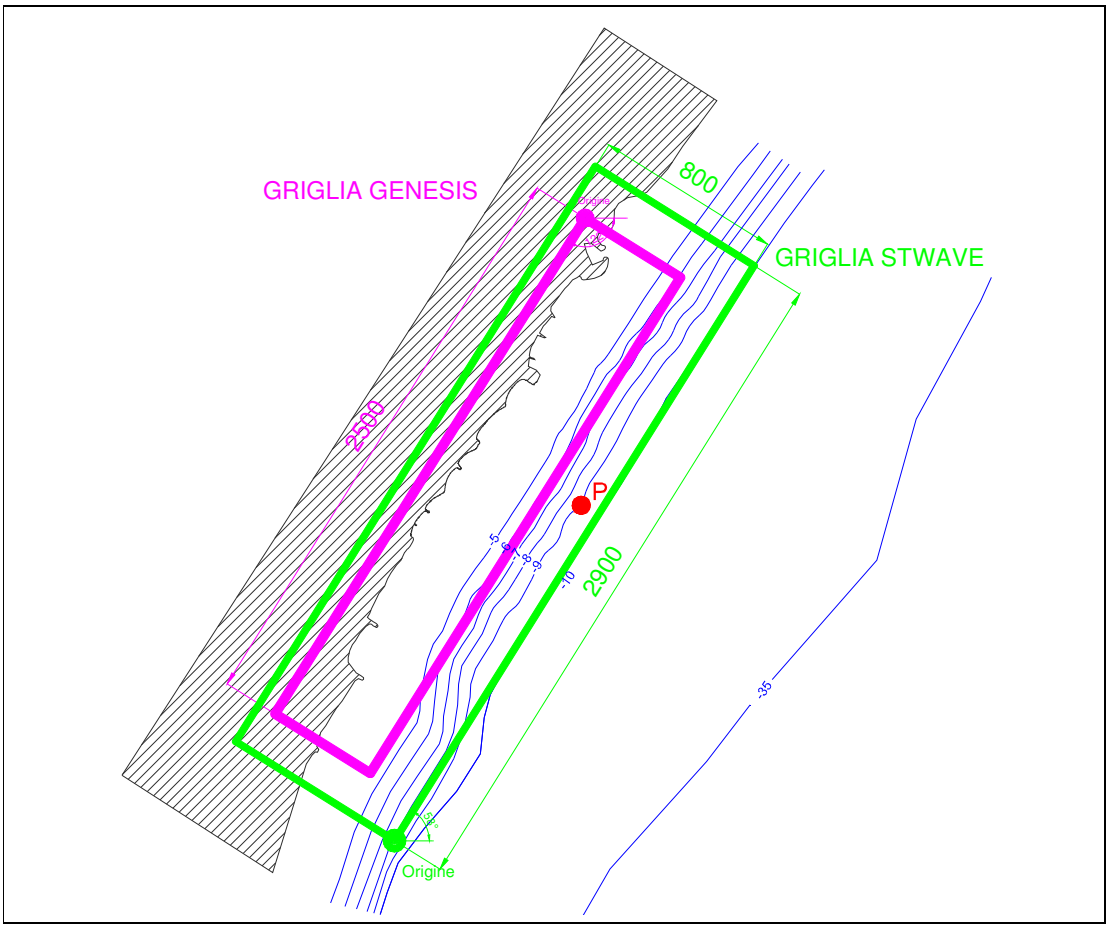


Fig. 8.29 – Planimetria con griglie di calcolo STWAVE e GENESIS

8.4.5.2 Risultati della taratura

Nel presente paragrafo si riportano i risultati della simulazione di taratura relativa al triennio 2005-2008, condotta per mezzo del codice di calcolo GENESIS.
I risultati di tutte le simulazioni GENESIS (taratura ed evoluzioni in configurazione attuale e modificata) sono stati rappresentati considerando un dettaglio della griglia di calcolo GENESIS, tra la progressiva 640 e 1590 m. Il dettaglio riguarda il tratto di litorale compreso tra il molo Italia e Capo Santo Spirito.

I risultati, riportati nella tavola 1 allegata alla presente relazione, sono stati rappresentati solamente in termini di evoluzione della linea di riva (Fig. 8.30). Infatti, considerato il periodo limitato della simulazione (solamente 3 anni) e le notevoli modifiche introdotte nella dinamica litoranea dalla realizzazione delle nuove secche nel 2007, si ritiene che l'andamento del trasporto solido riprodotto dal modello non sia rappresentativo in quanto riferito ad una fase transitoria e non ad una situazione consolidata. Di conseguenza, è ragionevole rimandare le considerazioni sul trasporto solido alla simulazione di evoluzione in configurazione attuale.

La linea di riva ottenuta come risultato della simulazione di taratura condotta con il codice di calcolo GENESIS è stata confrontata con quella rilevata a luglio 2008 (Fig. 8.30). Si osserva come il modello, opportunamente tarato, sia in grado di riprodurre con buona approssimazione l'evoluzione recente del litorale in seguito alla realizzazione delle secche.
È evidente l'accrescimento della spiaggia a tergo delle barriere (dove la linea di riva presenta un saliente), a discapito dei tratti di litorale non protetti.

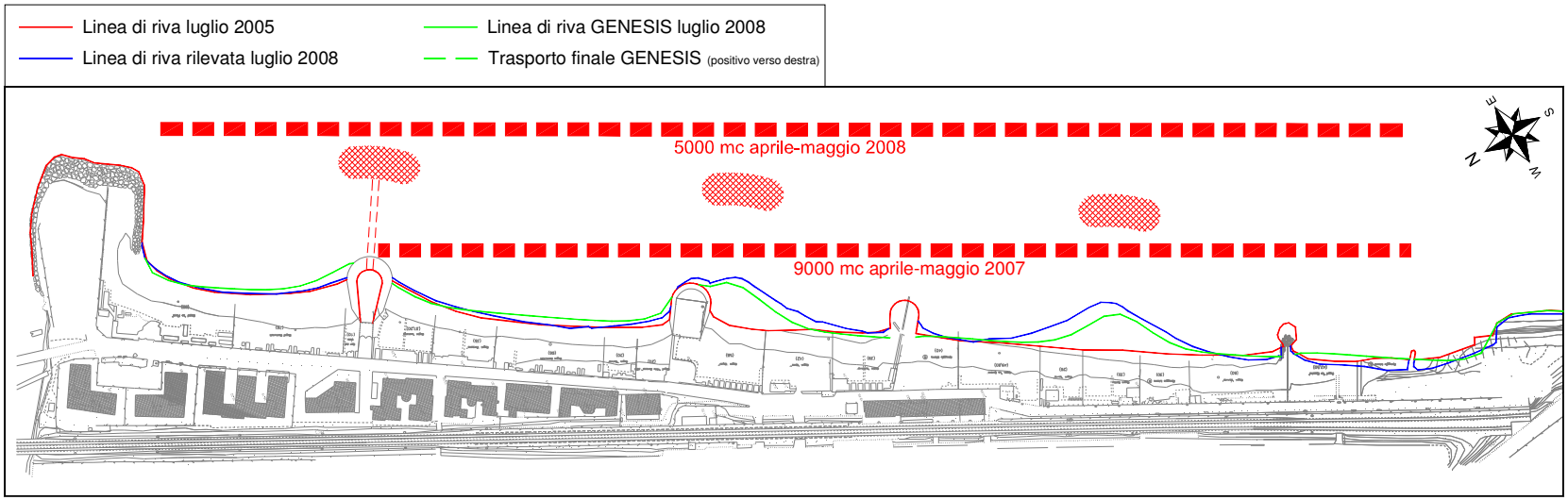


Fig. 8.30 – Evoluzione della linea di riva (taratura 2005-2008)

8.4.6 Evoluzione morfologica a 5 anni in configurazione attuale

Il modello di evoluzione morfologica, opportunamente tarato, è stato impiegato per la previsione dell'evoluzione della linea di riva in configurazione attuale, ossia in assenza di interventi.

Per stimare la tendenza evolutiva del litorale in assenza di interventi, e confrontarla poi con quella relativa alle simulazioni in configurazione modificata (cfr. paragrafo 10), è stata anzitutto condotta una simulazione dell'evoluzione della linea di riva a 5 anni in configurazione attuale (da luglio 2008 ad luglio 2013).

8.4.6.1 Parametri utilizzati nel modello

La griglia di calcolo, le condizioni al contorno del modello e le caratteristiche granulometriche dei sedimenti che costituiscono la fascia attiva sono state mantenute invariate rispetto a quelle della simulazione di taratura (cfr. paragrafo 8.4.5.1).
Le opere rigide rappresentate nel modello sono le stesse considerate nella seconda fase della taratura (pennelli e secche) e descritte in dettaglio nel precedente paragrafo 7.

La linea di riva iniziale è quella rilevata a luglio 2008, opportunamente integrata nei tratti mancanti (a Nord e a Sud dell'area di intervento) utilizzando le linee di riva storiche fornite dal Committente.

Di seguito, in Fig. 8.31, si riporta la griglia di calcolo GENESIS con la schematizzazione delle opere attualmente presenti sul litorale di Borghetto S.Spirito.

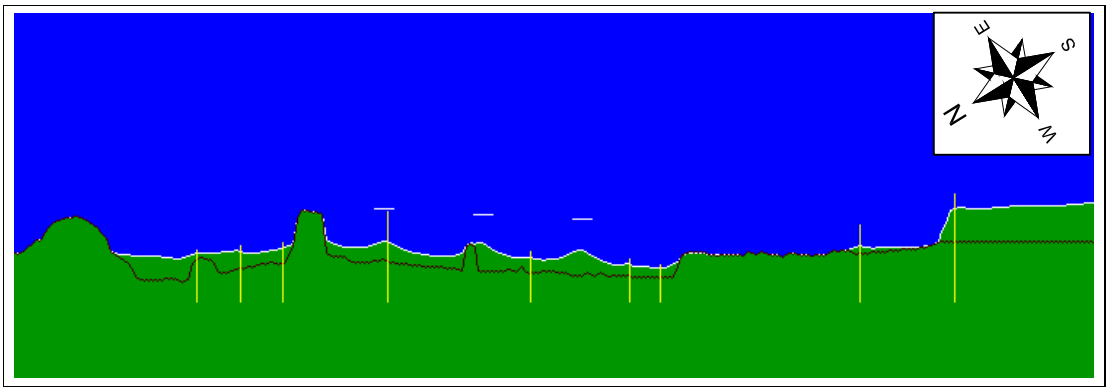


Fig. 8.31 – Griglia di calcolo GENESIS (configurazione attuale)

8.4.6.2 Risultati dell'evoluzione morfologica in configurazione attuale

Nel presente paragrafo si riportano i risultati della simulazione di evoluzione morfologica a 5 anni in configurazione attuale, condotta per mezzo del codice di calcolo GENESIS.
I risultati sono riportati nella tavola 2 allegata alla presente relazione.

Di seguito, in Fig. 8.33, si riporta l'evoluzione della linea di riva a 5 anni in configurazione attuale. Si osserva come, in assenza di interventi, l'andamento della linea di riva si mantenga pressoché invariato rispetto alla situazione rilevata a luglio 2008. A tergo delle secche si mantiene l'avanzamento della linea di riva raggiunto in seguito alla realizzazione delle opere di difesa, mentre nei tratti di spiaggia non protetti si riscontra una tendenza all'arretramento.

L'andamento del trasporto solido longitudinale relativo all'ultimo anno di simulazione è rappresentato in Fig. 8.32, nella quale si è assunto come verso positivo quello diretto verso Sud. Il trasporto risulta ancora una volta diretto verso Nord, ma i valori piuttosto bassi sono indice di una ridotta dinamicità per quanto riguarda il flusso dei sedimenti in direzione longitudinale.

In ogni caso, oltre all'evoluzione morfologica legata al trasporto longitudinale (lungo la riva), è prevedibile un ulteriore arretramento legato alla perdita per trasporto trasversale (verso il largo), che peraltro in base ai dati disponibili sembra assai limitata. Non si può tuttavia escludere a priori che mareggiate eccezionali possano determinare arretramenti non reversibili di entità significativa.

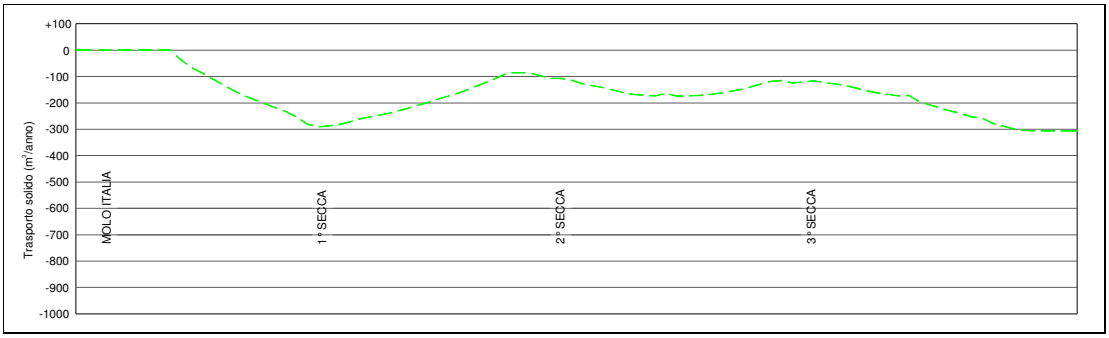


Fig. 8.32 – Andamento trasporto solido longitudinale (configurazione attuale)

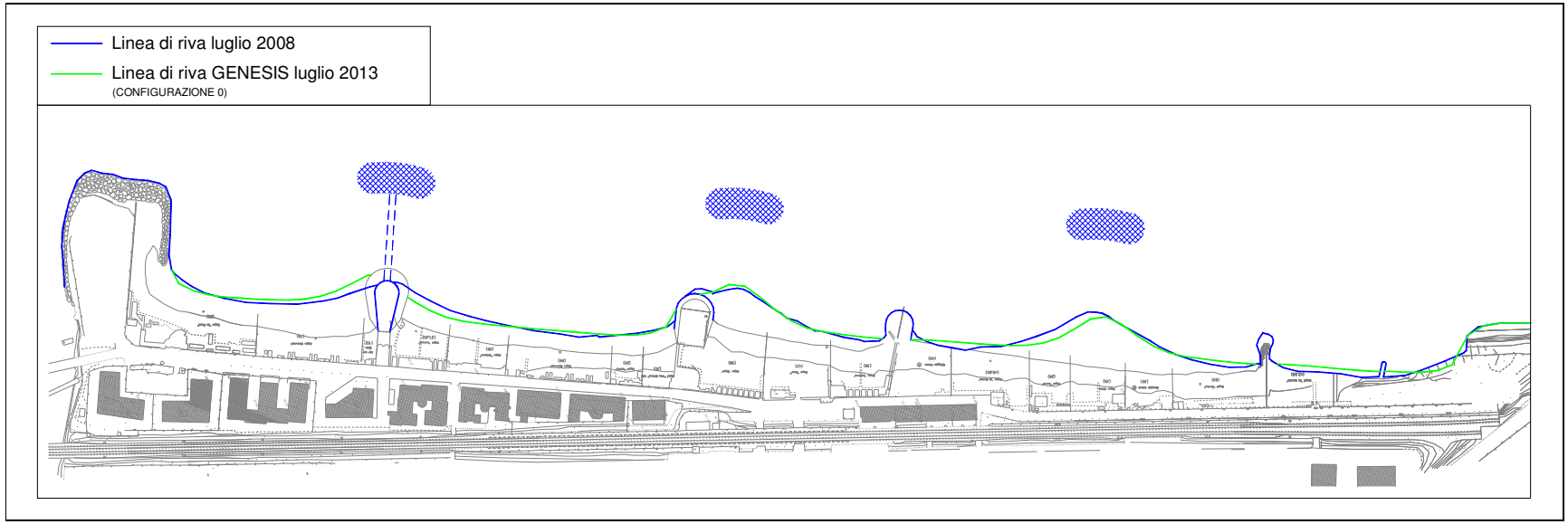


Fig. 8.33 – Evoluzione della linea di riva (evoluzione a 5 anni in configurazione attuale)

9 PROBLEMATICHE LAMENTATE E INTERVENTI PROPOSTI

Le problematiche lamentate dal Comune e dagli operatori turistici della spiaggia di Borghetto riguardano essenzialmente i seguenti temi:

1. locale perdita di quota della spiaggia emersa;
2. locale maggiore risalita delle onde durante le mareggiate;
3. qualità delle acque;
4. modifica della forma della linea di riva, con locale penalizzazione di alcune concessioni (in relazione a quanto riportato ai punti 1 e 2.

L'arenile di Borghetto S.S., nel tratto interessato dai recenti interventi di protezione con secche semisommerse, è caratterizzato dalla presenza continua di stabilimenti balneari (è il tratto di costa del Comune di maggiore valenza turistica). Come gran parte delle spiagge liguri, la tendenza evolutiva del litorale è verso l'erosione, come conseguenza del ridotto apporto solido dei fiumi, della cessazione dello scarico a mare di inerti e della realizzazione di opere rigide miranti alla salvaguardia dei litorali posti sopraflutto. Più specificatamente, il ridotto apporto solido del fiume Centa, la realizzazione dei pennelli di Ceriale e la pressoché totale scomparsa delle spiagge sopraflutto, determinano a Borghetto una situazione critica per la mancanza di alimentazione del litorale.
La spiaggia di Borghetto sopravvive così come una "pocket beach", in cui i sedimenti più grossolani della spiaggia emersa e dei più bassi fondali restano confinati dalle opere rigide presenti.

Gli interventi rigidi realizzati, abbinati a modeste quantità di ripascimento, hanno sortito globalmente buon esito in termini di superficie di spiaggia emersa (cfr. recenti rilievi disponibili), che risulta moderatamente in aumento e testimonia la buona tenuta degli apporti solidi artificiali.
L'esiguità dell'ampiezza della spiaggia emersa, rimasta sostanzialmente tale anche dopo i modesti apporti artificiali, è tuttavia diventata motivo dell'insorgenza delle principali problematiche lamentate (1 e 2).
In particolare, l'evoluzione del fondale e della linea di riva a seguito della realizzazione delle secche ha determinato localmente (tra una secca e l'altra) un incremento delle profondità ed un arretramento della linea di riva (in realtà il massimo arretramento non supera comunque la posizione della linea di riva precedente agli interventi).
Tale circostanza determina la presenza di onde più alte in prossimità della linea di riva e di conseguenza una maggiore risalita delle stesse, nonché un depauperamento del volume della spiaggia emersa. Il fenomeno viene percepito dagli operatori come una minaccia alle infrastrutture presenti, ormai lambite dalla risalita delle onde durante le mareggiate, e come una maggiore pericolosità delle onde, che tra le secche procedono più rapidamente verso la riva.
Quanto percepito dagli operatori corrisponde effettivamente alla realtà dei fatti e trova giustificazione

nell'evoluzione batimetrica dei fondali conseguente alla realizzazione delle nuove secche semisommerse. La velocità di propagazione delle onde in acque basse è infatti essenzialmente legata alla profondità, come pure l'altezza massima dell'onda stessa.
La soluzione più ovvia per le problematiche lamentate (1 e 2) consiste in un "reale" intervento di ripascimento, che garantisca il mantenimento di una spiaggia emersa di ampiezza sufficiente a garantire, anche nei tratti più penalizzati (nella mezzeria tra due secche successive), la sicurezza delle infrastrutture a tergo della spiaggia.

Per quanto riguarda la qualità delle acque (problematica 3), vale la pena di sottolineare che qualunque opera rigida ha lo scopo di ridurre l'agitazione ondosa sul litorale e, di conseguenza, ha come effetto collaterale la riduzione (certamente in misura diversa in funzione della tipologia e delle dimensioni dell'opera) delle forzanti delle correnti litoranee che movimentano le acque prossime alla battigia. La soluzione progettuale risulta quindi un compromesso tra la protezione della spiaggia e la circolazione idraulica, direttamente legata alla qualità delle acque.
Il miglioramento della qualità delle acque, senza incidere negativamente sulla stabilità della spiaggia, potrà quindi essere più ragionevolmente ottenuto attraverso l'allontanamento (scarico al largo) degli apporti di acque dolci tuttora esistenti nell'area di intervento.

In merito alla formazione di una linea di riva non rettilinea (problematica 4), si sottolinea che la realizzazione di opere di difesa comporta sempre la formazione di tratti beneficiati in maniera diversa dagli interventi: nel caso dei pennelli la linea di riva assume la caratteristica forma a dente di sega, nel caso delle barriere frangiflutti si formano salienti, tomboli o piccole falcate; anche nel caso di barriere continue è spesso possibile osservare differenze in relazione alle asimmetrie che inevitabilmente si creano per effetto di cedimenti, scavi, ecc.
Assodato pertanto che l'intervento effettuato ha avuto una indiscutibile efficacia sul contenimento generale dei fenomeni erosivi, resta evidente che la soluzione anche a questa problematica consiste nel traslare verso mare la linea di riva di una distanza sufficiente a garantire condizioni ottimali, anche se non necessariamente identiche, a tutti i tratti di spiaggia protetta.

Nel seguito sono presentate una serie di alternative progettuali proposte dal Committente e riguardanti essenzialmente le opere rigide, modificate o integrate per ottenere un andamento della linea di riva più confacente alle proprie esigenze.
L'ultima alternativa (configurazione "4") riguarda semplicemente un consistente intervento di ripascimento (40'000 m^3) distribuito sullo scenario di opere pari all'attuale. Come si vedrà anche per la configurazione "3", trattasi di interventi di notevole importanza finanziaria da realizzarsi in unica soluzione, e pertanto di difficile attuazione.

9.1 Soluzione con barriera sommersa in geotubi e pietrame (configurazione "1")

La soluzione con barriera sommersa in geotubi e pietrame consiste essenzialmente nella realizzazione di una barriera frangiflutti sommersa che colleghi le ultime due secche realizzate (seconda e terza da Nord) e vada così a proteggere il tratto di litorale più critico (Fig. 9.1).
La barriera frangiflutti sarebbe larga oltre 20 m e realizzata con un riempimento in pietrame contenuto tra due geotubi riempiti di sabbia.

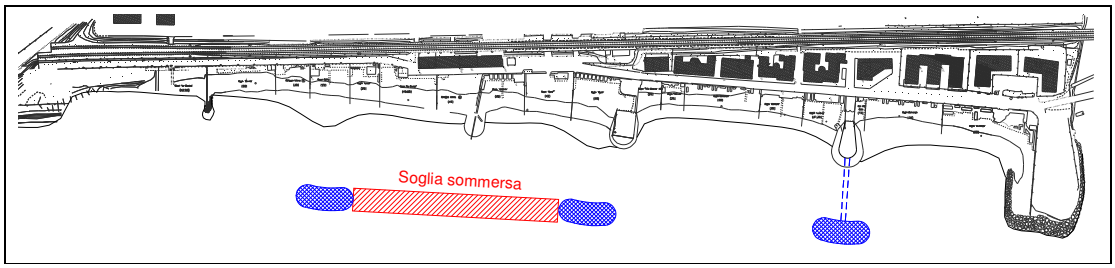


Fig. 9.1 –Configurazione di progetto 1

9.2 Soluzione con barriera sommersa in geotubi e pietrame, pennelli sommersi e una nuova secca (configurazione "2")

La soluzione prevede, in aggiunta a quella precedentemente descritta, la realizzazione di una nuova secca a Sud di quelle già realizzate, nonché di due setti sommersi (anche in questo caso realizzati con geotubi) posti, procedendo da Nord verso Sud, tra le prime due secche esistenti e tra l'ultima secca esistente e quella nuova (Fig. 9.2). La nuova secca di dimensioni inferiori rispetto quelle esistenti è posta 125 m a Sud della terza secca
All'intervento con opere rigide viene abbinato un ripascimento artificiale di 20000 m^3 di idonei sedimenti, disposti tra la prima e l'ultima secca. Vengono infine accorciati o eliminati i corti pennelli tuttora esistenti sulla spiaggia, con l'eccezione del primo a Sud del molo Italia (già modificato in precedenza).

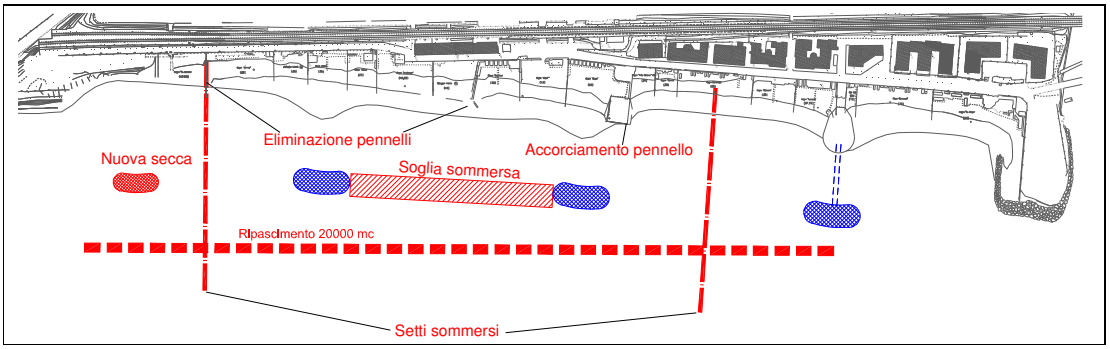


Fig. 9.2 –Configurazione di progetto 2

9.3 Soluzione con quattro nuove secche e prolungamento sommerso del molo Italia (configurazione "3")

La soluzione, del tutto teorica per l'alto costo realizzativo, prevede la realizzazione di quattro nuove secche: la prima, di dimensioni simili alle secche esistenti (con quota di coronamento a +0.00 m s.m.m.), viene realizzata 180 m a Sud di queste, alla medesima distanza da riva, mentre le altre tre sono realizzate in mezzeria rispetto alle precedenti, ad una distanza da riva circa doppia. La quota di coronamento delle secche esterne viene posta a -1.0 m s.m.m. Il molo Italia viene dotato, in testata, di un corto prolungamento sommerso verso Sud (Fig. 9.3).
Anche in questo caso, all'intervento con opere rigide viene abbinato un ripascimento artificiale di 20000 m^3, disposti tra la prima e l'ultima secca. Vengono infine accorciati o eliminati i corti pennelli tuttora esistenti sulla spiaggia, con l'eccezione del primo a Sud del molo Italia.

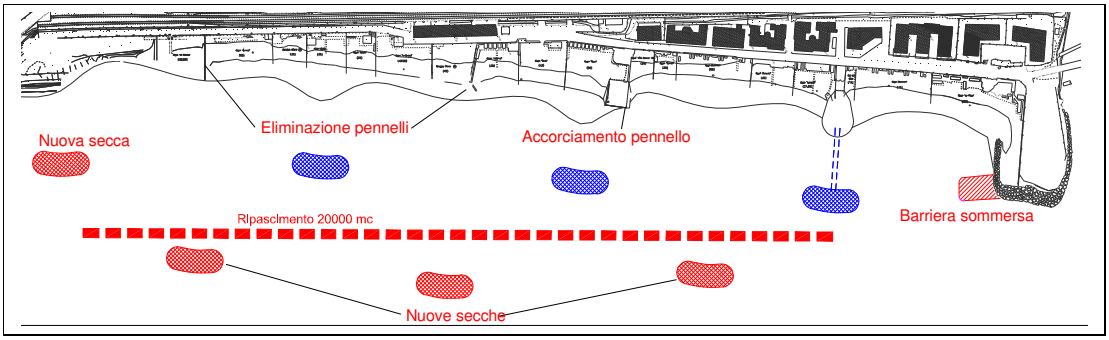


Fig. 9.3 –Configurazione di progetto 3

9.4 Soluzione con solo importante ripascimento (configurazione "4")

La soluzione prevede l'esecuzione di un ripascimento artificiale, più consistente rispetto a quello previsto nelle configurazioni di progetto 2 e 3: si prevede, infatti, di versare 40000 m^3 di materiale tra la prima secca e Capo S. Spirito (Fig. 9.3). Oltre al ripascimento, vengono accorciati o eliminati i corti pennelli tuttora esistenti sulla spiaggia, con l'eccezione del primo a Sud del molo Italia.

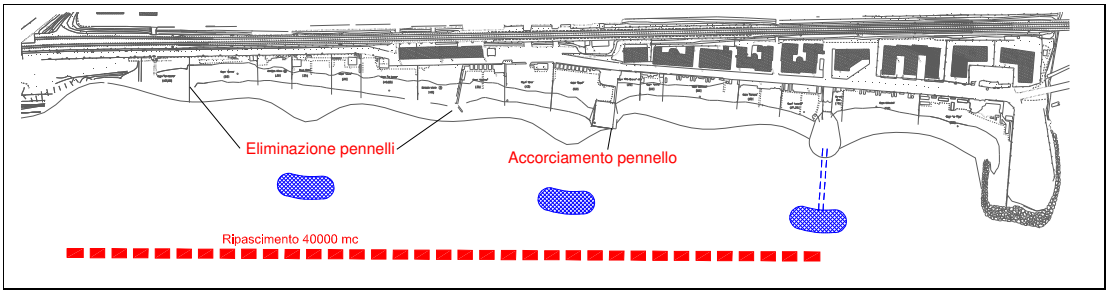


Fig. 9.4 –Configurazione di progetto 4

9.5 Considerazioni sugli interventi proposti

Le soluzioni progettuali proposte prendono in considerazione essenzialmente le opere rigide, oltre a modesti quantitativi di materiale da ripascimento affine a quello che costituisce la spiaggia emersa attuale (sabbia e ghiaia).

Come già sperimentato con gli interventi recentemente realizzati, in una situazione caratterizzata da valori del trasporto solido netto molto bassi, l'azione delle opere rigide è fondamentalmente quella di "deformare" la linea di riva. Lo scopo auspicato delle nuove opere rigide (e della demolizione dei pennelli esistenti) è quello di ottenere una linea di riva con andamento più rettilineo.

Le configurazioni 2 e 3 mirano anche ad ampliare il tratto di spiaggia protetto verso Capo Santo Spirito, area in cui l'erosione è stata probabilmente accentuata dal fatto che i sedimenti mobili tendono a restare intrappolati dietro le secche.

10 DINAMICA LITORANEA IN CONFIGURAZIONE MODIFICATA

Nel presente paragrafo sono riportati i risultati dello studio della dinamica litoranea per le diverse configurazioni di progetto analizzate. In particolare, per le configurazioni "2" e "3" sono riportati i risultati in termini di propagazione del moto ondoso, circolazione idrodinamica, trasporto solido ed evoluzione della linea di riva, mentre per le configurazione "1" e "4" è stata analizzata la sola evoluzione della linea di riva.

10.1 Dinamica litoranea in configurazione "1"

La configurazione di progetto analizzata in questo paragrafo prevede la realizzazione della sola barriera sommersa costituita in geotubi e pietrame (configurazione "1"). La configurazione è stata studiata unicamente in relazione all'evoluzione della linea di riva. Per stimare la tendenza evolutiva del litorale e confrontarla con quella relativa alla simulazione in configurazione attuale (cfr. paragrafo 8.4.6), è stata condotta una simulazione dell'evoluzione morfologica della linea di riva a 5 anni in presenza degli interventi previsti nella configurazione analizzata (da luglio 2008 ad luglio 2013).
Il modello di evoluzione morfologica GENESIS, opportunamente tarato in precedenza (cfr. paragrafo 8.4.5), è stato impiegato per la previsione dell'evoluzione della linea di riva.

Le opere rigide rappresentate nel modello sono le stesse considerate nella simulazione di evoluzione morfologica in configurazione attuale, descritta in dettaglio nel precedente paragrafo 8.4.6.

La nuova barriera sommersa, prevista nella configurazione di progetto "1", è stata schematizzata, come le altre secche presenti, secondo l'approccio proposto da Ahrens (cfr. Allegato A).
Le caratteristiche della barriera, inserite nel codice di calcolo GENESIS, sono state ricavate sulla base delle sezioni di progetto fornite dal Committente:

- diametro medio dei massi 0.5 m,
- pendenza delle scarpate verticale,
- larghezza del coronamento 20 m,
- quota di coronamento -1.0 m s.m.m.
- profondità al piede (lato mare) -2.5 m s.m.m..

Nelle successive figure sono riportati i risultati in termini di andamento del trasporto solido longitudinale relativo all'ultimo anno di simulazione (Fig. 10.1) e in termini di evoluzione della linea di riva a 5 anni (Fig. 10.2). Si sottolinea che in Fig. 10.1 viene inoltre riportato l'andamento del trasporto solido in configurazione attuale (paragrafo 8.4.6) ai fini di un immediato confronto dei risultati.

É possibile osservare che la realizzazione della barriera sommersa tende a far avanzare la linea di riva a tergo della stessa, riducendo invece i tomboli esistenti dietro le secche adiacenti. L'insieme secche-barriera, tuttavia, accentuerà probabilmente i fenomeni erosivi sulla spiaggia a Nord.

I risultati della simulazione di evoluzione in configurazione "1" sono riportati in dettaglio nella tavola 3 allegata alla presente relazione.

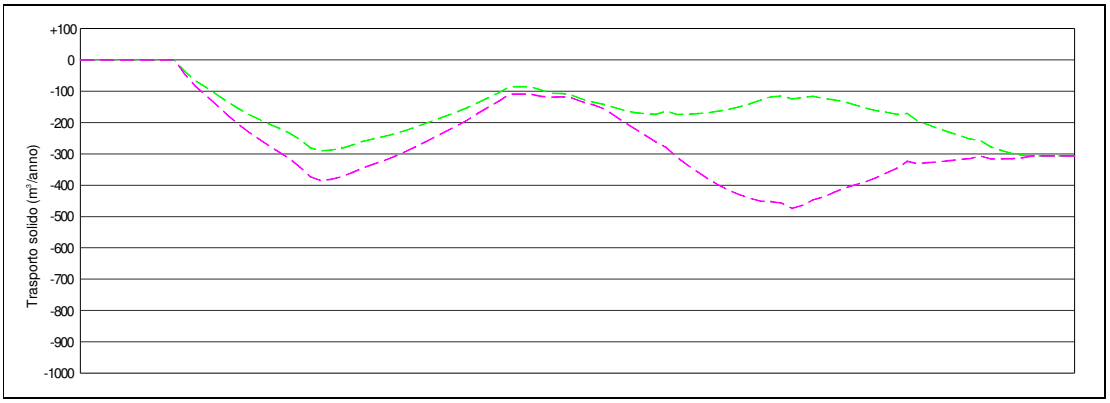


Fig. 10.1 – Andamento trasporto solido longitudinale
(configurazione attuale in verde, configurazione "1" in magenta)

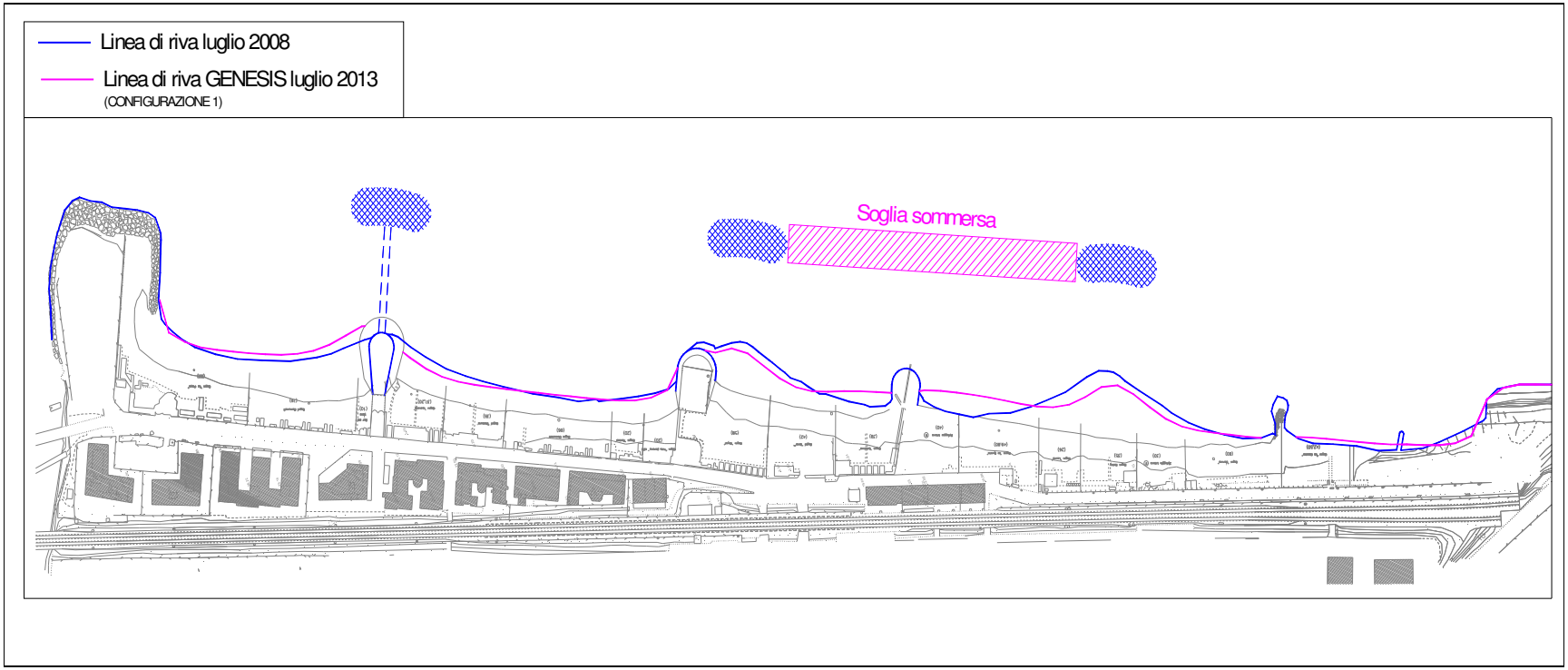


Fig. 10.2 – Evoluzione della linea di riva (evoluzione a 5 anni in configurazione "1")

10.2 Dinamica litoranea in configurazione "2"

La configurazione di progetto analizzata nel presente paragrafo prevede la realizzazione di una barriera sommersa costituita da geotubi e pietrame, di due pennelli sommersi (geotubi) e di una nuova secca (configurazione "2"), oltre a 20000 m^3 di ripascimento.
Nella successiva Fig. 10.3 viene riportato il dettaglio della batimetria per la configurazione analizzata. La configurazione è stata studiata relativamente ai seguenti aspetti: propagazione del moto ondoso, circolazione idrodinamica, trasporto solido ed evoluzione della linea di riva.

Lo studio è stato sviluppato solo per le mareggiate ritenute più significative, in particolare sono state analizzate solo le due mareggiate più severe, caratterizzate da una frequenza media annua pari a 1gg/anno (Levante - TEST1 e Scirocco - TEST2).

10.2.1 Propagazione del moto ondoso

I risultati ottenuti dalle simulazioni della propagazione del moto ondoso sottocosta (applicando il codice di calcolo STWAVE) sono rappresentati nelle successive figure (Fig. 10.4 e Fig. 10.5).

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

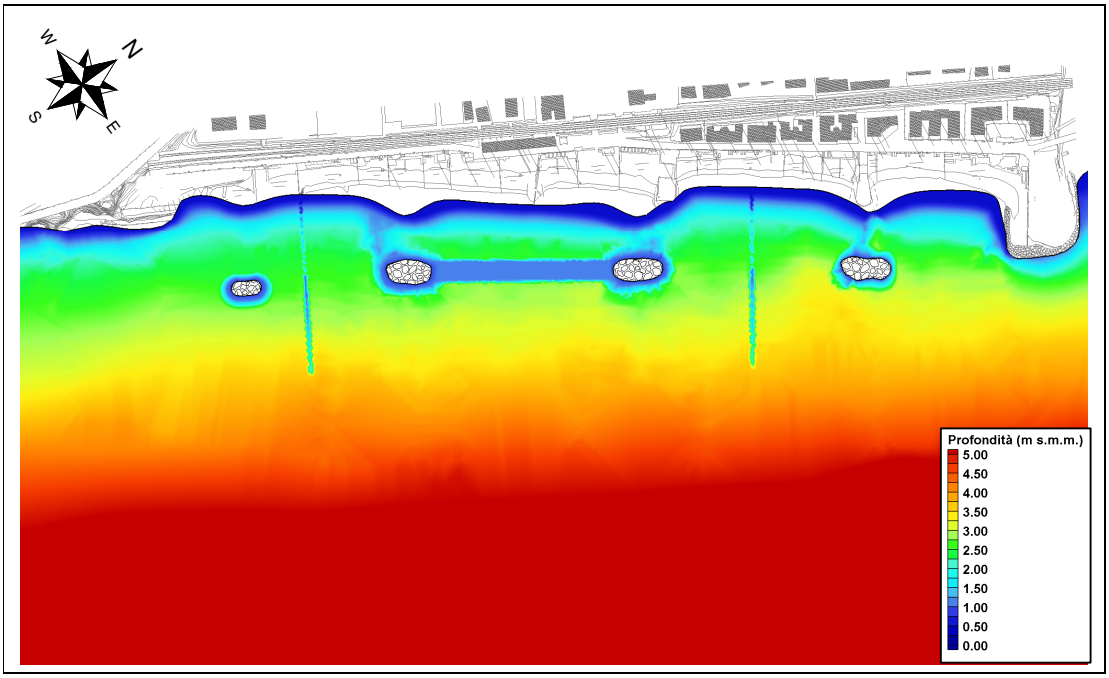


Fig. 10.3 – Dettaglio della batimetria in configurazione di progetto "2"

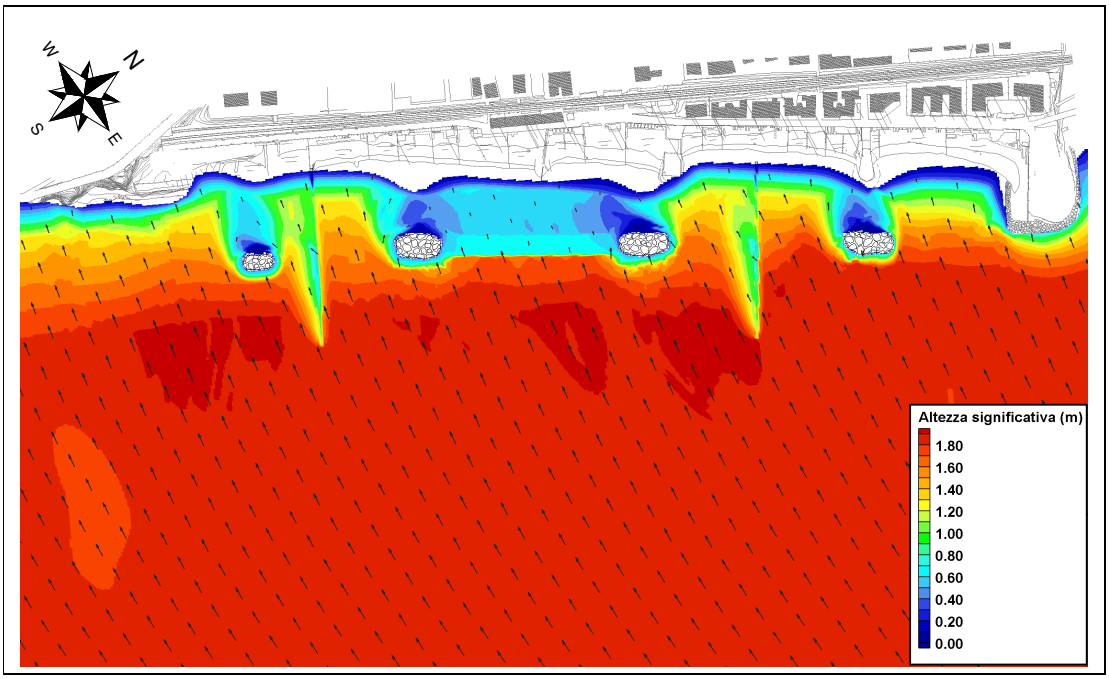


Fig. 10.4 - TEST 1 – Mareggiata di Levante (1g/anno) – Caratteristiche in P: H_S = 1.81 m, T_P= 7.7 s, Dir = 85°N

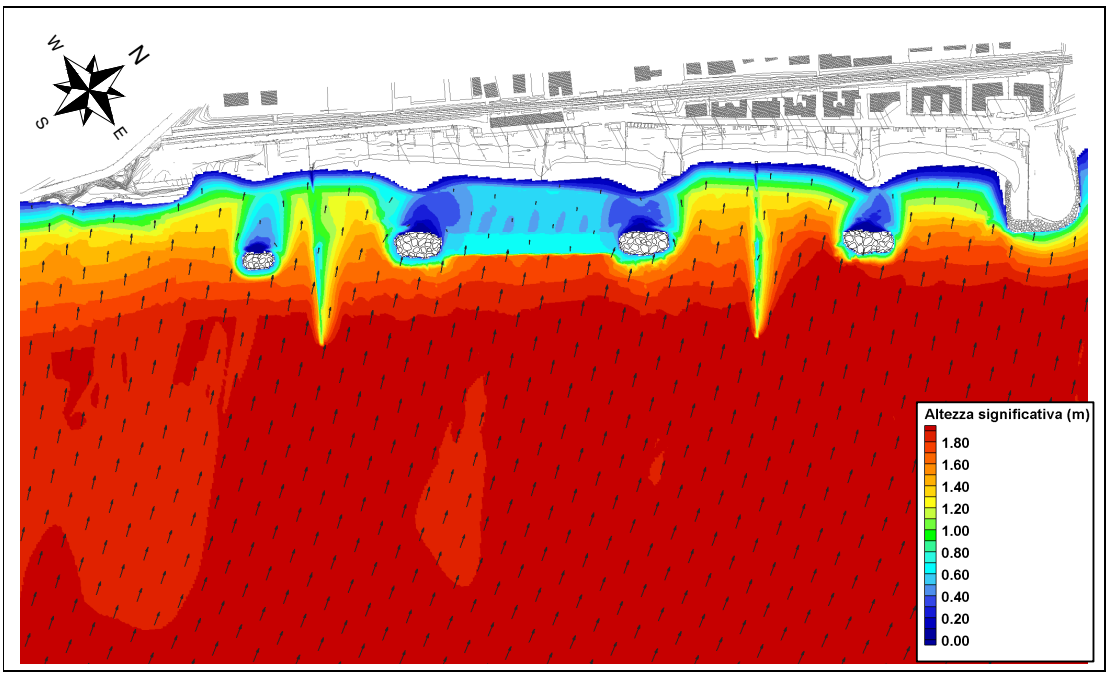


Fig. 10.5 - TEST 2 – Mareggiata di Scirocco (1g/anno) – Caratteristiche in P: H_S = 1.92 m, T_P= 7.4 s, Dir = 155°N

10.2.2 Circolazione idrodinamica

Al fine di valutare l'impatto delle nuove opere sul litorale di Borghetto S.S. si è proceduto allo studio dell'idrodinamica costiera che si instaura nei fondali a seguito della persistenza delle mareggiate caratterizzate da frequenza media annua pari a 1 g/anno, precedentemente considerate nella propagazione locale del moto ondoso.

Lo studio è stato condotto considerando un dominio modificato, inserendo le opere di progetto proposte e modificando la linea di riva e la batimetria per tener conto dei ripascimenti; in particolare, la linea di riva è stata assunta coincidente con quella risultante dalle simulazioni dell'evoluzione della linea di riva condotte con il modello GENESIS (previsione a luglio 2013), i cui risultati sono riportati nel successivo paragrafo 10.2.4.

I risultati dello studio della circolazione idrodinamica litoranea nella configurazione di progetto "2", calcolata per mezzo del codice di calcolo ADCIRC interfacciato con il codice di calcolo STWAVE, sono rappresentati nelle successive figure (Fig. 10.6 e Fig. 10.7).

I risultati riportano in forma grafica le velocità medie della corrente (mediate sulla verticale) generata dalle mareggiate: le velocità sono rappresentate in termini di gradazioni cromatiche, mentre la direzione locale della corrente viene indicata mediante vettori il cui modulo è proporzionale alla velocità stessa.

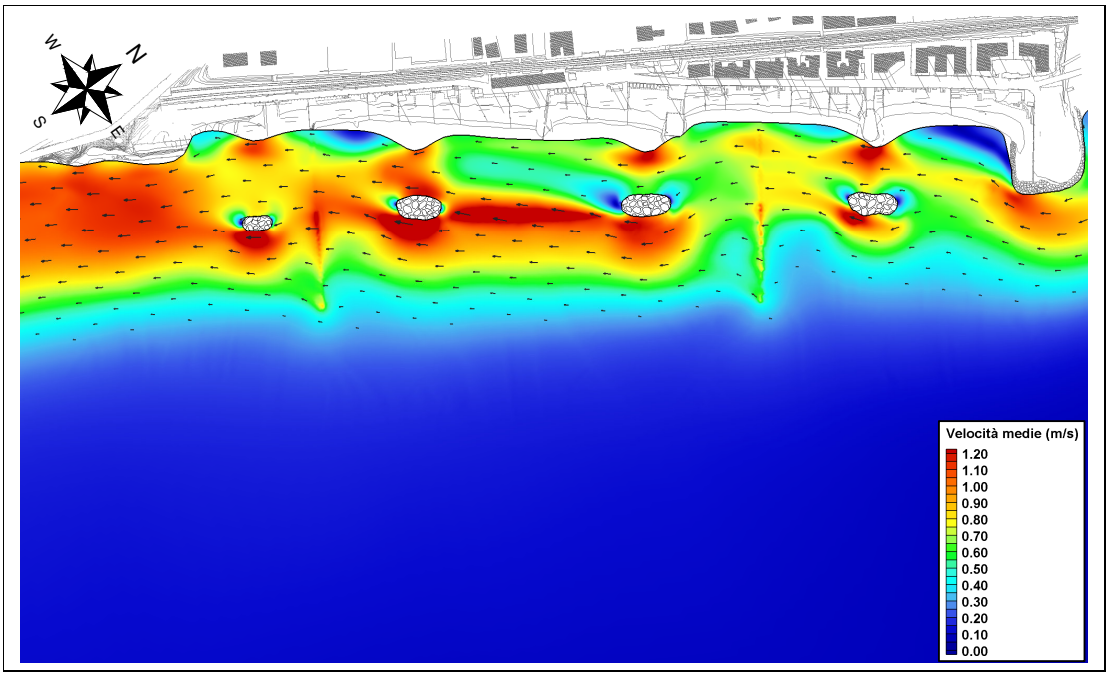


Fig. 10.6 - TEST 1 – Mareggiata di Levante – Idrodinamica litoranea configurazione "2"
Caratteristiche in P: H_S = 1.81 m, T_P= 7.7 s, Dir = 85°N

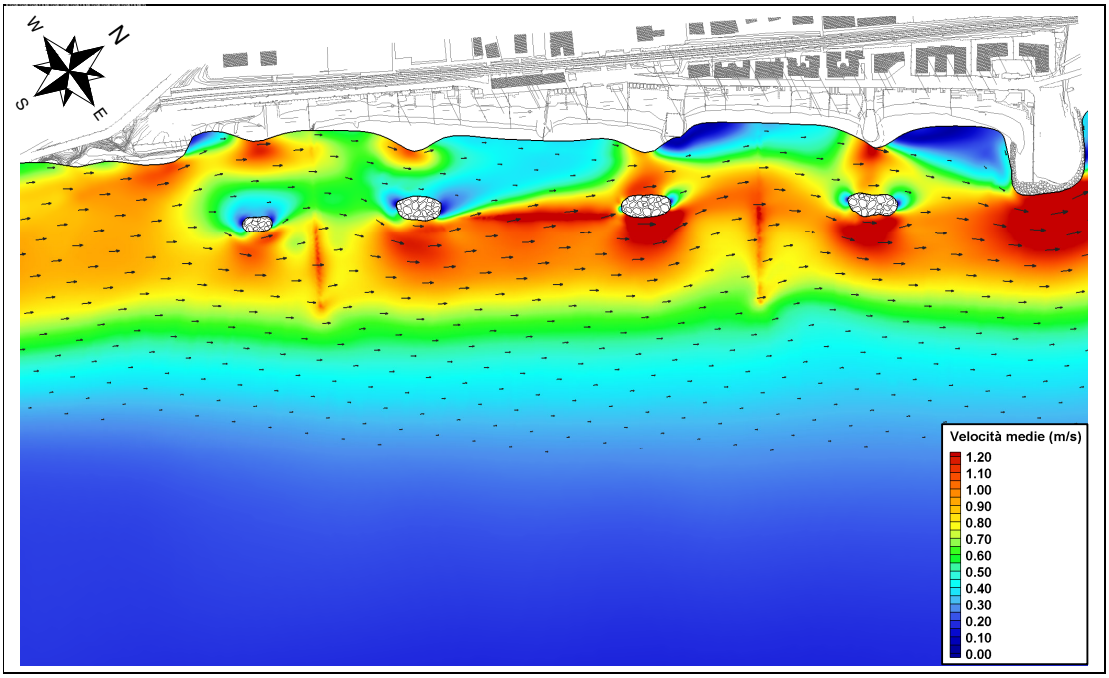


Fig. 10.7 - TEST 2 – Mareggiata di Scirocco –Idrodinamica litoranea configurazione "2"
Caratteristiche in P: H_S = 1.92 m, T_P= 7.4 s, Dir = 155°N

10.2.3 Trasporto solido

Nella fase finale dello studio è stato analizzato il trasporto solido e l'evoluzione dei fondali a seguito della persistenza delle mareggiate analizzate in precedenza, a seguito dell'inserimento delle opere di progetto ipotizzate nella configurazione "2".

I risultati delle simulazioni, ottenuti per mezzo del codice di calcolo PTM, sono rappresentati nelle successive figure (Fig. 10.8 e Fig. 10.9). Per ciascuna delle mareggiate analizzate sono stati riportati i risultati in termini di gradazioni cromatiche, che rappresentano la tendenza evolutiva del fondale.

L'evoluzione del fondale fornisce una tendenza qualitativa della dinamica litoranea in termini di deposito e di erosione; i risultati sono riportati con scala cromatica adottando un "indice" che varia da un valore pari a -1 (zona di massima erosione) ad un massimo pari a 1 (zona di massima deposizione).

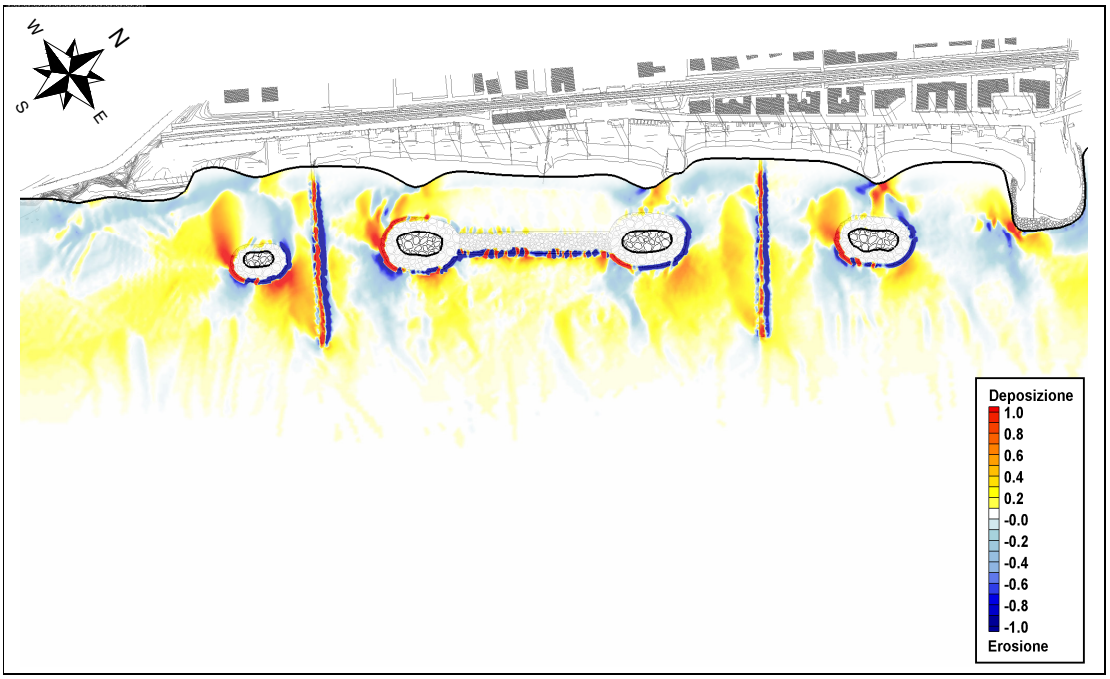


Fig. 10.8 - TEST 1 – Mareggiata di Levante – Evoluzione del fondale configurazione "2"
Caratteristiche in P: H_S = 1.81 m, T_P= 7.7 s, Dir = 85°N

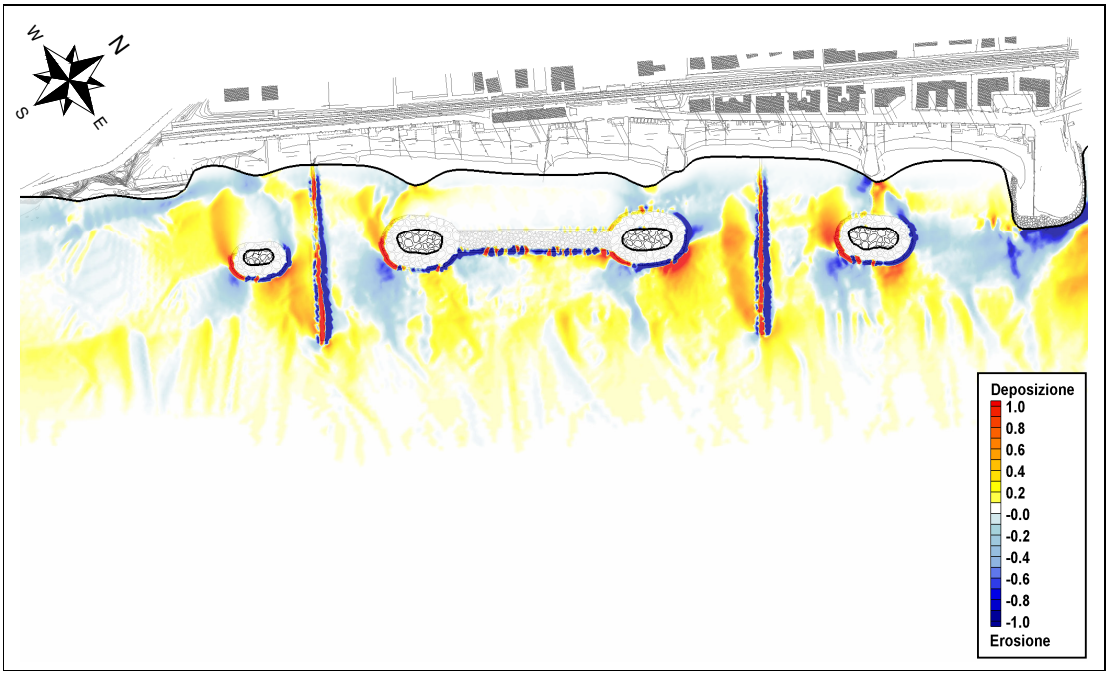


Fig. 10.9 - TEST 2 – Mareggiata di Scirocco –Evoluzione fondale configurazione "2"
Caratteristiche in P: H_S = 1.92 m, T_P= 7.4 s, Dir = 155°N

10.2.4 Evoluzione della linea di riva

Per stimare la tendenza evolutiva del litorale e confrontarla con quelle relative alle simulazioni in configurazione attuale e in configurazione "1" è stata condotta una simulazione dell'evoluzione morfologica della linea di riva a 5 anni (da luglio 2008 ad luglio 2013) in presenza degli interventi previsti nella configurazione di progetto analizzata (configurazione "2").

Le opere rigide presenti nella configurazione "2" comprendono quelle già considerate nella simulazione di evoluzione morfologica in configurazione "1" (cfr. paragrafo 10.1). Tuttavia, oltre alla barriera sommersa, questa configurazione di progetto prevede la realizzazione di una nuova secca, a Sud di quelle esistenti, l'esecuzione di un ripascimento nel tratto di litorale protetto, l'inserimento di due setti sommersi e l'eliminazione e/o accorciamento di alcuni pennelli.

La nuova secca, schematizzata in GENESIS secondo l'approccio proposto da Ahrens (cfr. Allegato A), presenta le seguenti caratteristiche (ricavate dalle sezioni di progetto fornite dal Committente)

- diametro medio dei massi 0.9 m,
- pendenza delle scarpate 1:5 (lato mare) e 1:3 (lato interno),
- larghezza del coronamento 15 m,
- lunghezza del coronamento 30 m;
- quota di coronamento +0.0 m s.m.m.
- profondità al piede (lato mare) -2.5 m s.m.m..

Il ripascimento previsto in progetto (20'000 m^3 di materiale) interessa il tratto di litorale compreso tra la prima secca e l'inizio della scogliera di Capo S. Spirito. In mancanza di ulteriori informazioni al riguardo e viste le potenzialità del codice di calcolo, che non permette di definire granulometrie differenti per il materiale nativo e per quello di apporto, si è ipotizzato di eseguire un ripascimento con materiale caratterizzato da un diametro medio dei grani pari a 0.4 mm (cfr. paragrafo 8.3.2).

I setti sommersi, realizzati con geotubi, sono stati schematizzati nel modello con dei pennelli di tipo "non diffracting" aventi permeabilità ai sedimenti pari a 0.5. La lunghezza e l'ubicazione dei setti è stata ricavata sulla base della planimetria di progetto fornita dal Committente.

Sono stati eliminati, rispetto alla configurazione attuale, i due corti pennelli presenti a Sud della seconda secca. Inoltre, auspicando di ottenere una linea di riva di forma più rettilinea, la configurazione di progetto "2" prevede di accorciare il pennello posto di fronte alla seconda secca. Pertanto, nel modello, la linea inerodibile è stata opportunamente arretrata in corrispondenza della posizione prevista per la nuova testata del pennello.

Nella successive figure vengono riportati i risultati in termini di trasporto solido longitudinale relativo all'ultimo anno di simulazione (Fig. 10.10) e in termini di evoluzione della linea di riva a 5 anni (Fig. 10.11).
Per confronto, in Fig. 10.10, viene riportato anche l'andamento del trasporto solido in configurazione attuale.

L'evoluzione della linea di riva sembra attestare una situazione relativamente favorevole, grazie soprattutto al pur modesto intervento di ripascimento effettuato. Non si ravvisa una ulteriore tendenza all'accrescimento dei tomboli, ma va comunque sottolineato che, in una scala di intervento così ridotta, gli effetti localizzati delle circolazioni prodotte dalla barriera sommersa sono difficilmente prevedibili.
L'effetto dei setti sommersi appare in ogni caso modesto, sia in termini di variazione della linea di riva che di trasporto solido.

I risultati della simulazione di evoluzione della linea di riva in configurazione "2" sono riportati in dettaglio nella tavola 4 allegata alla presente relazione.

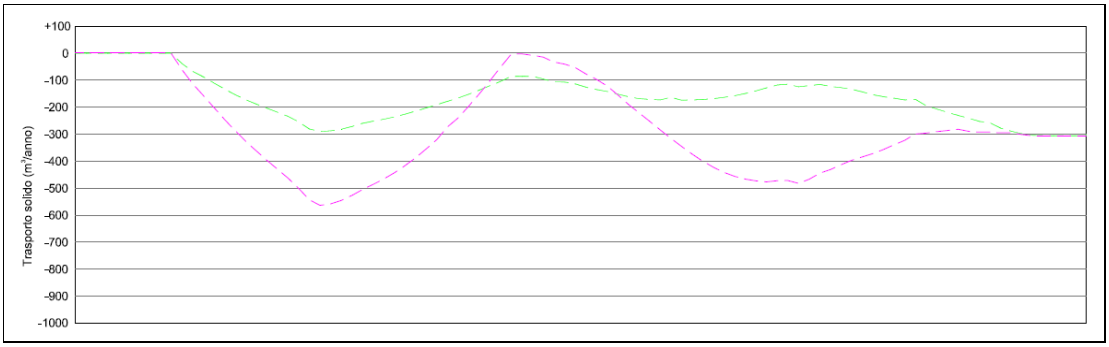


Fig. 10.10 – Andamento trasporto solido longitudinale
(configurazione attuale in verde, configurazione "2" in magenta)

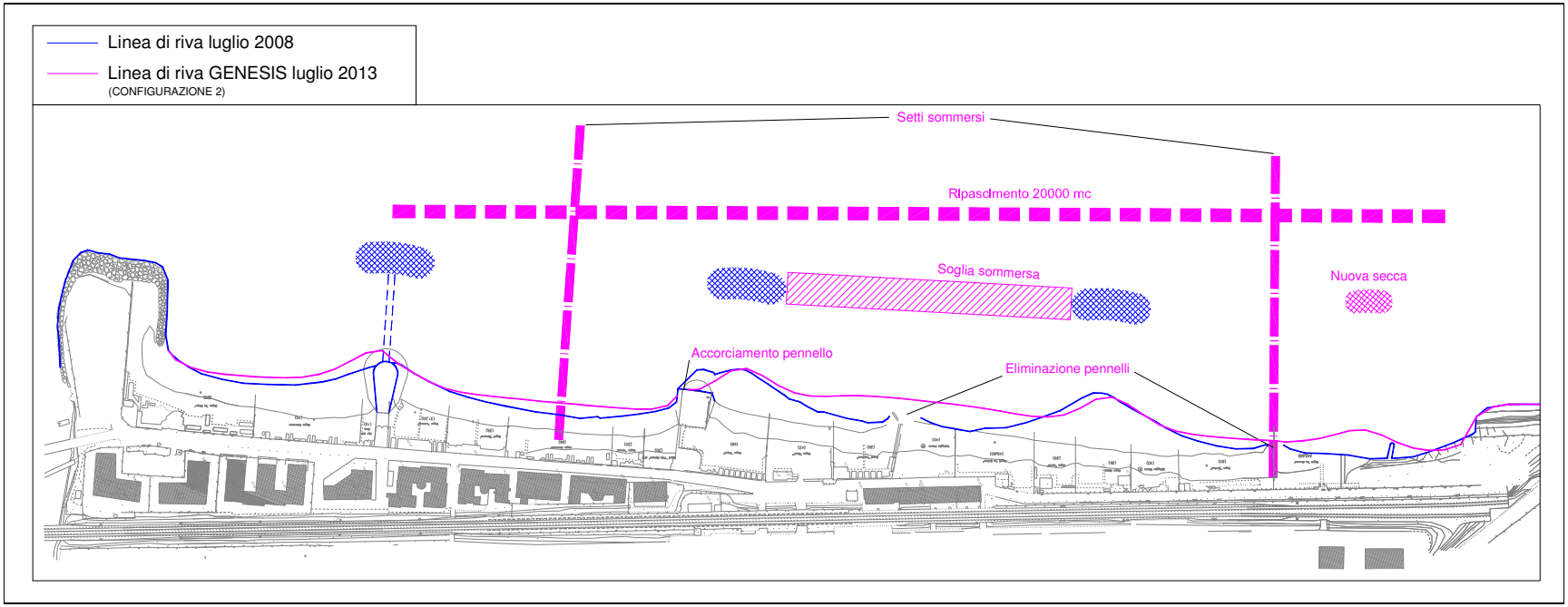


Fig. 10.11 – Evoluzione della linea di riva (evoluzione a 5 anni in configurazione "2")

10.3 Dinamica litoranea in configurazione "3"

La configurazione di progetto analizzata nel presente paragrafo prevede la realizzazione di quattro nuove secche (3 sommerse più al largo e 1 semi-affiorante) e il prolungamento sommerso del molo Italia (configurazione "3"), oltre ad un ripascimento di 20000 m^3.
Nella successiva Fig. 10.12 viene riportato il dettaglio della batimetria per la configurazione analizzata. La configurazione è stata studiata relativamente ai seguenti aspetti: propagazione del moto ondoso, circolazione idrodinamica, trasporto solido ed evoluzione della linea di riva.

Anche per questa configurazione sono state analizzate solo le mareggiate più severe, caratterizzate da una frequenza media annua pari a 1gg/anno (TEST1 e TEST2).

10.3.1 Propagazione del moto ondoso

I risultati ottenuti dalle simulazioni della propagazione del moto ondoso sottocosta (applicando il codice di calcolo STWAVE) sono rappresentati nelle successive figure (Fig. 10.13 e Fig. 10.14).

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

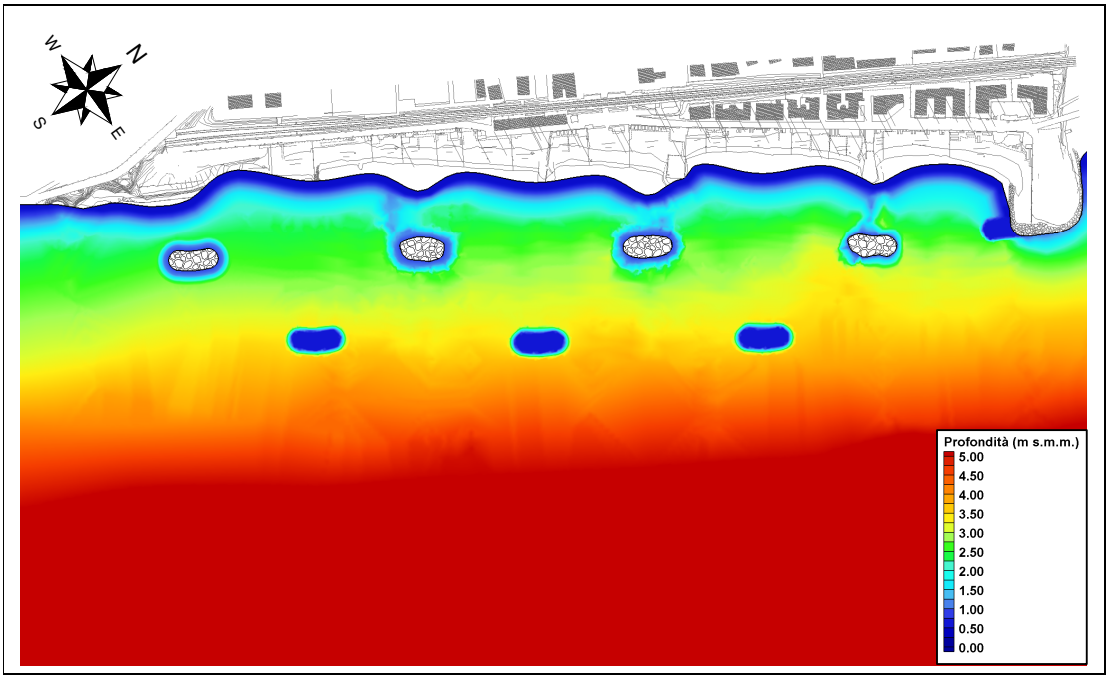


Fig. 10.12 – Dettaglio della batimetria in configurazione di progetto "3"

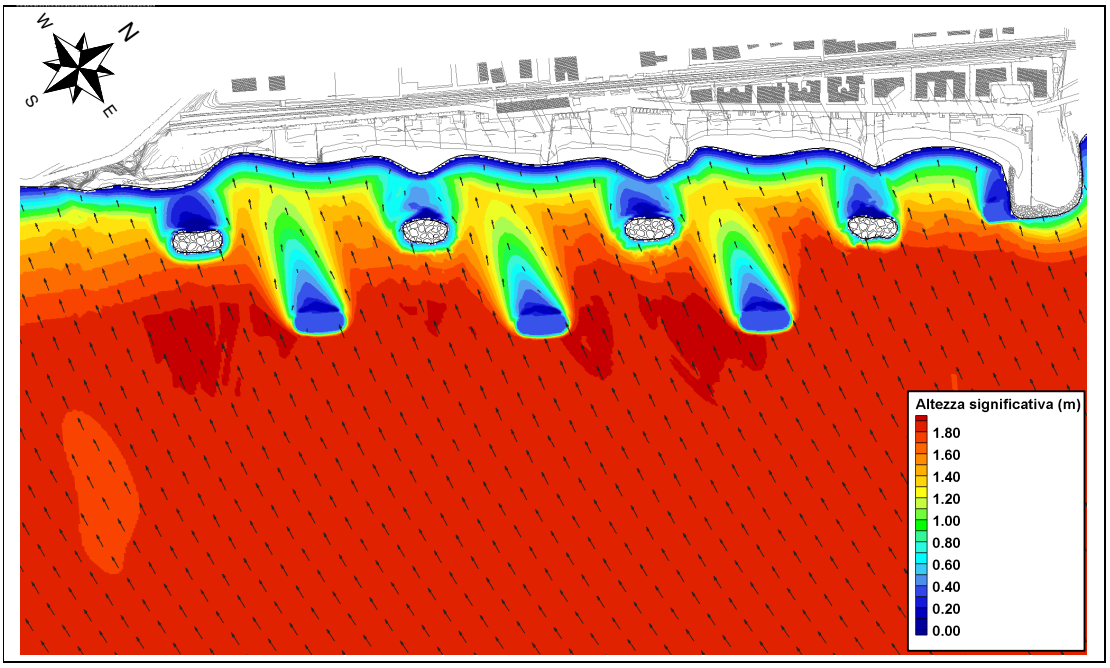


Fig. 10.13 - TEST 1 – Mareggiata di Levante (1g/anno) – Caratteristiche in P: H_S = 1.81 m, T_P= 7.7 s, Dir = 85°N

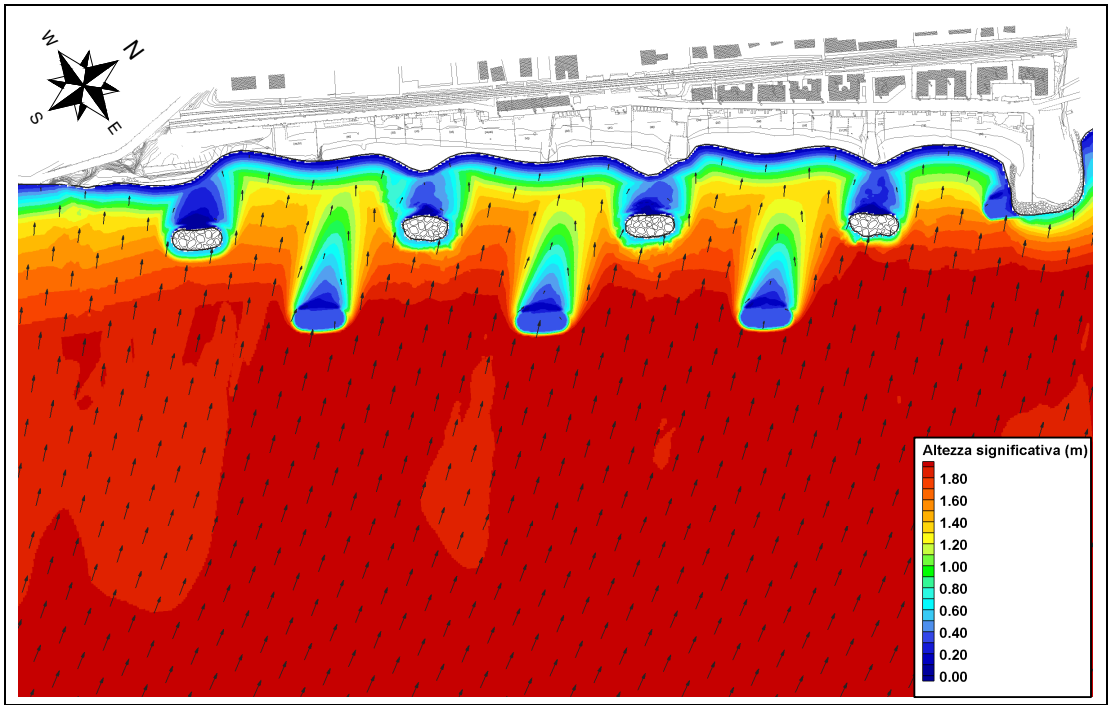


Fig. 10.14 - TEST 2 – Mareggiata di Scirocco (1g/anno) – Caratteristiche in P: H_S = 1.92 m, T_P= 7.4 s, Dir = 155°N

10.3.2 Circolazione idrodinamica

Al fine di valutare anche in questo caso l'impatto delle nuove opere sul litorale di Borghetto S.S. è stato eseguito lo studio dell'idrodinamica costiera che si instaura nei fondali a seguito della persistenza delle mareggiate caratterizzate da frequenza media annua pari a 1 g/anno, precedentemente considerate nella propagazione locale del moto ondoso.

Lo studio è stato condotto considerando il dominio modificato inserendo le opere di progetto proposte e modificando la linea di riva e la batimetria per tener conto dei ripascimenti ipotizzati; in particolare la linea di riva è stata assunta coincidente con quella risultante dalle simulazioni dell'evoluzione della linea di riva condotte con il modello GENESIS (previsione a luglio 2013), i cui risultati sono riportati nel successivo paragrafo 10.3.4 .

I risultati dello studio della circolazione idrodinamica litoranea nella configurazione di progetto "3", calcolata per mezzo del codice di calcolo ADCIRC interfacciato con il codice di calcolo STWAVE, sono rappresentati nelle successive figure (Fig. 10.15 e Fig. 10.16).

I risultati riportano in forma grafica le velocità medie della corrente (mediate sul profilo verticale) generata dalle mareggiate: le velocità sono rappresentate in termini di gradazioni cromatiche, mentre la direzione locale della corrente viene indicata mediante vettori il cui modulo è proporzionale alla velocità stessa.

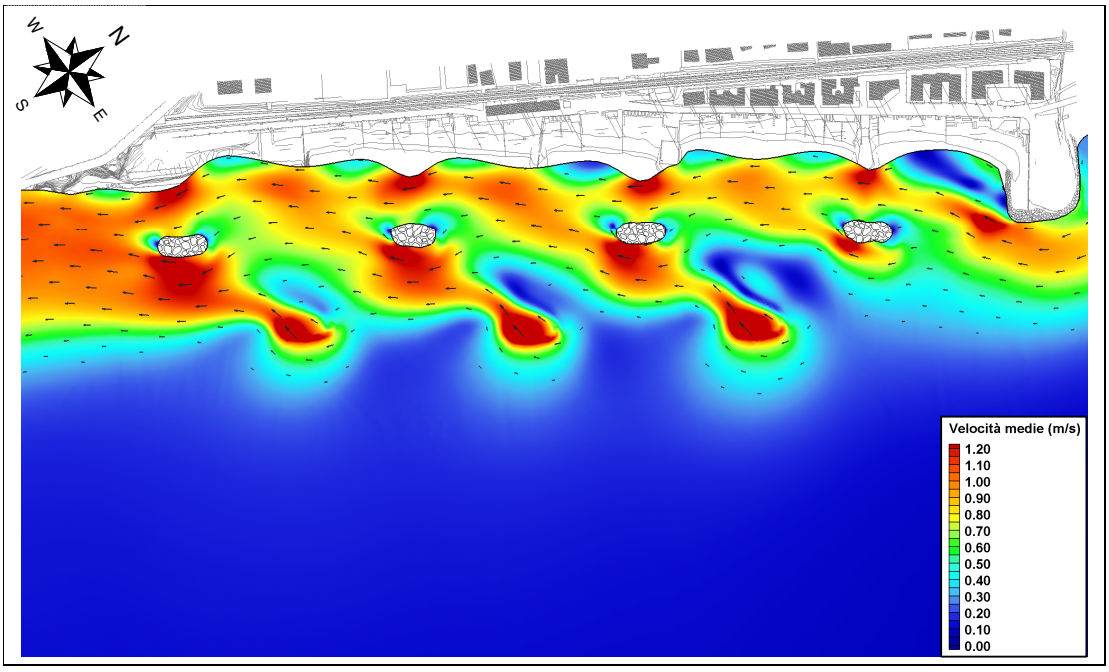


Fig. 10.15 - TEST 1 – Mareggiata di Levante – Idrodinamica litoranea configurazione "3"
Caratteristiche in P: H_S = 1.81 m, T_P= 7.7 s, Dir = 85°N

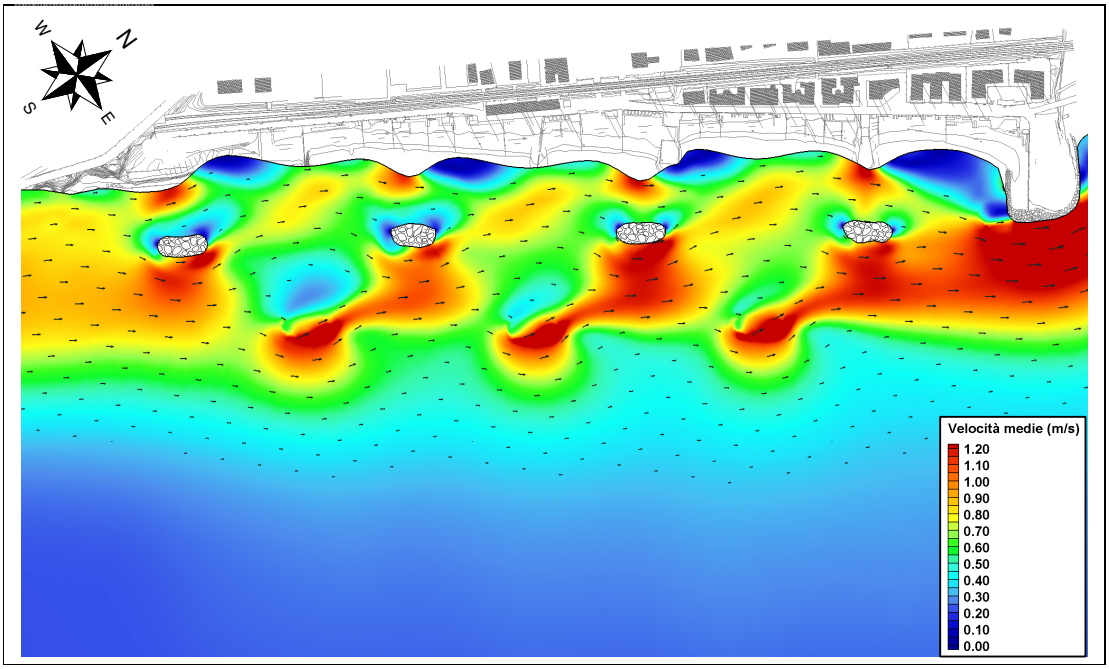


Fig. 10.16 - TEST 2 – Mareggiata di Scirocco –Idrodinamica litoranea configurazione "3"
Caratteristiche in P: H_S = 1.92 m, T_P= 7.4 s, Dir = 155°N

10.3.3 Trasporto solido

Nella fase finale dello studio è stato analizzato il trasporto solido e la tendenza evolutiva dei fondali a seguito delle mareggiate analizzate in precedenza, a seguito dell'inserimento delle opere di progetto ipotizzate nella configurazione "3".

I risultati delle simulazioni, condotte con il codice di calcolo PTM, sono rappresentati nelle successive figure (Fig. 10.17 e Fig. 10.18).
Per ciascuna delle mareggiate analizzate sono stati riportati i risultati in termini di gradazioni cromatiche, che rappresentano la tendenza evolutiva del fondale.

L'evoluzione del fondale fornisce una tendenza qualitativa della dinamica litoranea in termini di deposito e di erosione; i risultati sono stati riportati con scala cromatica adottando un "indice" che varia da un minimo pari a -1 (zona di massima erosione) ad un massimo pari a 1 (zona di massima deposizione).

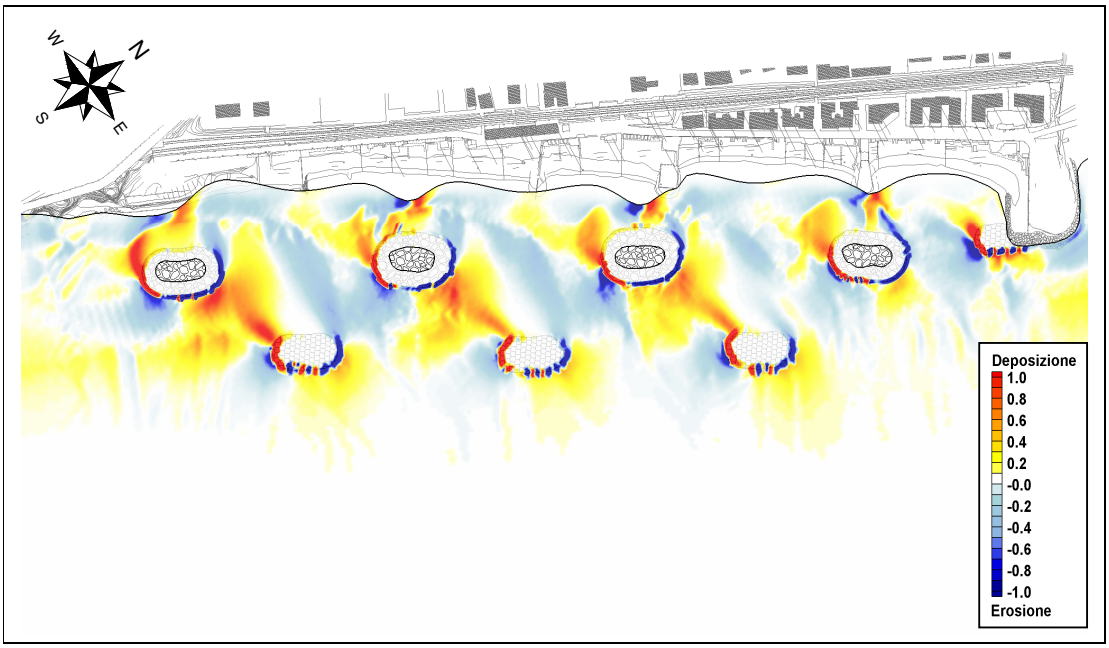


Fig. 10.17 - TEST 1 – Mareggiata di Levante – Evoluzione del fondale configurazione "3"
Caratteristiche in P: H_S = 1.81 m, T_P= 7.7 s, Dir = 85°N

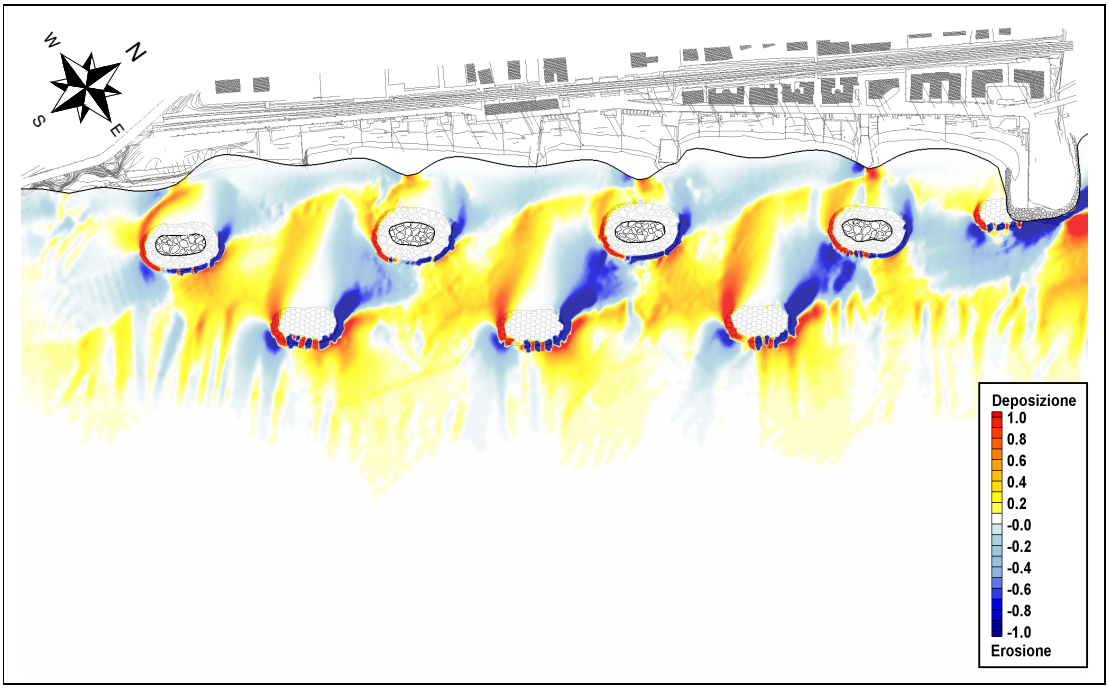


Fig. 10.18 - TEST 2 – Mareggiata di Scirocco –Evoluzione fondale configurazione "3"
Caratteristiche in P: H_S = 1.92 m, T_P= 7.4 s, Dir = 155°N

10.3.4 Evoluzione della linea di riva

Per stimare la tendenza evolutiva del litorale, e confrontarla con quelle relative alla simulazione in configurazione attuale e alle configurazioni modificate analizzata in precedenza (configurazione "1" e configurazione "2"), è stata condotta una simulazione dell'evoluzione morfologica della linea di riva a 5 anni (da luglio 2008 a luglio 2013) in presenza degli interventi previsti nella configurazione di progetto analizzata (configurazione "3").

Le opere rigide presenti nella configurazione "3" comprendono quelle considerate nella simulazione di evoluzione morfologica in configurazione attuale (cfr. paragrafo 8.4.6), alle quali si aggiungono una nuova secca semi-affiorante a Sud di quelle esistenti e altre tre secche sommerse, poste più al largo rispetto alle precedenti. Infine, in corrispondenza della testata del molo Italia (verso Sud) si prevede di realizzare una barriera sommersa di ridotte dimensioni, per favorire il mantenimento della spiaggia emersa a Sud del molo.
Come nella simulazione in configurazione "2", sono stati eliminati i due corti pennelli presenti a Sud della seconda secca ed è stato accorciato il pennello posto di fronte alla seconda secca.

L'intervento prevede anche un ripascimento di 20'000 m^3 di materiale tra la prima secca e Capo S. Spirito, schematizzato nel codice di calcolo in modo analogo a quanto previsto nella simulazione in configurazione "2" (cfr. paragrafo 10.2.4).

Per la nuova secca semi-affiorante, posta a Sud di quelle esistenti, sono state ipotizzate le seguenti caratteristiche (analoghe a quelle attribuite alla seconda e alla terza secca attualmente presenti sul litorale):

- diametro medio dei massi 0.9 m,
- pendenza delle scarpate 1:5,
- larghezza del coronamento 20 m,
- lunghezza del coronamento 50 m;
- quota di coronamento +0.0 m s.m.m.
- profondità al piede (lato mare) -2.5 m s.m.m..

Per le nuove secche sommerse poste più al largo, si è ipotizzato di realizzarle con geotubi e pietrame (in modo analogo a quanto previsto per la barriera sommersa in configurazione "1" e "2"). Pertanto le nuove secche sono state schematizzate come segue:

- diametro medio dei massi 0.5 m,
- pendenza delle scarpate verticale,
- larghezza del coronamento 20 m,
- lunghezza del coronamento 50 m;
- quota di coronamento -0.5 m s.m.m.
- profondità al piede (lato mare) -3.50m s.m.m..

Per quanto riguarda, infine, la barriera sommersa in pietrame prevista in testata del molo Italia, essa è stata schematizzata con le seguenti caratteristiche:

- diametro medio dei massi 0.9 m,
- pendenza delle scarpate 1:5,
- larghezza del coronamento 20 m,
- lunghezza del coronamento 30 m;
- quota di coronamento +0.0 m s.m.m.
- profondità al piede (lato mare) -3.0 m s.m.m..

Nella successive figure sono riportati i risultati in termini di andamento del trasporto solido longitudinale relativo all'ultimo anno di simulazione (Fig. 10.19) e in termini di evoluzione della linea di riva a 5 anni (Fig. 10.20). Anche in questo caso, per confronto, è stato rappresentato il trasporto solido ricavato dalla simulazione di evoluzione morfologica in configurazione attuale.

L'evoluzione della linea di riva risulta caratterizzata dalla formazione di una seconda serie di salienti in corrispondenza delle nuove secche, come prevedibile meno evidenti di quelli formati dalle secche più vicine a riva e il trasporto solido netto assume valori particolarmente modesti.

I risultati della simulazione di evoluzione in configurazione "3" sono riportati in dettaglio nella tavola 5 allegata alla presente relazione.

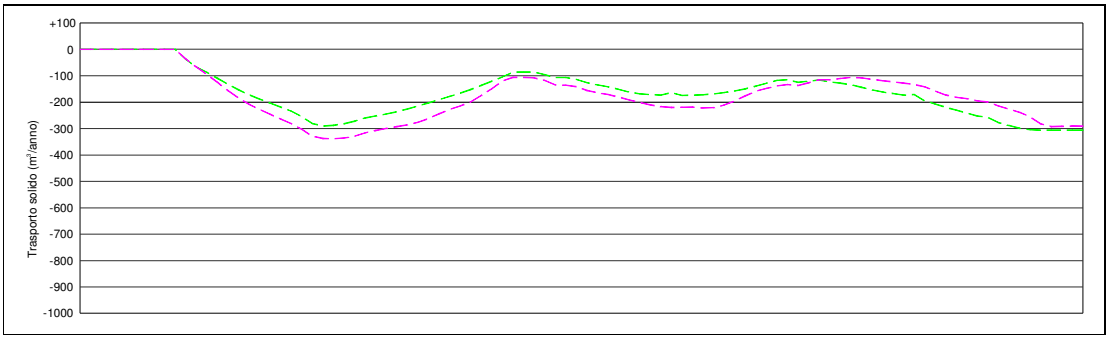


Fig. 10.19 – Andamento trasporto solido longitudinale (configurazione attuale in verde, configurazione "3" in viola)

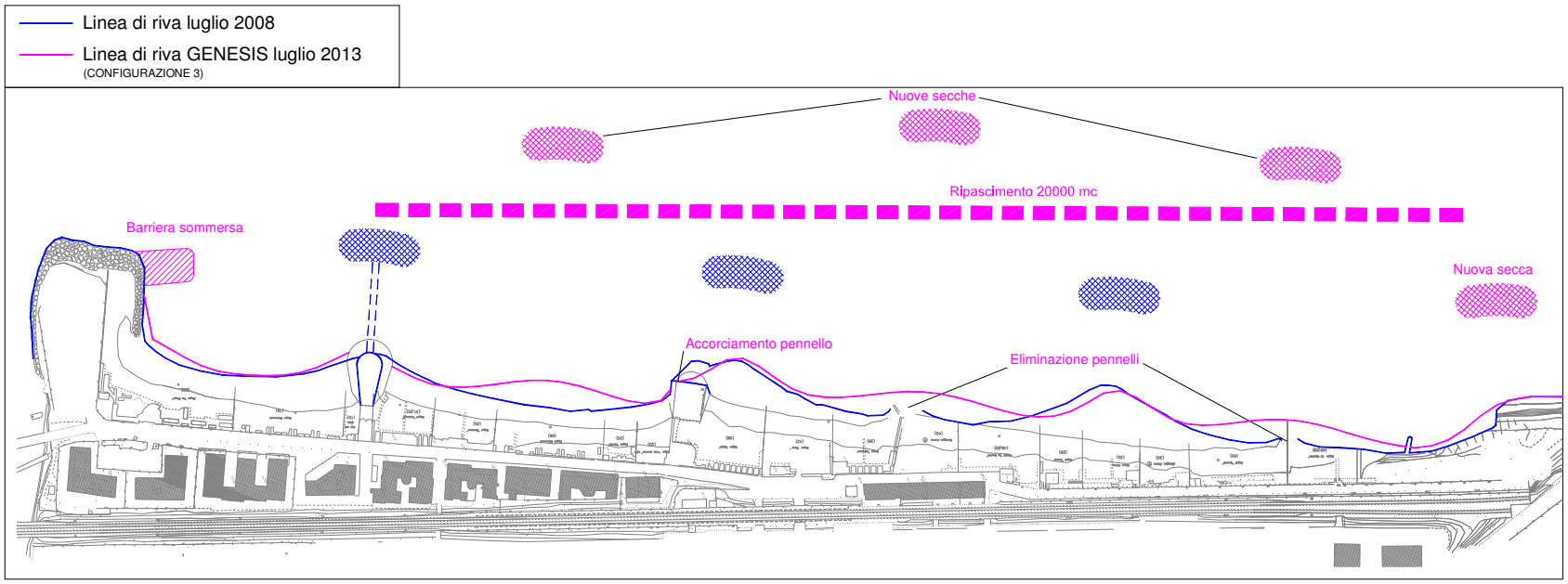


Fig. 10.20 – Evoluzione della linea di riva (evoluzione a 5 anni in configurazione "3")

10.4 Dinamica litoranea in configurazione "4"

La configurazione di progetto analizzata in questo paragrafo (configurazione "4") prevede l'esecuzione di un consistente ripascimento (40000 m^3), da effettuarsi con materiale affine a quello attualmente presente sulla spiaggia emersa. La configurazione è stata studiata unicamente in relazione all'evoluzione della linea di riva.
Per stimare la tendenza evolutiva del litorale, e confrontarla con quella relativa alla simulazione in configurazione attuale (cfr. paragrafo 8.4.6), è stata condotta una simulazione dell'evoluzione morfologica della linea di riva a 5 anni in presenza degli interventi previsti nella configurazione analizzata (da luglio 2008 ad luglio 2013).

Le opere rigide rappresentate nel modello sono le stesse considerate nella simulazione di evoluzione morfologica in configurazione attuale, descritta in dettaglio nel precedente paragrafo 8.4.6. Inoltre, come nella simulazione in configurazione "2" e "3", sono stati eliminati i due corti pennelli presenti a Sud della seconda secca ed è stato accorciato il pennello posto di fronte alla seconda secca.

Nelle successive figure sono riportati i risultati in termini di andamento del trasporto solido longitudinale relativo all'ultimo anno di simulazione (Fig. 10.21) e in termini di evoluzione della linea di riva a 5 anni (Fig. 10.22). Si sottolinea che in Fig. 10.21 viene riportato anche l'andamento del trasporto solido in configurazione attuale (paragrafo 8.4.6) ai fini di un immediato confronto dei risultati.

Si osserva un notevole avanzamento della linea di riva, che però mantiene la caratteristica forma "ondulata" dovuta alla presenza delle secche. I risultati della simulazione di evoluzione in configurazione "4" sono riportati in dettaglio nella tavola 6 allegata alla presente relazione.

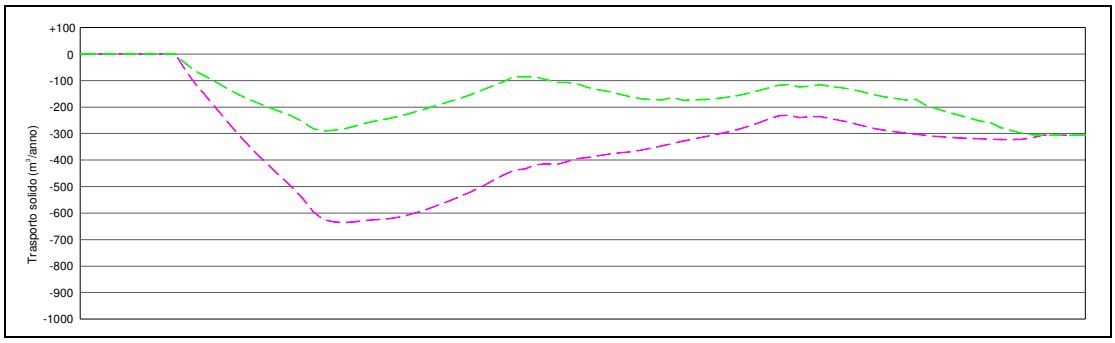


Fig. 10.21 – Andamento trasporto solido longitudinale evoluzione a 5 anni (configurazione attuale in verde, configurazione "4" in magenta)

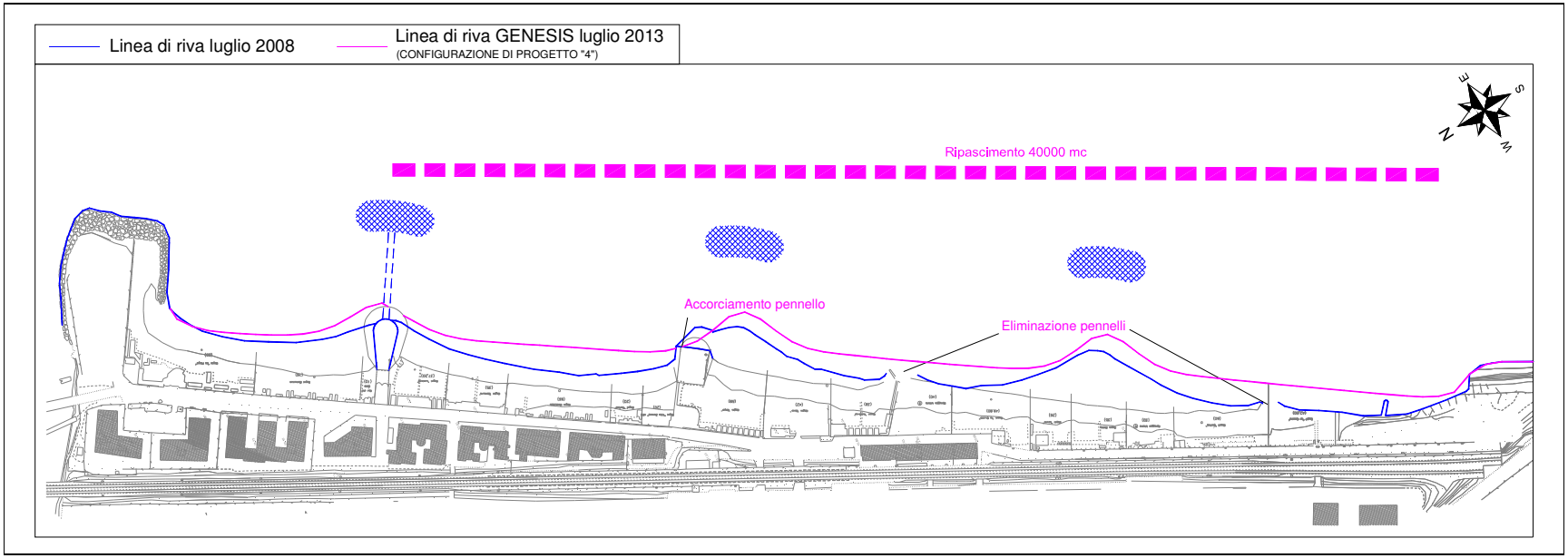


Fig. 10.22 – Evoluzione della linea di riva (evoluzione a 5 anni in configurazione "4")

11 CONCLUSIONI

Gli interventi rigidi ipotizzati, abbinati a modeste quantità di ripascimento, hanno sortito globalmente buon esito in termini di fruibilità della spiaggia, che risulta moderatamente in aumento e testimonia la buona tenuta degli apporti solidi artificiali.
L'esiguità dell'ampiezza della spiaggia emersa, rimasta sostanzialmente tale anche dopo i modesti apporti artificiali, è tuttavia diventata motivo dell'insorgenza delle principali problematiche lamentate (si rimanda al capitolo 9 per una più completa trattazione del tema).

La soluzione più logica per risolvere le problematiche lamentate consisterebbe in un "adeguato" intervento di ripascimento, che garantisca il mantenimento di una spiaggia emersa di ampiezza sufficiente a garantire, anche nei tratti più penalizzati (nella mezzeria tra due secche successive), la sicurezza delle infrastrutture a tergo della spiaggia.

Le diverse soluzioni progettuali proposte manifestano comunque una discreta efficacia nel prevenire la formazione di tratti critici lungo il litorale, cioè garantiscono una più uniforme distribuzione dell'ampiezza della spiaggia emersa.
La realizzazione di un sistema di difesa più omogeneo sembra comunque più affidabile in relazione alla possibilità di ottenere una spiaggia emersa più uniforme: la ridotta dimensione dell'area di intervento pone infatti seri interrogativi sull'importanza relativa della dinamica litoranea generale (interpretata dal modello GENESIS) e dei fenomeni localizzati legati all'effetto combinato di onde e correnti durante le mareggiate (interpretata dai modelli ADCIRC/STWAVE), difficilmente stimabile in termini quantitativi. In ogni caso va tenuto in considerazione anche l'effetto di piling-up (incremento locale del livello del mare) generato dalla presenza di barriere continue sommerse o fortemente tracimabili, la cui efficacia si è spesso dimostrata limitata.

L'effetto dei pennelli sommersi è scarsamente percepibile in un contesto dove il trasporto solido netto è trascurabile (l'apporto di sedimenti dalle spiagge sopraflutto è ormai cessato, almeno con riferimento a quelli più grossolani che costituiscono la spiaggia emersa) e la dinamica è quella caratteristica delle pocket beaches, dove i sedimenti tendono a muoversi nel ristretto contesto della piccola falcata compresa tra Capo S. Spirito e il molo Italia.
Sembra invece opportuno provvedere alla realizzazione della quarta secca sull'allineamento delle tre esistenti, al fine di garantire la presenza di una minima ampiezza di spiaggia emersa anche al litorale più prossimo al Capo S. Spirito, la cui crisi è stata accentuata dalla capacità delle secche di intrappolare i sedimenti mobilizzati tra il molo Italia e il Capo.

Infine, la realizzazione di un ripascimento di 20000 m^3 sembra adatta a compensare le criticità generate dall'andamento non uniforme della linea di riva; il quantitativo è tuttavia modesto e sembrerebbe quanto mai opportuno aumentarlo per consentire il salpamento di tutte le opere presenti sulla battigia, il cui effetto è probabilmente quello di generare ulteriori singolarità nell'evoluzione della linea di riva e dei fondali.

ALLEGATO A

DESCRIZIONE CODICI DI CALCOLO

INDICE

1 DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO SWAN 2

1.1 CAPACITÀ E LIMITAZIONI DI SWAN 2

1.2 CENNI SULLA FORMULAZIONE DEL MODELLO SWAN 2

1.3 EQUAZIONE DI CONSERVAZIONE DELL'AZIONE 3

1.4 CENNI SULLA NUMERICA DI SWAN 5

2 DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO STWAVE 6

3 DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO ADCIRC 10

3.1 CARATTERISTICHE GENERALI DI ADCIRC 10

3.2 EQUAZIONI DEL MOTO 10

3.3 CONDIZIONI AL CONTORNO 12

4 DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO PTM 13

4.1 CARATTERISTICHE GENERALI DI PTM 13

4.2 METODO DI CALCOLO 14

5 DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO GENESIS 16

5.1 ANDAMENTO DEL TRASPORTO SOLIDO LONGITUDINALE E VALUTAZIONE DEL BYPASS 19

5.2 PROFILO TRASVERSALE DEL LITORALE 20

5.3 PROFONDITÀ DI CHIUSURA E ALTEZZA DI SWASH 20

5.4 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL FRANGIMENTO 21

5.5 SCHEMATIZZAZIONE DELLE BARRIERE FRANGIFLUTTI 22

5.5.1 D'Angremond e al. (1996) 23

5.5.2 Seabrook e Hall (1998) 23

5.5.3 Ahrens (2001) 24

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 2.1 – Spettro monodimensionale 6
Fig. 2.2 – Convenzioni griglia STWAVE 8
Fig. 2.3 – Input e Output STWAVE 8
Fig. 5.1 – Schematizzazione del litorale 16
Fig. 5.2 – Notazione utilizzata 22

1 DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO SWAN

Il modello SWAN (Simulation WAves Nearshore) è un modello numerico espressamente sviluppato per ottenere stime attendibili dei parametri d'onda in aree costiere. Il modello si basa sull'equazione di conservazione dell'azione, e tiene conto di varie forzanti e fattori dissipativi. SWAN è un modello della terza generazione, cioè dinamico e completamente spettrale in frequenza e direzione. Il modello è stato sviluppato dall'Università di Delft (Olanda) e conta ormai come utenti - validatori moltissimi Istituti di Ricerca in più di trenta paesi.

1.1 Capacità e limitazioni di SWAN

Il modello SWAN può tenere conto dei seguenti processi: rifrazione dovuta al fondo e ai gradienti di corrente, shoaling dovuto al fondo e ai gradienti di corrente, blocking e riflessione dovuti alla corrente. Il modello inoltre considera le seguenti forzanti/processi dissipativi: generazione dovuta al vento, dissipazione dovuta al whitecapping, frangimento, attrito al fondo, ridistribuzione dell'energia sullo spettro dovuta ad interazioni non lineari (interazioni a tre e a quattro onde).
Si ricorda che la significatività dei risultati di qualsiasi modello di propagazione di moto ondoso è vincolata alla qualità dei dati impiegati. In particolare per SWAN, in acque basse (prima della zona dei frangenti) i risultati dipendono in maniera critica dall'attrito sul fondo. In presenza di informazioni dettagliate sul fondo (materiale, conformazione ecc) e di una taratura mediante misure in sito i risultati sono generalmente affetti da un errore inferiore al 5% per quanto riguarda l'altezza d'onda ed inferiore al 10% per il periodo.

1.2 Cenni sulla formulazione del modello SWAN

In SWAN le onde sono modellate mediante uno spettro bidimensionale della densità d'azione. Lo spettro considerato è quello della densità d'azione $N(\sigma,\theta)$ e non quello della densità d'energia $E(\sigma,\theta)$, in quanto la densità d'azione si conserva anche in presenza di correnti, mentre cio' non accade per la densità di energia (Whitham, 1974). Le variabili indipendenti sono la frequenza relativa σ (osservata in un sistema di riferimento che si muove con la velocità di propagazione dell'azione) e la direzione dell'onda θ. La densità di azione è pari alla densità di energia divisa per la frequenza:

$$N(\sigma,\theta) = E(\sigma,\theta)/\sigma .$$

1.3 Equazione di conservazione dell'azione

In SWAN l'evoluzione dello spettro è descritta dall'equazione di conservazione dell'azione spettrale che, in coordinate cartesiane è (Hasselmann et al., 1973):

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma}.$$

Il primo termine del primo membro rappresenta la variazione locale, in funzione del tempo, della densità di azione; il secondo e terzo termine rappresentano la propagazione dell'azione nello spazio (con velocità di propagazione c_x e c_y rispettivamente in x- e y-). Il quarto termine rappresenta lo shift della frequenza relativa dovuta a variazioni di profondità e a correnti (con velocità di propagazione c_σ nello spazio σ). Il quinto termine rappresenta la rifrazione indotta dalla batimetria e dalla corrente (con velocità di propagazione c_θ nello spazio θ). Le suddette velocità di propagazione sono ricavate dalla teoria lineare (Dingemans, 1997). Il termine S (=$S(\sigma,\theta)$) a secondo membro è il cosiddetto termine sorgente e rappresenta gli effetti generativi, dissipativi e le interazioni non lineari. Di seguito viene riportata, in breve, la formulazione dei vari termini sorgenti.

Input dovuto al vento

Il trasferimento di energia dal vento alle onde è descritto in SWAN sulla base del meccanismo di risonanza di Phillips (1957) e del meccanismo di feedback di Miles (1957). Il corrispondente termine sorgente può essere schematizzato come la somma di una crescita lineare e di una esponenziale:

$$S_{in}(\sigma,\theta) = A + B\ E(\sigma,\theta),$$

dove A e B dipendono dalla frequenza e dalla direzione dell'onda e dalla frequenza e direzione del vento. L'effetto di correnti è modellato in SWAN mediante l'uso, per il vento, della velocità e direzione apparenti. L'espressione per A è dovuta a Cavaleri e Malanotte-Rizzoli (1981), come modificata da Tolman (1992). L'espressione per B è mutuata dalla versione più recente del modello WAM (WAM Cycle 4, Komen et al., 1994). E' dovuta a Janssen (1991) e tiene conto delle interazioni tra vento e onde considerando esplicitamente effetti atmosferici di interfaccia e la lunghezza d'onda caratteristica della superficie del mare. Il corrispondente insieme di equazioni viene risolto mediante la procedura iterativa di Mastenbroek et al. (1993).

Dissipazione

I termini dissipativi sono rappresentati dalla somma di tre contributi: whitecapping $S_{ds,w}(\sigma,\theta)$, attrito sul fondo $S_{ds,b}(\sigma,\theta)$ e frangimento dovuto alla profondità $S_{ds,br}(\sigma,\theta)$. Il whitecapping è essenzialmente controllato dalla ripidità dell'onda. La formulazione del fenomeno è basata su un adattamento del modello di Hasselmann (WAMDI group 1988):

$$S_{ds,w}(\sigma,\theta) = -\Gamma \tilde{\sigma}\frac{k}{\tilde{k}}E(\sigma,\theta)$$,

dove Γ è un coefficiente che dipende dalla ripidità dell'onda, *k* è il numero d'onda, $\tilde{\sigma}$ e $\tilde{k}$ sono rispettivamente la frequenza media e il numero d'onda medio. Il coefficiente Γ è basato sull'espressione di Janssen (1991).

La dissipazione energetica dovuta alle interazioni con il fondo può essere causata dall'attrito sul fondo, da movimenti del materiale del fondo, da percolazione e riflessione dovuta ad irregolarità del fondo stesso. Il meccanismo dominante è l'attrito sul fondo, che può essere rappresentato come:

$$S_{ds,b}(\sigma,\theta) = -C_{bottom}\frac{\sigma^2}{g^2\sinh^2(kd)}E(\sigma,\theta)$$,

dove C_{bottom} è il coefficiente di attrito sul fondo. A partire dal primo lavoro di Putnam e Johnson (1949), sono stati proposti moltissimi modelli per la stima di C_{bottom}. Dal momento che nelle aree costiere le condizioni del fondo (caratteristiche del materiale, conformazione del fondo, ecc.) sono estremamente varie, non esiste evidenza sperimentale che porti a preferire una qualche formulazione per il coefficiente di attrito. Per questo motivo in SWAN sono attualmente implementati solo i modelli più semplici: il modello empirico JONSWAP di Hasselmann et al. (1973), il modello di Madsen et al. (1988) ed il modello di Collins (1972). L'utente deve scegliere la formulazione ed i coefficienti che più si adattano alle caratteristiche del fondale. In mancanza di informazioni dettagliate, il modello usa dei coefficienti di attrito che garantiscono la conservatività dei risultati. L'effetto della corrente sulla dissipazione dovuta all'attrito sul fondo non è modellata, essendo di ordine superiore Tolman (1992b).

Il processo del frangimento spettrale dovuto alla profondità è ancora poco conosciuto. Al contrario, la dissipazione totale (cioè integrata su tutto lo spettro) può essere ben modellata (Battjes and Janssen, 1978; Thornton and Guza, 1983). Il modello di Battjes e Janssen è stato perfezionato in termini spettrali da Eldeberky e Battjes (1995).

Generalizzando la loro espressione per includere le direzioni, si ottiene la formulazione implementata nel modello:

$$S_{ds,br}(\sigma,\theta) = -\frac{D_{tot}}{E_{tot}}E(\sigma,\theta)$$,

dove E_{tot} è l'energia totale dell'onda e D_{tot} rappresenta la dissipazione dell'energia totale dovuta al frangimento, come in Battjes e Janssen (1978). Il valore di D_{tot} dipende dal valore del parametro $\gamma = H_{max}/d$ (dove H_{max} è la massima altezza possibile per un'onda monocromatica, in una profondità *d*). In SWAN all'indice di frangimento viene dato un valore costante γ = 0.73 (che costituisce la media del data set riportato in Battjes e Stive, 1985). Come opzione si può impostare un valore di γ variabile in funzione della pendenza del fondo, come suggerito da Nelson (1987, 1994), oppure in

funzione della ripidità dell'onda al largo, come suggerito dagli stessi Battjes e Stive (1985) nei casi di onda irregolare.
SWAN può stimare la trasmissione delle onde oltre una struttura semisommersa, tramite la formulazione di Goda et al. (1967), modificata secondo Seelig (1979) per tenere conto della sezione della barriera. Il programma può inoltre tenere conto del set-up indotto dall'onda, secondo la procedura avanzata da Dingemans (1997). Se non diversamente specificato, il setup viene assunto come nullo nel punto più profondo della griglia di calcolo.

Interazioni non lineari
In acque profonde, le interazioni a quattro onde dominano l'evoluzione dello spettro. Queste interazioni trasferiscono energia dal picco verso le basse frequenze (con l'effetto netto di diminuire la frequenza di picco) e verso le alte frequenze (aumentando così l'energia dissipata dal whitecapping). In acque molto basse, le interazioni a tre onde trasferiscono l'energia dalle basse alle alte frequenze, dando luogo ad armoniche di ordine superiore (Beji and Battjes, 1993).
In SWAN il calcolo delle interazioni a quattro onde è eseguito tramite la tecnica "Discrete Interaction Approximation" (DIA) di Hasselmann et al. (1985), tecnica che è risultata efficace nel descrivere lo sviluppo dello spettro (Komen et al., 1994).
Il calcolo delle interazioni a quattro onde è eseguito tramite la tecnica "Lumped Triad Approximation" (LTA) sviluppata da Eldeberky (1996). Questa tecnica si è dimostrata utile nel descrivere il trasferimento di energia dal picco dello spettro verso le armoniche di ordine superiore.

1.4 Cenni sulla numerica di SWAN

L'integrazione dell'equazione di bilancio dell'azione è stata implementata in SWAN mediante uno schema alle differenze finite in tutte e cinque la dimensioni (tempo, spazio e direzione spettrale).
Nel modello lo spettro è discretizzato con una risoluzione direzionale costante (tipicamente 30° o 15°) e una risoluzione in frequenza con f_n/f_{n+1} costante (in genere =1.1). Le frequenze (tipicamente 15-30) sono definite tra una frequenza minima (tipicamente 0.6 fp) ed una frequenza massima (tipicamente 2.5 fp). Per frequenze superiori alla frequenza massima il modello aggiunge una "coda" allo spettro, per rendere possibile il calcolo delle interazioni non lineari ad alta frequenza e per calcolare i parametri integrati. In SWAN questa coda viene calcolata seguendo la formulazione di Phillips (1985).
Per la propagazione lo schema numerico di SWAN è uno schema "upwind" implicito del primo ordine nello spazio geografico (x-y). Uno schema implicito, essendo incondizionatamente stabile, permette di usare passi di integrazione lunghi. Molti anni di sperimentazione e validazione del modello di seconda generazione HISWA (Holthuijsen et al., 1989) hanno mostrato che lo schema numerico usato è sufficientemente accurato nello spazio geografico. Nello spazio spettrale è tuttavia richiesta, specialmente in acque basse, una maggiore accuratezza. Questa è stata ottenuta integrando, nello spazio spettrale, lo schema di primo ordine con uno schema del secondo ordine ad approssimazione centrale (più economico, in termini computazionali, di uno schema "upwind" di secondo ordine). I due schemi vengono combinati linearmente mediante due coefficienti di somma unitaria.
Le condizioni al contorno in SWAN, sia nello spazio geografico che spettrale, sono di completo assorbimento dell'energia che esce dalla griglia di calcolo o che attraversa la linea di riva. L'energia entrante dai bordi della griglia di calcolo deve essere indicata dall'utente, con particolare cautela sui bordi che intersecano la linea di riva.

2 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. 2.1.

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).

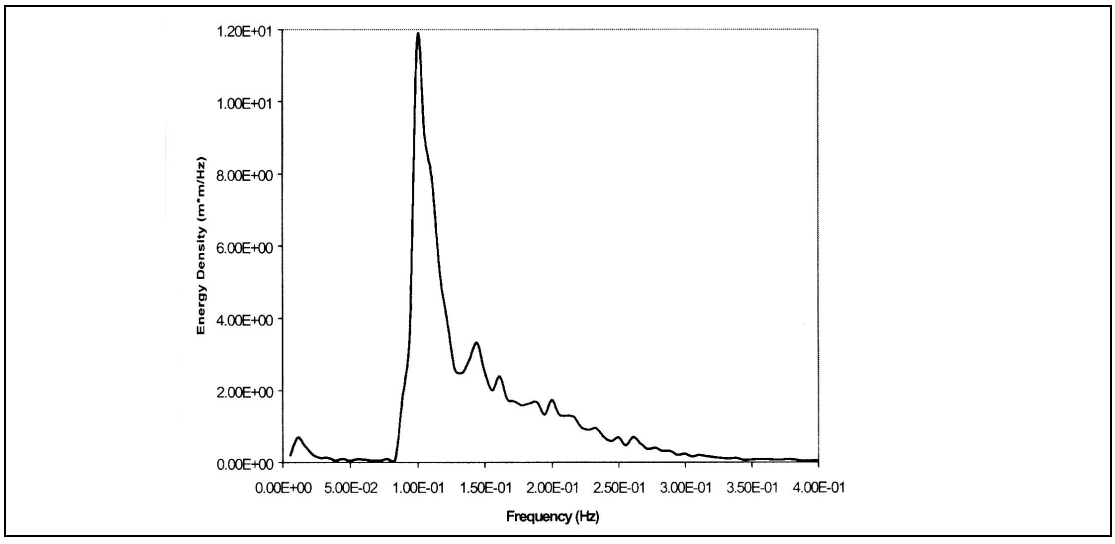


Fig. 2.1 – Spettro monodimensionale

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. 2.2.
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. 2.3 gli input e gli output forniti dal modello.

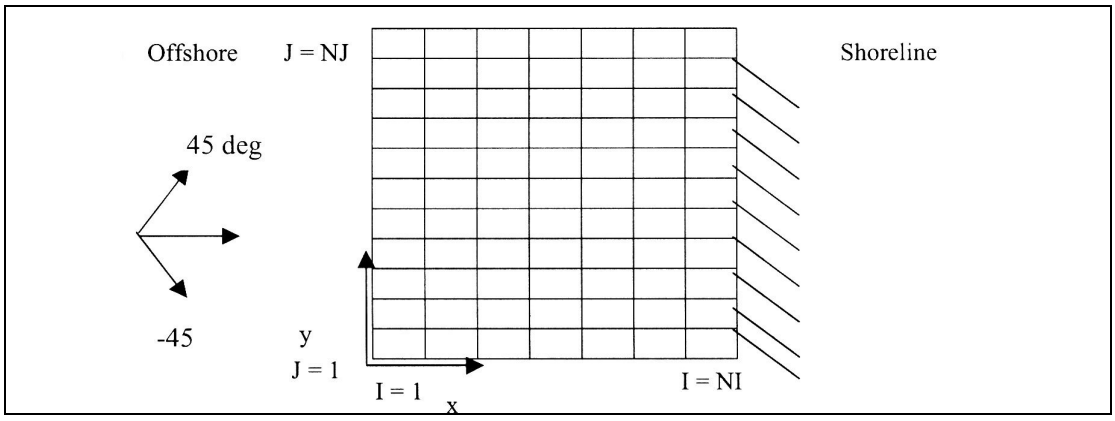


Fig. 2.2 – Convenzioni griglia STWAVE

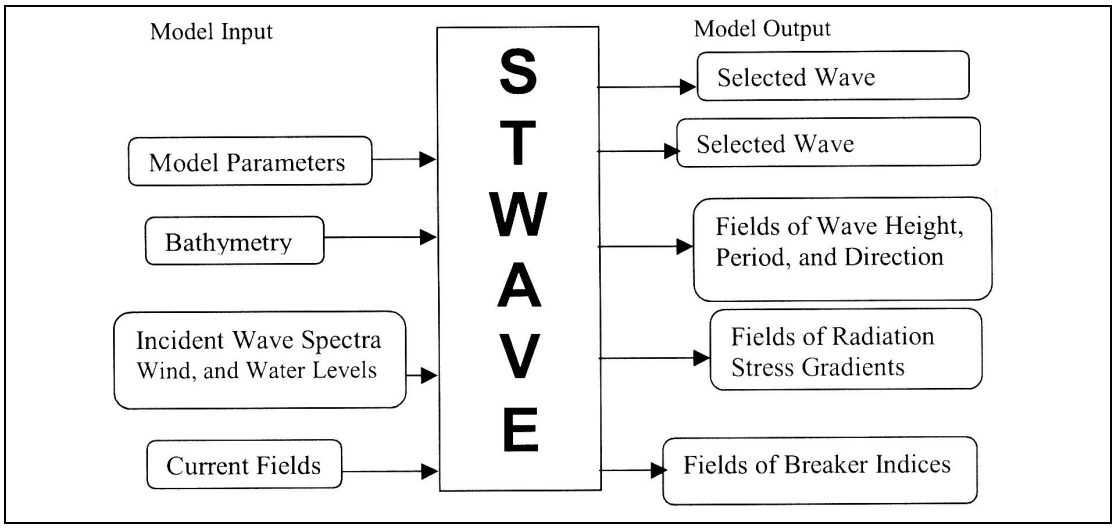


Fig. 2.3 – Input e Output STWAVE

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*).

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. 2.1. 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
17	7	22
18	7	26
19	8	28
20	8	30

Tab. 2.1 – Correlazione tra parametri spettrali (Thompson et al., 1996)

3 DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO ADCIRC

Il codice di calcolo ADCIRC (ADvanced CIRCulatio model) è stato sviluppato dall'U.S. Army Corpf of Engeneers (USACE), insieme alla University of North Carolina at Chapel Hill e alla University of Notre Dame.
Il modello è in grado di simulare i processi idrodinamici risolvendo le equazioni di moto delle circolazioni marine che avvengono sulla superficie terrestre su larga scala, tendo conto anche dell'effetto della rotazione terrestre.

Nel presente paragrafo vengono riportate le equazioni fondamentali alla base del modello e vengono descritti i principi e le funzionalità del modello, rimandando alle specifiche documentazioni per la descrizione completa dei fondamenti scientifici e le formulazioni numeriche del modello.

3.1 Caratteristiche generali di ADCIRC

ADCIRC è un codice agli elementi finiti in grado di simulare la circolazione idrodinamica indotta da forzanti quali marea, vento, pressione atmosferica, forza di Coriolis e moto ondoso. ADCIRC può essere utilizzato sia come modello bidimensionale (integrato sulla verticale) che come modello realmente tridimensionale, quando la complessità degli studi potesse richiederlo.

L'impiego della tecnica agli elementi finiti rende possibile, in ADCIRC, la modellazione di regioni aventi forme complesse. Con questo approccio il dominio di calcolo viene discretizzato con una maglia di elementi triangolari con dimensioni variabili in funzione delle caratteristiche locali del fondale e della complessità delle opere presenti. I contorni del dominio sono costituiti dal bordo interno che definisce la parte a terra (linea di riva, opere presenti, ecc…), e il bordo esterno che costituisce la parte bagnata (mare). Le condizioni al contorno vengono applicate ai contorni del modello per tener conto di tutti i possibili fenomeni che contribuiscono alla formazione delle correnti idrodinamiche.

Per lo studio delle correnti costiere vengono normalmente considerate come forzanti principali il moto ondoso e il vento. Il campo di moto ondoso sottocosta (forzante del modello idrodinamico) è normalmente ricavato per mezzo del codice di calcolo STWAVE che si interfaccia con il codice di calcolo ADCIRC, fornendogli i valori dei radiation stress che generano le correnti litoranee.

3.2 Equazioni del moto

Le equazioni del moto sono state formulate usando la teoria tradizionale della pressione idrostatica e le approssimazioni di Boussinesq; sono state discretizzate nello spazio usando il metodo degli elementi finiti (FE) e nel tempo usando il metodo alle differenze finite (FD).
ADCIRC può essere utilizzato come modello bi-dimensionale integrato sulla profondità (2DDI).

L'elevazione della superficie del mare è ottenuta dalla soluzione dell'equazione di continuità integrata sulla profondità. La velocità è ottenuta dalla risoluzione delle equazioni della quantità di moto, integrate sulla profondità. Nelle equazioni sono stati conservati anche tutti i termini non-lineari.

In particolare, le equazioni che governano il problema sono:

- l'equazione primitiva di continuità: $$\frac{\partial \zeta}{\partial t}+\frac{\partial UH}{\partial x}+\frac{\partial VH}{\partial y}=0 \qquad \text{(AD1)}$$
- le equazioni primitive della quantità di moto (in forma non conservativa):

$$\frac{\partial U}{\partial t}+U\frac{\partial U}{\partial x}+V\frac{\partial U}{\partial y}-fV=-\frac{\partial}{\partial X}\left[\frac{p_s}{\rho_0}+g\zeta-g(\eta+\mathrm{Y})\right]+\frac{\tau_{sx}}{\rho_0 H}-\frac{\tau_{bx}}{\rho_0 H}+D_x-B_x \qquad \text{(AD2)}$$

$$\frac{\partial U}{\partial t}+U\frac{\partial U}{\partial x}+V\frac{\partial U}{\partial y}-fV=-\frac{\partial}{\partial X}\left[\frac{p_s}{\rho_0}+g\zeta-g(\eta+\mathrm{Y})\right]+\frac{\tau_{sx}}{\rho_0 H}-\frac{\tau_{bx}}{\rho_0 H}+D_x-B_x \qquad \text{(AD3)}$$

dove:

$(\eta+\gamma)$	potenziale di marea newtoniano, marea terrestre, attrazione
ζ	elevazione libera della superficie del mare
x,y	coordinate orizzontali
f	parametro di Coriolis
U	velocità orizzontale in direzione X
V	velocità orizzontale in direzione y
p_s	pressione atmosferica al livello della superificie libera del mare
ρ_0	densità di riferimento dell'acqua
g	accelerazione di gravità
H	spessore totale della colonna d'acqua
τ_{sx} τ_{sy}	sforzi applicati alla superficie libera del mare in direzione x e y (es. vento)
τ_{bx} τ_{by}	sforzi al fondo in direzione x e y
D_x D_y	termini di diffusione/dispersione i ndirezione x e y
B_x B_y	termini del gradiente di pressione barometrica in direzione x e y.

Per evitare i problemi numerici che si hanno utilizzando una discretizzazione spaziale agli elementi finiti di Galerkin, l'equazione di continuità (AD1) è sostituita dall'equazione di continuità dell'onda generalizzata (GWCE). Tale equazione si ottiene derivando l'equazione primitiva di continuità rispetto al tempo moltiplicata per un parametro di peso variabile nello spazio:

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2}+\tau_0\frac{\partial \zeta}{\partial t}+\frac{\partial A_x}{\partial x}+\frac{\partial A_y}{\partial y}-UH\frac{\partial \tau_0}{\partial x}-VH\frac{\partial \tau_0}{\partial y}=0 \qquad \text{(AD4)}$$

dove:

$$A_x \equiv \frac{\partial UH}{\partial t} + \tau_0 UH = \frac{\partial Q_x}{\partial t} + \tau_0 Q_x$$
$$A_x \equiv \frac{\partial VH}{\partial t} + \tau_0 VH = \frac{\partial Q_y}{\partial t} + \tau_0 Q_y$$

Sostituendo le espressioni di $\frac{\partial U}{\partial t}$ e $\frac{\partial V}{\partial t}$ derivanti dalle equazioni di momento in A_x e A_y, si ottiene:

$$A_x = U\frac{\partial H}{\partial t} + H\left\{-U\frac{\partial U}{\partial x} - V\frac{\partial U}{\partial y} + fV - \frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{p_s}{\rho_0} + g\zeta - g(\eta + \mathrm{Y})\right] + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0 H} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0 H} + D_x - B_x + \tau_0 U\right\}$$
$$A_x = V\frac{\partial H}{\partial t} + H\left\{-U\frac{\partial V}{\partial x} - V\frac{\partial V}{\partial y} + fU - \frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{p_s}{\rho_0} + g\zeta - g(\eta + \mathrm{Y})\right] + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0 H} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0 H} + D_y - B_y + \tau_0 V\right\}$$

La forma finale dell'equazione GWCE si ottiene sostituendo queste espressioni di A_x e A_y nell'equazione (AD4). ADCIRC risolve l'equazione che ne risulta insieme alle equazioni di momento non conservative (AD2) e (AD3).
Le equazioni di momento 2DDI sono raggruppate e quindi non richiedono un risolutore di matrici.

3.3 Condizioni al contorno

Il codice di calcolo ADCIRC è in grado di tener conto delle più comuni condizioni al contorno per l'analisi dei problemi delle correnti marine e della circolazione idrodinamica. Le condizioni al contorno di ADCIRC includono:

- elevazione della superficie del mare specificata: possono essere associate al contorno esterno delle serie temporali o delle costituenti armoniche di variazione del livello del mare per tener conto delle variazioni di marea
- flusso normale al contorno specificato: possono essere associati a tratti del contorno interno delle serie temporali di immissione o prelevamento forzato di flusso;
- condizioni di scivolamento lungo il contorno per la velocità: possono essere associate al contorno interno delle condizioni di scivolamento in funzione delle caratteristiche del tratto considerato
- sforzi di superficie (derivanti dal vento e/o dai radiation stresses del moto ondoso, accoppiando ADCIRC con STWAVE): a ciascun nodo della griglia possono essere applicati le forzanti derivanti dalla propagazione del moto ondoso o dall'applicazione di un determinato campo di vento
- pressione atmosferica.

4 DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO PTM

Il codice di calcolo PTM (Particle Tracking Module) è stato sviluppato dall'U.S. Army Engeneering Research and Development Center (ERDC), attraverso due differenti programmi di ricerca, il Coastal Inlets Research Program (CIRP) e il Dredging Operations and Environmental Reserach (DOER).
Il modello è in grado di simulare i processi di trasporto dei sedimenti ed evoluzione dei fondali generati dall'azione combinata di onde, correnti e apporti solidi di qualsiasi tipo (apporti fluviali, dragaggi, ecc..).

Nel presente paragrafo vengono descritti i principi e le funzionalità del modello, rimandando alle specifiche documentazioni (*ERDC/CHL TR-06-20, settembre 2006*) per la descrizione dei fondamenti scientifici e le formulazioni numeriche del modello.

4.1 Caratteristiche generali di PTM

La dinamica dei sedimenti in aree costiere risente del trasporto idrodinamico che a sua volta è conseguenza dell'interazione di una serie di fattori, quali correnti, venti, moto ondoso, immissioni fluviali e interazioni col fondale. Il modello matematico PTM è in grado di studiare in via semplificata questi fenomeni risolvendo il set di "equazioni primitive" costituito dalle equazioni del moto complete alla base dei principi della fluidodinamica che governano i moti nel mare.

Il codice di calcolo PTM è in grado di risolvere il set di "equazioni primitive" su domini di qualsiasi geometria, discretizzati con una maglia di elementi triangolari con dimensioni variabili in funzione delle caratteristiche locali del fondale. A ciascun nodo della mesh così definita vengono successivamente associate le informazioni riguardanti la batimetria e la sedimentologia nativa del fondale, nonché le forzanti in grado di generare il trasporto dei sedimenti.
Le forzanti sono generalmente costituite da una serie temporale di livelli di setup, campi di velocità di correnti e campi di moto ondoso che normalmente derivano dallo studio della propagazione del moto ondoso attraverso i codici di calcolo SWAN o STWAVE (cfr paragrafo 1 e 2) e dallo studio dell'idrodinamica costiera attraverso il codice di calcolo ADCIRC (cfr. paragrafo 3).
Ulteriori condizioni al contorno che devono essere fornite al modello sono la profondità minima di calcolo e i parametri riguardanti la diffusione e la turbolenza.
Infine data l'importanza degli effetti della salinità in ambito costiero, dove spesso sono presenti gradienti significativi, viene presa in considerazione la salinità unitamente alla temperatura.

La soluzione al problema della dinamica dei sedimenti viene calcolata per un determinato intervallo temporale (dipendente dall'intervallo temporale delle forzanti fornite) e per ciascun step di calcolo è in grado di fornire due differenti tipi di analisi: un'analisi Euleriana e una Lagrangiana.

Analisi Euleriana

In questo tipo di calcolo per ciascun step di calcolo vengono determinate le caratteristiche locali

della dinamica dei sedimenti e del trasporto solido (evouzione del fondale con erosione e deposizione). Per ciascun nodo della griglia, cioè, vengono fornite le informazioni riguardanti l'evoluzione del fondale dovuta all'interazione dei sedimenti nativi (presenti nel fondale) con le forzanti e i sedimenti in sospensione.

Analisi Lagrangiana

In questo tipo di calcolo viene analizzato il comportamento di una serie di particelle rilasciate all'interno del dominio di calcolo. Per ciascun step di calcolo vengono cioè fornite informazioni riguardanti il comportamento (avvezione, diffusione, deposizione, risospensione, seppellimento, intrappolamento) di ciascuna delle particelle rilasciate.

Nell'approccio Euleriano le informazioni sulle caratteristiche dei sedimenti riguardano solo il materiale che costituisce il fondale, per il quale vengono fornite le caratteristiche granulometriche basate su 3 diametri caratteristici (D_{35}, D_{50}, D_{90}).

Nell'approccio Lagrangiano devono essere fornite inoltre le informazioni riguardanti le particelle che vengono rilasciate all'interno del dominio (peso specifico, dimensione caratteristica, quantità rilasciata, posizione di immissione). La quantità di particelle (ciascuna dotata di proprie caratteristiche fisiche) rilasciata all'interno del dominio è rappresentata da una determinata massa rilasciata istantaneamente o distribuita in certo intervallo di tempo. In termini spaziali le particelle possono essere introdotte in tre diversi modi: da sorgenti puntuali, lineari o superficiali.

Le sorgenti puntuali possono essere istantanee (ad esempio una perdita improvvisa da un'imbarcazione) o a rilascio graduale (uno scarico a mare).

Le sorgenti lineari possono esser verticali o orizzontali e sono solo del tipo a rilascio graduale uniformemente distribuito lungo la linea.

Le sorgenti superficiali possono essere verticali o orizzontali di forme e dimensioni variabili e sono del tipo a rilascio graduale.

4.2 Metodo di calcolo

PTM è in grado di eseguire il calcolo, seguendo le due metodologie di analisi descritte in precedenza, sia nel campo bidimensionale che tridimensionale. In particolare è possibile scegliere tra 3 differenti tipi di calcolo: il calcolo 2-D, quasi tridimensionale (Q-3D) e 3-D.

Approccio 2D

La rappresentazione bidimensionale (2-D) del moto delle particelle è la più semplice e fornisce una valutazione qualitativa della mobilità e delle traiettorie dei sedimenti; il metodo di calcolo può essere schematizzato come il moto di sedimenti su un fondo fisso.
Le particelle si muovono in modo indipendente e non vi è interazione con il materiale che costituisce il fondale, inoltre non vengono presi in considerazioni fenomeni di avvezione verticale delle particelle. In questo approccio i meccanismi di erosione e deposizione sono controllati solo dal valore soglia di incipiente movimento (ricavato dalla curva di Shields o definito dall'utente).

Approccio Q-3D

L'approccio tridimensionale (Q-3D e 3-D) fornisce una stima più accurata del fenomeno del trasporto in quanto è in grado di tener conto del movimento verticale e della deposizione dei sedimenti, e dell'interazione di questi con il materiale nativo che costituisce il fondale.

L'approccio Q-3D impiega una combinazione di funzioni empiriche di trasporto integrate a una routine che tiene conto in via approssimativa dei fenomeni tridimensionali di avvezione, deposizione e dispersione.

Il movimento orizzontale delle particelle è valutato in funzione della posizione verticale delle particelle rispetto il fondale e dipende dai possibili processi di scala locale (miscelamento con i sedimenti del fondale, frequenza di ri-sospensione e deposizione, seppellimento. In questo approccio lo spostamento verticale delle particelle è l'aspetto principale in quanto influenza notevolmente il moto orizzontale delle particelle: nelle zone di deposizione le particelle scendono verso il fondale con velocità di caduta valutata in funzione delle caratteristiche del materiale e del fluido (temperatura, salinità, ecc). Le particelle depositate sul fondale vengono riportate in sospensione nel fluido attraverso l'impiego di una tecnica probabilistica.

Approccio 3D

L'approccio 3D impiega una routine più complessa che tiene conto di tutti i fenomeni di trascinamento, sospensione, ri-sospensione dei sedimenti compresa la mutua interazione tra gli stessi e con il materiale nativo del fondale.

In questo metodo la velocità orizzontale di ciascuna particella è uguale a quella del fluido a quella profondità. La velocità verticale è valutata in funzione della velocità verticale del fluido, della velocitò di caduta e di una componente di dispersione.

Opzione "neutrally-buoyant"

Nell'approccio 3D è possibile eseguire l'analisi del moto di particelle caratterizzata da velocità di caduta nulla. Questo approccio è utile nel caso in cui debba essere studiato il trasporto di sedimenti molto fini o di costituenti o contaminanti dissolti nel fluido.

In questo metodo di calcolo le particelle risultano essere neutrali e galleggiano nel fluido senza essere soggette a velocità di caduta o ad interazioni tra loro; la loro posizione verticale può comunque variare a causa delle velocità verticali del fluido e dei fenomeni di dispersione.

La velocità orizzontale di ciascuna particella infine dipende anche in questo caso dalla velocità verticale del fluido alla profondità della particella.

5 DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO GENESIS

Il modello matematico "GENESIS" (GENEralized model for SImulating Shoreline change), impiegato per lo studio dell'evoluzione morfologica del litorale in oggetto, è in grado di calcolare le modificazioni subite dalla linea di riva in conseguenza di variazioni nello spazio o nel tempo del trasporto solido litoraneo in direzione parallela alla linea di riva indotto dall'azione del moto ondoso.
L'estensione costiera che può essere convenientemente modellata può variare da meno di un chilometro a qualche decina di chilometri, mentre gli intervalli di calcolo delle variazioni della posizione della linea di riva variano in genere da alcuni mesi alle decine di anni.
Il modulo di calcolo che determina lo spostamento della linea di riva in funzione del trasporto solido e della sua variazione nello spazio, è basato sulla teoria dei modelli a una linea: tale teoria assume che il profilo trasversale della spiaggia (in direzione quindi perpendicolare alla linea di riva) si mantenga costante nel tempo, traslando semplicemente verso il largo o verso terra (Fig. 5.1).

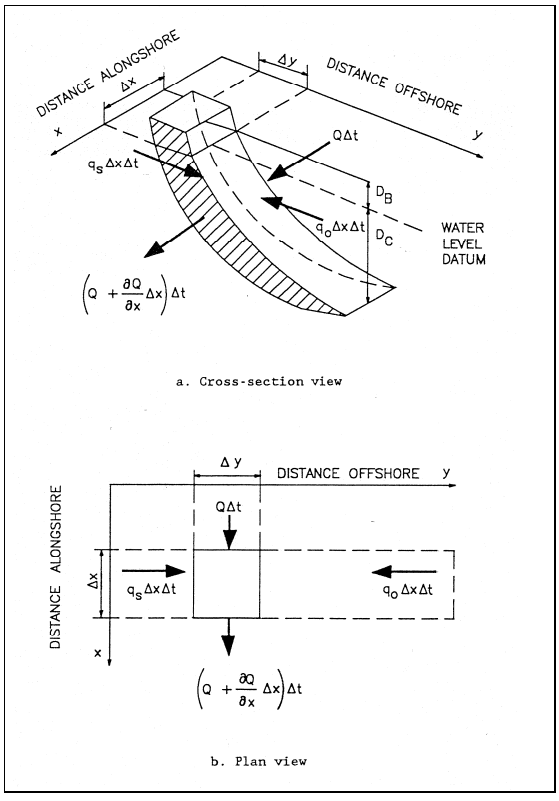


Fig. 5.1 – Schematizzazione del litorale

In questo modo, l'evoluzione del profilo completo della spiaggia può essere descritta attraverso la traslazione orizzontale di un unico punto appartenente al profilo stesso.

Nelle suddette ipotesi, è quindi possibile descrivere l'evoluzione del litorale attraverso una unica linea: a tale scopo appare conveniente scegliere come riferimento la linea cui appartengono tutti i punti che si trovano alla quota del medio mare (cioè la linea di riva), che risulta sempre un indicatore di primaria importanza negli studi di idraulica marittima.
Una seconda ipotesi geometrica fondamentale assunta dal modello è che il trasporto solido indotto dal moto ondoso avvenga tra due quote fissate all'interno del profilo trasversale: si assume cioè che la zona "attiva" della spiaggia, ossia quella interessata dal trasporto solido longitudinale, e dalle modificazioni ad essa connesse, sia solamente quella compresa tra la massima quota D_B della spiaggia attiva emersa (di solito assunta pari alla quota di massima risalita) e la cosiddetta "profondità di chiusura" D_C, al disotto della quale il fondale si mantiene sensibilmente costante nel tempo (nel medio termine). Come accennato in precedenza questi ultimi valori sono determinabili in funzione delle caratteristiche del moto ondoso incidente.
L'equazione di continuità dei sedimenti in una generica sezione, con riferimento al significato dei simboli indicato in Fig. 5.1, può essere scritta nella forma seguente:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{(D_B + D_C)}\left(\frac{\partial Q}{\partial x} - q\right) = 0 \qquad (1)$$

dove Q rappresenta il trasporto solido longitudinale e q la quantità di materiale eventualmente apportato (ripascimenti o apporti fluviali) o asportato (dragaggi) dalla generica sezione.
Il trasporto solido longitudinale viene determinato in funzione delle caratteristiche dell'onda al largo e della conseguente onda frangente (altezza e direzione), della granulometria dei sedimenti e dell'eventuale presenza di opere costiere.
Viene altresì tenuto conto di due coefficienti di calibrazione K_1 e K_2, da determinarsi con un procedimento di "taratura" per il particolare sito oggetto di studio, che consentono di calcolare correttamente il valore del trasporto dovuto rispettivamente all'azione diretta del moto ondoso (proporzionale a $H^{2.5}$) ed alla variazione dell'altezza lungo la costa (cioè $\partial H/\partial x$, se con x viene indicato un asse localmente parallelo alla linea di riva).
La formula empirica impiegata per il calcolo del trasporto solido longitudinale è la seguente:

$$Q = \left(H_b^2 c_{gb}\right)\left[a_1 \operatorname{sen}(2\theta_{bs}) - a_2 \cos(\theta_{bs})\frac{\partial H_b}{\partial x}\right] \qquad (2)$$

dove il pedice b è riferito alla condizione di frangimento, H è l'altezza significativa dell'onda incidente, θ l'angolo di incidenza rispetto alla normale al litorale nella sezione e c_g la celerità di gruppo.
I coefficienti a_1 e a_2 sono così definiti:

$$a_1 = \frac{K_1}{16\,(s-1)(1-n)(1.416)^{2.5}} \qquad (3.1)$$

$$a_2 = \frac{K_2}{8\,(s-1)(1-n)(\tan\beta)(1.416)^{2.5}} \qquad (3.2)$$

dove s indica il rapporto tra il peso specifico del costituente solido del sedimento caratteristico della

spiaggia ed il peso specifico dell'acqua marina, n la porosità del sedimento in sito e β la pendenza media del profilo trasversale della spiaggia dalla linea di riva alla profondità di chiusura.
L'angolo β viene calcolato per ciascuna mareggiata simulata nel modello, essendo funzione delle caratteristiche dell'onda incidente ed è ottenuto dalla seguente relazione:

$$\tan\beta = \left(\frac{A^3}{D_{LT0}} \right) \qquad (4)$$

dove A è il parametro semiempirico di Dean (1977) e D_{LT0} è la massima profondità interessata dal trasporto solido longitudinale, definita dalla relazione di Hallermaier (1983):

$$D_{LT0} = (2.3 - 10.9\, H_S) \frac{H_S}{L_0} \qquad (5)$$

dove L_0 rappresenta la lunghezza d'onda ed H_S l'altezza significativa in acque profonde.
Il trasporto solido viene calcolato sezione per sezione, tenendo conto della direzione e dell'altezza d'onda al frangimento in ciascuna delle sezioni; tali grandezze vengono determinate attraverso moduli di calcolo interni a GENESIS, che tengono conto degli effetti di shoaling, rifrazione e diffrazione.
Il modello è altresì in grado di descrivere il comportamento del litorale in presenza di opere rigide quali protezioni di sponda, pennelli, dighe foranee e difese staccate (per queste ultime tre categorie di opere il modello è anche in grado di valutare l'interazione tra queste ed il moto ondoso incidente), oppure di interventi morbidi quali by-pass o ripascimenti.
Le condizioni al contorno imponibili agli estremi dell'area modellata possono essere di varia natura; in particolare, è possibile fissare lo spostamento nel tempo della linea di riva nelle sezioni di estremità, ovvero porre in queste un pennello di varia lunghezza e controllare così il trasporto solido nelle stesse.

5.1 Andamento del trasporto solido longitudinale e valutazione del bypass

La larghezza della zona interessata dal trasporto solido longitudinale è necessaria alla determinazione della quantità di materiale che supera l'estremità delle strutture perpendicolari alla riva, quali pennelli o moli foranei, durante una mareggiata. Dal momento che la massima concentrazione del trasporto solido avviene nella zona dei frangenti, tale larghezza è legata all'altezza dell'onda frangente.
L'algoritmo di calcolo del bypass implementato nel modello GENESIS richiede la determinazione di una grandezza chiamata "profondità del trasporto attivo longitudinale" D_{LT}, pari alla profondità di frangimento della $H_{1/10}$ (media del decimo di onde più alte). Nelle ipotesi di validità della distribuzione di Rayleigh per le altezze d'onda ed avendo assunto un indice di frangimento γ pari a 0.78 (rapporto tra altezza d'onda e profondità al frangimento), si ottiene:

$$D_{LT} = \frac{1.27}{\gamma}(H_S)_b \approx 1.6(H_S)_b \qquad (6)$$

Va osservato che la profondità del trasporto attivo è minore della profondità di chiusura D_C, salvo il caso delle mareggiate estreme.
Per la valutazione del bypass, nel caso di strutture impermeabili al trasporto solido longitudinale, viene introdotto un fattore di bypass F_{BYP}, definito come segue:

$$F_{BYP} = 1 - \frac{D_G}{D_{LT}} \qquad \text{se } D_G \leq D_{LT} \qquad (7.1)$$

$$F_{BYP} = 0 \qquad \text{se } D_G \geq D_{LT} \qquad (7.2)$$

dove D_G rappresenta la profondità della testata del molo foraneo o del pennello.

F_{BYP} rappresenta la frazione di trasporto solido longitudinale nella cella sopraflutto adiacente alla struttura trasversale che è in grado di superare la struttura stessa.
D_{LT} e F_{BYP} vengono calcolati in corrispondenza di ciascuna opera trasversale, per ciascuna mareggiata simulata dal modello.

5.2 Profilo trasversale del litorale

Lo studio del profilo trasversale è necessario per la valutazione dell'andamento trasversale del trasporto solido longitudinale e quindi del bypass.
Si assume 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:

$$d = A\, y^{2/3} \qquad (8)$$

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) per il calcolo del parametro A, in funzione del diametro medio dei grani:

$A = 0.2665(d_{50})^{0.614}$ se $d_{50} \leq 0.26$ mm (9.1)

$A = 0.2275(d_{50})^{0.496}$ se $0.26 < d_{50} \leq 0.47$ mm (9.2)

$A = 0.2143(d_{50})^{0.4161}$ se $0.47 < d_{50} \leq 0.70$ mm (9.3)

$A = 0.2101(d_{50})^{0.361}$ se $0.70 < d_{50} \leq 1.00$ mm (9.4)

$A = 0.21(d_{50})^{0.48}$ se $1.00 < d_{50} \leq 1.77$ mm (9.5)

$A = 0.23(d_{50})^{0.32}$ se $1.77 < d_{50} < 10.0$ mm (9.6)

$A = 0.263(d_{50})^{0.261}$ se $10.0 \leq d_{50} < 40.0$ mm (9.7)

$A = 0.46(d_{50})^{0.11}$ se $d_{50} \geq 40.0$ mm. (9.8)

5.3 Profondità di chiusura e altezza di swash

La profondità di chiusura rappresenta la profondità limite al di sotto della quale il profilo trasversale non subisce cambiamenti significativi, nell'intervallo di tempo per cui si esegue la simulazione.
La valutazione corretta della profondità di chiusura per un dato sito è condotta sulla base dell'analisi di dati storici che documentino l'evoluzione del tempo del profilo trasversale in sezioni significative del sito in oggetto.
Qualora tali dati non siano disponibili, è possibile valutare la profondità tramite la relazione di Hallermaier (1983):

$$D_C = 1.6 \cdot H_{0,12},$$

dove $H_{0,12}$ rappresenta il valore dell'altezza significativa corrispondente ad una durata di 12 ore/anno.

5.4 Determinazione delle caratteristiche dell'onda al frangimento

Le caratteristiche dell'onda al frangimento da impiegare nelle formule 2 e 6 sono calcolate per mezzo di un modulo interno al modello GENESIS; tale modello propaga le onde a partire dalle acque profonde fino alla profondità di frangimento, senza tenere conto dell'eventuale effetto di diffrazione di opere presenti lungo il litorale. Tale effetto viene considerato in una fase successiva, correggendo i risultati di questo primo calcolo.
L'altezza d'onda al frangimento $(H_S)_b$ è calcolata attraverso la seguente relazioni:

$$\left(H_S\right)_b = K_R\, K_S\, H_{S0} \qquad (10)$$

dove K_R e K_S sono rispettivamente i coefficienti di rifrazione e di shoaling, ed H_{S0} l'altezza d'onda significativa in acque profonde.
I valori di K_R e K_S sono determinati nelle ipotesi di batimetriche parallele, di costanza del flusso di energia all'interno di ciascun tubo di flusso e di validità della legge di Snell. Nelle medesime ipotesi è possibile determinare anche la direzione di propagazione al frangimento θ_b; le relazioni che esprimono le grandezze finora citate sono le seguenti:

$$K_R = \left(\frac{\cos\theta_0}{\cos\theta_b}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (11)$$

$$K_S = \left(\frac{c_{g0}}{c_{gb}}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (12)$$

$$\theta_b = \operatorname{arcsen}\left(\frac{L_b \operatorname{sen}\theta_0}{L_0}\right) \qquad (13)$$

dove θ_0 è l'angolo di incidenza dell'onda al largo (rispetto ad una batimetrica di riferimento, il cui orientamento è ottenuto dallo smoothing e dalla traslazione della linea di riva esistente durante lo step temporale di calcolo), c_{g0} e c_{gb} rispettivamente la celerità di gruppo del treno d'onde al largo ed al frangimento, L_b ed L_0 la lunghezza d'onda al frangimento ed in acque profonde.

5.5 Schematizzazione delle barriere frangiflutti

Il coefficiente di trasmissione delle onde attraverso una barriera frangiflutti è un parametro fondamentale per determinare la variazione della linea di riva. Il fenomeno della trasmissione è stato ampiamente studiato mediante modelli fisici bidimensionali, soprattutto per barriere di tipo emerso.
Va ricordato, in particolare, il lavoro di Tanaka (1976), che ha condotto esperimenti su modelli fisici di barriere sia sommerse che emerse, considerando differenti larghezze di coronamento. Sulla base dei risultati ottenuti, Tanaka ha ricavato delle curve di progetto che forniscono il valore del coefficiente di trasmissione dell'onda $K_t = H_t/H_0$ (Ht: altezza dell'onda trasmessa, H_0: altezza d'onda significativa incidente) in funzione della sommergenza relativa (R/H_0, dove R = quota di coronamento della struttura) e della larghezza relativa del coronamento (B/L_0, dove B è la larghezza del coronamento e L_0 la lunghezza d'onda in acque profonde). In Fig. 5.2 si riporta uno schema con le grandezze significative che interessano la trasmissione attraverso una barriera frangiflutti.

In GENESIS è possibile schematizzare le barriere frangiflutti considerando tre differenti approcci: d'Angremond e al. (1996), Seabrook e Hall (1998) e Ahrens (2001). Tali approcci vengono descritti in dettaglio nei successivi paragrafi.

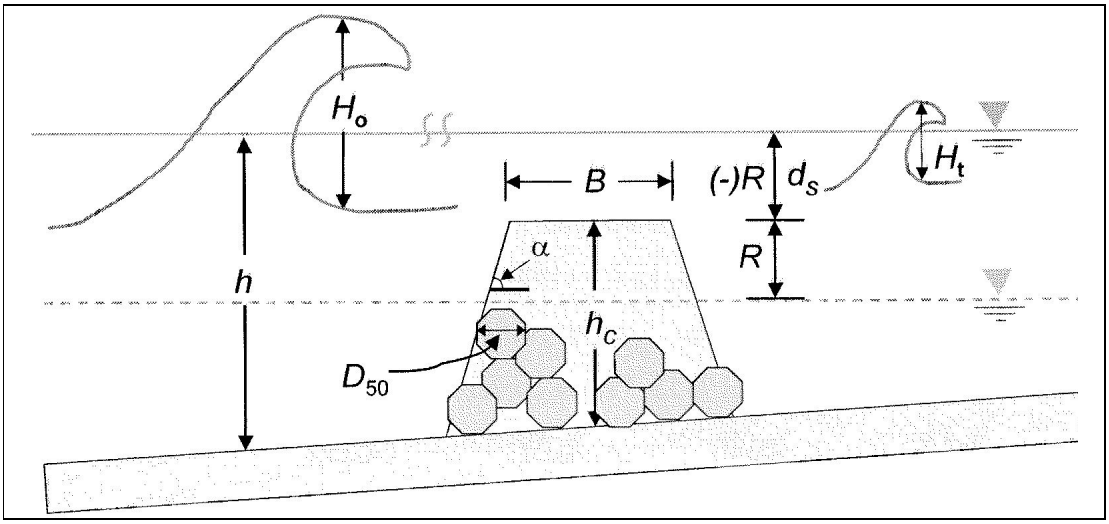


Fig. 5.2 – Notazione utilizzata

5.5.1 D'Angremond e al. (1996)

D'Angremond e al. (1996) hanno sviluppato una formula per calcolare il coefficiente di trasmissione di strutture caratterizzate da bassa permeabilità e aventi coronamento prossimo al livello medio mare (ad esempio: barriere in calcestruzzo, cassoni, ecc…). In base agli studi condotti da d'Angremond (il quale a sua volta aveva proseguito degli studi cominciati da Daemen nel 1991), il coefficiente di trasmissione dipende principalmente dalla sagoma della struttura.
Le formulazioni proposte sono le seguenti:

$$K_t = -0.4\frac{R}{H_s} + \left(\frac{B}{H_s}\right)^{-0.31}\left(1-e^{-0.5\xi}\right)0.64 \text{ , valida per strutture permeabili;} \qquad (14.1)$$

e

$$K_t = -0.4\frac{R}{H_s} + \left(\frac{B}{H_s}\right)^{-0.31}\left(1-e^{-0.5\xi}\right)0.80 \text{ , valida per strutture impermeabili;} \qquad (14.2)$$

dove:
$\xi = \tan\alpha / \sqrt{H_s / L_0}$ è il parametro di Iribarren e $\tan\alpha$ rappresenta la pendenza della struttura lato mare.

Le equazioni proposte forniscono un valore del coefficiente di trasmissione variabile tra 0.075 e 0.8.

5.5.2 Seabrook e Hall (1998)

Seabrook e Hall hanno condotto dei test su modello fisico con particolare riferimento a strutture sommerse aventi larghezza di coronamento piuttosto estesa.
I test condotti hanno dimostrato che il coefficiente di trasmissione risulta essere sensibile sia al valore della sommergenza relativa (R/H_0) che al valore della larghezza relativa del coronamento (B/L_0).
Seabrook e Hall hanno proposto la seguente espressione per il coefficiente di trasmissione:

$$K_t = 1 - \left[e^{-065\left(\frac{d_s}{H_s}\right)-1.09\left(\frac{H_s}{B}\right)} + 0.047\left(\frac{Bd_s}{LD_{50}}\right) - 0.067\left(\frac{d_s H_s}{BD_{50}}\right)\right], \qquad (15)$$

dove:
d_s rappresenta la profondità del coronamento (sommergenza) e L la lunghezza d'onda locale associata all'onda incidente.

Tale equazione fornisce valori attendibili all'interno del seguente campo di applicazione:

$$0 \le \frac{Bd_s}{LD_{50}} \le 7.08 \qquad \text{e} \qquad 0 \le \frac{d_s H_s}{BD_{50}} \le 2.14 .$$

Il primo parametro adimensionale rappresenta l'energia persa in seguito al flusso dell'onda attraverso la struttura, mentre il secondo parametro rappresenta l'energia dissipata durante il passaggio dell'onda sopra la struttura (tale energia si dissipa in seguito all'attrito sulla superficie della struttura).

5.5.3 Ahrens (2001)

Basandosi su dati di onde irregolari, Ahrens ha sviluppato un'equazione di previsione della trasmissione dell'onda, approccio noto come "dominant-mode". Ahrens ha individuato tre modi fondamentali di trasmissione dell'onda:

- trasmissione "attraverso" la barriera;
- trasmissione per overtopping;
- trasmissione sopra la cresta.

Ahrens definisce il coefficiente di trasmissione totale come:

$$K_t = \sqrt{(K_t)_{over}^2 + (K_t)_{thru}^2}\ , \qquad (16)$$

dove $(K_t)_{over}$ rappresenta il coefficiente di trasmissione associato alla tracimazione al di sopra del coronamento della struttura e $(K_t)_{thru}$, invece, rappresenta il coefficiente associato all'energia di trasmessa attraverso la struttura.

Per strutture molto emergenti, definite da Ahrens con sommergenza relativa $(R/H_s) > 2$, la trasmissione avviene principalmente attraverso la barriera. Ahrens, attraverso una back-analysis dei dati relativi a strutture emerse, ha sviluppato la seguente relazione:

$$(K_t)_{thru} = 1.0/(1.0 + f_{thru})\ . \qquad (17)$$

Il coefficiente f_{thru} viene calcolato utilizzando la seguente equazione:

$$f_{thru} = \left(\frac{H_s}{D_{50}}\right)^{0.982} \cdot \exp\left[0.433 + 2.35 \cdot \left(\frac{A_t}{L_0 \cdot h_c}\right)\right], \qquad (18)$$

dove A_t rappresenta l'area trasversale locale della barriera e h_c l'altezza di coronamento della barriera.

L'equazione proposta fitta bene i dati raccolti da Ahrens presso più fonti (Seelig 1980; van der Meer 1988; Daemen 1991; Allsop 1983; Powell e Allsop 1985; Ahrens 1987), con un coefficiente di correlazione pari a 0.978. Si può osservare come il coefficiente A_t/h_c rappresenti l'influenza della larghezza relativa del coronamento all'interno dell'espressione.

Se $R/H_s < 2$, deve essere calcolata anche la trasmissione al di sopra della struttura. L'espressione proposta da Ahrens per $(K_t)_{over}$ è la seguente:

$$(K_t)_{over} = 1.0/(1.0 + f_{over}). \qquad (19)$$

L'espressione del coefficiente f_{over} dipende dal valore del rapporto $R/H_{s..}$

Se $0 \leq R/H_s \leq 2$ (strutture emerse), la trasmissione avviene principalmente grazie alla risalita dell'onda (run up) e alla tracimazione della struttura. L'equazione ricavata per f_{over} è la seguente:

$$f_{over} = \exp\left[0.465 + 12.7\frac{R}{\sqrt{(H_s \cdot L_0)}} - \frac{17.4}{\left(\frac{A_t}{h_c \cdot D_{50}}\right)} + \frac{0.00118}{\left(\frac{H_s}{L_0}\right)}\right]. \qquad (20)$$

L'equazione proposta per il coefficiente di trasmissione dovuto al superamento della struttura fitta bene i dati raccolti da Ahrens, con un coefficiente di correlazione pari a 0.930.

Se R/Hs < 0 (strutture sommerse), il fenomeno dominante è quello di trasmissione sopra il coronamento.
Una regressione dei dati considerando l'energia rimanente ha condotto alla seguente equazione di f_{over} per strutture sommerse:

$$f_{over} = \exp\left[-0.646 + 0.631 \cdot \frac{R}{H_s} + 0.00137 \cdot \frac{A_t}{D_{50}^2}\right]. \qquad (21)$$

Il coefficiente di correlazione per la trasmissione sopra una struttura sommersa è pari 0.73; tale valore indica la moderata capacità di previsione per questo tipo di trasmissione. Si osserva che l'equazione proposta non utilizza la larghezza del coronamento della struttura; ciò può contribuire a giustificare la relativamente scarsa correlazione dei dati.

Sebbene lo studio di Ahrens sia stato condotto utilizzando dati relativi a barriere tipo reef (prive di nucleo), sono state testate anche strutture costituite da due strati assegnando un diametro equivalente. I risultati ottenuti suggeriscono che le strutture costituite da due strati possono essere trattate in modo simile alle barriere tipo reef utilizzando un diametro equivalente dei massi.

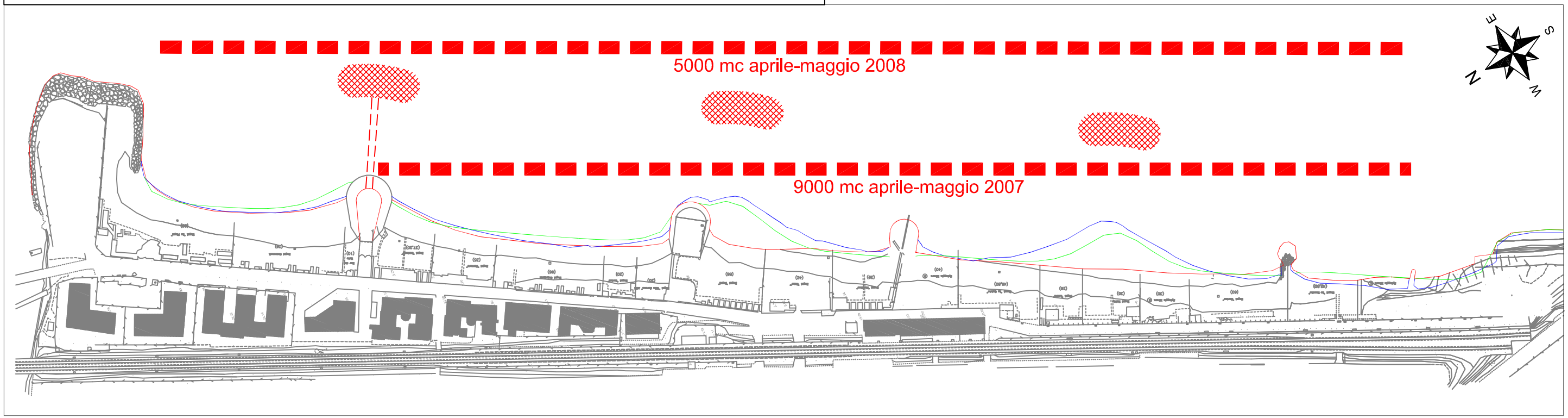
ALLEGATO B

SIMULAZIONI DELL'EVOLUZIONE MORFOLOGICA

Linea di riva luglio 2005

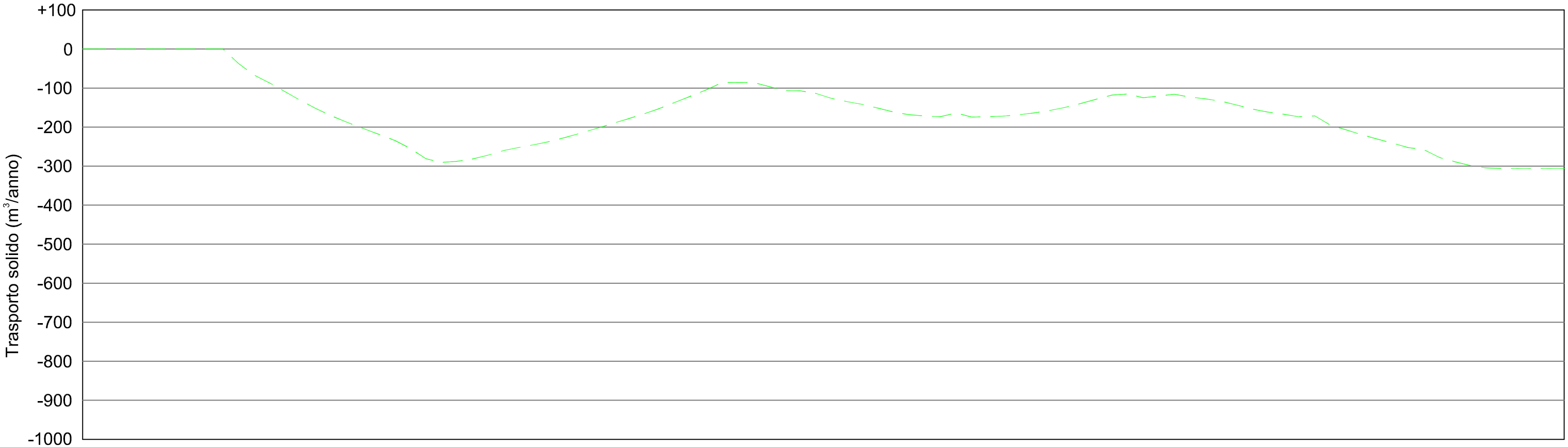
Linea di riva GENESIS luglio 2008

Linea di riva rilevata luglio 2008



Scala 1:2'500

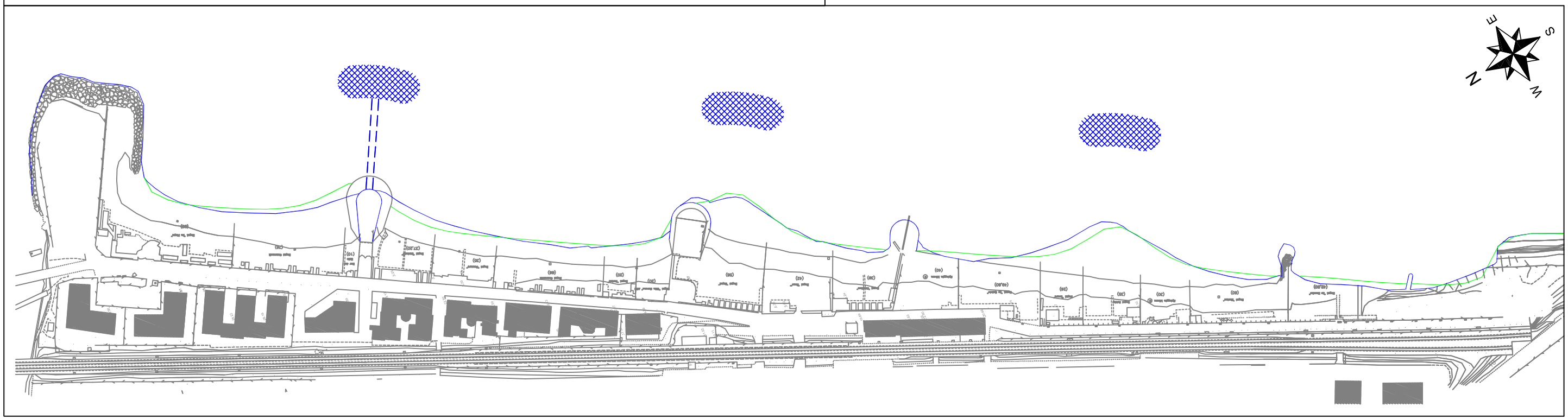
Tavola 2
Evoluzione in configurazione attuale



Linea di riva luglio 2008

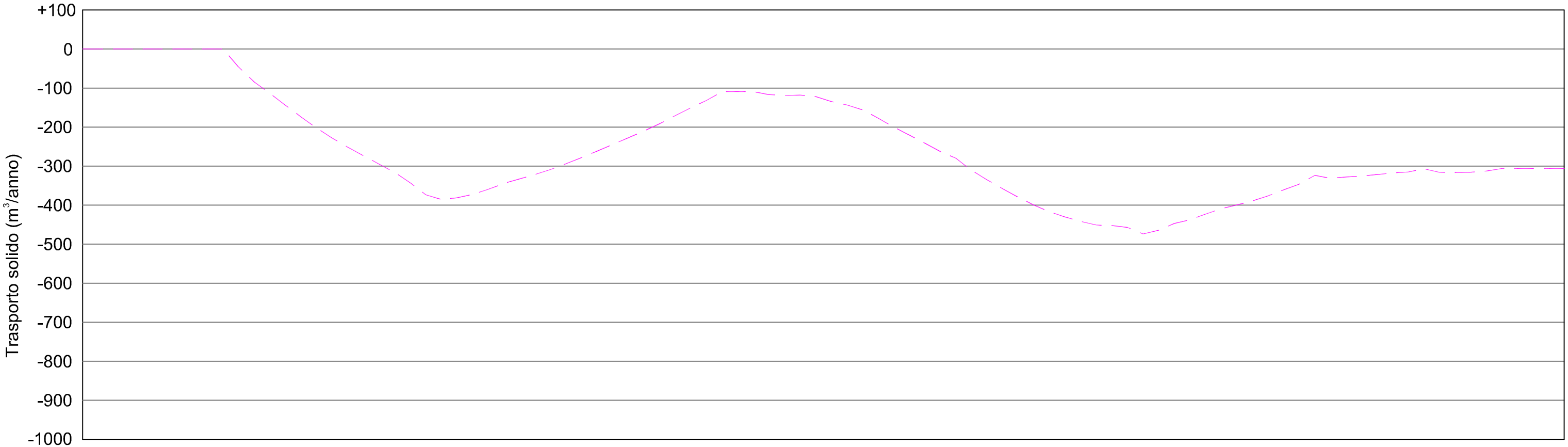
Linea di riva GENESIS luglio 2013
(CONFIGURAZIONE ATTUALE)

Trasporto finale GENESIS (positivo verso destra)
(CONFIGURAZIONE ATTUALE)



Scala 1:2'500

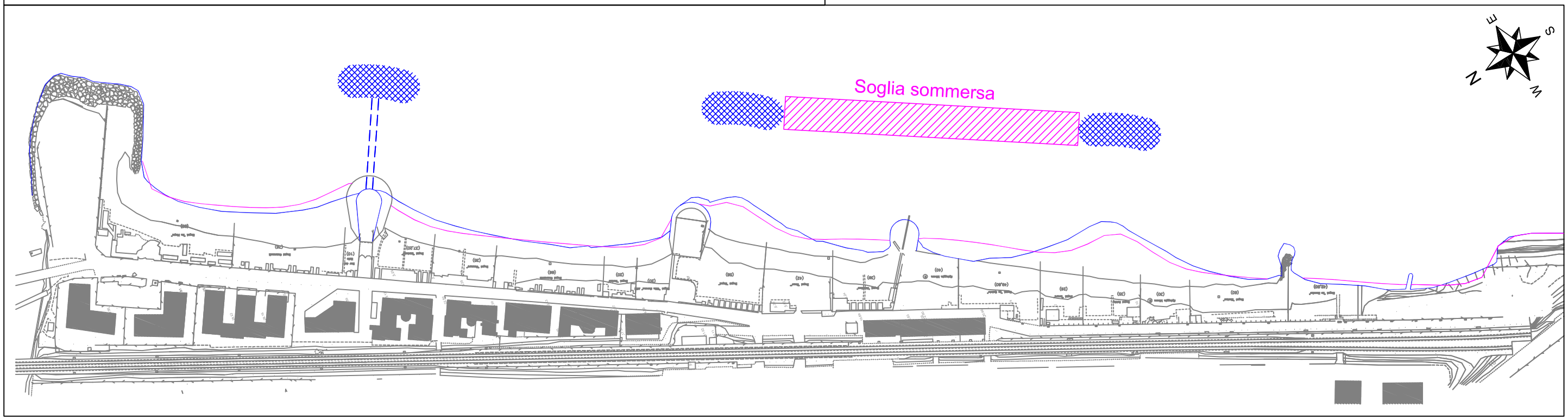
Tavola 3
Evoluzione in configurazione di progetto "1"



Linea di riva luglio 2008

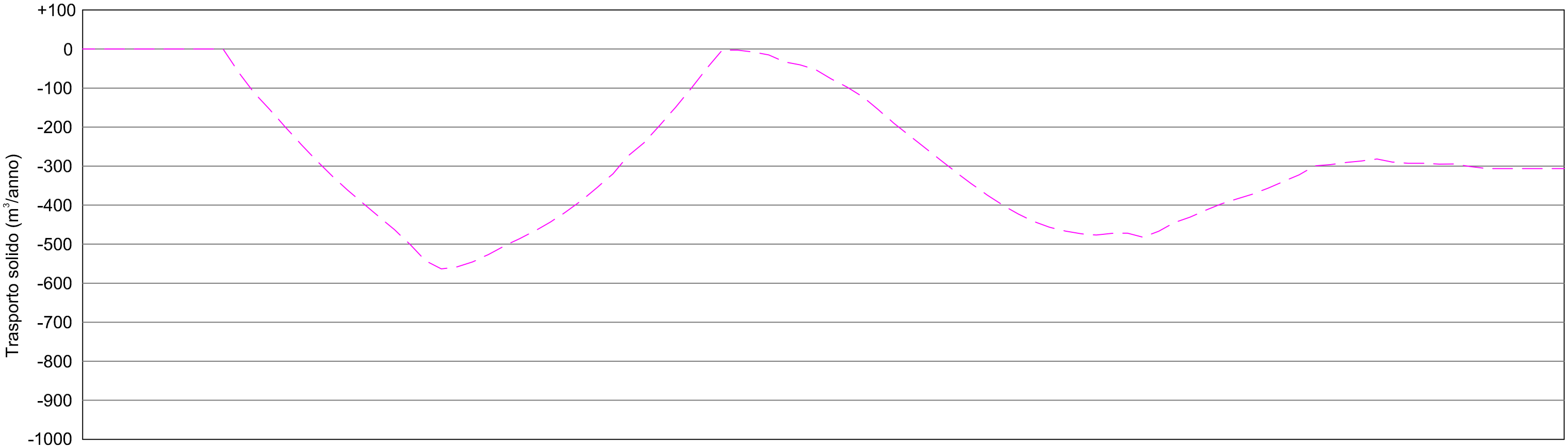
Linea di riva GENESIS luglio 2013
(CONFIGURAZIONE DI PROGETTO "1")

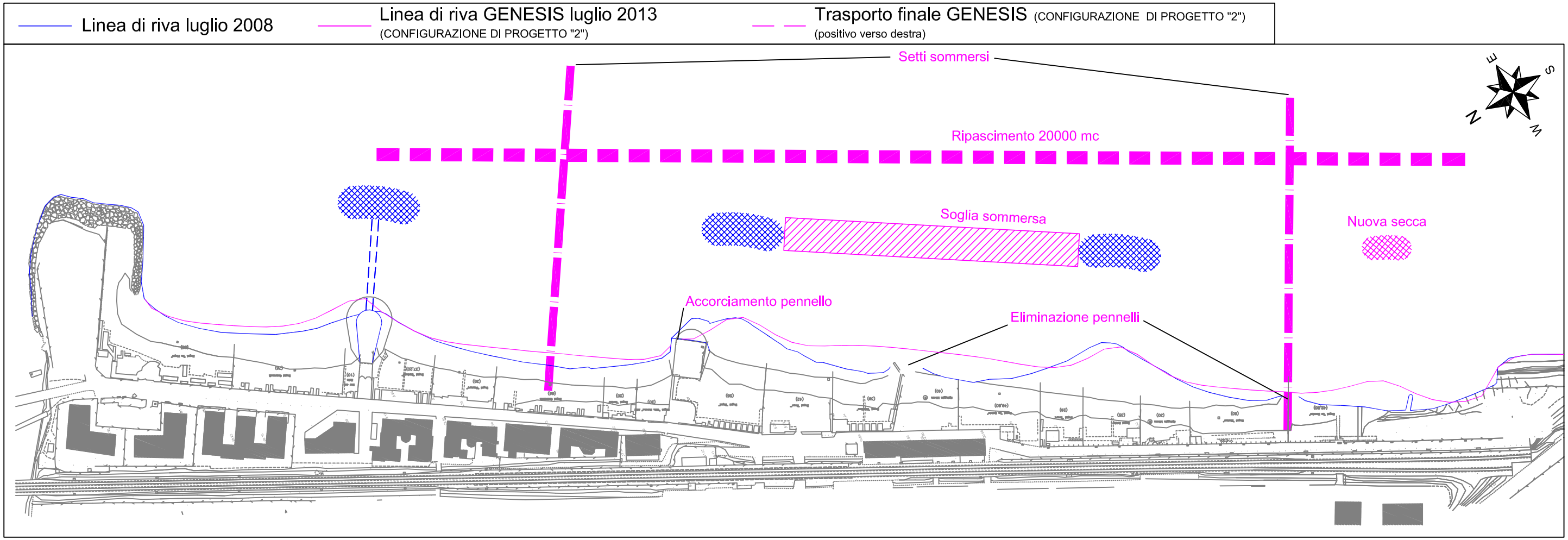
Trasporto finale GENESIS (positivo verso destra)
(CONFIGURAZIONE DI PROGETTO "1")



Scala 1:2'500

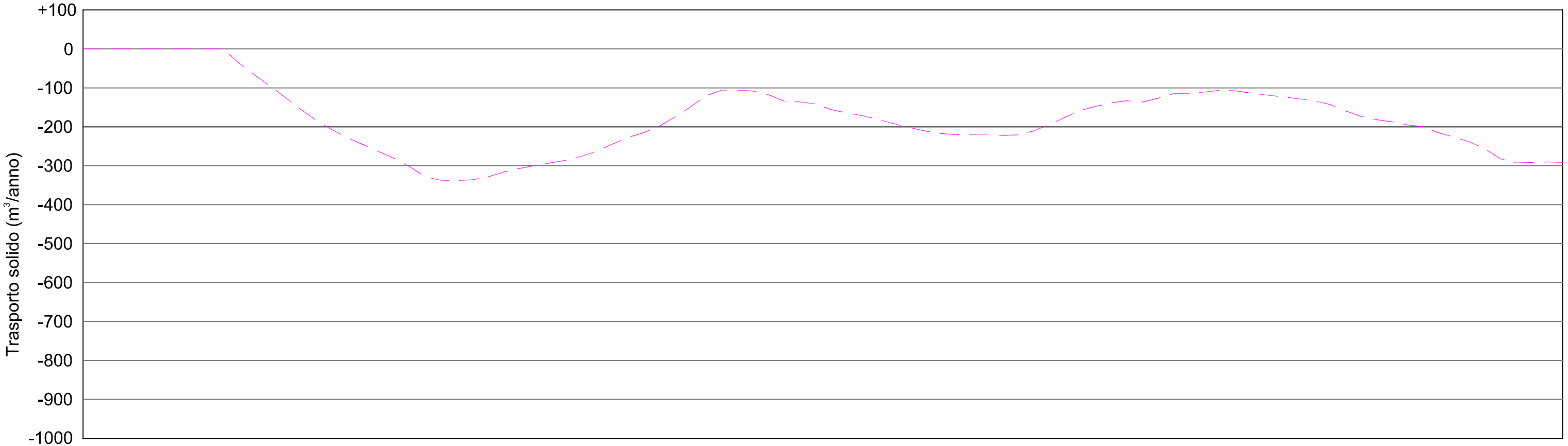
Tavola 4
Evoluzione in configurazione di progetto "2"





Scala 1:2'500

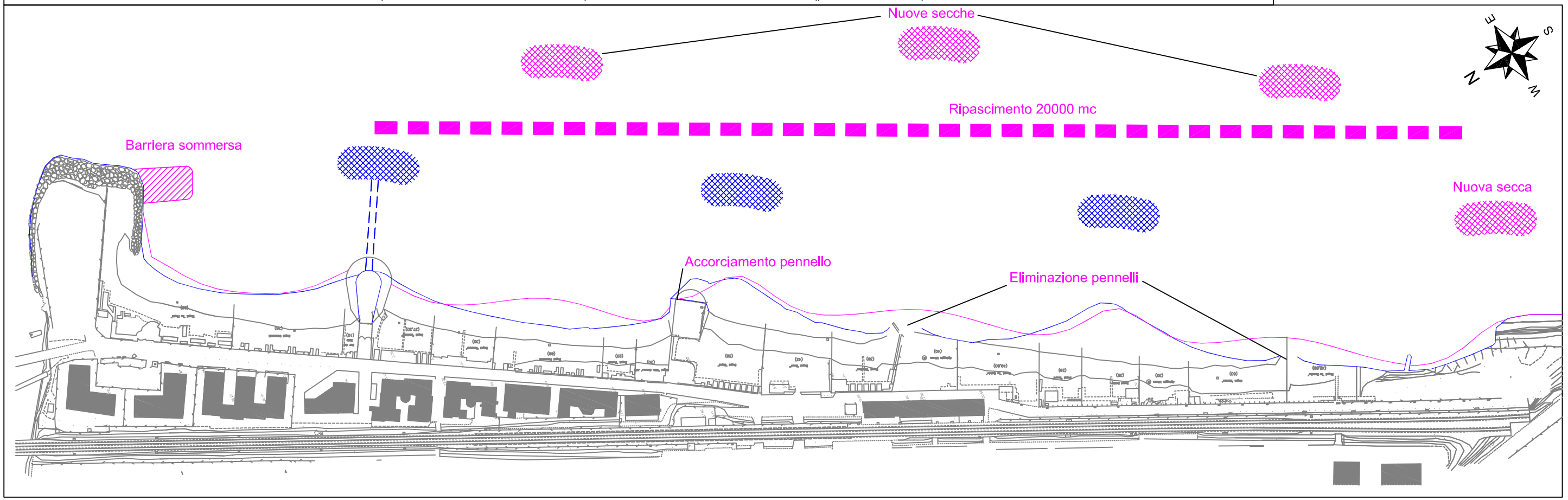
Tavola 5
Evoluzione in configurazione di progetto "3"



Linea di riva luglio 2008

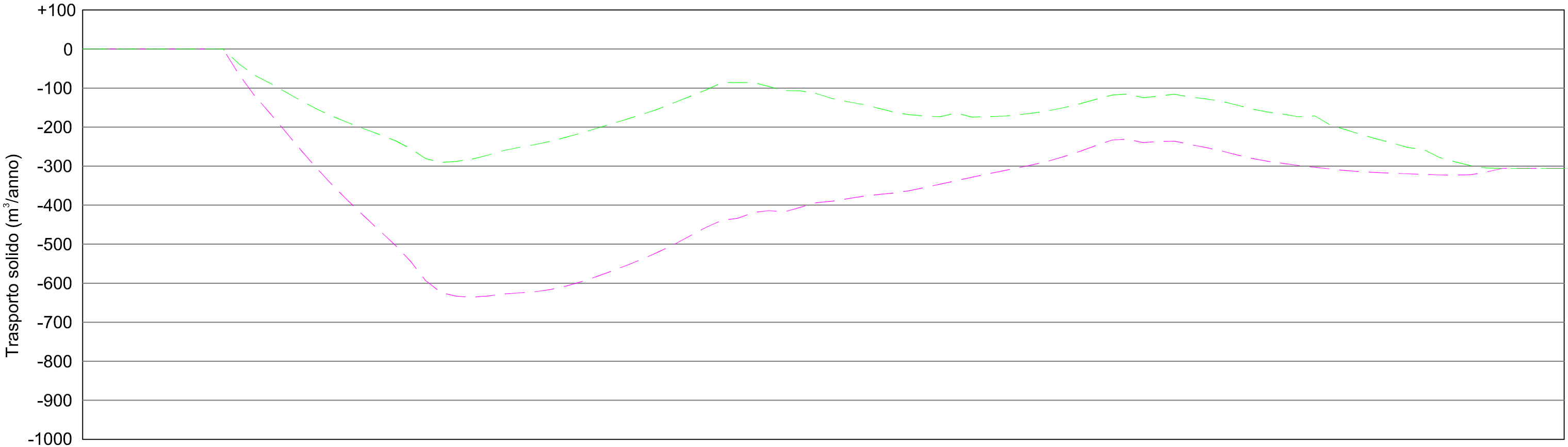
Linea di riva GENESIS luglio 2013
(CONFIGURAZIONE DI PROGETTO "3")

Trasporto finale GENESIS (CONFIGURAZIONE DI PROGETTO "3")
(positivo verso destra)



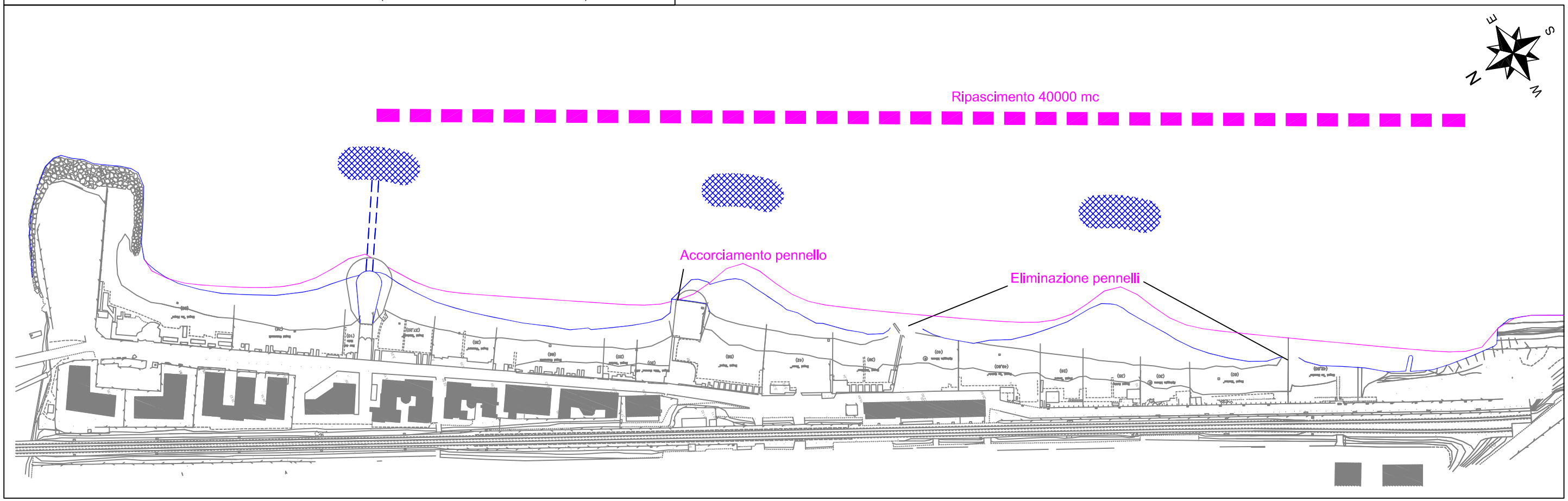
Scala 1:2'500

Tavola 6
Evoluzione in configurazione di progetto "4"



Linea di riva luglio 2008

Linea di riva GENESIS luglio 2013
(CONFIGURAZIONE DI PROGETTO "4")



Scala 1:2'500

SCHEMA N. NP/13410	REGIONE LIGURIA - Giunta Regionale Dipartimento Pianificazione Territoriale, Urbanistica Urbanistica e Procedimenti concertativi - Settore

OGGETTO : Comune di Borghetto S. Spirito (SV) - Conferenza di Servizi ex art. 6 lr 13/99 e s.m. e art. 14 L. 241/90 e s.m. e i. per approvazione interventi integrativi del sistema di opere di difesa della costa tra Capo S. Spirito ed il torrente Varatella

DECRETO	N. del REGISTRO ATTI AFFARI GIUNTA	DATA di SOTTOSCRIZIONE

IL DIRIGENTE

Visti gli art. 14 e seguenti della L. 241/1990 e s.m. e i., che regolano il procedimento della Conferenza di Servizi, come da ultimo modificati dalla L. 11 febbraio 2005 n. 15;

Visto l'art. 6 della l.r. 13/1999 e s.m. e i. che affida alla Regione il compito di indire una Conferenza di Servizi per l'approvazione dei progetti relativi ad interventi volti alla difesa della costa ed al ripascimento degli arenili;

Vista la deliberazione della Giunta Regionale n. 1349 del 11.11.2005 e s.m., di individuazione degli atti amministrativi di competenza degli organi e degli uffici della Regione, per effetto della quale l'emanazione del provvedimento di approvazione dell'intervento indicato in oggetto spetta al Dirigente del Servizio Procedimenti Concertativi;

Premesso

Che il Comune di Borghetto S. Spirito, nell'ambito dell'Accordo Quadro stipulato con la Regione e La Provincia di Savona per la redazione e la successiva approvazione dei progetti di intervento volti alla difesa ed al ripascimento dell'arenile compreso tra il torrente Varatella e Capo S. Spirito, ha predisposto il progetto definitivo relativo al primo lotto di interventi volti alla realizzazione delle opere di difesa inerenti il tratto di costa di che trattasi.

Che la Conferenza di Servizi di cui all'art. 6 della l.r. 13/1999 e s.m. e i. conclusasi in data 14.2.2002 ha approvato il suddetto primo lotto funzionale;

Che in data 28.4.2006 si è conclusa una seconda Conferenza di Servizi di cui al citato articolo 6 della l.r. 13/1999 e s.m. per l'approvazione del secondo lotto di interventi di difesa e ripascimento del litorale comunale;

Che, al fine di risolvere alcune criticità emerse a seguito della realizzazione degli interventi come sopra approvati, l'Amministrazione Comunale, in data 19.2.2009, ha avviato la procedura di verifica screening ai sensi dell'art. 10 della l.r. 38/1998 per la valutazione del progetto preliminare relativo ad interventi

Data - IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

(Sig.ra Annamaria Billi)

ATTO	AUTENTICAZIONE COPIE	CODICE PRATICA
		2285

integrativi del sistema di opere di difesa della costa tra Capo S. Spirito ed il torrente Varatella procedura conclusasi con Decreto del Direttore Generale del Dipartimento Ambiente n. 195 del 25.5.2009 contente la pronuncia di non assoggettamento a VIA del progetto di che trattasi a condizione del rispetto, in fase di progettazione definitiva e di esecuzione delle opere, di una serie di prescrizioni ivi indicate;

Che, successivamente, la Civica Amministrazione, con nota prot. n. 21128 del 6.10.2009, ha presentato alla Regione il progetto definitivo volto alla realizzazione degli interventi integrativi sopra citati per l'indizione della Conferenza di Servizi di cui al ridetto art. 6 della l.r. 13/1999 e s.m. e i.;

Che l'Amministrazione regionale, con nota prot. PG/2010/2858 del 11.1.2010, ha convocato, per il giorno 19.1.2010, la conferenza referente, per l'esame del progetto di che trattasi, trasmettendo contestualmente la relativa documentazione alle Amministrazioni ed agli Enti a vario titolo competenti nel procedimento;

Che nel contesto della suddetta conferenza è emersa la necessità, da parte delle Amministrazioni e degli Enti competenti nel procedimento, di acquisire documentazione integrativa;

Che la Regione, ricevuta in data 19.4.2010 e 14.6.2010, la documentazione integrativa come sopra richiesta, con nota prot. PG/2010/89859 del 17.6.2010 ha convocato per il giorno 23.7.2010 la conferenza di servizi in seduta deliberante;

Considerato

Che il progetto in argomento, relativo ad interventi di completamento del sistema di opere di difesa del litorale comunale nel tratto compreso tra Capo S. Spirito e la foce del T. Varatella, prevede nello specifico:

1. la realizzazione di un'opera facilmente rimovibile a collegamento delle due secche meridionali presenti, formata da 5 geotubi sommersi di diametro nominale compreso tra 2 e 3 m, distanziati tra loro e paralleli a riva; per conferire al sistema una maggiore stabilità sarà riempito lo spazio tra i primi due geotubi verso mare con materiale grossolano cavato dall'alveo del Torrente Varatella;
2. l'inserimento di due setti sommersi perpendicolari alla costa, realizzati con geotubi aventi diametro variabile compreso tra 2 e 3 m;
3. il ripascimento con 20.000 m^3 di materiale di cava, di diametro pari a 4/5 mm;
4. la realizzazione di una nuova secca, di dimensioni inferiori alle precedenti (sommità 15x30 m) in direzione di Capo S. Spirito (sud);
5. la realizzazione di due tubazioni in acciaio per il convogliamento delle acque meteoriche al di fuori del sistema difensivo;

Che il progetto sarà realizzato per lotti funzionali coerentemente con le disponibilità finanziarie;

Che i suddetti interventi sono compatibili con le indicazioni del vigente Piano Territoriale di

Data - IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

(Sig.ra Annamaria Bilii)

Coordinamento Paesistico, approvato con D.C.R. n. 6 del 26.2.1990, e del Piano Territoriale di Coordinamento della Costa, approvato con D.C.R. n. 64 del 19.12.2000, e conformi alle previsioni del vigente Piano Regolatore Generale del Comune di Borghetto S. Spirito approvato con DPGR n. 198 del 28.2.1978;

Che gli interventi di cui sopra, in quanto interessano aree ricadenti in zona soggetta al vincolo paesistico-ambientale di cui all'art. 136 del D.Lgs. 22.1.2004 n. 42 e s.m. i., risultano assoggettati al rilascio della relativa autorizzazione paesistico-ambientale, ai sensi dell'art. 146 del citato D.Lgs. 42/2004;

Che inoltre i medesimi interventi interessano aree appartenenti al demanio marittimo la cui gestione è ora di spettanza dell'Amministrazione Comunale in attuazione dell'art. 105, comma 2, lettera l), del D.Lgs. n. 112/1998 e s.m. ed ai sensi dell'art. 12, comma 3, della l.r. n. 13/1999, come da ultimo modificato dall'art. 5 della l.r. 3.1.2002 n. 1 e pertanto risultano assoggettati al parere tecnico di cui all'art. 12 del Regolamento per la Navigazione Marittima;

Dato atto

Che il progetto di che trattasi consta degli elaborati grafici e descrittivi di seguito elencati:

Elaborato A	Compendio relazioni
Elaborato B	Disciplinare degli elementi tecnici
Elaborato C	Computo metrico estimativo
Elaborato D	Relazione paesistica
Tav. 1	Inquadramento cartografico generale
Tav. 2	Rilievi batimetrici e di battigia disponibili
Tav. 3	Planimetria generale di progetto
Tav. 4	Particolari geotubi longitudinali
Tav. 5	Particolari setto sommerso
Tav. 6	Particolari modifica molo Nicolino e relativa tubazione a mare
Tav. 7	Particolari molo Royal
Tav. 8	Particolari salpamento pennelli "Rocca Marino" e "non nominato"
Tav. 9	Particolari tubazioni di prolungamento scarico sul molo "Occhio di Cubia"
Tav. 10	Particolari secca "D"
Tav. 11	Particolari versamento materiali di rinascimento
	Fotomontaggio

Integrazioni pervenute in data19.4.2010

	Integrazioni
Tav. A	Raffronto tra progetto preliminare – definitivo e particolare scarico
Tav. B	Coordinate opere semiaffioranti

Data - IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

(Sig.ra Annamaria Gilli)

22.7.2010

AUTENTICAZIONE COPIE

CODICE PRATICA 2285

ATTO

COD. ATTO : DECRETO DEL DIRIGENTE

Che la Giunta Comunale di Borghetto S. Spirito, con deliberazione n. 72 del 5.5.2010, ha approvato il progetto di che trattasi sotto il profilo urbanistico-edilizio e finanziario;

Che le strutture regionali a vario titolo competenti nel procedimento hanno espresso le proprie valutazioni nei termini e con le prescrizioni indicati nei rispettivi pareri allegati quali parti integranti e sostanziali al presente decreto e comunque di seguito riportate:

A. sotto il profilo tecnico, ferme restando le prescrizioni contenute nel citato decreto n. 195/2009 da ottemperare in fase esecutiva:

1. il primo lotto funzionale dovrà comprendere il versamento di 20.000 m^3 di materiale di ripascimento, in modo da evitare fenomeni di richiamo dalle zone limitrofe con contestuale erosione;
2. il materiale utilizzato per il ripascimento dovrà essere caratterizzato conformemente ai protocolli di campionamento ed analisi di Arpal; Arpal fornirà parere vincolante preventivo sull'utilizzo di tale materiale, utilizzando quale standard per la pelite la soglia del 3%;
3. l'opera longitudinale in geotubi dovrebbe consentire il consolidamento della linea di riva nel tratto retrostante e la demolizione del pennello trasversale: sulla base dei risultati dei monitoraggi morfo-batimetrici dovrà essere valutata l'eventuale rimozione;
4. l'esecuzione degli interventi dovrà essere seguita da una campagna di monitoraggio conforme ai criteri regionali in materia, estendendo il monitoraggio in corso;
5. dovrà essere data comunicazione preventiva, da parte del proponente, alla Capitaneria di Porto, all'ARPAL ed al Settore Ecosistema Costiero, della data di inizio lavori;

B. sotto il profilo paesistico:

6. sia prevista una particolare ed appropriata cura nella scelta dei litotipi da utilizzarsi per la "secca soffolta", litotipi che dovranno avere caratteristiche idonee, quali porfiroidi e calcari, che rientrano nelle unità tettoniche di riferimento caratterizzanti la zona stessa, evitando nel modo più assoluto l'utilizzo di tipi litologici che si differenziano per colorazione e struttura quali il marmo bianco di Carrara ed ect.;
7. sia prevista una particolare cura nella scelta dei materiali di cava da utilizzare per il ripascimento sia a livello di granulometria che di scelta cromatica per mantenere la continuità con le spiagge esistenti;
8. l'avvio dei lavori approvati dovrà essere subordinato alla verifica di coerenza dei materiali da impiegarsi in conformità alle prescrizioni sopra indicate, in particolare attraverso l'invio di una documentazione fotografica e di una certificazione con le caratteristiche dei litotipi da utilizzarsi per il prolungamento dei pennelli;

Data - IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

(Sig.ra Annamaria Billi)

9. l'efficacia dell'autorizzazione paesistica è subordinata all'osservanza delle prescrizioni sopra riportate;

C. sotto il profilo dell'assetto del territorio si richiama l'osservanza dei criteri contenuti nella DGR n. 226/2006;

Che il settore Valutazione di Impatto Ambientale con nota prot. IN/2010/13049 del 31.5.2010, alla luce dei pareri resi dalle altre strutture regionali, si è espresso nel senso di ritenere la progettazione definitiva presentata coerente con quanto valutato in sede di verifica – screening;

Ritenuto

Che, per quanto in precedenza evidenziato, il progetto in argomento sia meritevole di favorevole considerazione sotto i profili pianificatorio/territoriale, paesaggistico e demaniale subordinatamente all'osservanza delle prescrizioni sopra indicate;

DECRETA

di esprimere, per le motivazioni e con le prescrizioni sopra menzionate, l'assenso regionale all'approvazione del progetto definitivo relativo alla realizzazione di interventi integrativi del sistema di opere di difesa della costa tra Capo S. Spirito ed il torrente Varatella nel Comune di Borghetto S. Spirito, dando esplicitamente atto che tale determinazione comporta, per quanto di competenza della Regione:

a) sotto il profilo paesaggistico, il rilascio dell'autorizzazione paesistico-ambientale di cui all'art. 146 del D.Lgs. n. 42/2004 e s.m., ai sensi e per gli effetti dell'art. 8, comma 1, lett. b ter) della l.r. 13/1999 e s.m.e i.;

b) sotto il profilo demaniale marittimo, il rilascio, ai sensi dell'art. 5, lett.f), del Piano di Utilizzazione delle aree Demaniali Marittime, approvato con D.C.R. n. 418 del 9.4.2002, del parere tecnico favorevole di cui all'art. 12 del Regolamento per la Navigazione Marittima;

FINE TESTO

22/7/10

Data - IL DIRIGENTE

(Arch. Antonio Giorgoni)

Data - IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

(Sig.ra Annamaria Billi)

20/7/2010

ATTO	AUTENTICAZIONE COPIE	CODICE PRATICA : 2285
PAGINA : 5		
	COD. ATTO : DECRETO DEL DIRIGENTE	

REGIONE LIGURIA

DIPARTIMENTO AMBIENTE

Genova,

Prot. n.:
Allegati:

Settore: **VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE**

Urbanistica e procedimenti concertativi
SEDE

Oggetto: progetto definitivo interventi integrativi opere di difesa costiera a Borghetto Santo Spirito

Con riferimento all'oggetto, si concorda pienamente con quanto contenuto nel parere reso in merito dal settore Ecosistema costiero con nota IN/2010/11437. A tali condizioni si ritiene la progettazione definitiva coerente con quanto valutato in sede di verifica-screening (decreto n. 195/2009).

Cordiali saluti

Il Dirigente
(dott. Vincenzo D'Auria)

Dipartimento Ambiente, Via D'Annunzio, 111, 16121 Genova
tel. 010-5484829, fax 010-5484055
e-mail paola.solari@regione.liguria.it

REGIONE LIGURIA

DIPARTIMENTO AMBIENTE

SETTORE: Ecosistema Costiero

Prot. n. IN/2010/12231
Allegati:
Classif./Fasc. 2009/G13.13.1/17-3

Al Settore Urbanistica e Procedimenti Concertativi

E p.c. Settore VIA
SEDE

OGGETTO: Interventi integrativi del sistema di opere di difesa della costa tra capo S.Spirito ed il Torrente Varatella – progetto definitivo.

Con riferimento alla pratica in oggetto, l'Ufficio scrivente ha eseguito una istruttoria finalizzata alla verifica di idoneità tecnica delle opere, i cui risultati sono riportati nel seguito.

Descrizione del progetto

Il progetto in esame riguarda gli interventi di completamento del sistema di opere di difesa del litorale comunale nel tratto compreso tra Capo S. Spirito e la foce del T. Varatella; nello specifico il progetto prevede la realizzazione dei seguenti interventi:

- realizzazione di un'opera facilmente rimovibile a collegamento delle due secche meridionali presenti, formata da 5 geotubi sommersi di diametro nominale compreso tra 2 e 3 m, distanziati tra loro e paralleli a riva; per conferire al sistema una maggiore stabilità sarà riempito lo spazio tra i primi due geotubi verso mare con materiale grossolano cavato dall'alveo del Torrente Varatella.
- inserimento di due setti sommersi perpendicolari alla costa, realizzati con geotubi aventi diametro variabile compreso tra 2 e 3 m;
- ripascimento con 20.000 m^3 di materiale di cava, di diametro pari a 4/5 mm;
- realizzazione di nuova secca, di dimensioni inferiori alle precedenti (sommità 15x30 m) in direzione di Capo S. Spirito (sud);
- realizzazione di due tubazioni in acciaio per il convogliamento delle acque meteoriche al di fuori del sistema difensivo.

Il progetto sarà realizzato per lotti funzionali coerentemente con le disponibilità finanziarie.

Esito dell'istruttoria tecnica

Aspetti tecnici

All'interno della procedura di verifica/screening, conclusa con D.D. 195/2009, l'Ufficio scrivente ha espresso un parere positivo sul progetto in esame, ferme restando alcune prescrizioni da ottemperare in sede di progettazione definitiva, formalizzate dal succitato decreto:

- *"In ogni caso il primo lotto funzionale dovrà comprendere anche il versamento di un [illegible] materiale di ripascimento atto a evitare fenomeni di richiamo di materiale dalle zone limitrofe con contestuale erosione. Sulla base delle modellazioni svolte e dei risultati dei monitoraggi eseguiti tale quantitativo può essere individuato in 20.000 m^3 totali;*
- *Dovrà essere stralciata la previsione della barriera longitudinale in massi e geotubi tra le due secche meridionali. Eventuali opere longitudinali potranno essere poste in opera solo al fine di consentire il consolidamento della linea di riva nel tratto retrostante e la demolizione del pennello trasversale. Dovranno pertanto essere facilmente rimovibili ed avere carattere di temporaneità, da valutarsi sulla base dei risultati dei monitoraggi morfo-batimetrici;*
- *L'esecuzione degli interventi dovrà essere seguita da una campagna di monitoraggio conforme ai criteri regionali in materia, estendendo il monitoraggio in corso."*

In riferimento al primo punto, si segnala che nel progetto definitivo non sembra siano individuati nello specifico i lotti funzionali; a tal proposito, considerato comunque che è stato indicato che il progetto sarà realizzato per lotti funzionali coerentemente con le disponibilità finanziarie, si ribadisce quanto già espresso in sede di verifica screening.

Per quanto riguarda il secondo punto, nella nuova versione è prevista l'eliminazione dei massi, conferendo all'opera caratteristiche di facile rimozione; tale opera dovrebbe consentire il consolidamento della linea di riva nel tratto retrostante e la demolizione del pennello trasversale. Sulla base dei risultati dei monitoraggi morfo-batimetrici dovrà essere valutata l'eventuale rimozione.

L'ultima prescrizione rimane valida per la fase esecutiva.

Aspetti ambientali

Anche per quanto riguarda gli aspetti ambientali si richiamano le prescrizioni decise nell'ambito della sopra richiamata procedura di verifica screening:

- costruzione delle secche senza la realizzazione di piste di cantiere;
- utilizzo di materiale da ripascimento con percentuali di pelite non superiori al 3% (sulla compatibilità ambientale del materiale dovrà essere acquisito il parere vincolante di Arpal).

In merito alla prima prescrizione il progetto definitivo propone di reintrodurre il ricorso alla pista di cantiere da realizzarsi esclusivamente con materiale da ripascimento conforme agli standard indicati; considerando gli obiettivi della prescrizione, si ritiene tale proposta assentibile, ferma restando la necessità che il previsto monitoraggio fornisca elementi utili a valutare l'efficacia di tale modalità operativa.

Conclusioni

In conclusione si ritiene di poter esprimere, per quanto di competenza, parere positivo sull'iniziativa progettuale in oggetto, ferme restando le seguenti prescrizioni:

- il primo lotto funzionale dovrà comprendere il versamento di 20.000 m^3 di materiale di ripascimento, in modo da evitare fenomeni di richiamo dalle zone limitrofe con contestuale erosione;
- il materiale utilizzato per il ripascimento dovrà essere caratterizzato conformemente ai protocolli di campionamento ed analisi di Arpal; Arpal fornirà parere vincolante preventivo sull'utilizzo di tale materiale, utilizzando quale standard per la pelite la soglia del 3%;

- l'opera longitudinale in geotubi dovrebbe consentire il consolidamento della linea di [illegible] tratto retrostante e la demolizione del pennello trasversale. sulla base dei risultati dei monitoraggi morfo-batimetrici dovrà essere valutata l'eventuale rimozione;
- l'esecuzione degli interventi dovrà essere seguita da una campagna di monitoraggio conforme ai criteri regionali in materia, estendendo il monitoraggio in corso;
- dovrà essere data comunicazione preventiva, da parte del proponente, alla Capitaneria di Porto, all'ARPAL ed allo scrivente Settore, della data di inizio lavori.

Distinti saluti

IL DIRIGENTE
(Dott.ssa Ilaria Fasce)
Ilaria Fasce

SASC/sasc

REGIONE LIGURIA

DIPARTIMENTO PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

UFFICIO: AREE DEMANIALI MARITTIME

Genova, 18/6/2010

Prot. n. IN/2010/11473

Allegati:

rif.to alla nota n. del

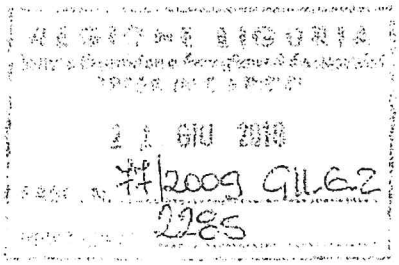
Al
Servizio Procedimenti Concertativi

Oggetto: Comune di Borghetto S.S. (SV) – Conferenza dei Servizi ex art. 6 della l.r.13/1999 per approvazione interventi integrativi del sistema di opere di difesa della costa tra capo S.Spirito e il torrente Varatella.

Esaminati gli elaborati di progetto presentati nella Conferenza del 19/1/2010 e le successive integrazioni del 15/4/20010, si esprime parere favorevole all'intervento sotto il profilo demaniale marittimo.

Distinti saluti.

IL DIRIGENTE
(arch. Corinna Artom)



REGIONE LIGURIA – UFFICIO AREE DEMANIALI MARITTIME
Via D'Annunzio, 113 8° p. - 16121 GENOVA - tel. 010.548.5716/4229/8881 fax 010.548.4111 / 010.548.8746 - e-mail: demanio@regione.liguria.it

REGIONE LIGURIA

DIPARTIMENTO PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

SERVIZIO TUTELA DEL PAESAGGIO

Genova, 26-05-2010

Prot. n. IN/2010/13536
Allegati:

Al Settore Urbanistica e Procedimenti Concertativi

e p.c. All'Ufficio Aree Demaniali Marittime

SEDE

Oggetto: Conferenza di Servizi

Comune di Borghetto S.S. (SV). Interventi integrativi del sistema di opere di difesa della costa tra Capo S. Spirito ed il torrente Varatella.

CLASS. G11.6.8
FASCICOLO 2009/171
PRATICA N. 38862

In merito alla vostra richiesta di parere di competenza per le opere in oggetto, trasmessa con nota n. IN/2010/11437 del 10-05-2010, si fa presente quanto segue.

L'area d'intervento risulta assoggettata al vincolo paesistico-ambientale "specifico" per effetto del D.M. 30-12-1965 del successivo D.M. 24-04-1985 (c.d. "Galassino"), vincoli imposti a norma della L. n. 1497/1939, oggi corrispondente all'art. 136 del ridetto Decreto Legislativo n. 42/2004 e s.m.i,.

Detta area è inoltre classificata dal Piano Territoriale di Coordinamento Paesistico - approvato con Deliberazione del Consiglio Regionale n. 6/1990 e s.m. - sub assetto insediativo come TU (Tessuto Urbano) – art. 38 delle N.d.A..

Il tratto di litorale interessato dall'intervento è ricompreso tra Capo S. Spirito e il torrente Varatello, nel Comune di Borghetto S.S.; e rientra nell'unità fisiografica che si estende fra il promontorio di S.Croce a sud e il promontorio della Caprazoppa a nord.

Detto litorale è stato oggetto nel recente passato di interventi di riqualificazione attraverso la realizzazione di alcune opere di difesa e di ripascimenti strutturali che hanno consentito una significativa stabilità della spiaggia e maggiore protezione dell'abitato retrostante.

L'intervento in oggetto prevede la realizzazione di ulteriori opere di difesa e di ripascimento dell'arenile, ad integrazione di quanto già realizzato al fine di garantire una maggiore stabilità del litorale.

FASCICOLO 2009/171
PRATICA N. 38862

Le opere previste in particolare consistono nella realizzazione di una secca di massi soffolta, nella realizzazione di una soglia sommersa in 5 geotubi longitudinali (circa mt. 1,00 sotto il s.l.m.), nella posa in opera di due setti sommersi previsti con geotubi, nella posa in opera di due tubazioni in acciaio per scarichi a mare di acque bianche, nel salpamento di due pennelli e di un molo "Nicolino", nella modica di un molo "Royal" esistente, ed infine in un ripascimento di un tratto di spiaggia di circa mt. 700.

Le opere citate, pur sostanziali, sono tali da non stravolgere il litorale e la sua percezione visiva, come peraltro già evidenziato nelle precedenti autorizzazioni paesaggistiche a suo tempo rilasciate nel 2001 e 2006, in quanto la realizzazione di una secca soffolta e della soglia sommersa in geotubi non creano alcun ulteriore impedimento sulla percezione dell'orizzonte ed inoltre le opere relative al ripascimento della spiaggia non modificano il paesaggio, sempre che siano previsti sversamenti di inerti della stessa natura, tipologia e colore dell'esistente.

La scelta progettuale di prevedere il salpamento di due pennelli e di un molo esistente è tale da garantire una maggiore continuità alla spiaggia stessa e un miglioramento percettivo del litorale e della sua stessa naturalità.

Il progetto in questione peraltro costituisce una integrazione ad un progetto già avviato di riqualificazione del litorale di Borghetto Santo Spirito, per migliorare sia la fruizione turistica/balneare delle spiagge che la protezione dell'abitato retrostante.

Gli interventi in parola risultano non contrastanti con gli obiettivi di tutela del paesaggio che competono allo Scrivente Servizio, tenuto conto che tali imprescindibili opere si configurano come recupero e mantenimento di una spiaggia esistente senza modificare sostanzialmente la linea di costa e risultano compatibili con le indicazioni del Piano Territoriale di Coordinamento Paesistico come da art. 38 – TU (Tessuto Urbano) delle relative Norme di Attuazione.

Per quanto sopra espresso, si ritengono quindi gli interventi prospettati sostanzialmente assentibili sotto il profilo paesistico-ambientale, alle condizioni sottoriportate:

- sia prevista una particolare ed appropriata cura nella scelta dei litotipi da utilizzarsi per la "secca soffolta ", litotipi che dovranno avere caratteristiche idonee, quali i porfiroidi e i calcari, che rientrano nelle unità tettoniche di riferimento caratterizzanti la zona stessa, evitando nel modo più assoluto l'utilizzo di tipi litologici che si differenziano per colorazione e struttura quali il marmo bianco di Carrara ed ect.;

FASCICOLO 2009/171
PRATICA N. 38862

- sia prevista una particolare cura nella scelta dei materiali di cava da utilizzare per il ripascimento sia a livello di granulometria che di scelta cromatica per mantenere la continuità con le spiagge esistenti;

L'avvio dei lavori approvati dovrà essere subordinato alla verifica di coerenza dei materiali da impiegarsi in conformità alle prescrizioni sopra indicate, in particolare attraverso l'invio di una documentazione fotografica e di una certificazione con le caratteristiche dei litotipi da utilizzarsi per il prolungamento dei "pennelli".

L'efficacia della presente autorizzazione è subordinata all'osservanza delle prescrizioni in essa contenute, che sono parte integrante del provvedimento Regionale autorizzativo.

Distinti saluti.

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
(Geom. Massimo Fonnesu)

Per IL DIRIGENTE
(Dott. Arch. Franco Lorenzani)
IL FUNZIONARIO
Dott. Arch. Massimo Pietrasanta)