

PROGETTO FINANZIATO DALL' UNIONE EUROPEA  
NEXT GENERATION EU



Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 23 agosto 2022, con il quale sono state disciplinate le modalità di ripartizione delle risorse del PNRR a valere sulla Missione 2, Componente 4, Investimento 2.1b "Misure per la gestione del rischio di alluvione e per la riduzione del rischio idrogeologico"



# COMUNE DI FANO

Provincia di Pesaro e Urbino  
SETTORE 5° - LAVORI PUBBLICI

INTERVENTI DI DIFESA DELLA COSTA U.F. 6  
SASSONIA SUD DAL FIUME METAURO AL  
PORTO - TRANSETTO 137 - SCOGLIERA DI  
CHIUSURA PARAGGIODI MARE  
CUP E31B21004020006

## PROGETTO ESECUTIVO

### *RELAZIONE TECNICA IDRAULICA*

PROGETTISTA GENERALE: Dott. Ing. Elisa Seta  
D.L.: Dott. Ing. Elisa Seta

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Dott. Ing. Federico Fabbri

DATA: MARZO 2023  
Rev 02

SCALA:

ELAB.

02

## Sommario

1. PREMESSA .....	2
2. ANALISI METEOMARINA.....	6
2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO E DETERMINAZIONE DEI FETCHES.....	6
2.2 CONDIZIONI METEOMARINE NEL PARAGGIO DI FANO .....	10
3. DESCRIZIONE DELLE IPOTESI DI INTERVENTO .....	19
3.1 STATO DI FATTO DEL SISTEMA DI DIFESA COSTIERA.....	19
3.2 PREVISIONE DI PROGETTO E ALTERNATIVE PROGETTUALI .....	20
3.3 RISULTATI DEL MODELLO IDRAULICO SULLE ALTERNATIVE PROGETTUALI .....	42
3.4 VERIFICHE IDRAULICHE.....	16
3.4.1 DIMENSIONAMENTO DEL VARCO .....	17
3.4.2 TRASMISSIONE DELLE ONDE, RUN-UP E OVERTOPPING.....	18
3.4.3 RUN-UP SULLA SPIAGGIA EMERSA .....	21
4. VERIFICA BELLICA E ARCHEOLOGICA.....	22

## 1. PREMESSA

L'Amministrazione del Comune di Fano sta completando la realizzazione delle opere foranee emerse previste nel progetto "Rifiorimento scogliere soffolte e costruzione scogliera emersa nel tratto di costa compresa tra il porto di Fano e Baia Metauro".

Il Progetto Generale di tutto il litorale compreso tra il porto di Fano e Baia Metauro è stato oggetto di procedura di VIA che si è conclusa con Decreto Dirigenziale Regione Marche n.60/VAA del 03/08/2015, il progetto prevedeva la trasformazione delle scogliere esistenti da sommerse in emerse, la realizzazione di 7 nuovi setti di scogliere foranee emerse verso il porto di Fano, insieme alla sistemazione di tutto il tratto di costa (vd. Fig. 1/1). La realizzazione delle opere è avvenuta con stralci successivi, le Fig. 1/1 e 1/2 illustrano le opere previste dal progetto generale e nelle due fasi di progettazione, la figura 1/3 mostra lo stato di avanzamento attuale dei lavori.



Fig. 1/1 Stralcio della planimetria di Progetto Generale

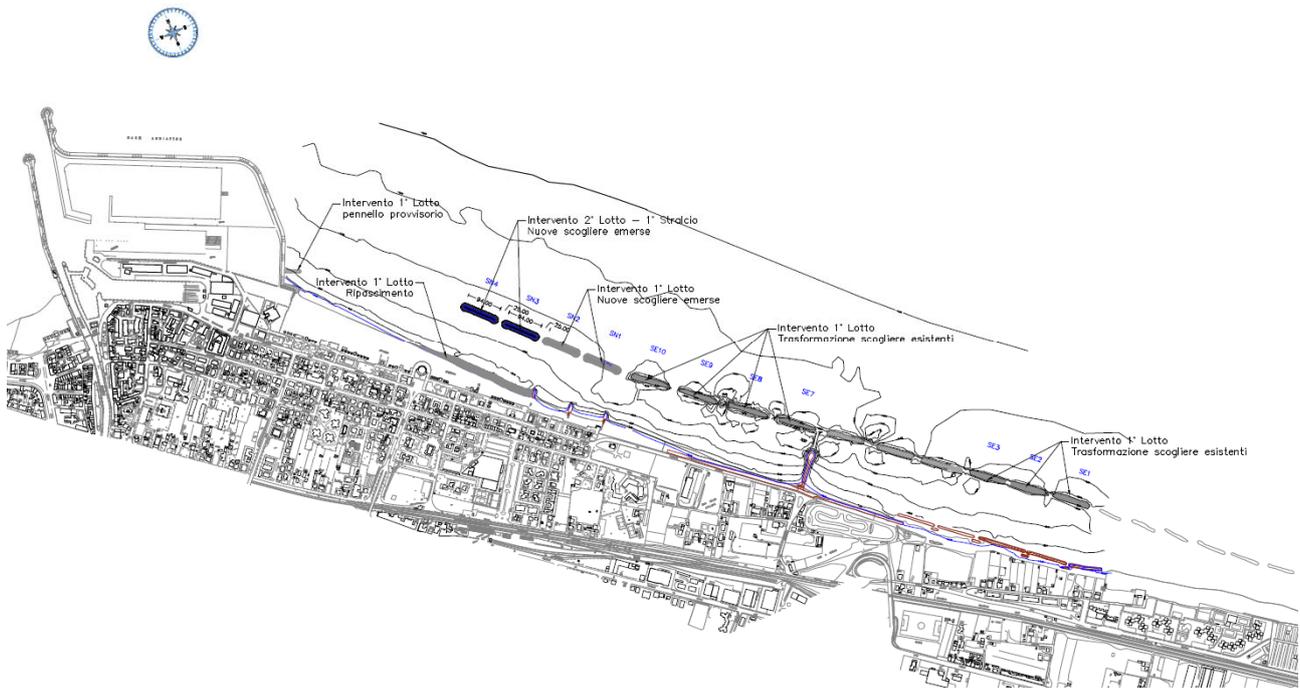


Fig. 1/2 Stralcio della planimetria di Progetto – 1° e 2° lotto

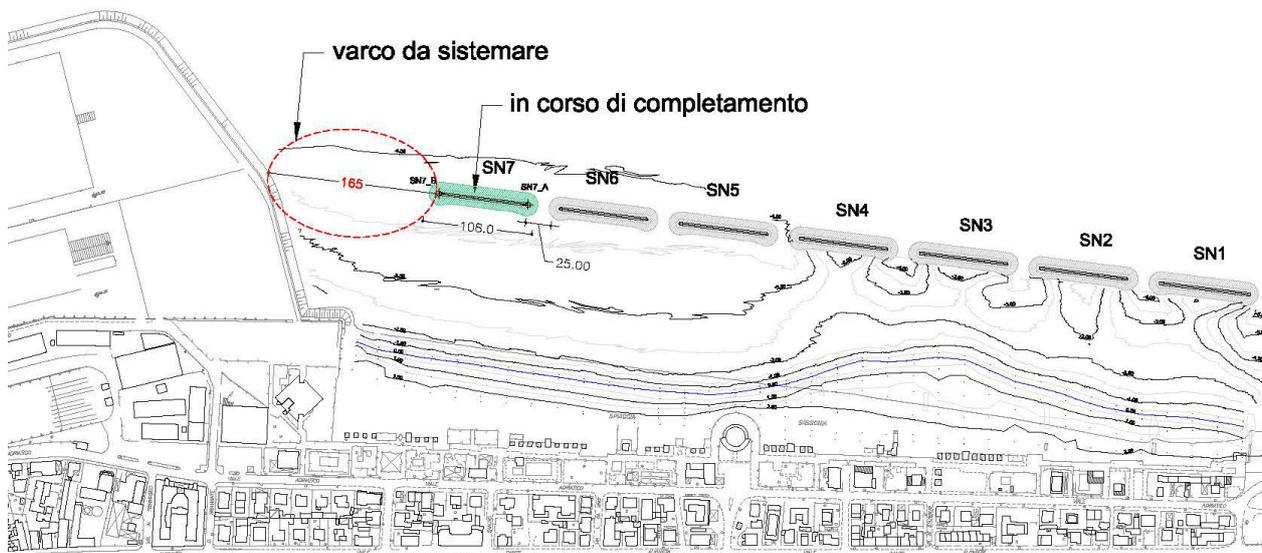


Fig. 1/3 Stato attuale delle opere nel tratto delle nuove scogliere foranee emerse

Durante l'iter autorizzativo si è approfondito lo studio idraulico-marittimo delle opere foranee per individuare quale opera fosse migliore per la difesa della costa e tale da garantire il minor impatto ambientale attraverso analisi e studi di dettaglio tenendo conto dei contenuti della Relazione Specialistica allegata al VIA.

La costruzione di scogliere foranee emerse produce, nei litorali sabbiosi ghiaiosi rettilinei, erosioni sottoflutto delle mareggiate prevalenti. Quando la costruzione è realizzata per stralci l'erosione si propaga

sempre sottoflutto. Tali erosioni si eliminano prolungando le difese con la realizzazione di nuovi setti, o con ripascimenti programmati della spiaggia sottoflutto.

L'erosione sottoflutto si arresta quando le difese incontrano strutture naturali (promontori) o artificiali (moli portuali, pennelli) poiché si forma una cella sedimentaria chiusa.

Negli studi di approfondimento del Progetto Generale, studi allegati alla procedura di VIA, è stata determinata la larghezza ottimale dei varchi tramite l'analisi della diffrazione delle onde incidenti. Nella diffrazione la larghezza del varco viene definita e misurata in corrispondenza del l.m.m. Tale distanza (25m) è stata utilizzata nel progetto esecutivo nella realizzazione dei setti di scogliera.

Il numero dei setti e la distanza dal molo del porto non coincidono esattamente con la planimetria del progetto generale dove la larghezza dei varchi era definita, in sede preventiva, al piede del setto.

Negli stralci esecutivi quindi, mantenendo la lunghezza fissa delle scogliere e realizzando varchi tra le stesse di 25m al l.m.m., si è andato a determinare tra l'ultima opera prevista e in corso di realizzazione (SN7) e il porto di Fano un varco più ampio (165m), rispetto a quello preventivato nella sistemazione prevista nel Progetto Generale (85m).

Il Comune ha quindi affidato uno Studio di Fattibilità che analizzasse le ipotesi di messa in sicurezza di quest'ultimo tratto di litorale, tenendo anche in conto che nel terrapieno radicato alla radice del molo di sopraflutto è stato recentemente realizzato un fabbricato.

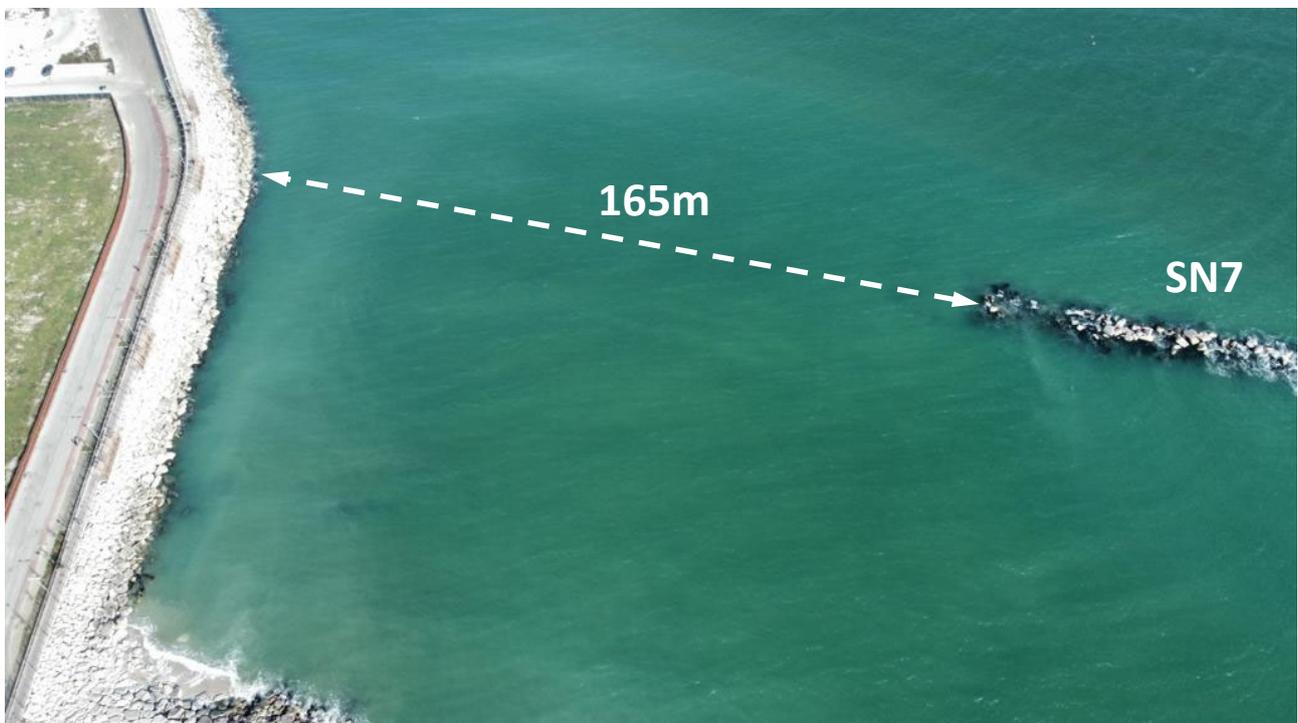


Fig. 1/4 Stato attuale delle opere – foto da drone Febb.2021

Sulla base delle risultanze dello Studio di Fattibilità è stata individuata la soluzione ottimale per completare il sistema di difesa costiera sino al molo del porto, in maniera tale da permettere la protezione dell'ultimo tratto di litorale dalle onde incidenti. La soluzione scaturita dai modelli idraulici, estesi sul litorale dal molo sud del porto sino al pennello di via Ruggeri, è quella di realizzare un setto di scogliera, ultima scogliera SN8, della lunghezza di 81m l.m.m., varco di 25m l.m.m. con l'ultima scogliera realizzata SN7 e varco di circa 60m l.m.m. con il molo portuale. Tra le soluzioni analizzate è stata prescelta perché quella che favorisce localmente la miglior circolazione idrodinamica.

Il Progetto Definitivo di quest'ultima scogliera è stato sottoposto a procedura di Verifica di Assoggettabilità a V.I.A. come variante del progetto "Rifiorimento delle scogliere soffolte e costruzione scogliera emersa nel tratto di costa compreso tra il porto di Fano e Baia Metauro" già sottoposto a VIA conclusasi con DDPF VAA n. 60/2015, la cui validità è stata prorogata fino al 31.12.2023 con DDPF VAA n. 181/2020.

Il Progetto Definitivo della SN8 "Interventi di difesa della costa U.F. 6 Sassonia Sud dal Fiume Metauro al porto – Transetto 137 – Scogliera di chiusura paraggio di mare. CUP: E31B21004020006" è stato escluso, ai sensi dell'articolo 19, comma 8, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n.152, dalla successiva Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) con Decreto Dirigenziale Regione Marche n.10/VAA del 24/01/2022.

Nella presente Relazione Tecnica Idraulica del Progetto Esecutivo della scogliera SN8 vengono analizzati gli aspetti meteo marini che caratterizzano il paraggio di mare, e le principali verifiche idrauliche dell'opera.

## 2. ANALISI METEOMARINA

L'analisi fornisce le onde e le correnti nel paraggio di Fano.

### 2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO E DETERMINAZIONE DEI FETCHES

La zona di intervento è collocata tra il porto di Fano e l'ultimo setto di scogliera in corso di completamento.

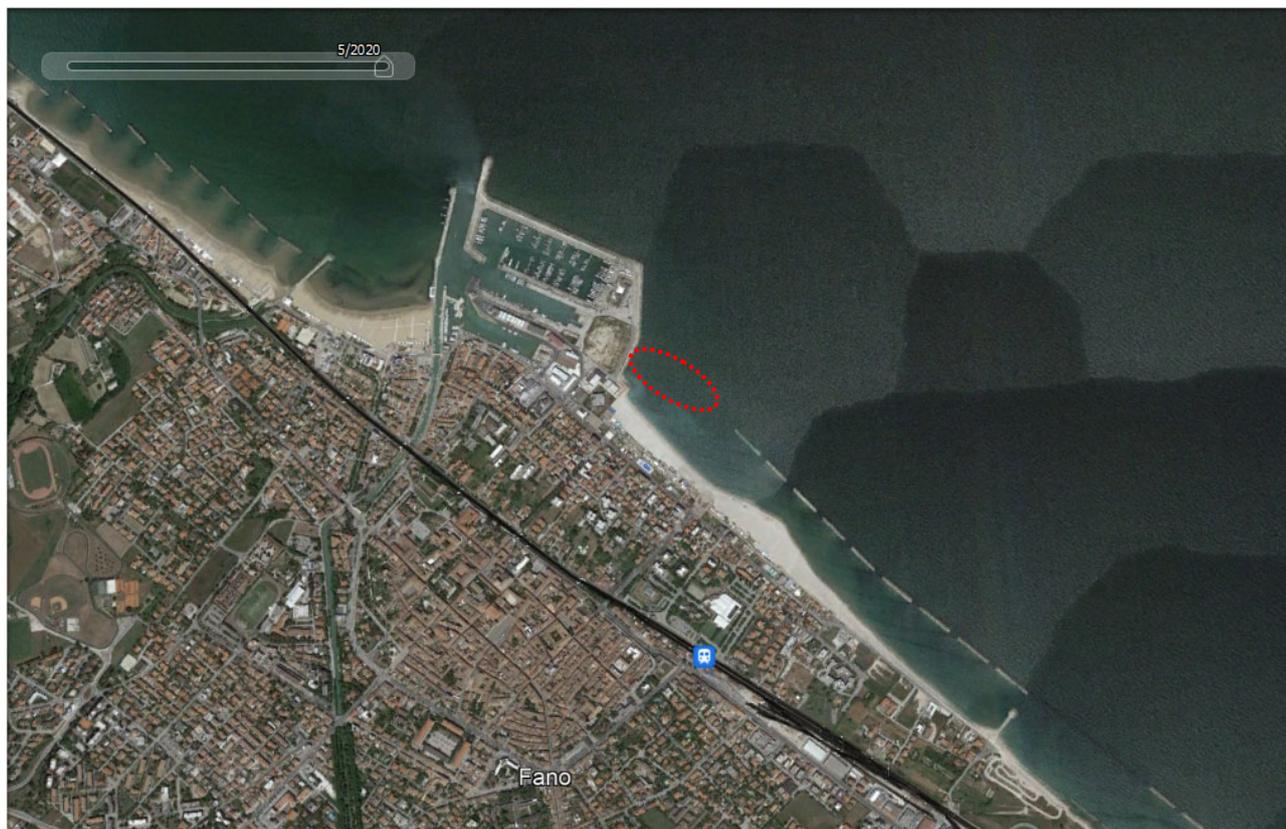


Fig. 2.1/1 Immagine satellitare della zona di intervento maggio 2020

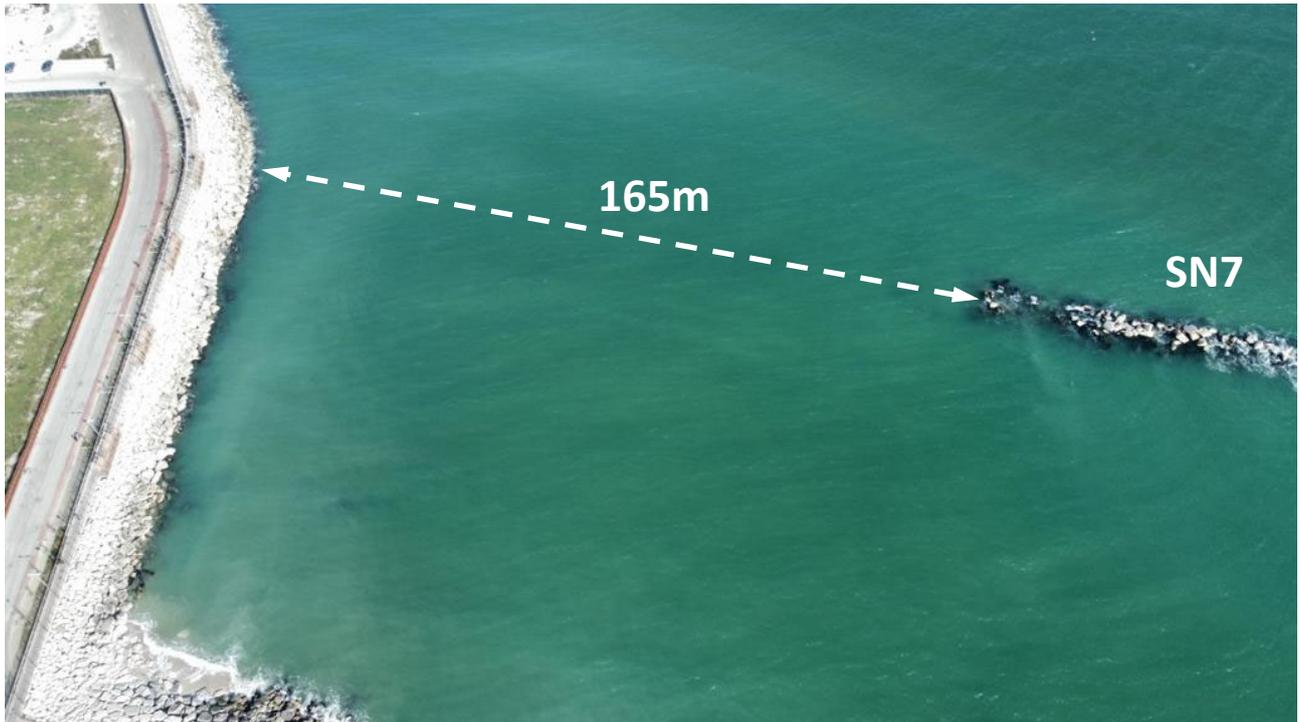


Fig. 2.1/2 Stato attuale delle opere – foto da drone Febb.2021

Una prima analisi delle potenziali condizioni di esposizione al moto ondoso di un paraggio può essere effettuata sulla base della cosiddetta “traversia geografica” che rappresenta la massima estensione della superficie marina da cui possono provenire gli stati di mare. Per valutare la traversia geografica di un sito si considera un punto al largo “punto di trasposizione” dal quale vengono tracciati, in un sistema di riferimento polare, i distinti settori che da quel punto traggono i margini delle coste opposte.

La traversia (fetch) geografica viene solitamente suddivisa in un settore principale (caratterizzato dalle massime estensioni geografiche cui risultano associate le mareggiate più intense) e in un settore secondario (caratterizzato da estensioni geografiche minori, e stati di mare meno intensi).

Ponendosi al largo di Fano su un fondale di circa -70m l.m.m. (profondità a cui è posta la boa della R.O.N. di Ancona), ad una distanza di circa 40km dalla riva, il settore geografico è delimitato a nord dal promontorio di Punta della Maestra, a sud-est dal promontorio del Monte Conero, ad est dalla costa Croata, a nord-est dalla costa che va dal Veneto alla Slovenia. Il paraggio risulta esposto al mare aperto al settore compreso tra le direzioni 330°N e 160°N, traggendo le coste Albanesi a sud-est per distanze superiori a 500km.

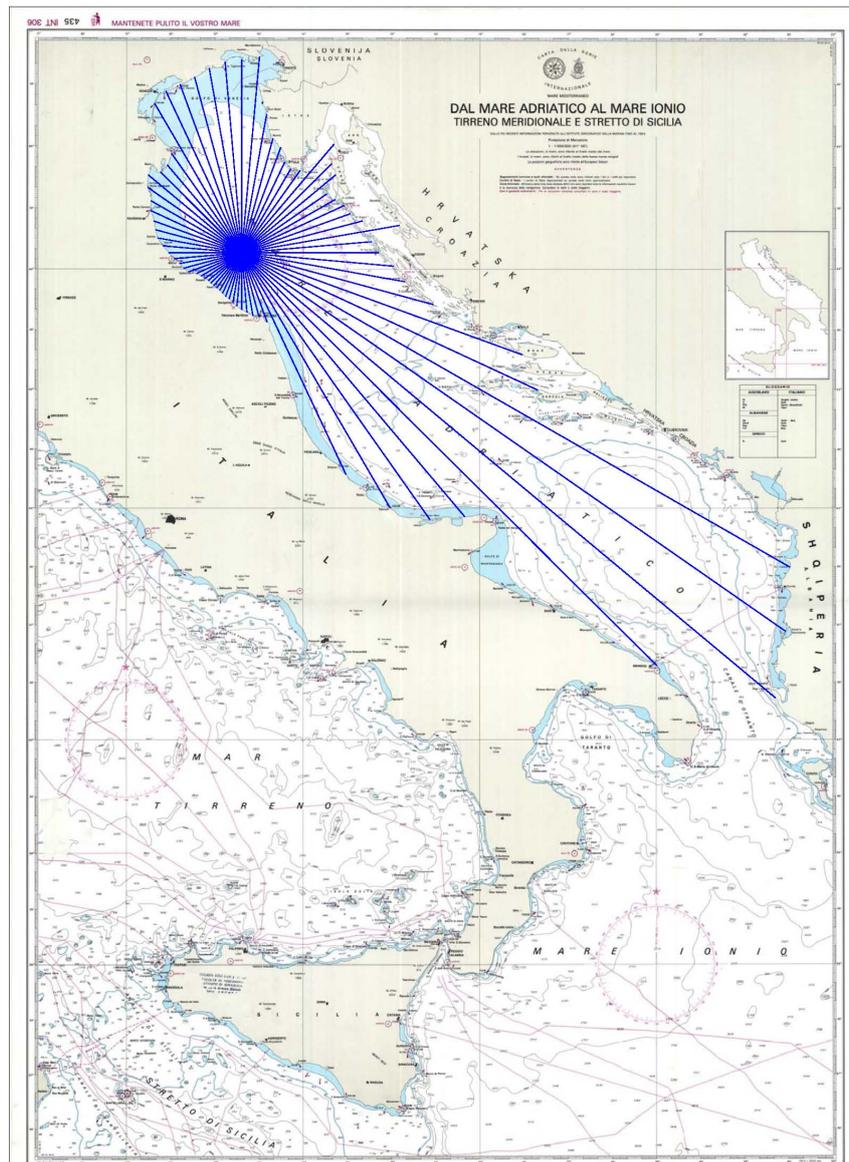


Fig. 2.1/3 Fetches geografici sito costiero di Fano

Considerando che nel Mare Adriatico le perturbazioni cicloniche hanno estensioni massime dell'ordine dei 500km, i fetch geografici vanno limitati a quel valore. I valori massimi della lunghezza del fetch geografico si hanno per il settore di levante-scirocco.

Per fetch efficace si intende la traversia o lunghezza virtuale della porzione di mare rispetto al punto di riferimento sulla quale l'azione del vento trasferisce efficacemente la sua azione per la generazione degli stati di mare che pervengono al suddetto sito di interesse. Nel processo di generazione del moto ondoso, infatti, oltre alla superficie marina (fetch geografico) individuata dalla direzione media di provenienza lungo la quale spira il vento, contribuiscono anche le porzioni di mare adiacenti. Il valore del *fetch* efficace relativo ad una determinata direzione è quindi funzione dei valori dei *fetches* geografici associati a direzioni contigue a quella considerata in quanto uno stato di mare viene generato non solo nella direzione lungo la

quale spira il vento ma anche in tutte le direzioni comprese in un settore  $q$  ( $\pm 90^\circ$  metodo di Seymour,  $\pm 45^\circ$  metodo di Saville) rispetto alla direzione media del vento.

Il calcolo dei *fetches* efficaci può essere eseguito tramite la seguente relazione (metodo *S.M.B. Svendrup, Munk e Bretshneider, 1947*):

$$F_{e,W} = \frac{\sum_{\phi_i = \phi_W - \mathcal{G}}^{\phi_W + \mathcal{G}} F_i \cos^{n+1}(\phi_i - \phi_W)}{\sum_{\phi_i = \phi_W - \mathcal{G}}^{\phi_W + \mathcal{G}} \cos^n(\phi_i - \phi_W)}$$

con

$F_{e,W}$  lunghezza del *fetch* efficace relativo alla direzione  $\phi_W$  ;

$F_i$  lunghezza del *fetch* geografico relativo alla direzione i-esima  $\phi_i$  ;

$\phi_W$  direzione media (riferita al nord geografico ) di possibile provenienza del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso;

$\phi_i$  direzione i-esima compresa nel settore di possibile provenienza del moto ondoso  $\phi_W \pm \mathcal{G}$  (nel nostro studio si è assunto  $\mathcal{G}$  pari a  $45^\circ$ );

$n$  termine esponenziale definito in funzione della legge di distribuzione direzionale degli spettri di moto ondoso del sito in esame (in genere si assume  $n$  pari a 2).

La seguente figura riporta graficamente i *fetch* efficaci per il paraggio di Fano ottenuti considerando una discretizzazione polare di  $5^\circ$ , ampiezza del settore di  $45^\circ$  e termine esponenziale pari a 2.

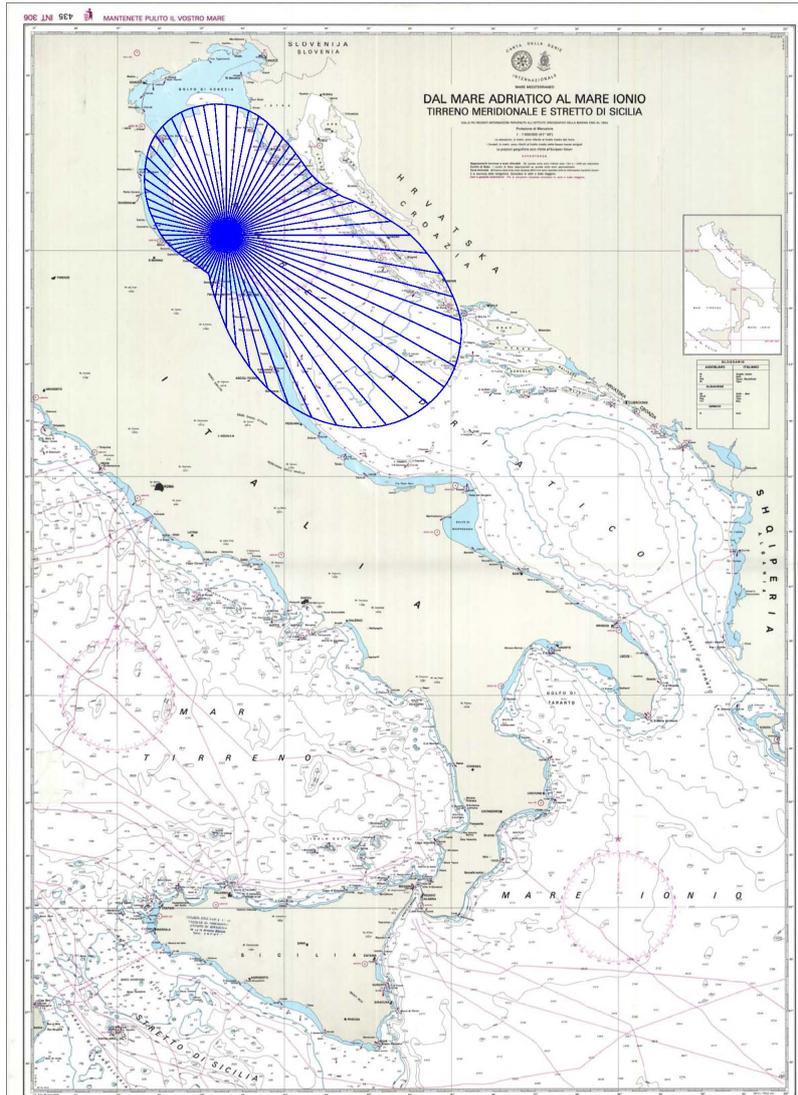


Fig. 2.1/4 Fetches efficaci sito costiero di Fano

Il fetch efficace massimo ottenuto risulta pari a circa 270km ed è riferito alla direzione di 125°N (settore di levante-scirocco).

## 2.2 CONDIZIONI METEOMARINE NEL PARAGGIO DI FANO

Per definire il clima meteomarinario relativo al litorale di Fano sono stati elaborati i dati relativi alle registrazioni della boa ondometrica direzionale della Rete Ondometrica Nazionale posta al largo di Ancona nel periodo tra l'Ottobre 1999 e il Novembre 2013.

Il sito in esame è collocato a circa 50km a nord della stazione ondamentrica, pertanto è necessario applicare un metodo di "trasposizione geografica" del moto ondoso di Ancona al largo di Fano.

Il metodo di trasposizione consiste nel determinare la corrispondenza tra le direzioni, le altezze e i periodi del moto ondoso relative al punto di misura e quelle del punto di interesse.

Per trasferire i dati misurati ad Ancona nel paraggio di Fano è stato utilizzato il metodo di trasposizione basato sulla similitudine dei *fetches* efficaci, ipotizzando che l'evento climatico responsabile di una mareggiata registrata dall'ondametro di riferimento abbia interessato anche l'area di generazione del sito costiero in esame.

A partire dai valori estremi di  $H_{m0}$  e  $T_{m0}$  delle onde registrate dall'ondametro di riferimento, che sono state analizzate applicando la procedura di elaborazione P.O.T. (vedi par. 4.3.4), le caratteristiche ondose per il paraggio di Fano sono state valutate secondo le seguenti relazioni, valide nel caso di fetch di limitata lunghezza:

$$H_{m0\ Fano} = \left( \frac{F_{e\ Fano}}{F_{e\ An}} \right)^{\frac{1}{2}} H_{m0\ An} \quad T_{m0\ Fano} = \left( \frac{F_{e\ Fano}}{F_{e\ An}} \right)^{\frac{1}{3}} T_{m0\ An}$$

L'applicazione del metodo richiede la caratterizzazione dei fetch geografici ed efficaci anche del sito di misura, di cui le seguenti figure mostrano i risultati.

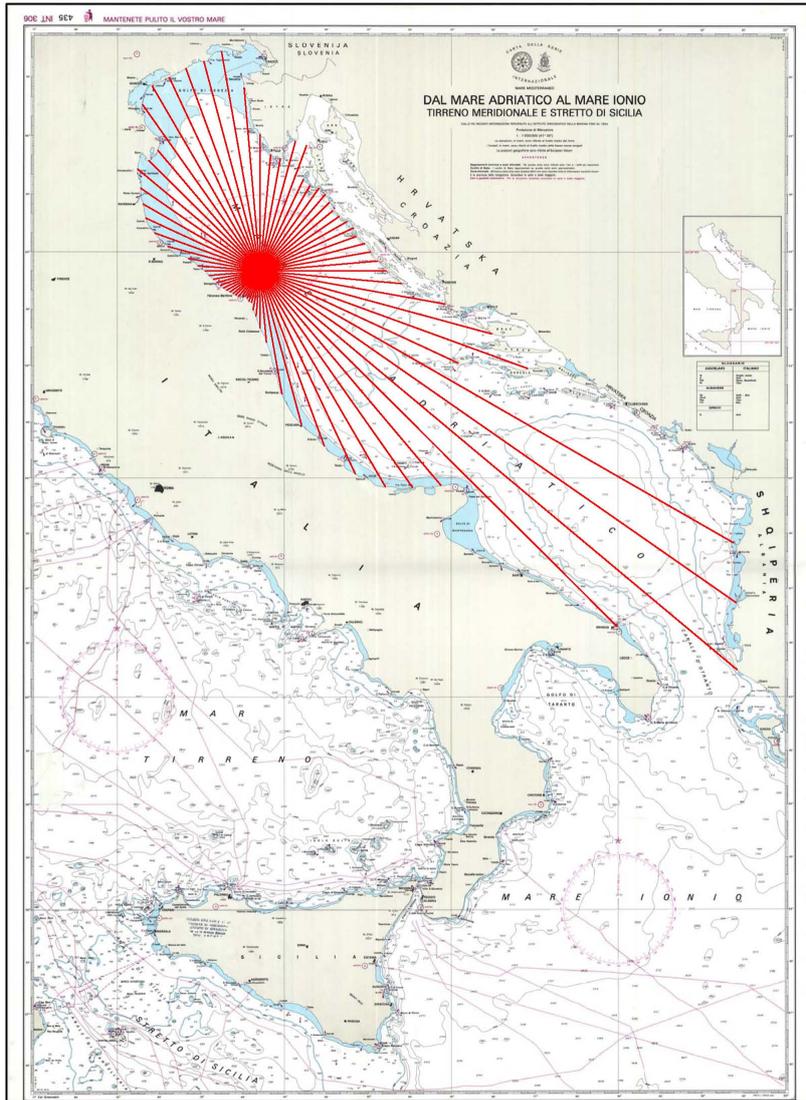


Fig. 2.2/1 Fetches geografici Boa R.O.N. di Ancona

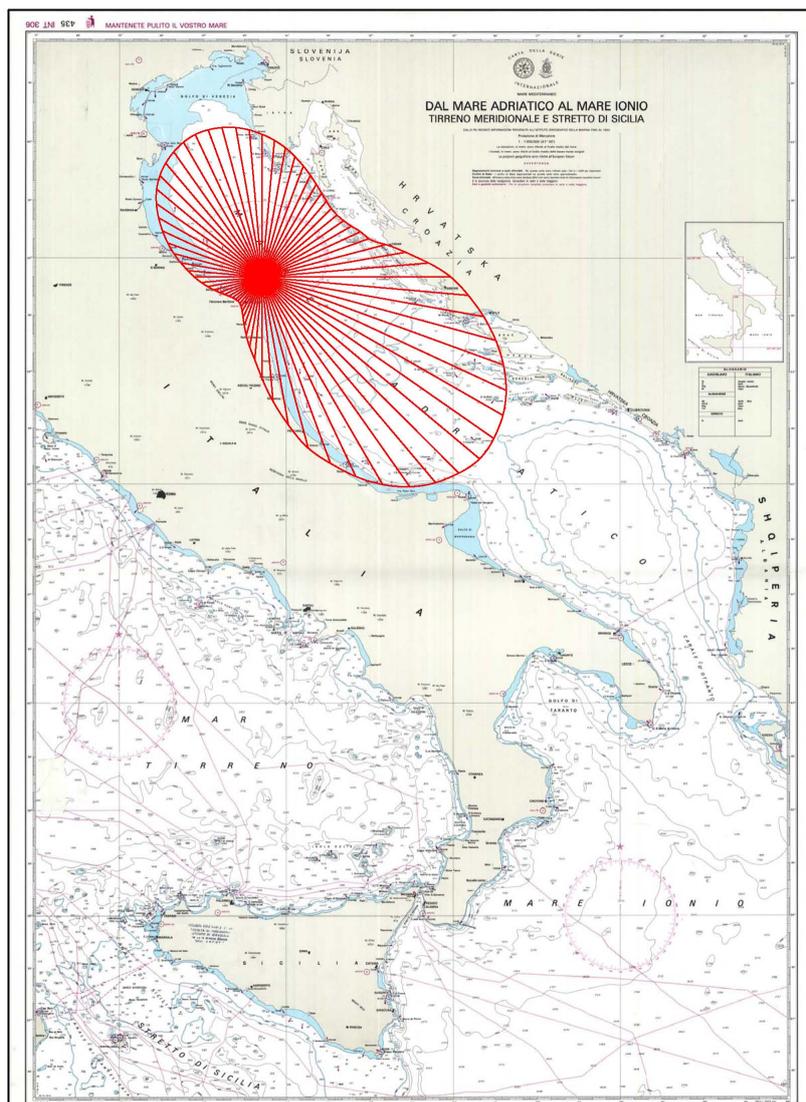


Fig. 2.2/2 Fetches efficaci Boa R.O.N. di Ancona

L'analisi è stata effettuata per i seguenti settori direzionali di ampiezza 30°:

- 285°N – 315°N;
- 315°N – 345°N;
- 345°N – 15°N;
- 15°N – 45°N;
- 45°N – 75°N;
- 75°N – 105°N;
- 105°N – 135°N;

ottenendo i seguenti risultati:

15° - 45°			45° - 75°			75° - 105°			105° - 135°		
Tr (anni)	H <sub>S (Fano)</sub> (m)	T <sub>P (Fano)</sub> (s)	Tr (anni)	H <sub>S (Fano)</sub> (m)	T <sub>P (Fano)</sub> (s)	Tr (anni)	H <sub>S (Fano)</sub> (m)	T <sub>P (Fano)</sub> (s)	Tr (anni)	H <sub>S (Fano)</sub> (m)	T <sub>P (Fano)</sub> (s)
1	3.46	6.76	1	3.07	6.81	1	2.88	6.77	1	3.89	6.77
2	3.94	6.96	2	3.66	7.11	2	3.58	7.09	2	4.45	7.09
5	4.57	7.19	5	4.34	7.40	5	4.51	7.44	5	5.12	7.44
10	5.04	7.35	10	4.80	7.58	10	5.22	7.67	10	5.58	7.67
15	5.32	7.44	15	5.05	7.67	15	5.63	7.80	15	5.83	7.80
20	5.52	7.50	20	5.22	7.73	20	5.92	7.88	20	6.01	7.88
25	5.67	7.54	25	5.35	7.77	25	6.15	7.94	25	6.14	7.94
30	5.79	7.58	30	5.45	7.81	30	6.33	7.99	30	6.25	7.99
50	6.14	7.68	50	5.73	7.90	50	6.85	8.13	50	6.54	8.13
70	6.37	7.74	70	5.91	7.96	70	7.19	8.21	70	6.72	8.21
100	6.61	7.80	100	6.09	8.02	100	7.56	8.29	100	6.92	8.29
140	6.84	7.86	140	6.26	8.07	140	7.90	8.37	140	7.09	8.37
150	6.88	7.87	150	6.30	8.08	150	7.97	8.39	150	7.13	8.39
200	7.08	7.92	200	6.44	8.12	200	8.26	8.45	200	7.28	8.45
300	7.35	7.99	300	6.63	8.18	300	8.70	8.54	300	7.50	8.54
500	7.70	8.07	500	6.87	8.25	500	9.19	8.64	500	7.73	8.64
1000	8.17	8.18	1000	7.17	8.33	1000	9.90	8.78	1000	8.06	8.78

285° - 315°			315° - 345°			345° - 15°		
Tr (anni)	H <sub>S (Fano)</sub> (m)	T <sub>P (Fano)</sub> (s)	Tr (anni)	H <sub>S (Fano)</sub> (m)	T <sub>P (Fano)</sub> (s)	Tr (anni)	H <sub>S (Fano)</sub> (m)	T <sub>P (Fano)</sub> (s)
1	2.59	5.56	1	1.92	5.26	1	2.69	6.32
2	2.93	5.72	2	2.36	5.50	2	3.11	6.55
5	3.34	5.90	5	2.94	5.78	5	3.63	6.82
10	3.61	6.01	10	3.38	5.95	10	4.00	6.99
15	3.77	6.07	15	3.64	6.05	15	4.21	7.08
20	3.87	6.11	20	3.82	6.12	20	4.36	7.14
25	3.95	6.14	25	3.96	6.17	25	4.47	7.19
30	4.01	6.16	30	4.08	6.20	30	4.56	7.22
50	4.19	6.22	50	4.40	6.31	50	4.81	7.32
70	4.30	6.26	70	4.61	6.37	70	4.97	7.38
100	4.42	6.30	100	4.84	6.44	100	5.14	7.45
140	4.52	6.34	140	5.05	6.50	140	5.30	7.50
150	4.54	6.34	150	5.10	6.51	150	5.33	7.51
200	4.63	6.37	200	5.28	6.56	200	5.47	7.56
300	4.76	6.41	300	5.55	6.64	300	5.66	7.63
500	4.91	6.46	500	5.86	6.72	500	5.88	7.70
1000	5.10	6.52	1000	6.30	6.82	1000	6.19	7.80

Tab. 2.2/1 Valori delle altezze significative e dei periodi delle onde al largo di Fano

Una volta ottenuti i valori delle caratteristiche ondose al largo si è proceduto al trasferimento a riva delle onde determinate, considerando i vari effetti che separatamente agiscono su di esse: rifrazione e shoaling, ovvero riduzione e rotazione del fronte d'onda, che provocano la variazione della celerità di propagazione e dell'altezza d'onda, a parità di contenuto energetico dalla situazione a largo a quella a profondità ridotte sino al limite del frangimento.

Nel nostro caso il trasferimento a riva viene eseguito con il procedimento numerico e grafico proposto da Goda (*"Random Seas and Design of Maritime Structures"*).

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

Poiché l'energia dell'onda è proporzionale al quadrato dell'altezza d'onda, la variazione dell'altezza d'onda dovuta alla rifrazione è data dalla seguente equazione:

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = K_r$$

dove  $b$  è la distanza fra i raggi d'onda nella zona di interesse,  $b_0$  è la distanza fra gli stessi raggi in acque profonde, e  $K_r$  è il coefficiente di rifrazione dell'onda regolare con periodo costante ed unica direzione di propagazione.

Il coefficiente di rifrazione delle onde irregolari e la variazione della loro direzione predominante possono essere rispettivamente determinati mediante i grafici delle Fig. 2.2/3 e 2.2/4.

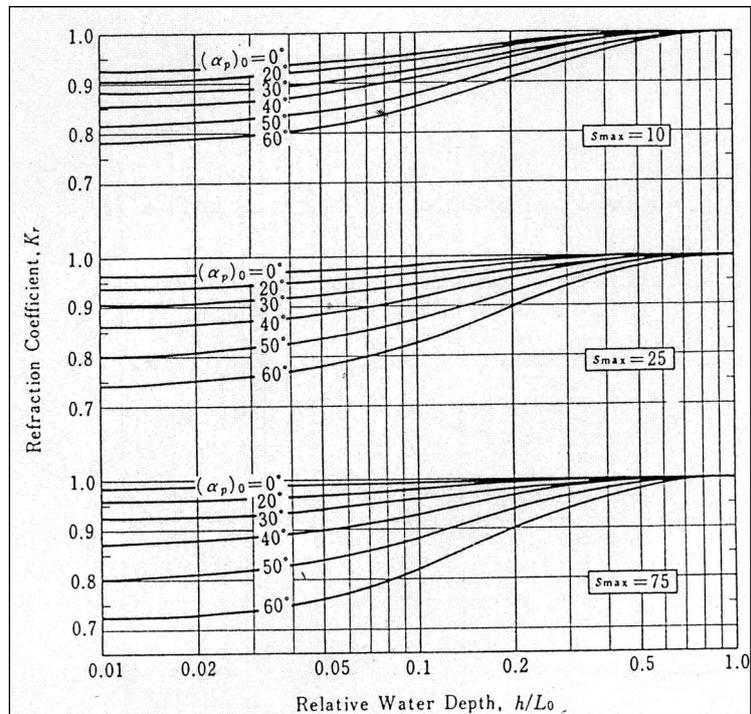


Fig. 2.2/3 Coefficiente di rifrazione di onde irregolari in un fondale con isobate rettilinee e parallele (Goda 1985)

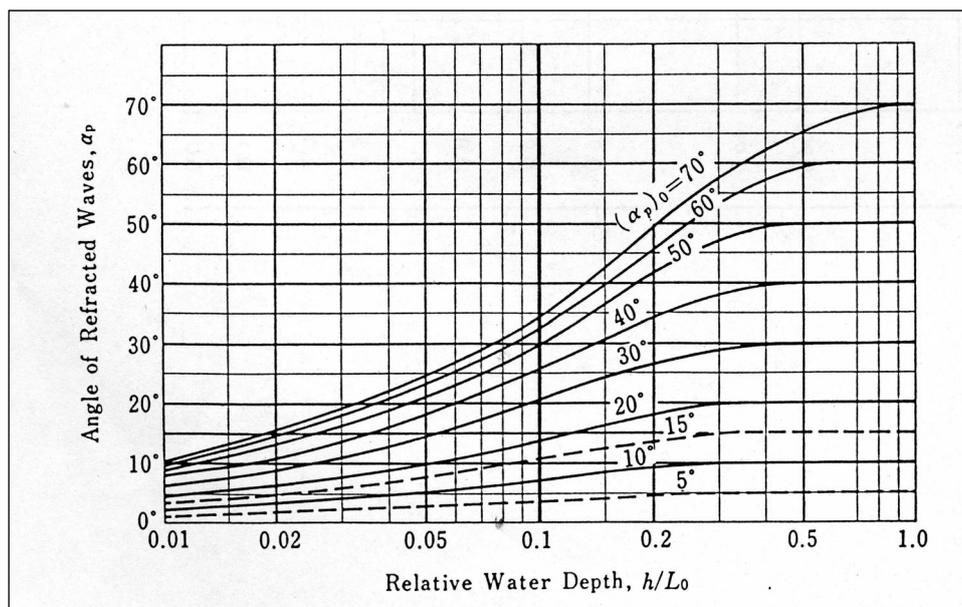


Fig. 2.2/4 Variazione della direzione predominante delle onde irregolari dovuta alla rifrazione. (Goda 1985)

La lunghezza d'onda  $L_0$  che compare nella ascissa dei diagrammi precedenti è la lunghezza d'onda in acque profonde corrispondente al periodo significativo  $T_0$ ; il parametro  $(\alpha_p)_0$  rappresenta l'angolo di incidenza delle onde in acque profonde.

Il coefficiente di rifrazione delle onde irregolari dipende dal parametro di dispersione  $s_{\max}$  dello spettro direzionale, anche se l'errore commesso nel non considerare questo parametro risulta essere trascurabile (per onde da vento consideriamo il parametro di dispersione  $s_{\max}=10$ ).

L'analisi della trasformazione delle onde durante la fase di trasferimento verso riva può essere facilitata introducendo il concetto di altezza d'onda equivalente  $H'_0$  :

$$H'_0 = K_d \cdot K_r \cdot H_0$$

$$T'_0 = T_0$$

$H'_0$  = altezza d'onda equivalente (corrispondente all'altezza significativa)

$H_0$  = altezza d'onda significativa in acque profonde

$T_0$  = periodo d'onda significativo in acque profonde

$K_d$  = coefficiente di diffrazione

$K_r$  = coefficiente di rifrazione

Il coefficiente di shoaling è stato ottenuto tramite la relazione:

$$K_s = \frac{H}{H'_0} = \sqrt{\frac{(C_G)_0}{C_G}} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 + \frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)}\right] \cdot \tanh \frac{2\pi h}{L}}}$$

$K_s$  = coefficiente di shoaling

$C_G$  = celerità di gruppo

$(C_G)_0$  = celerità di gruppo in acque profonde.

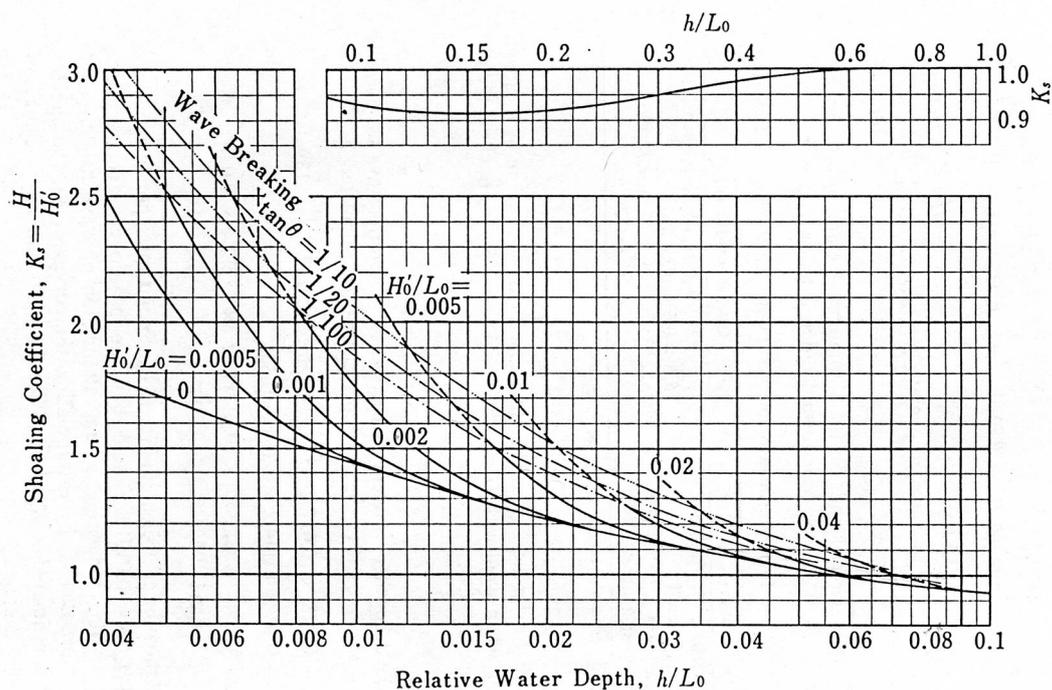


Fig. 2.2/5 Coefficiente di shoaling per onde irregolari. (Goda 1985)

Le curve tratteggiate indicate con la scritta "wave breaking" rappresentano il limite oltre il quale l'attenuazione di  $H$  dovuta al fenomeno del frangimento è superiore al 2%. In questa zona l'altezza d'onda deve essere valutata tenendo conto del processo dissipativo dovuto al frangimento.

Nelle seguenti tabelle sono rappresentati per onde aventi tempi di ritorno di 1, 30, 50 anni, i risultati del trasferimento a riva per il quale si è scelto di considerare la profondità di -5.0m l.m.m. che si ritrova più al largo delle scogliere in esame (l'opera sarà imbasata a circa -4.00m l.m.m., la scelta di tale profondità tiene conto dell'eventuale storm-surge del livello medio marino, che può verificarsi in Adriatico in concomitanza con mareggiate di levante).

Tr = 1 anno	$\Theta_0$ (°N)	Hs (m)	Ts (s)	Lo (m)	$\alpha_0$	h/Lo	Kr	H'o (m)	H'o/Lo	Ks	H <sub>1/3</sub> (progetto)	$\Theta_h$ (°N)
	320	1.92	5.26	43.24	80	0.116	0.85	1.632	0.038	0.923384	1.501	0
	340	1.92	5.26	43.24	60	0.116	0.85	1.632	0.038	0.923384	1.501	3
	0	2.69	6.32	62.33	40	0.080	0.9	2.419	0.039	0.957365	2.226	17
	30	3.46	6.76	71.38	10	0.070	0.94	3.256	0.046	0.974885	2.952	34
	60	3.07	6.81	72.48	20	0.069	0.93	2.852	0.039	0.977018	2.624	52
	90	2.88	6.77	71.52	50	0.070	0.85	2.444	0.034	0.975158	2.249	65
	120	3.89	6.77	71.52	80	0.070	0.82	3.191	0.045	0.975158	2.936	72

Tr = 30 anni	$\Theta_0$ (°N)	Hs (m)	Ts (s)	Lo (m)	$\alpha_0$	h/Lo	Kr	H'o (m)	H'o/Lo	Ks	H <sub>1/3</sub> (progetto)	$\Theta_h$ (°N)
	320	4.08	6.20	60.13	80	0.083	0.83	3.383	0.056	0.953129	2.940	5
	340	4.08	6.20	60.13	60	0.083	0.83	3.383	0.056	0.953129	2.940	10
	0	4.56	7.22	81.48	40	0.061	0.88	4.013	0.049	0.994227	3.010	20
	30	5.79	7.58	89.68	10	0.056	0.95	5.501	0.061	1.009509	3.103	34
	60	5.45	7.81	95.24	20	0.053	0.93	5.070	0.053	1.01962	3.091	50
	90	6.33	7.99	99.76	50	0.050	0.83	5.256	0.053	1.027696	3.109	61
	120	6.25	7.99	99.76	80	0.050	0.8	4.998	0.050	1.027696	3.095	70

Tr = 50 anni	$\Theta_0$ (°N)	Hs (m)	Ts (s)	Lo (m)	$\alpha_0$	h/Lo	Kr	H'o (m)	H'o/Lo	Ks	H <sub>1/3</sub> (progetto)	$\Theta_h$ (°N)
	320	4.40	6.31	62.17	80	0.080	0.83	3.652	0.059	0.957061	2.958	7
	340	4.40	6.31	62.17	60	0.080	0.83	3.652	0.059	0.957061	2.958	11
	0	4.81	7.32	83.72	40	0.060	0.88	4.234	0.051	0.998446	3.026	20
	30	6.14	7.68	92.02	10	0.054	0.93	5.707	0.062	1.0138	3.118	34
	60	5.73	7.90	97.52	20	0.051	0.92	5.274	0.054	1.023722	3.106	50
	90	6.85	8.13	103.13	50	0.048	0.84	5.755	0.056	1.033606	3.141	61
	120	6.54	8.13	103.13	80	0.048	0.8	5.231	0.051	1.033606	3.113	67

Tab. 2.2/2 Risultati del trasferimento di alcune onde di interesse alla profondità di -5.00m l.m.m.

### 3. DESCRIZIONE DELLE IPOTESI DI INTERVENTO

#### 3.1 STATO DI FATTO DEL SISTEMA DI DIFESA COSTIERA

A partire dal 2015 il Progetto Generale (autorizzato con Decreto del Dirigente della Posizione di Funzione (DDPF) Valutazioni ed Autorizzazioni Ambientali della Regione Marche n.60/VAA del 03/08/2015 e con successivo Decreto del Dirigente della Posizione di Funzione (DDPF) Valutazioni ed Autorizzazioni Ambientali della Regione Marche n.181/VAA del 08-10-2020 che ha prorogato l'autorizzazione ambientale fino al 31-12-2023), è stato realizzato per Lotti/Stralci funzionali mediante appositi Progetti Esecutivi.

Delle previste 7 nuove Scogliere Emerse sono stati realizzati 5 Setti (SN1, SN2, SN3, SN4, SN5) e sono in fase di ultimazione le scogliere SN6 ed SN7.

Delle "vecchie" ed esistenti Scogliere sommerse, i 4 Setti a Nord Ovest del pennello di via Ruggeri (SE7, SE8, SE9, SE 10) sono state trasformate in Scogliere Emerse con sommersenza pari a + 1,50 m sul l.m.m. mentre, dei 6 Setti a Sud-Est del medesimo pennello, sono state trasformate in Scogliere emerse (+1,50 m sul l.m.m.) i soli setti SE1, SE2, SE3.

Per quanto riguarda le Opere di fognatura, i due scarichi fognari esistenti sono stati prolungati al di là delle scogliere risolvendo la problematica della qualità delle acque e della balneazione dovuta allo sversamento a mare delle acque miste immesse dagli scolmatori in caso di piogge, soprattutto estive.

In termini di opere marittime a gettata, rimangono da trasformare in emerse le esistenti scogliere sommerse SE4, SE5, SE6 e rimarrebbero da salpare, insieme al pennello Ruggeri, le opere radenti esistenti che si estendono fino all'altezza della ex scogliera sommersa SE1.

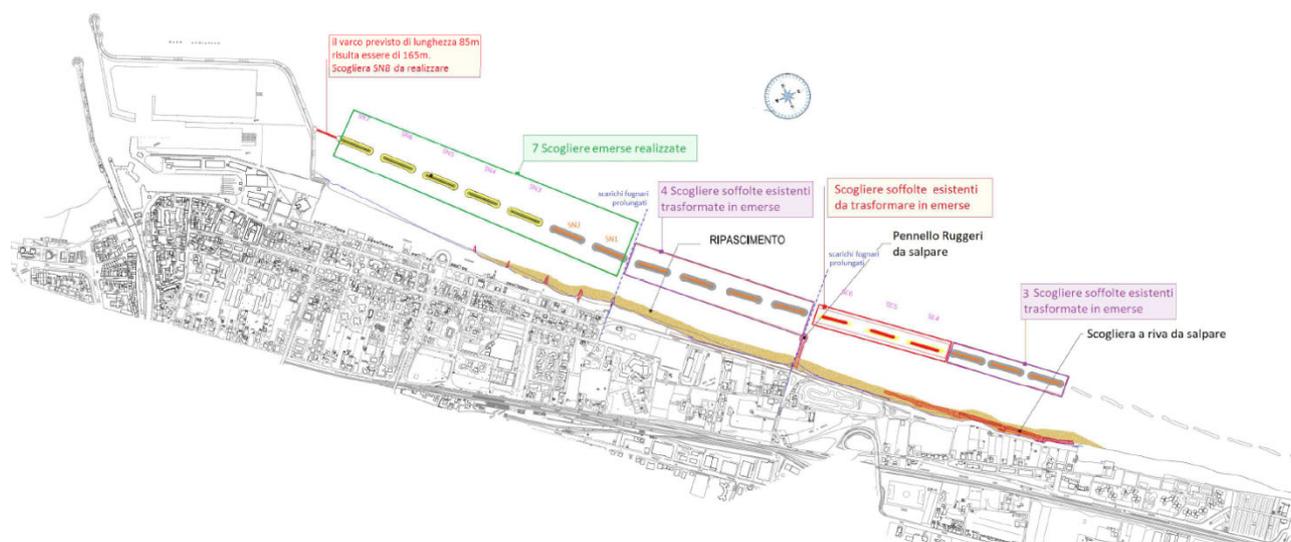


Fig. 3.1/1 Progetto Generale 2015 – Resoconto degli interventi

L'opera prevista nel presente progetto va a completare il sistema di difesa con barriere foranee emerse fino al porto di Fano, andando a proteggere l'ultimo varco, di 165m circa, rimasto scoperto tra l'ultima scogliera realizzata SN7 e la diga portuale. Quest'ultimo tratto di litorale risulta pertanto attualmente aperto alle mareggiate intense e soggetto a fenomeni erosivi legati alla drastica riduzione di apporto di materiale dovuta alle scogliere realizzate lato Sud-Est e all'effetto diretto delle mareggiate del Primo quadrante Nord-Nord-Est (mareggiate di Grecale e Bora) i cui raggi d'onda entrano in maniera pressoché indisturbata nel tratto di mare rimasto "scoperto" (UFCS 4 - Transetto 137 del Piano GIZC della Regione Marche).

Le foto che seguono mostrano il gradino di erosione che si è creato in prossimità della battigia in occasione di una recente mareggiata (17-18 luglio 2021) con direzione NNE.



Fig. 3.1/2 Spiaggia a ridosso del porto dopo mareggiata 17-18/07/21 (vista verso sud a sn, vista verso il porto a dx)

### 3.2 PREVISIONE DI PROGETTO E ALTERNATIVE PROGETTUALI

Nello "Studio di Fattibilità e delle alternative progettuali, studio idraulico marittimo e relazioni specialistiche, Studio di Fattibilità Ambientale e predisposizione documentazione per Verifica assoggettabilità a VIA di Opera marittima a gettata a chiusura del paraggio di mare lato Nord degli INTERVENTI DI DIFESA DELLA COSTA U.F. 6 SASSONIA SUD DAL FIUME METAURO AL PORTO DI FANO" si è proceduto all'individuazione della migliore soluzione d'intervento di difesa della spiaggia confrontando diverse alternative progettuali, ricercando la soluzione che garantisse sia la protezione del tratto di litorale dal moto ondoso e dagli accentuati fenomeni erosivi attuali, sia il mantenimento di una buona circolazione idrodinamica e qualità ambientale.

Come caratteristiche ondose per l'analisi delle alternative progettuali per il completamento del sistema di difesa sino al molo del porto di Fano, sono state prese come riferimento le onde estreme determinate alla profondità di 4.0m con tempo di ritorno 1anno, al largo delle scogliere progettate e in corso di completamento.

Tr = 1 anno	$\Theta_0$ (°N)	Hs (m)	Ts (s)	$L_0$ (m)	$\Theta_h$ (°N)	$H_{1/3}$ (prog)	$\Theta_h$ (°N)	$L_4$ (m)
	320	1.92	5.26	43.24	0	1.50	0	30.1
	340	1.92	5.26	43.24	3	1.50	3	30.1
	0	2.69	6.32	62.33	17	2.23	17	37.5
	30	3.46	6.76	71.38	34	2.95	34	40.5
	60	3.07	6.81	72.48	52	2.62	52	40.9
	90	2.88	6.77	71.52	65	2.25	65	40.6
	120	3.89	6.77	71.52	72	2.94	72	40.6

Tab. 3.2/1 Caratteristiche ondose al largo e alla profondità di 4.0m

Il tempo di ritorno di un anno viene utilizzato nelle analisi riguardanti la circolazione idrodinamica e l'onda trasmessa attraverso i varchi per rappresentare condizioni di rischio frequenti di allagamento. Per le analisi sono state scelte le 3 onde con angoli di incidenza al largo di 0°N, 30°N e 90°N (l'onda al largo dalla direzione di 120°N si propagherebbe contro la mantellata del porto e verrebbe dissipata).

Sono state assunte le seguenti **Tre Configurazione della nuova Opera a gettata** per ciascuna delle quali sono state rispettate le caratteristiche geometriche delle opere già realizzate (larghezza e quota della berma rispettivamente pari a 3.0m e +1.50m l.m.m., pendenza lato mare 1/2 pendenza lato terra 1/1,5, mantellata in scogli naturali di 3^ categoria, nucleo di 1^ e 2^ categoria, imbasamento in pietrame scapolo):

- 1) prima ipotesi (Hp. 0) si realizza un setto di scogliera in allineamento a quelle realizzate con lunghezza tale (lunghezza al piede 70.5m, lunghezza al medio mare di 57m) da ottenere tra la stessa ed il molo del porto il varco di circa 85m come previsto inizialmente nel progetto Generale.

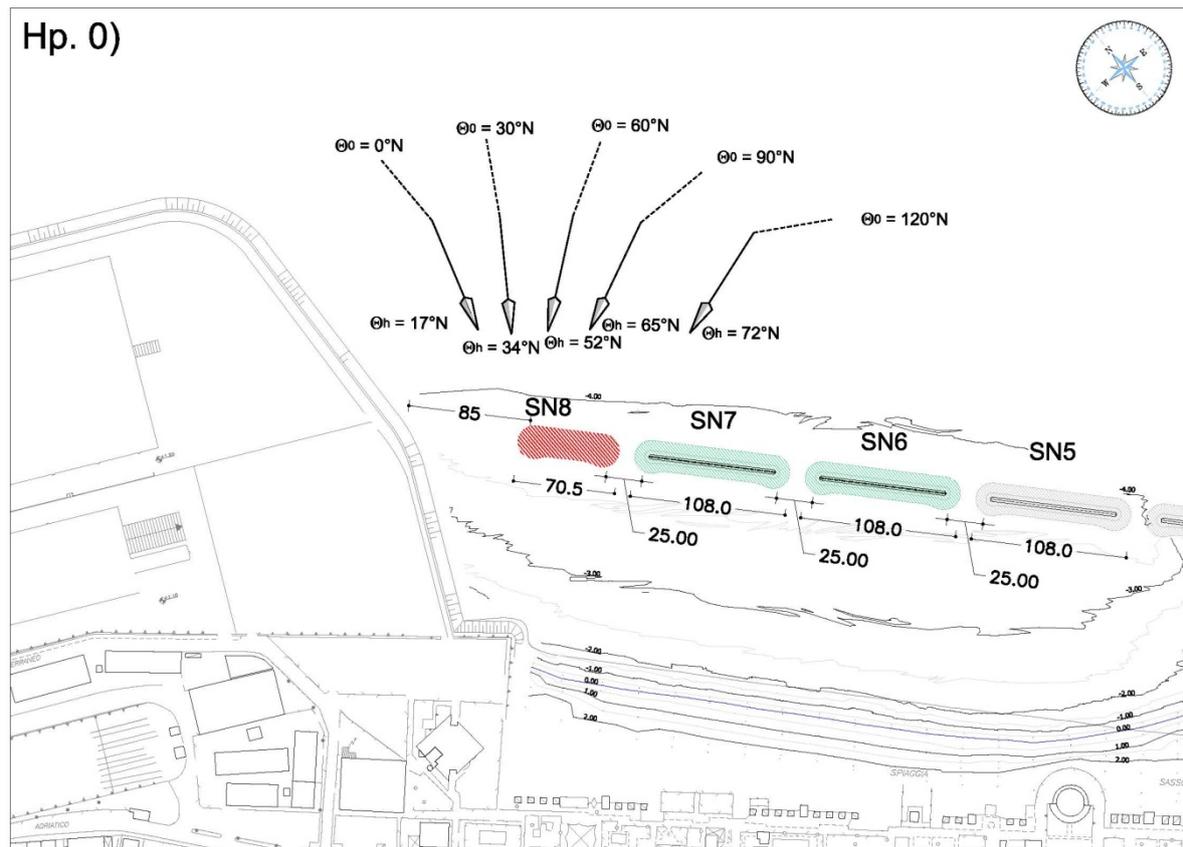


Fig. 3.2.1 Ipotesi 0 – setto di scogliera (in rosso) con varco tra scogliere di 25m e varco finale di 85m

- 2) seconda ipotesi (Hp. 1) è prevista la realizzazione di un setto di scogliera delle medesime caratteristiche di quelli in progetto, lunghezza al piede 108m, 94m misurata al l.m.m., e varco tra scogliere misurato al livello medio mare di 25m. In questo modo il varco tra l'ultima scogliera prevista e il molo del porto si ridurrebbe a 48m.

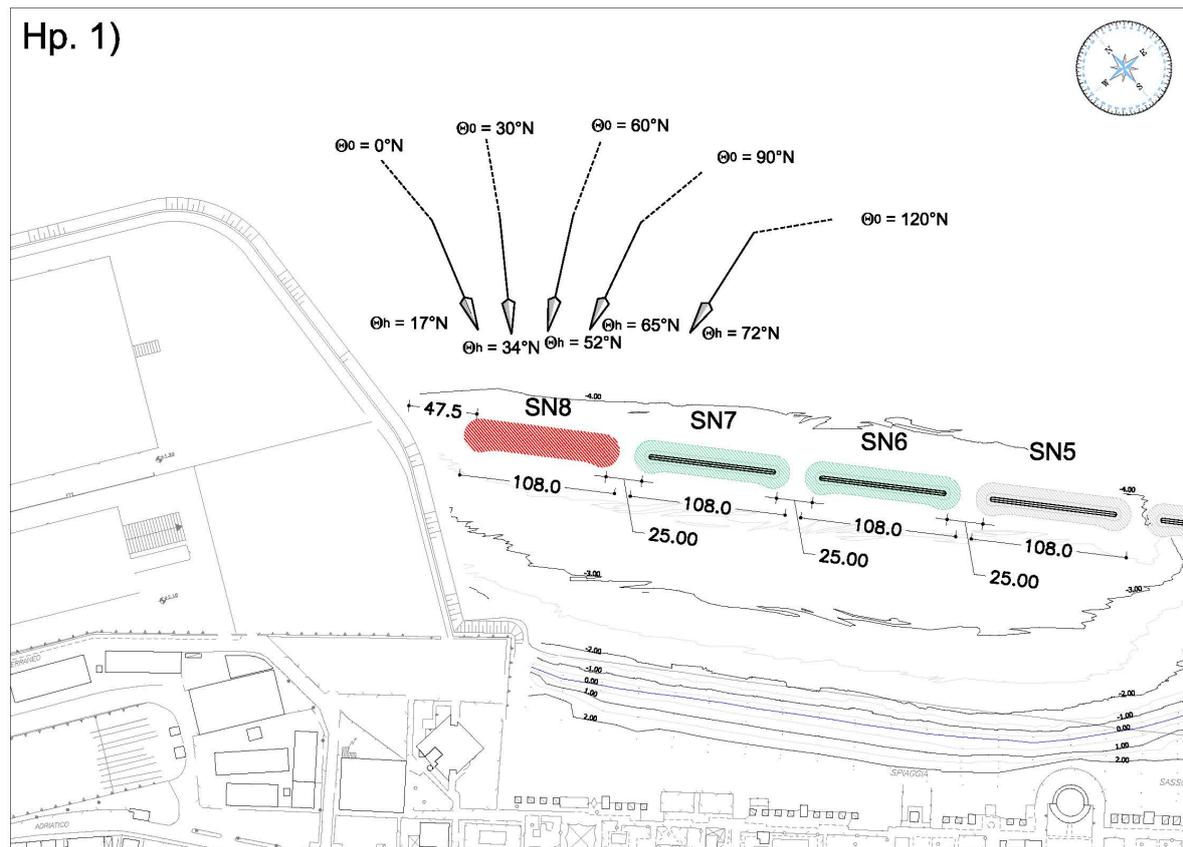


Fig. 3.2.2 Ipotesi 1 – setto di scogliera (in rosso) con varco tra scogliere di 25m e varco finale di 47m

- 3) terza ipotesi (Hp. 2) si realizza un pennello radicato al porto, a parità di lunghezza del setto il varco che si viene a creare tra l'ultima scogliera in corso di realizzazione e il pennello sarà di 67m, per mantenere invece una larghezza del varco di 25m il pennello dovrebbe essere lungo 150m (Hp. 2\_bis).

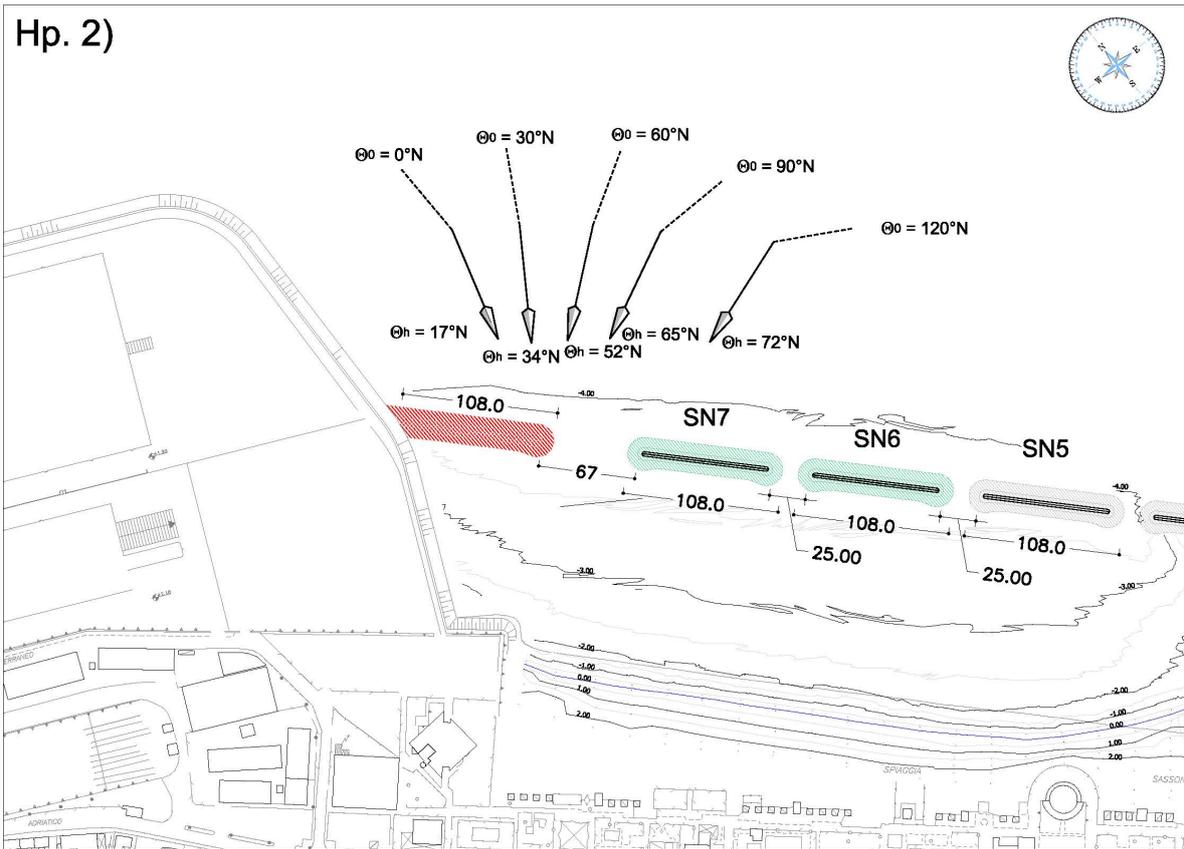


Fig. 3.2.3 Ipotesi 2 – pennello radicato al molo (in rosso) con varco di 67m

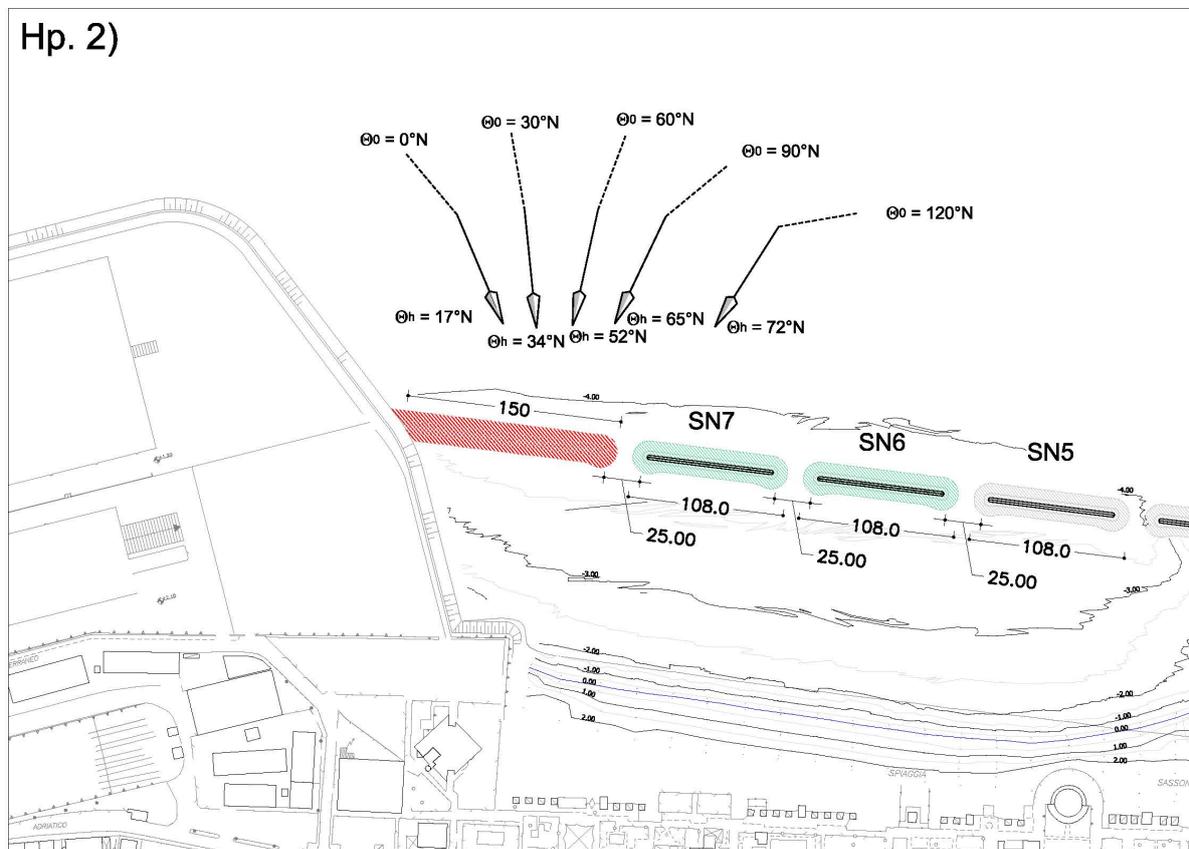


Fig. 3.2.4 Ipotesi 2\_bis – pennello radicato al molo (in rosso) con varco di 25m

In rosso è evidenziato nelle figure il setto da realizzare, in verde gli ultimi setti realizzati, di cui il n. 7 in corso di completamento, sono rappresentati i raggi d'onda con la direzione di incidenza al largo (linea tratteggiata) e la direzione di incidenza, ruotata per effetto della rifrazione ondosa dal largo a riva, alla profondità di 4m, di fronte le scogliere.

Si è proceduto alla valutazione degli effetti della Diffrazione prodotta dalle diverse configurazioni, scegliendo tre punti di controllo (di seguito mostrati), quantificando anche l'altezza d'onda residua e valutando, davanti alla scogliera del porto, la risalita d'onda e la tracimazione nel punto di controllo C (Zona del Capannone / Piazzale).

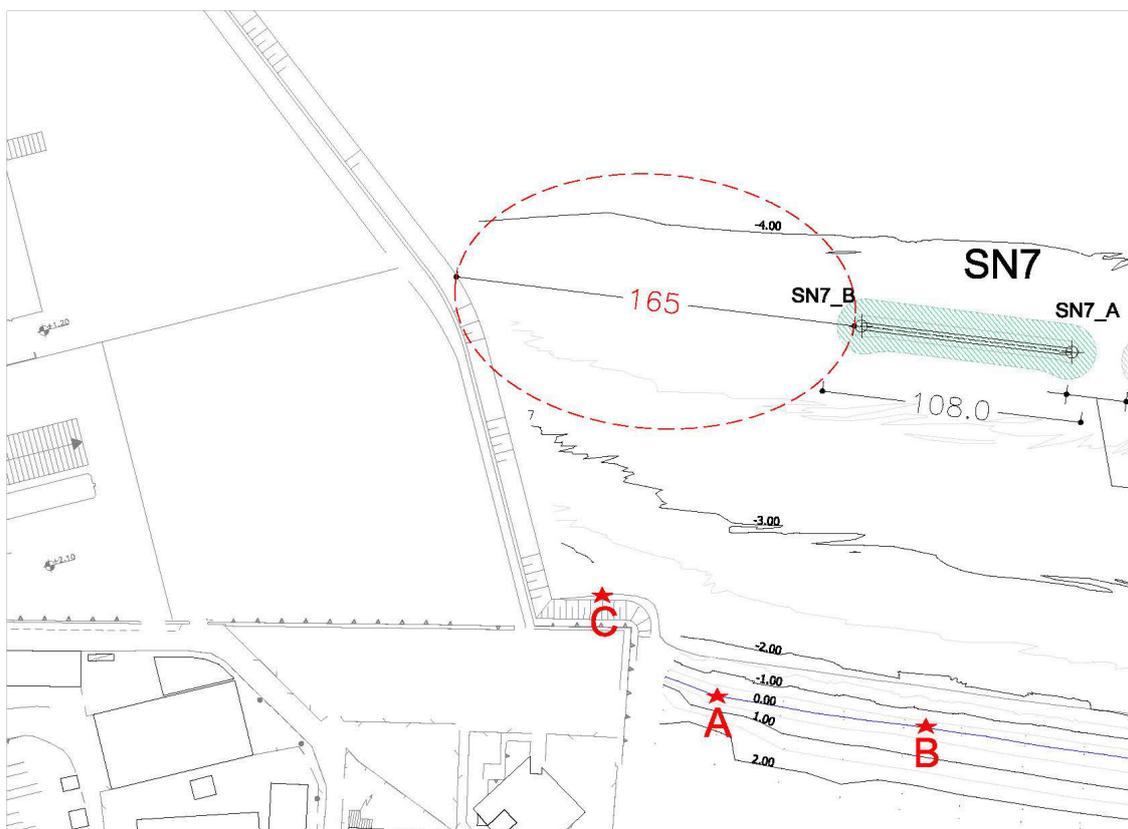


Fig. 3.2/5 Planimetria con individuazione del varco e punti di controllo



Fig. 3.2/6 Punti di controllo per la verifica delle ipotesi di sistemazione del varco – foto da drone Feb.2021



Fig. 3.2/7 Scogliera a protezione dello spigolo del porto (punto di controllo "C")

Nelle seguenti figure vengono disegnati la propagazione per diffrazione dalle estremità dell'opera e i diagrammi di diffrazione associati (in funzione dell'angolo di incidenza e del rapporto tra ampiezza del varco e lunghezza d'onda  $B/L$ ) per ciascuna delle 3 configurazioni e per le 3 onde considerate.

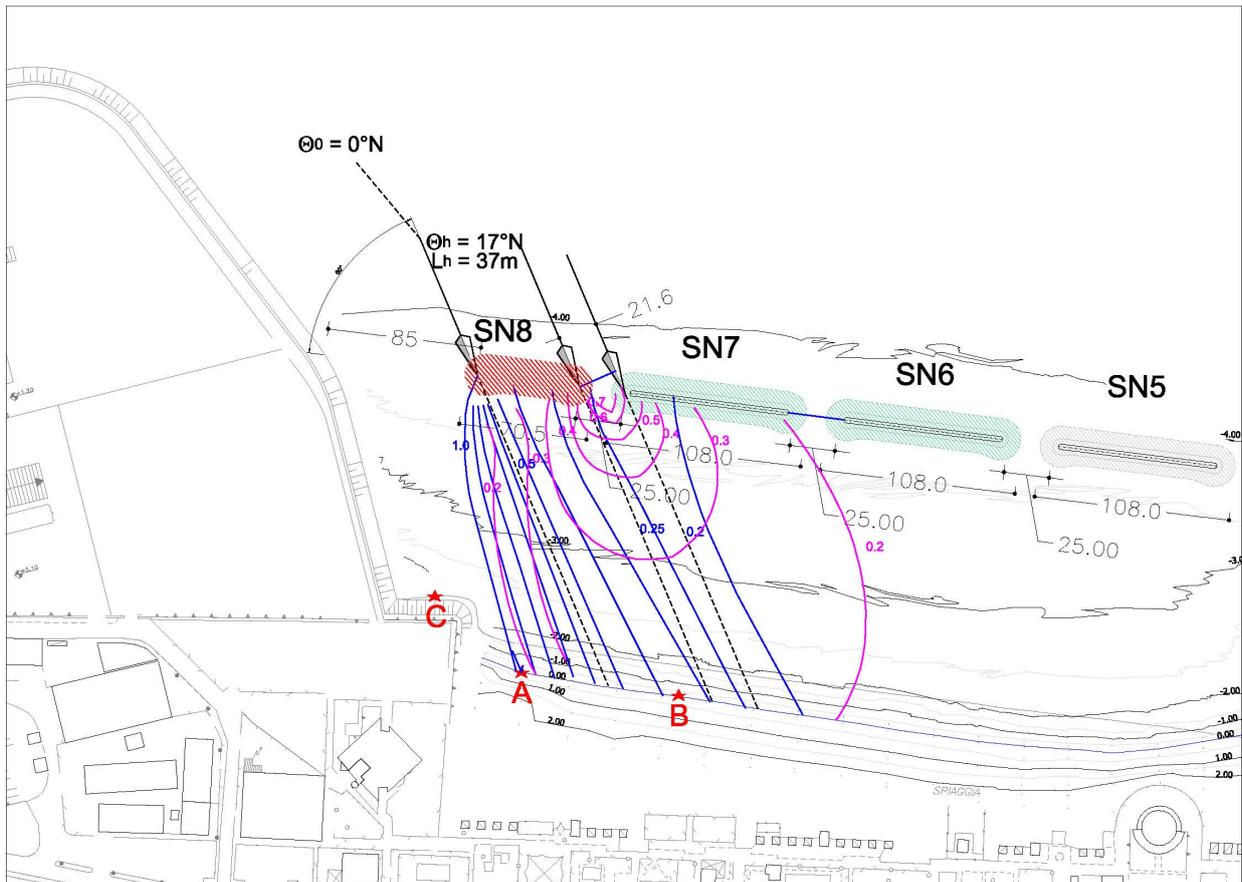
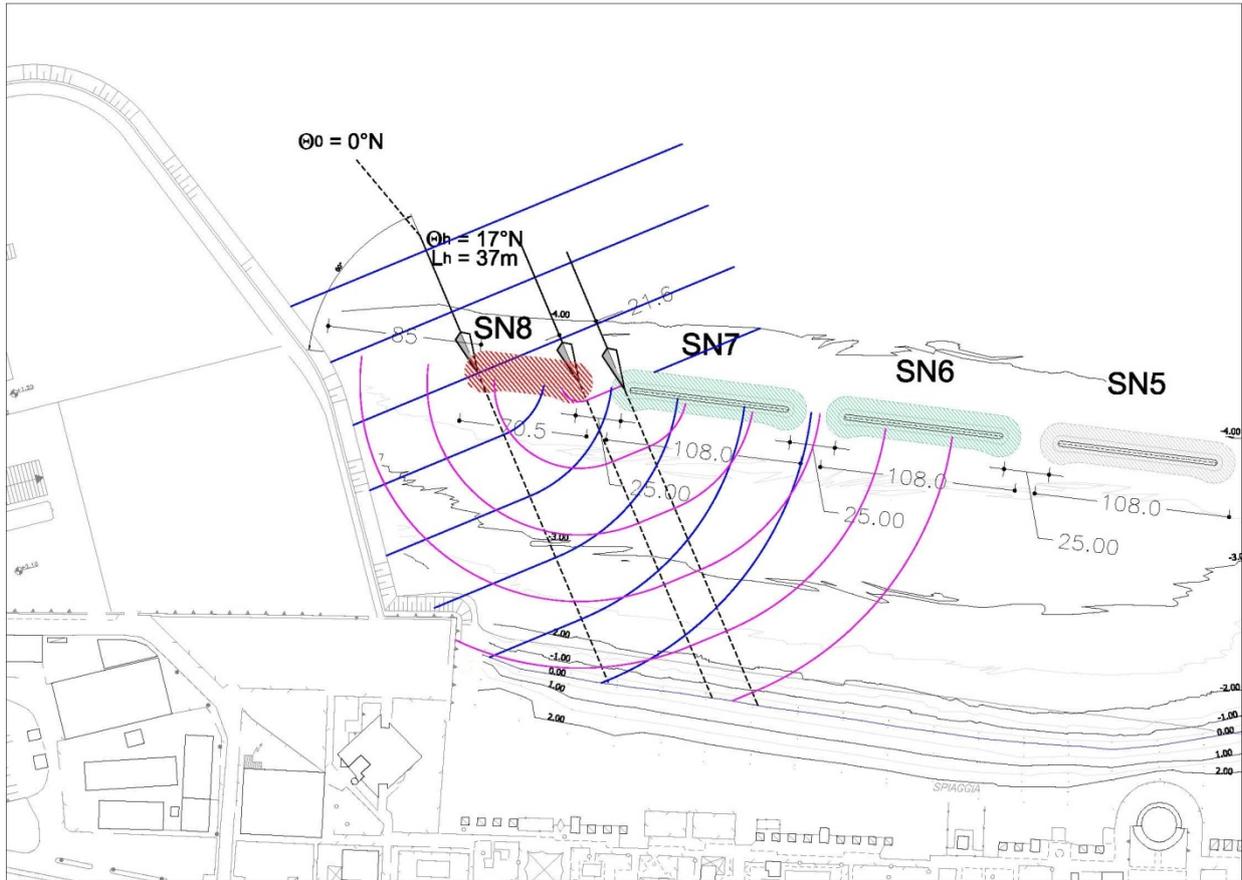


Fig. 3.2/8 Piano d'onda diffratta (sopra) e diagrammi del coefficiente  $k_D$  – ipotesi 0) onda da  $0^\circ N$  al largo



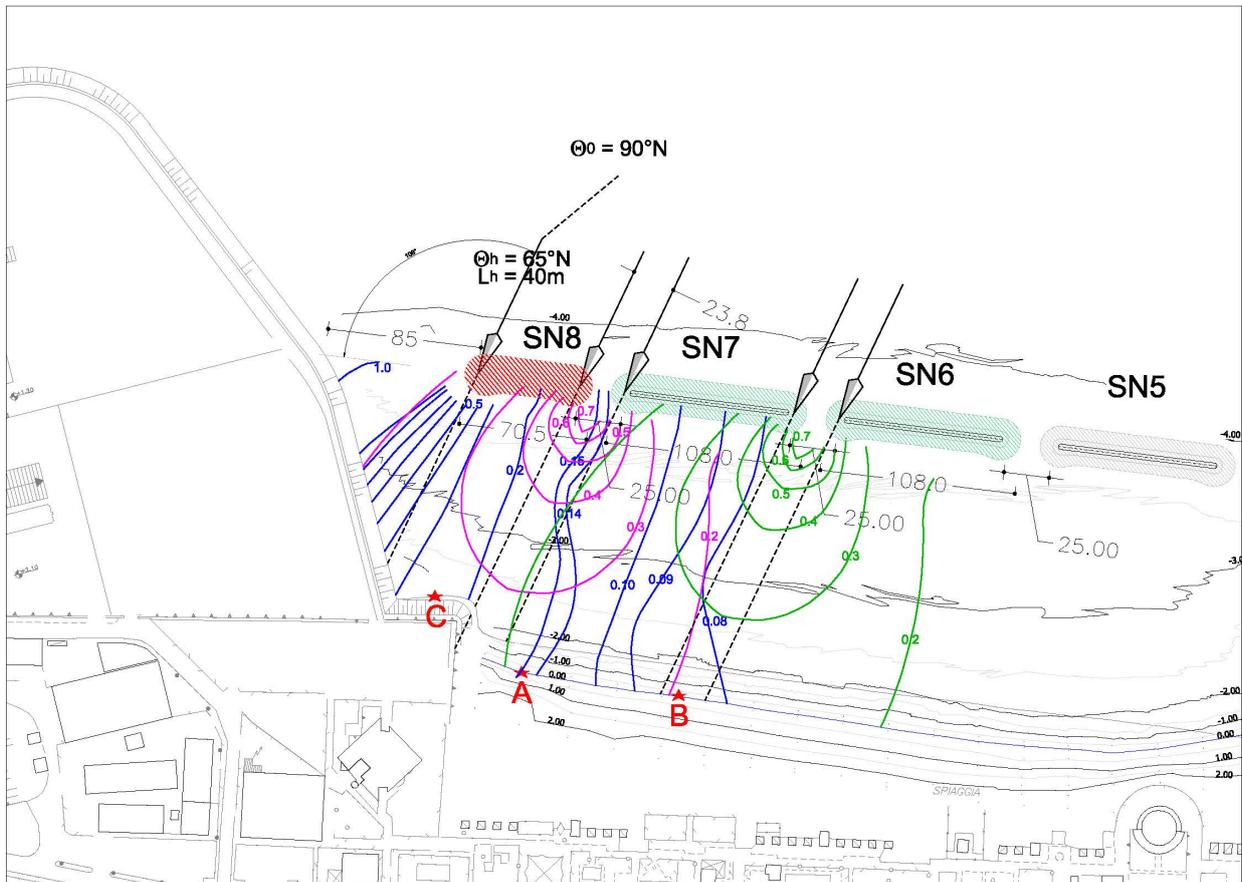
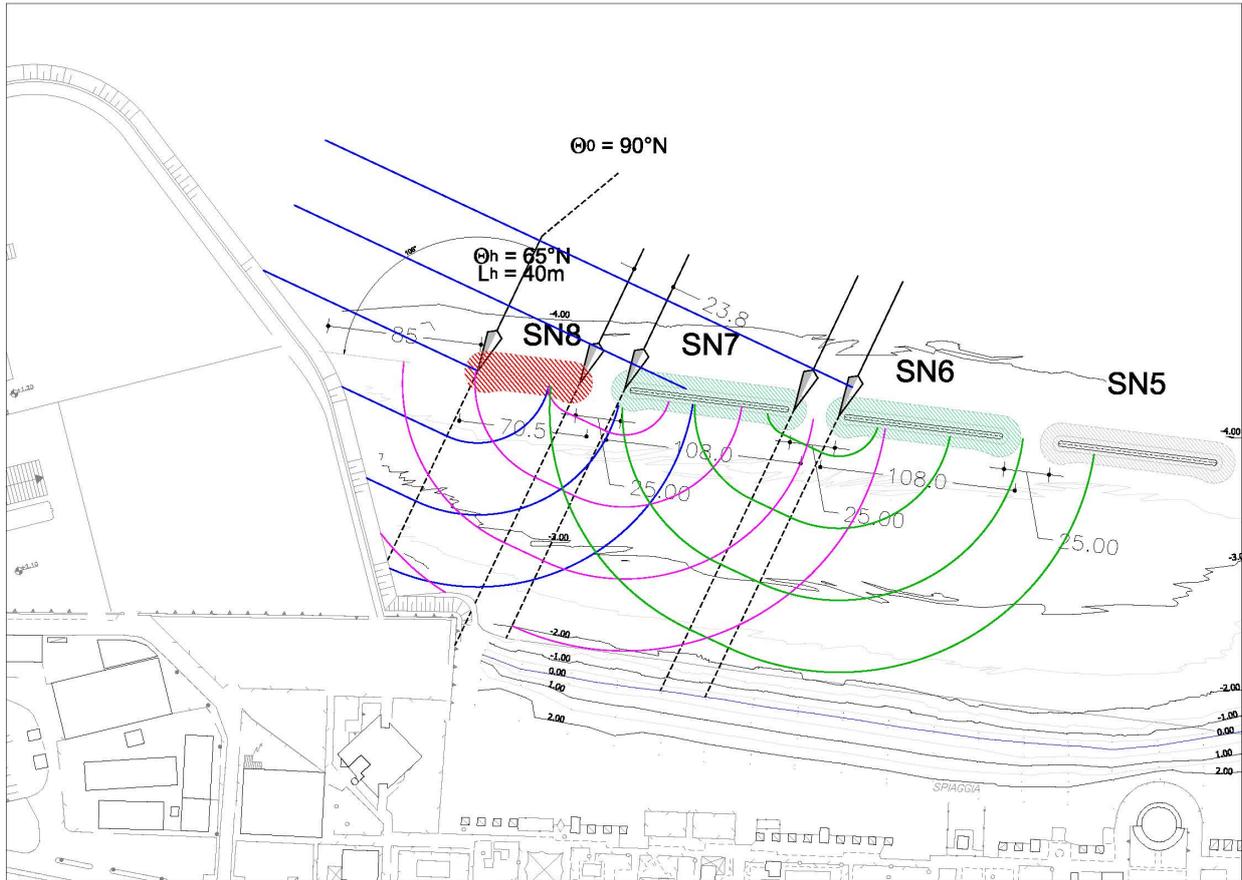


Fig. 3.2/10 Piano d'onda diffratta (sopra) e diagrammi del coefficiente  $k_D$  – ipotesi 0) onda da  $90^\circ$  N al largo

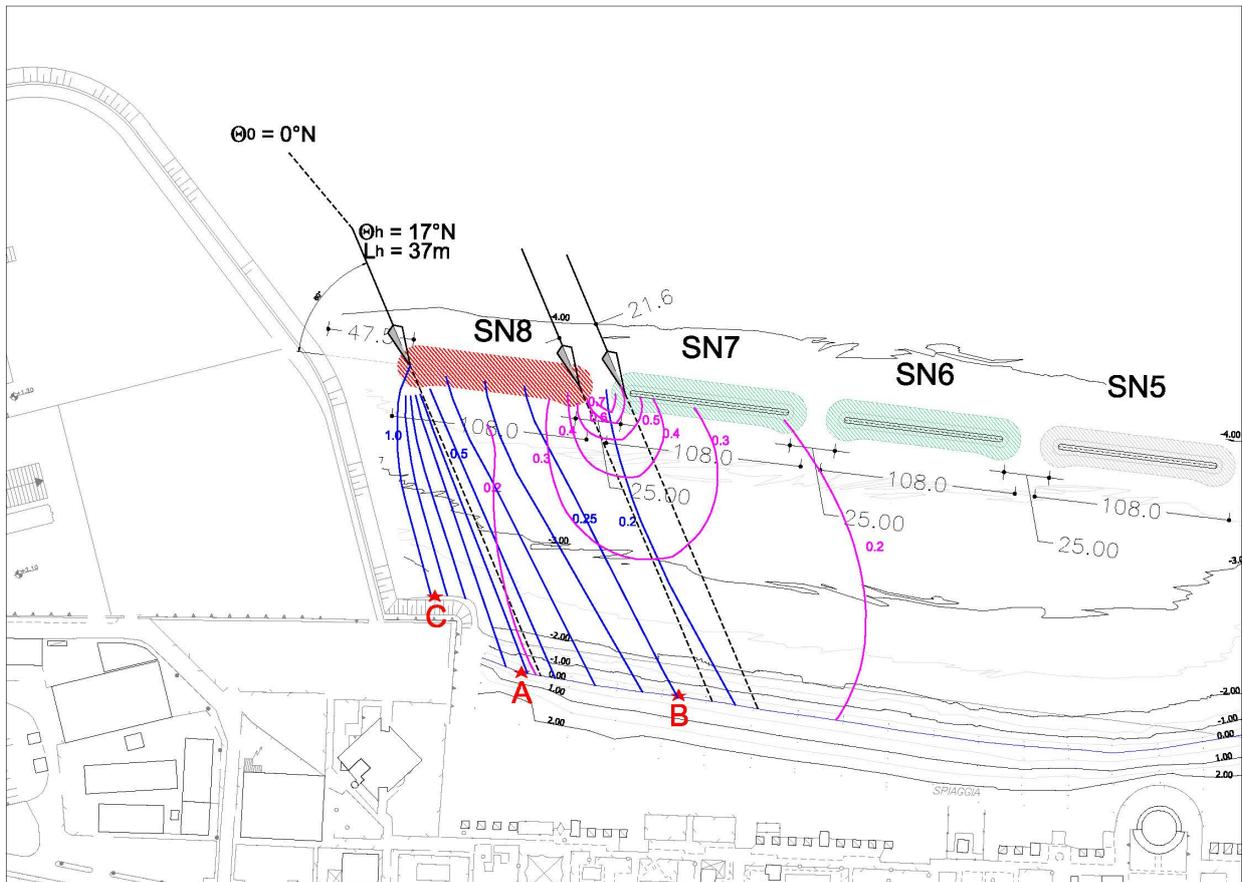
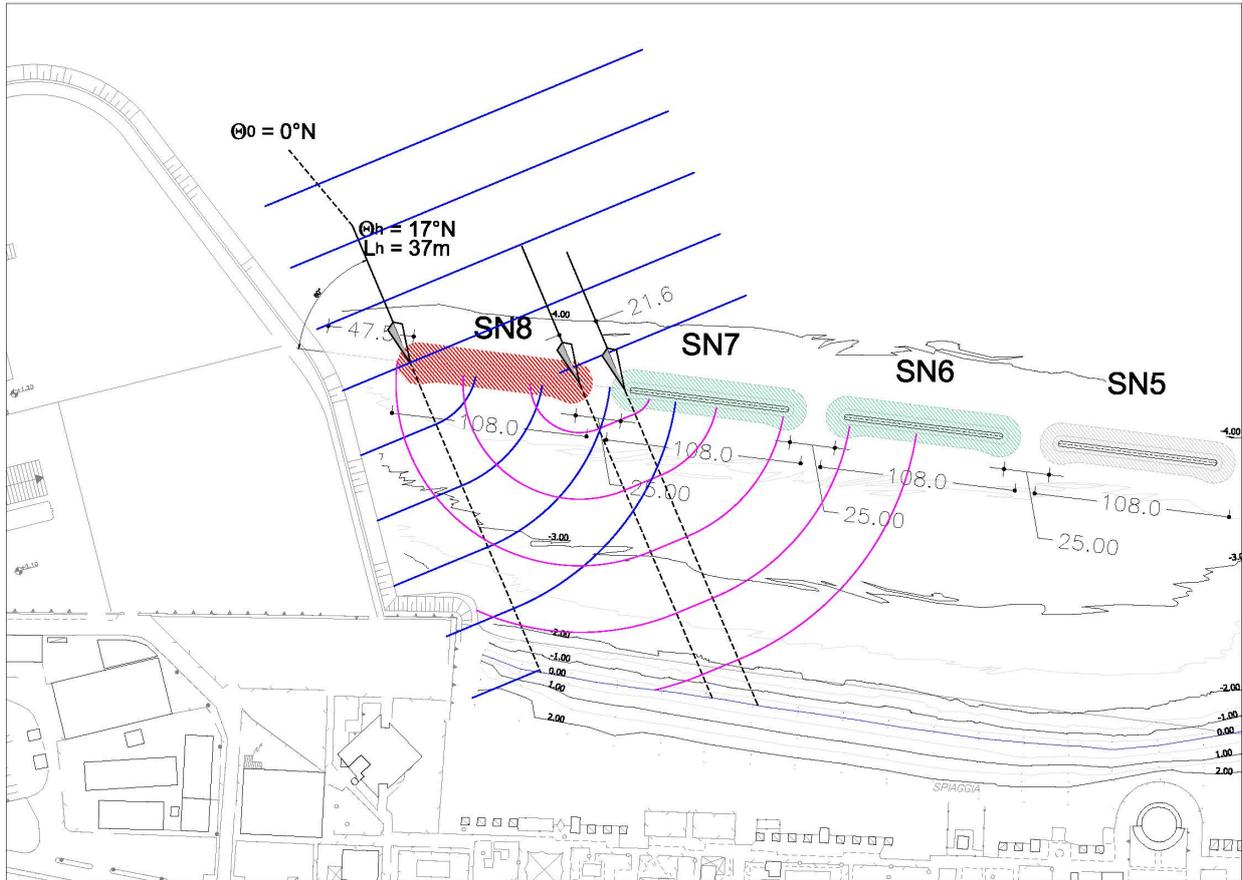


Fig. 3.2/11 Piano d'onda diffratta (sopra) e diagrammi del coefficiente  $k_D$  – Ipotesi 1) onda da  $0^\circ\text{N}$  al largo

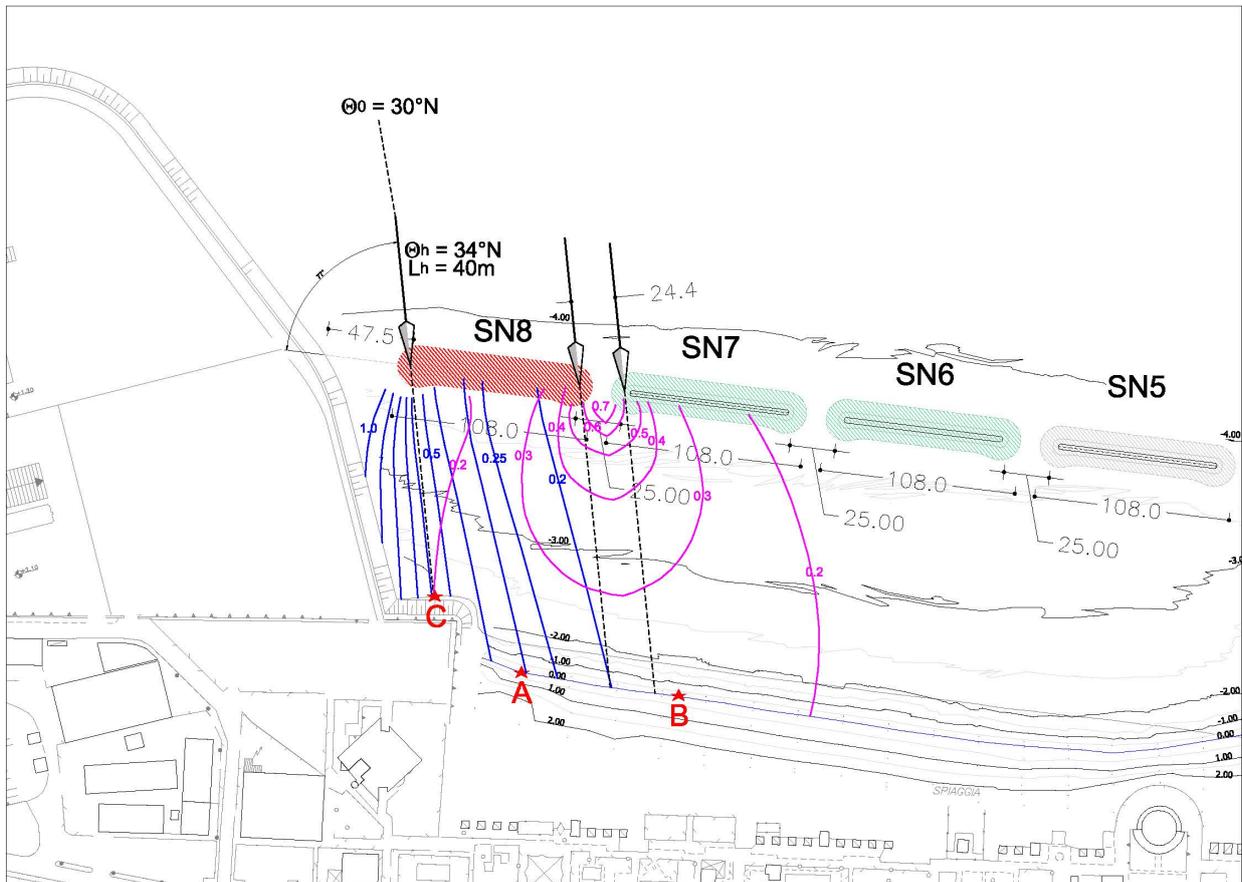
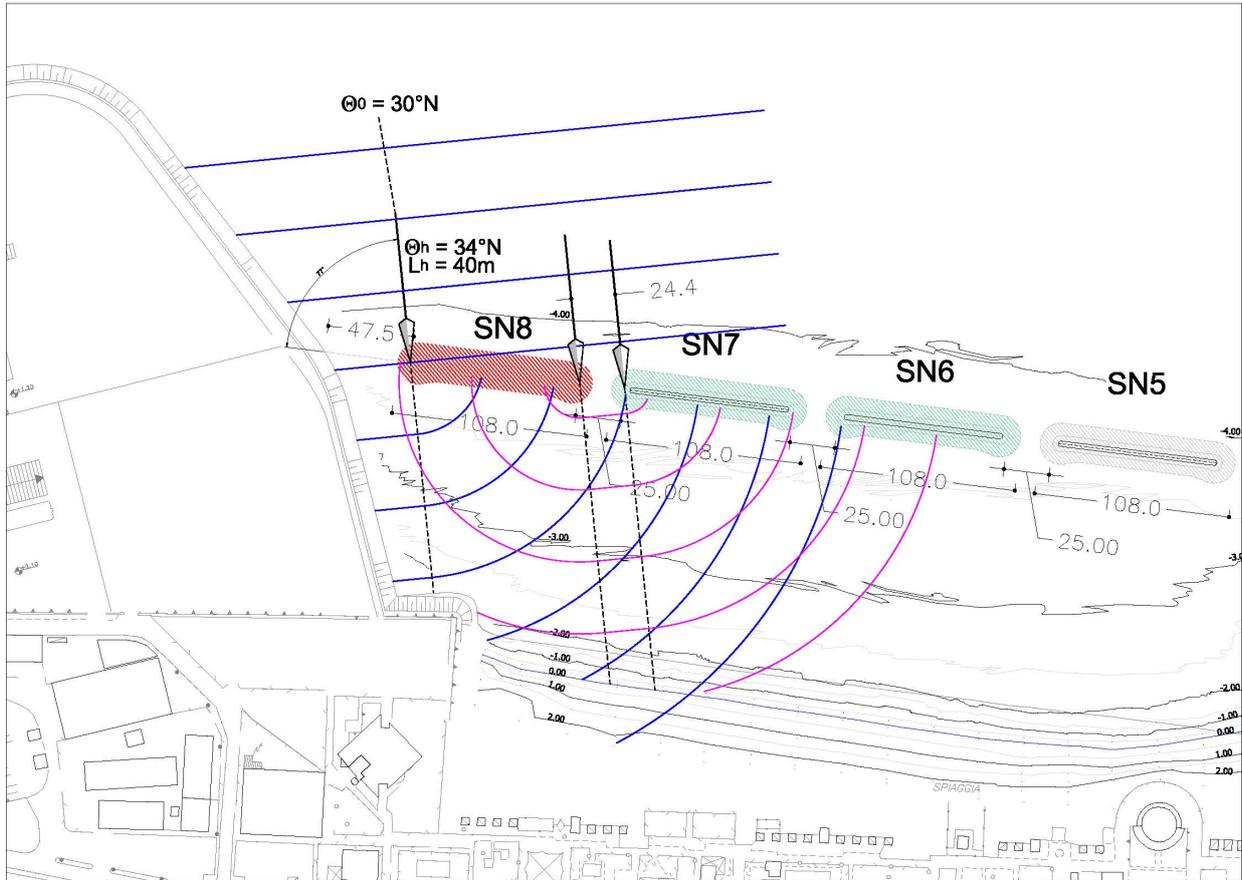


Fig. 3.2/12 Piano d'onda diffratta (sopra) e diagrammi del coefficiente  $k_D$  – ipotesi 1) onda da  $30^\circ N$  al largo

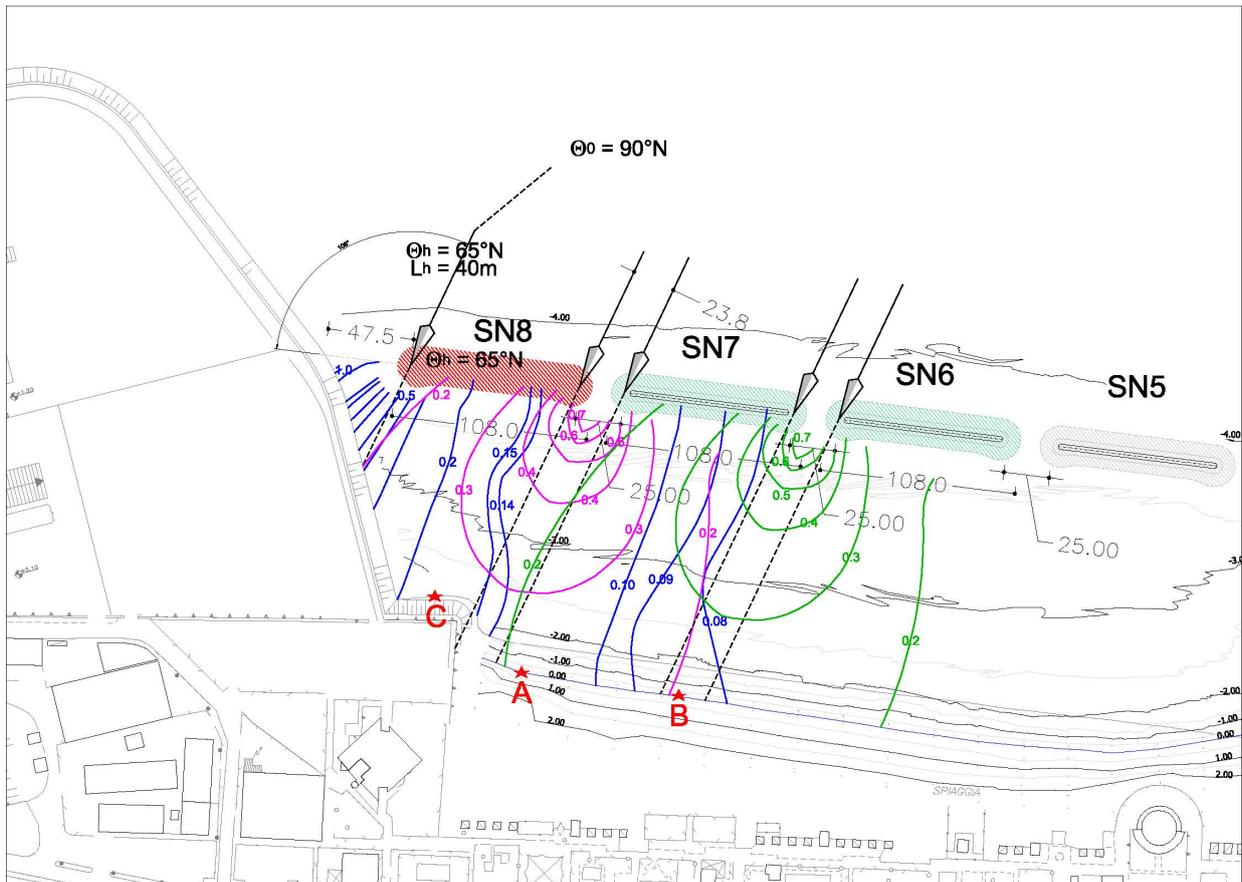
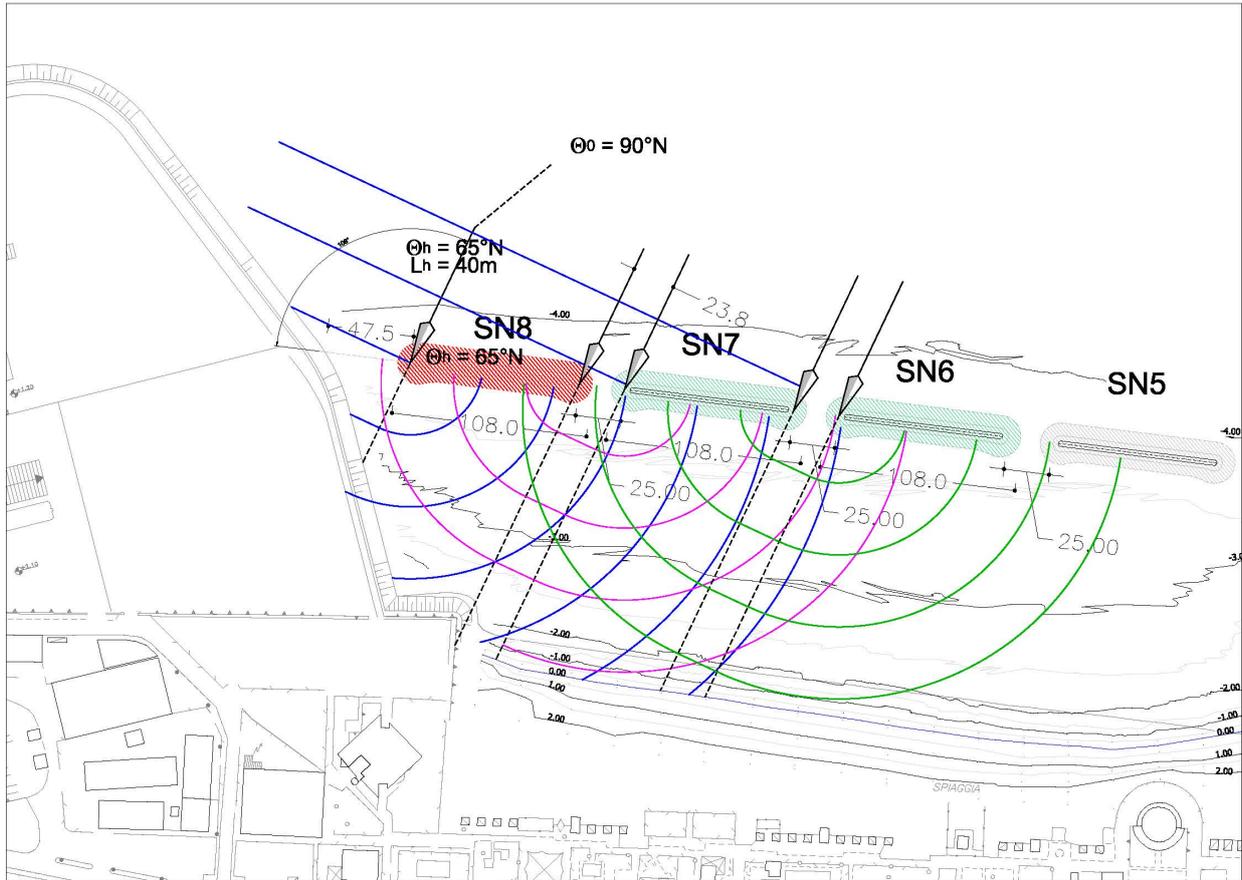


Fig. 3.2/13 Piano d'onda diffratta (sopra) e diagrammi del coefficiente  $k_D$  – ipotesi 1) onda da  $90^\circ N$  al largo

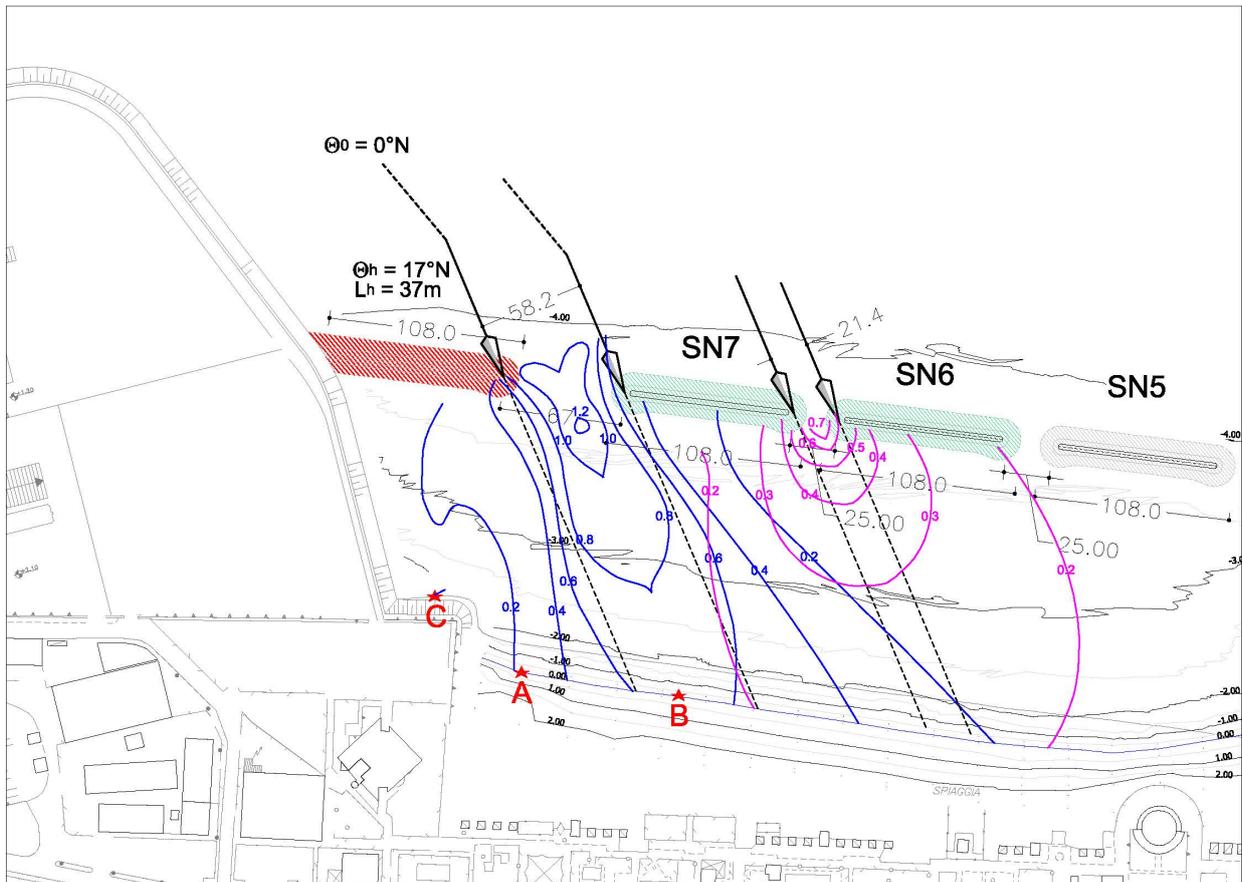
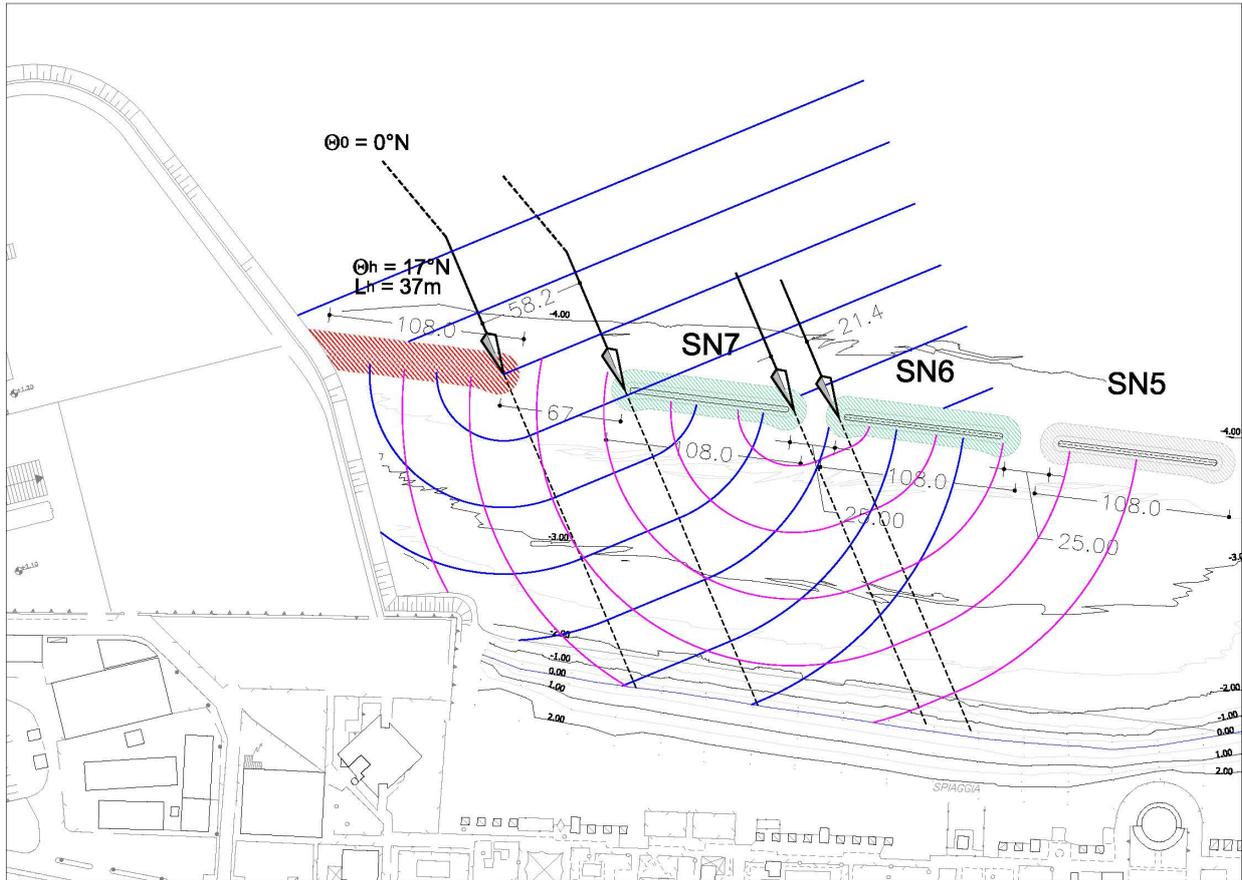


Fig. 3.2/14 Piano d'onda diffratta (sopra) e diagrammi del coefficiente  $k_D$  – Ipotesi 2) onda da  $0^\circ N$  al largo

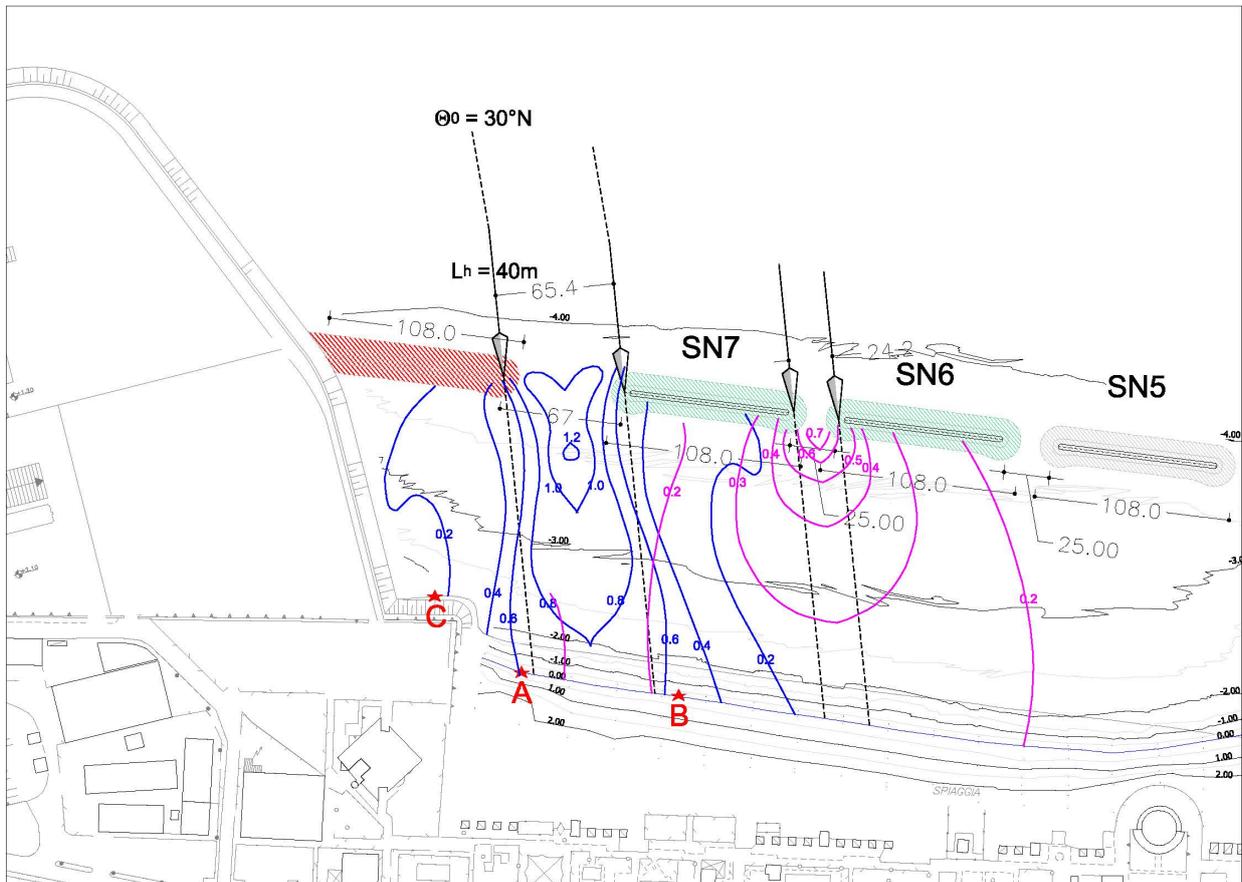
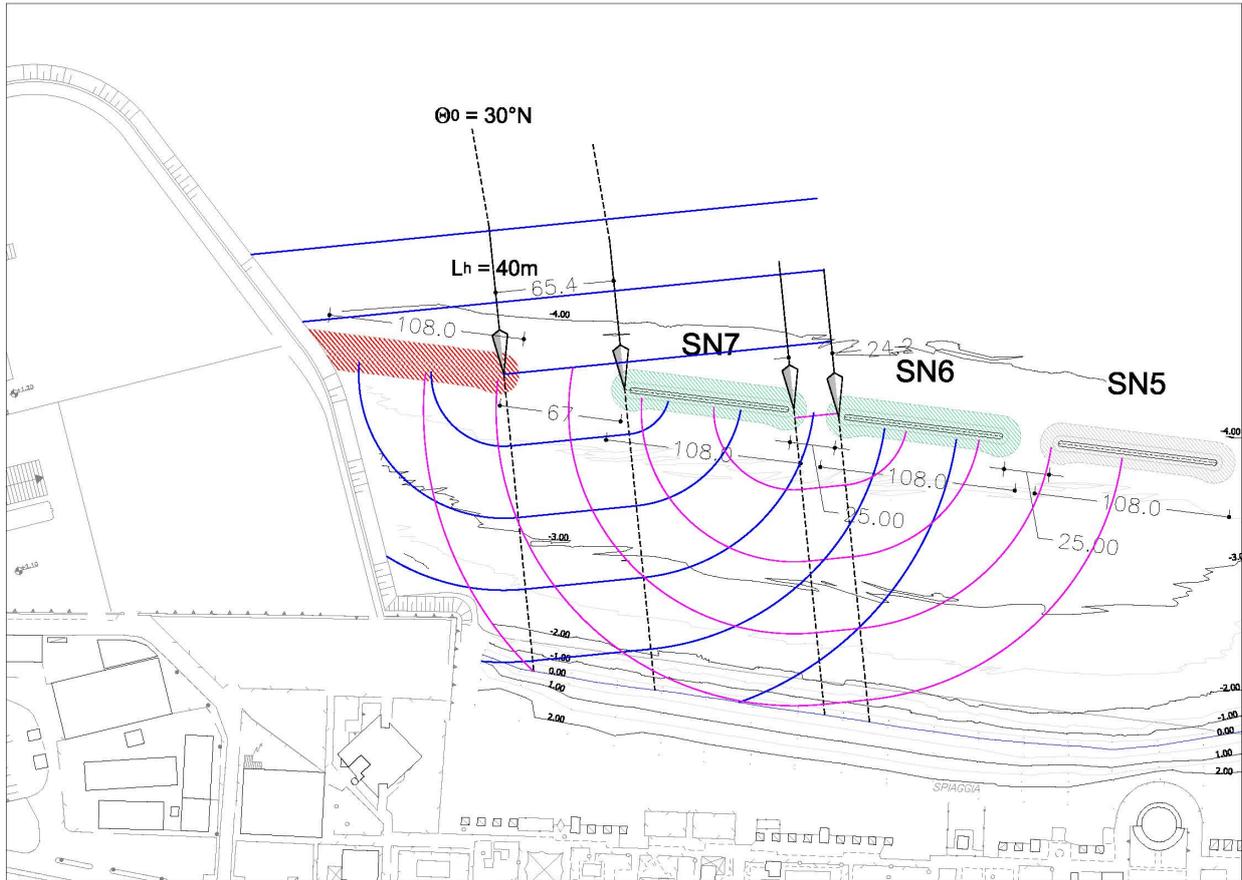


Fig. 3.2/15 Piano d'onda diffratta (sopra) e diagrammi del coefficiente  $k_D$  – ipotesi 2) onda da  $30^\circ N$  al largo

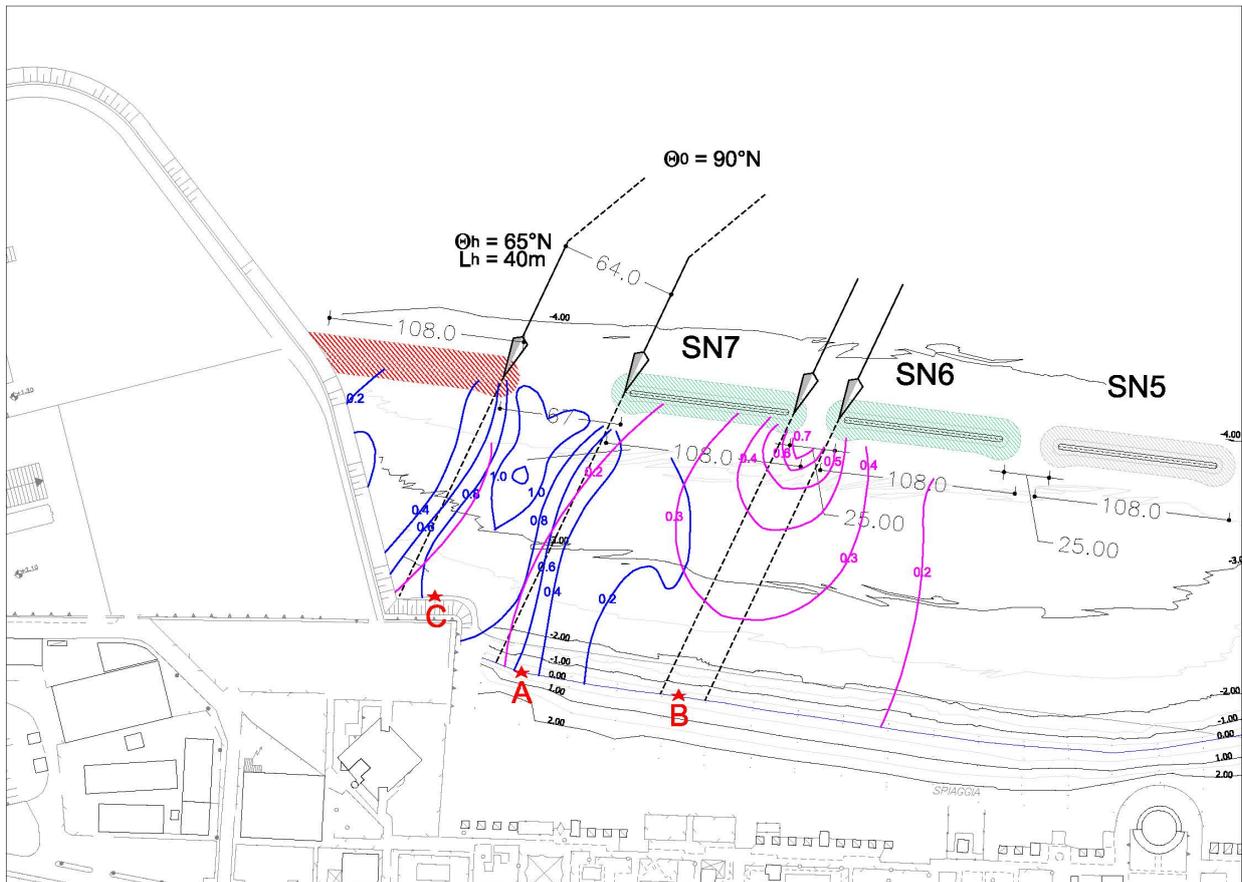
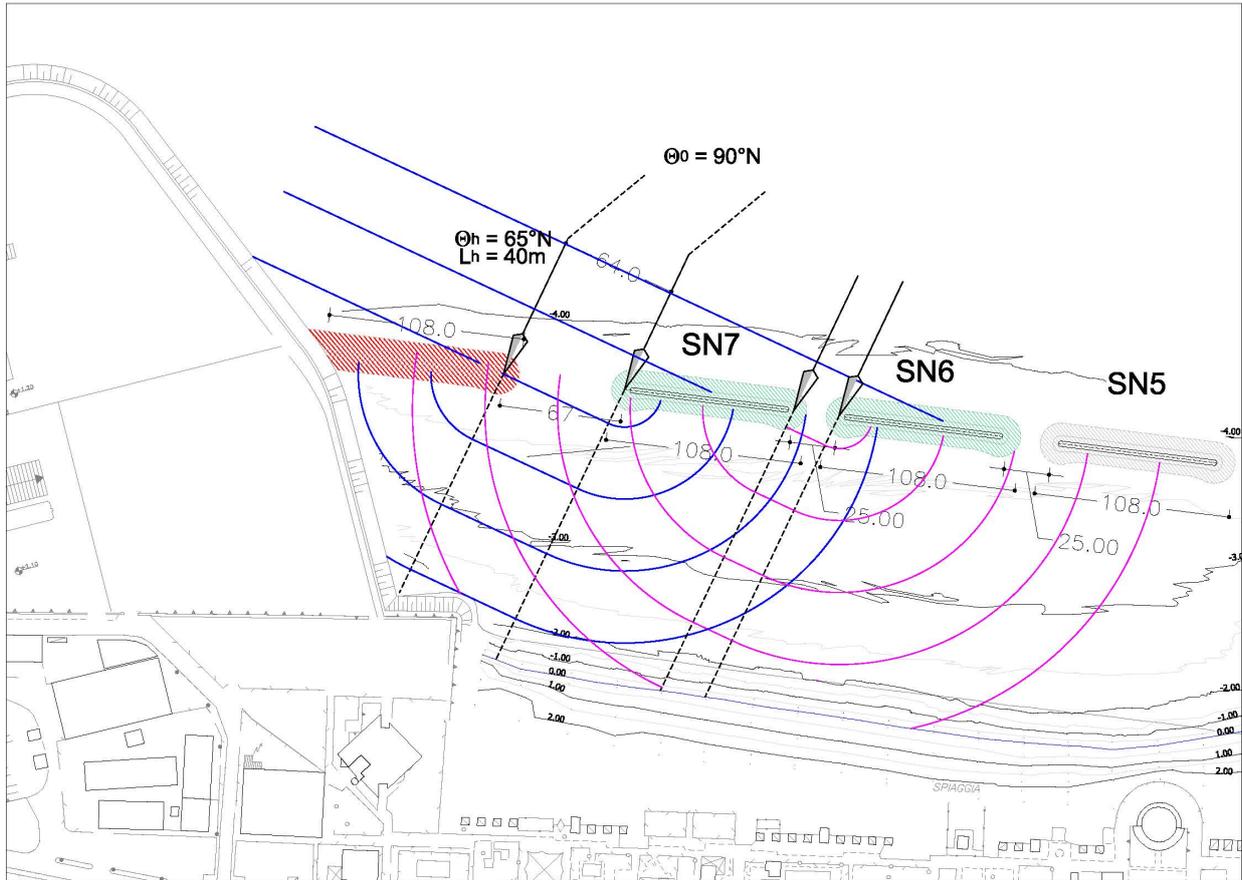
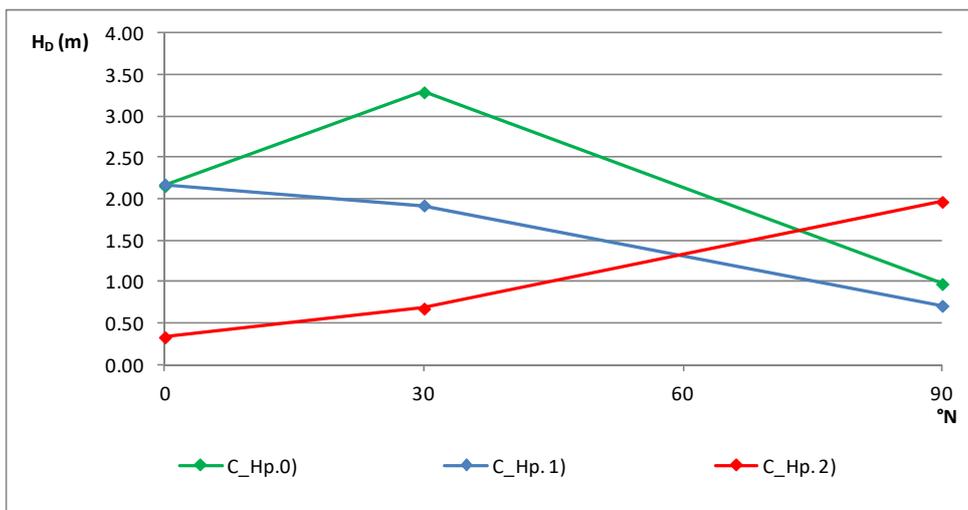
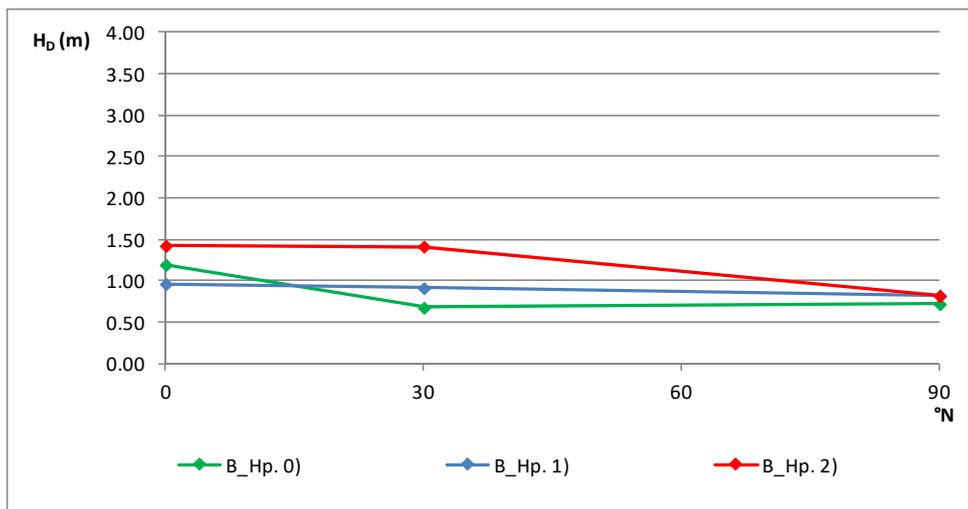
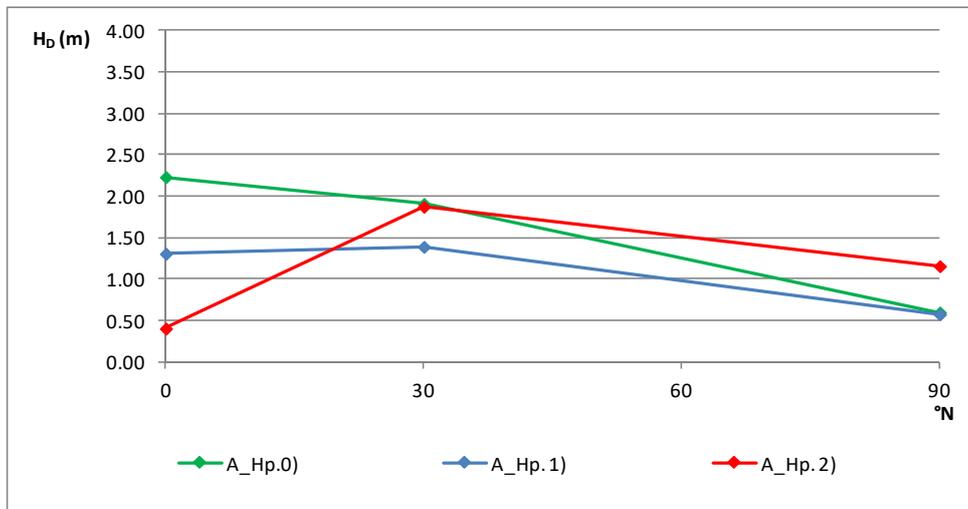


Fig. 3.2/16 Piano d'onda diffratta (sopra) e diagrammi del coefficiente  $k_D$  – ipotesi 2) onda da  $90^\circ N$  al largo

Nei seguenti grafici vengono mostrati i valori di altezza d'onda diffratta nelle 3 configurazioni e per le 3 onde di riferimento.



Tab. 3.2/2 Valori di altezza d'onda diffratta

Le linee verdi si riferiscono alla prima ipotesi (setto di scogliera corto); le linee blu si riferiscono alla seconda ipotesi (setto di scogliera della lunghezza di quelli realizzati); quella rossa alla terza ipotesi (pennello radicato).

Nella prima ipotesi (scogliera ridotta e varco "originale" da 85m) l'onda da 0°N penetra nel varco tra la scogliera in progetto e il porto scorrendo radente alla massicciata del molo e incidendo l'asse della scogliera con un angolo di 60°, si applica il relativo diagramma di diffrazione dedotto dallo Shore Protection Manual ottenendo le curve di ugual  $K_D$ . L'effetto nel varco tra la scogliera in progetto e quella precedente è il medesimo nei varchi tra le scogliere già realizzate in quanto è fissata la stessa larghezza di 25m. Il setto di scogliera offre una protezione al moto ondoso per il punto B, in minor misura per il punto A, nullo è l'effetto sul punto C sulla scogliera, dove si ritrova l'onda incidente indisturbata.

Per l'onda con direzione 30°N al largo, che incide l'opera con un angolo di 77° (per la diffrazione si considera il diagramma dello SPM per angolo di 75°) aumenta l'effetto di protezione del setto di scogliera su tutti e 3 i punti analizzati. Anche per l'onda con direzione 90°N al largo, che incide l'opera con un angolo di 108° (per la diffrazione si considera il diagramma dello SPM per angolo di 120°) la scogliera offre un buon grado di protezione.

La seconda ipotesi considerata, setto di scogliera con lunghezza di 108m al piede (come quelle già realizzate) e varco risultante ridotto a 47m produce, rispetto la prima ipotesi, una riduzione dell'altezza d'onda per i punti A e C per tutte le onde considerate, mentre nel punto B, l'effetto dello sfasamento delle componenti fa sì che le due configurazioni siano confrontabili, con un maggior scostamento per l'onda da 30°N.

Per entrambe le soluzioni viste si precisa che nell'analisi è stata trascurata la riflessione che si può generare di fronte al molo del porto per l'onda che incide con direzione al largo da 90° in quanto l'agitazione ondosa dovuta alla riflessione risulta concentrata in prossimità del varco, in particolar modo nella soluzione 2) e si dissipa allontanandosi dal molo stesso.

Nella terza ipotesi con pennello radicato al molo lungo 108m le onde incidenti si propagano attraverso il varco tra il pennello e l'ultima scogliera e la diffrazione che si produce tra le opere è funzione della larghezza del varco nella direzione perpendicolare a quella di incidenza dell'onda. Per le 3 onde considerate il rapporto  $B/L$  (larghezza del varco/lunghezza dell'onda) è di circa 1.4, pertanto lo schema della diffrazione utilizzato è quello con  $B/L=1.41$ . Il pennello fornisce una più efficace schermatura, rispetto le due soluzioni con scogliera, nei punti A e C per le onde da 0°N e 30°N, al contrario per le onde da 90°N, mentre il punto B rimane più esposto al moto ondoso per tutte e 3 le onde rispetto le precedenti soluzioni. Il punto B rimane comunque il punto più protetto rispetto gli altri due punti considerati in ciascuna configurazione analizzata (altezza d'onda nel punto B inferiore a quella nei punti A e C).

Per il punto C è stata valutata per ogni onda e diversa configurazione la risalita ondosa sul paramento della scogliera e l'eventuale tracimazione di portata liquida a tergo della stessa che potrebbe causare pericoli per i fruitori del piazzale e del capannone retrostante.

Per il calcolo del Run-up, che rappresenta la risalita dell'onda su una struttura misurata dal livello medio mare, può essere applicata la distribuzione a due parametri di Weibull, dedotta da van der Meer e Stam per onde con distribuzione di tipo Rayleigh e scogliera in massi permeabile con pendenza  $\tan \alpha \geq 2$  :

$$R_{up\%} = B(-\ln p)^{1/C}$$

con  $p$  la probabilità di superamento (in genere si considera il 2%);

$$B = H_s [0.4(s_{0m})^{-1/4} (\cot \alpha)^{-0.2}]$$

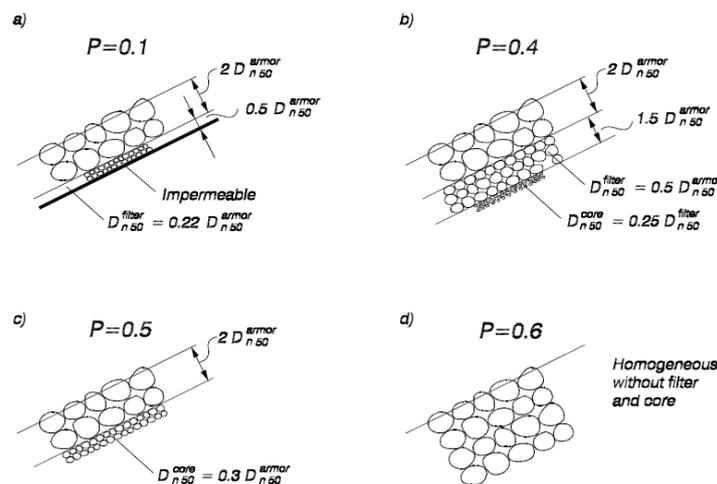
$$C = \begin{cases} 3.0(\xi_{0m})^{-3/4} & \text{per } \xi_{0m} \leq \xi_{0mc} \text{ (frangimento plunging)} \\ 0.52P^{-0.3}(\xi_{0m})^P \sqrt{\cot \alpha} & \text{per } \xi_{0m} > \xi_{0mc} \text{ (frangimento surging)} \end{cases}$$

$$\xi_{0mc} = (5.77P^{-0.3} \sqrt{\tan \alpha})^{[1/(P+0.75)]}$$

$$s_{0m} = \frac{2\pi H_s}{gT_{0m}^2}$$

$$\xi_{0m} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_s/L_{0m}}}$$

con  $P$  la permeabilità della scogliera secondo van der Meer (assunta pari a 0.6 per struttura senza filtro ne nucleo):



Tab. 3.2/3 Valori della permeabilità (Coastal Engineering Manual)

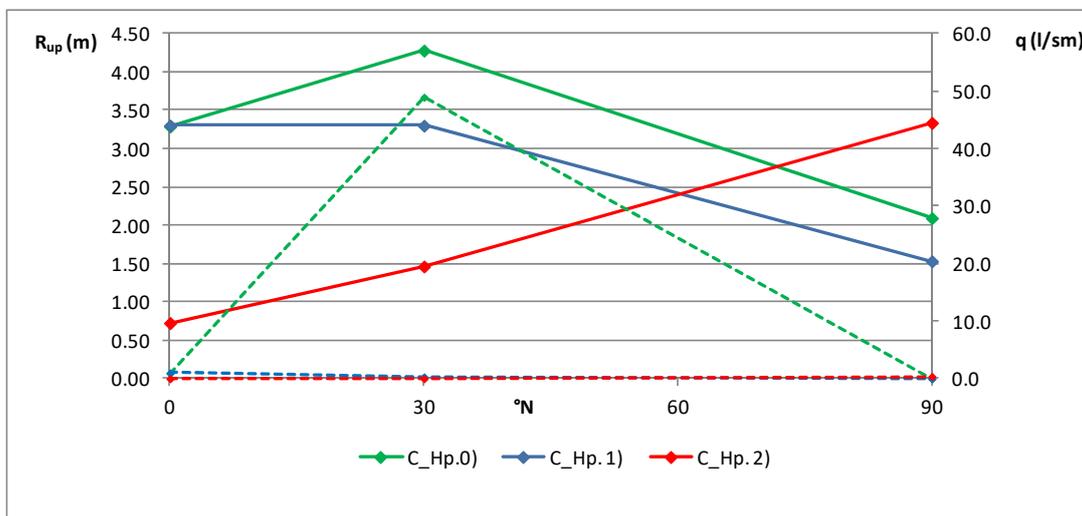
L'entità della tracimazione ondosa a tergo delle scogliere è stata valutata tramite la formula di van der Meer e Janssen, 1995 in funzione del parametro di frangimento riferito al periodo di picco:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}} \sqrt{\frac{s_{0p}}{\tan\alpha}} = 0.06 \exp\left(-5.2 \frac{R_c}{H_s} \frac{\sqrt{s_{0p}}}{\tan\alpha} \frac{1}{\gamma_r \gamma_b \gamma_h \gamma_\beta}\right) \text{ per } \xi_{0p} < 2$$

$$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}} = 0.2 \exp\left(-2.6 \frac{R_c}{H_s} \frac{1}{\gamma_r \gamma_b \gamma_h \gamma_\beta}\right) \text{ per } \xi_{0p} > 2$$

con  $\gamma$  fattori correttivi che tengono conto rispettivamente della scabrezza del paramento della scogliera, dell'eventuale presenza di berma al piede, delle condizioni di acque basse e dell'inclinazione dell'attacco ondosu. Tutti i  $\gamma$  sono assunti pari a 1 tranne il  $\gamma_r$  che rappresenta la scabrezza della scogliera ed è assunto pari a 0.55.

Considerando per la scogliera del molo di sopraflutto del porto pendenza 1:2 e una quota di berma di +3.5m l.m.m. si ottengono i seguenti valori di Run-up (linea continua) e tracimazione ondosa (linea tratteggiata) in corrispondenza del punto C nelle 3 diverse configurazioni:



Tab. 3.2/4 Valori di Run-up e tracimazione

La condizione più pericolosa per la tracimazione a tergo della scogliera nel punto C (valore di circa 50l/sm), che potrebbe interessare il piazzale retrostante, con annesso capannone, è quella con onda da 30°N con il setto di scogliera "corto" (Hp.0), per le altre onde e configurazioni la tracimazione al massimo raggiunge valori di 1.0l/sm per la configurazione Hp.1) e 0.4l/sm per la configurazione Hp.2).

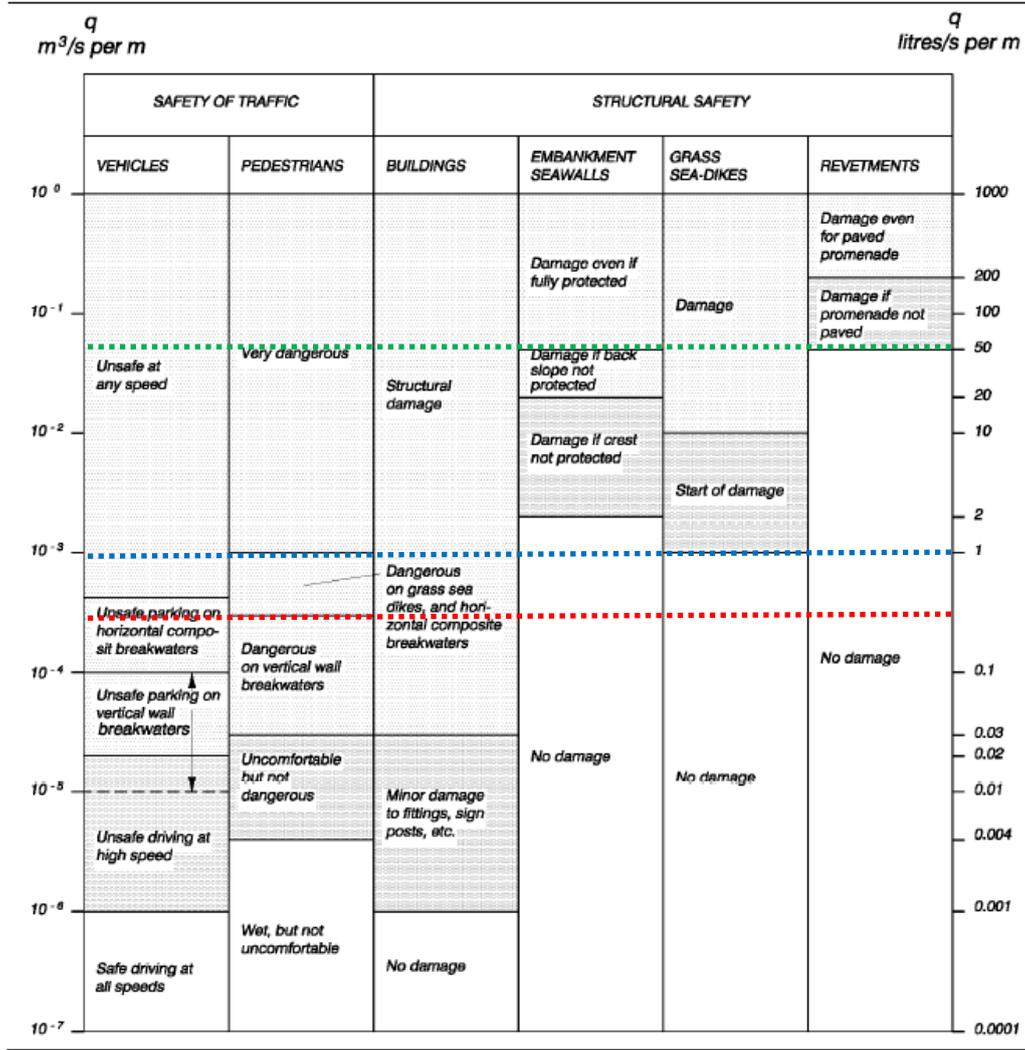


Fig. 3.2/17 Valori critici delle portate medie di overtopping (Coastal Engineering Manual)

I risultati di questa analisi condotta considerando la sola diffrazione prodotta dalle diverse configurazioni, mostrano che nella soluzione con setto di scogliera "corto" (Hp. 0) si ha un valore notevole di altezza d'onda residua di fronte alla scogliera del porto (punto C) con conseguente risalita e possibile tracimazione ondosa in occasione di mareggiate con direzioni di 30°N al largo; la soluzione che protegge di più la zona della scogliera è quella del pennello radicato, per le onde da 0°N e 30°N, anche per la direzione da 90°N si ha un'altezza d'onda residua di 2.0m circa ma la possibile tracimazione è contenuta a valori accettabili, data la quota di sommità della scogliera radente al molo del porto. Per la direzione di levante la soluzione con scogliera "lunga" (Hp.1) è quella che fornisce per il punto C la più efficace protezione.

Per la parte di spiaggia a ridosso del porto (punto A) la soluzione tra quelle analizzate che presenta il maggior grado di abbattimento dell'altezza d'onda per diffrazione è la Hp.1) con setto di scogliera lungo 108m; allontanandosi dalla radice del porto lungo riva, punto B, tale soluzione garantisce un'altezza d'onda diffratta inferiore a 1.0m, compatibile con la spiaggia ghiaiosa.

Si può ritenere che tra quelle analizzate la soluzione con setto di scogliera da 108m sia quella che riesca a garantire un certo grado di protezione per i 3 punti di riferimento considerati in tutte le condizioni ondose considerate. Il pennello radicato al molo protegge bene i punti più a ridosso del porto (A e C) lasciando scoperto il punto B. Nel caso si allungasse il pennello a 150m (Hp.2\_bis), garantendo un varco di 25m sul l.m.m. con l'ultima scogliera realizzata, aumenterebbe l'effetto dissipativo sulle altezze d'onda dovuto alla diffrazione ma per contro diminuirebbe la circolazione idrica dietro il pennello e si potrebbe creare una zona di calma alla radice dello stesso dove si potrebbero accumulare materiali galleggianti. L'assenza di ricircolo idrico in questo caso, che viene garantita invece nelle altre 3 configurazioni precedentemente analizzate, potrebbe peggiorare la qualità della balneazione di questo tratto di costa. Si fa presente infatti che generalmente, vedi esempi del litorale romagnolo nelle foto seguenti, si tende a non radicare le scogliere a moli esistenti, per garantire, soprattutto in presenza di spiagge prevalentemente sabbiose, congiuntamente alla protezione dalle mareggiate, appunto un certo ricircolo nella zona protetta.

Questo primo step di Studio ha permesso di individuare il Setto di Scogliera emersa quale soluzione da approfondire scartando invece la soluzione del Pennello poiché, per quanto da un punto di vista idraulico possa essere accettabile (soprattutto se la lunghezza fosse di circa 150m), da un punto di vista ambientale si avrebbe una drastica riduzione della circolazione idrica a tergo del medesimo pennello con ripercussione sulla qualità delle acque.

Data l'esigenza di coniugare la necessità di proteggere il tratto attualmente scoperto con il mantenimento delle qualità ambientali del litorale si è approfondita la valutazione della chiusura del varco con scogliere piuttosto che con pennello radicato al molo del porto. Si è quindi proceduto ad ottimizzare la configurazione geometrica della "Soluzione Scogliera" in termini di lunghezza del Setto e del varco libero fra testata nord della stessa scogliera SN8 ed il molo di levante del porto, assumendo che, sulla Testata lato

Sud, il varco misurasse una distanza di 25m dalla Scogliera SN7 (stessa lunghezza dei varchi fra le scogliere già realizzate).

Con apposito modello matematico (Delft3D) è stato affinato lo studio idro-dinamico. Sono stati determinati i valori di altezze d'onda e campo di velocità confrontando le seguenti configurazioni:

- config\_0) *stato attuale* – varco tra il porto e l'ultima scogliera realizzata di 165m;
- config\_1) *scogliera di progetto SN8 "corta"* –  $L_{SN8\text{piede}} = 70.5\text{m}$ ,  $L_{SN8\text{l.m.m.}} = 57\text{ m}$ ,  $V_{SN8\text{-porto-l.m.m.}} = 85\text{m}$ ;
- config\_2) *scogliera di progetto SN8 "intermedia"* –  $L_{SN8\text{piede}} = 99\text{m}$ ,  $L_{SN8\text{l.m.m.}} = 81\text{ m}$ ,  $V_{SN8\text{-porto-l.m.m.}} = 61\text{m}$ ;
- config\_3) *scogliera di progetto SN8 "lunga"* –  $L_{SN8\text{piede}} = 108\text{m}$ ,  $L_{SN8\text{l.m.m.}} = 94\text{ m}$ ,  $V_{SN8\text{-porto-l.m.m.}} = 48\text{m}$ .

### 3.3 RISULTATI DEL MODELLO IDRAULICO SULLE ALTERNATIVE PROGETTUALI

Di seguito sono riportati i risultati del trasferimento ondoso per le condizioni riportate in Tabella 3.2/1 (riferite al tempo di ritorno di 1anno, per tutti i settori direzionali) in termini di altezza d'onda (al largo e sotto-costa) e velocità indotta.

DIREZIONE 0°N

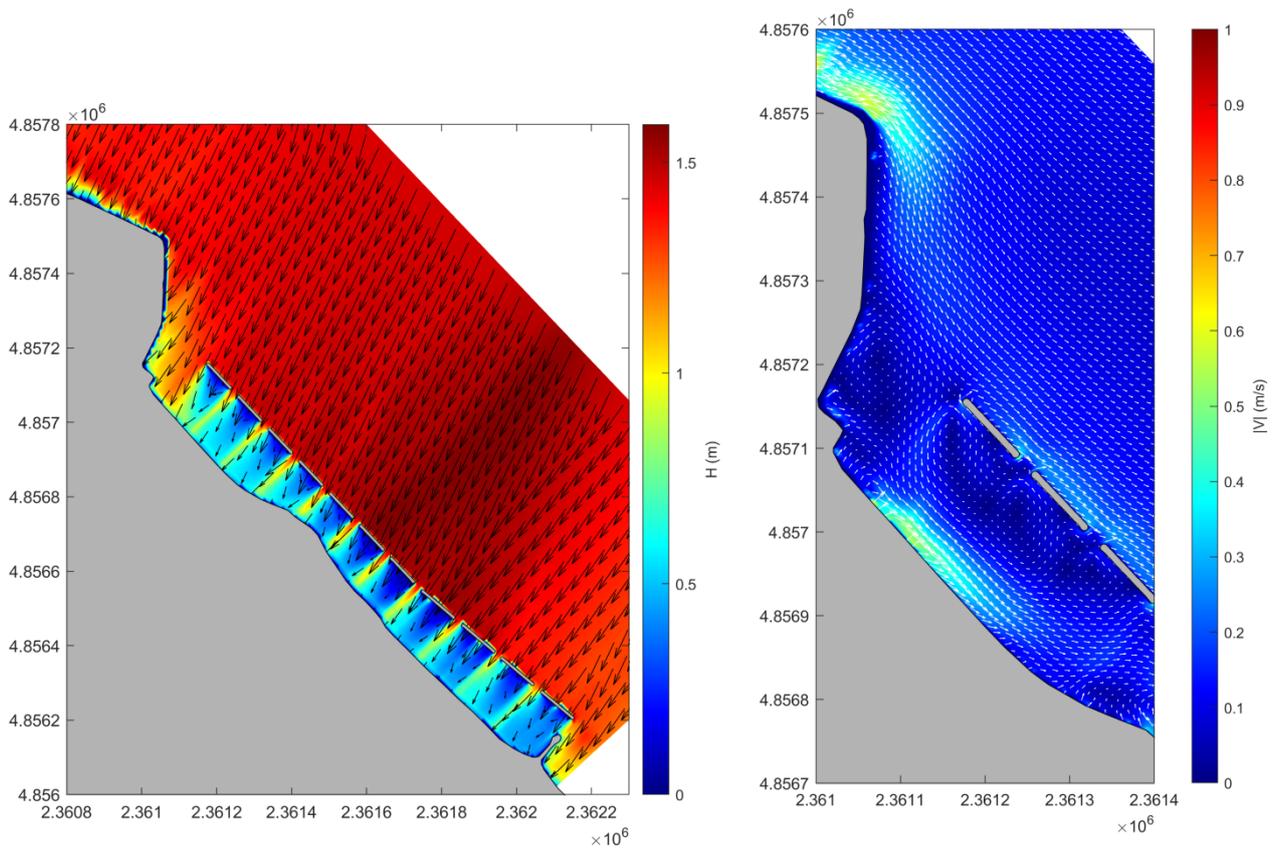


Fig. 3.3/1 Config. 0) stato attuale – onda 0°N – altezza d’onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

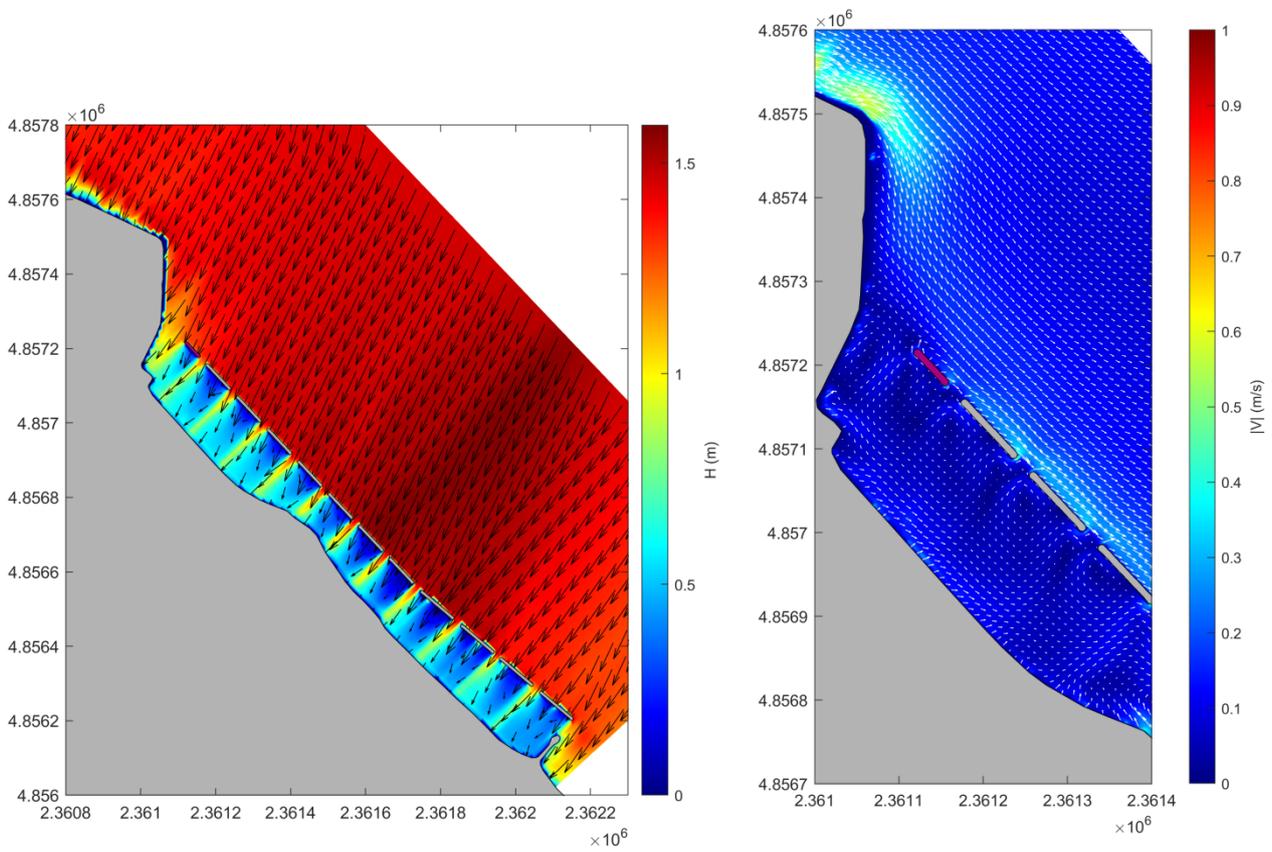


Fig. 3.3/2 Config. 1) scogliera SN8 “corta” – onda 0°N– altezza d’onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

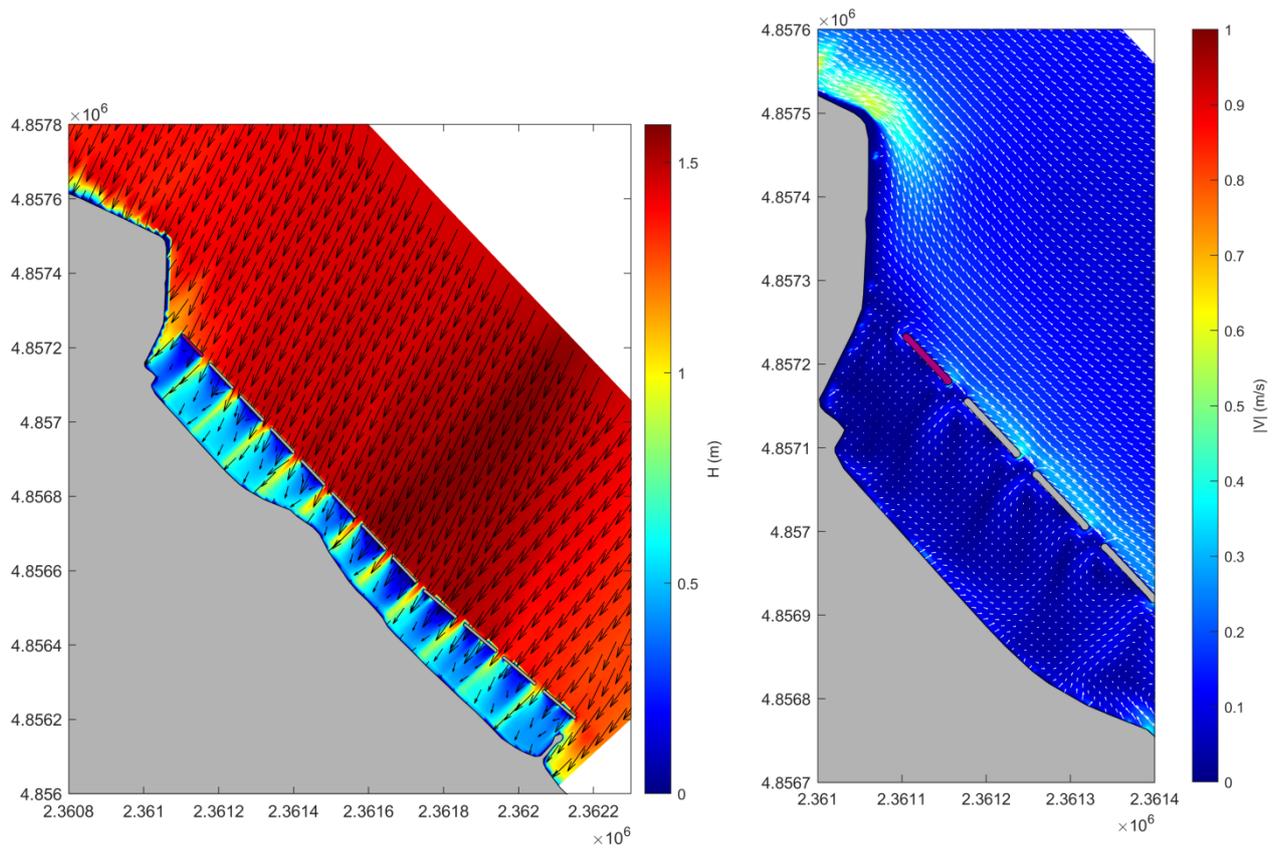


Fig. 3.3/3 Config. 2) scogliera SN8 "media" – onda 0°N– altezza d'onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

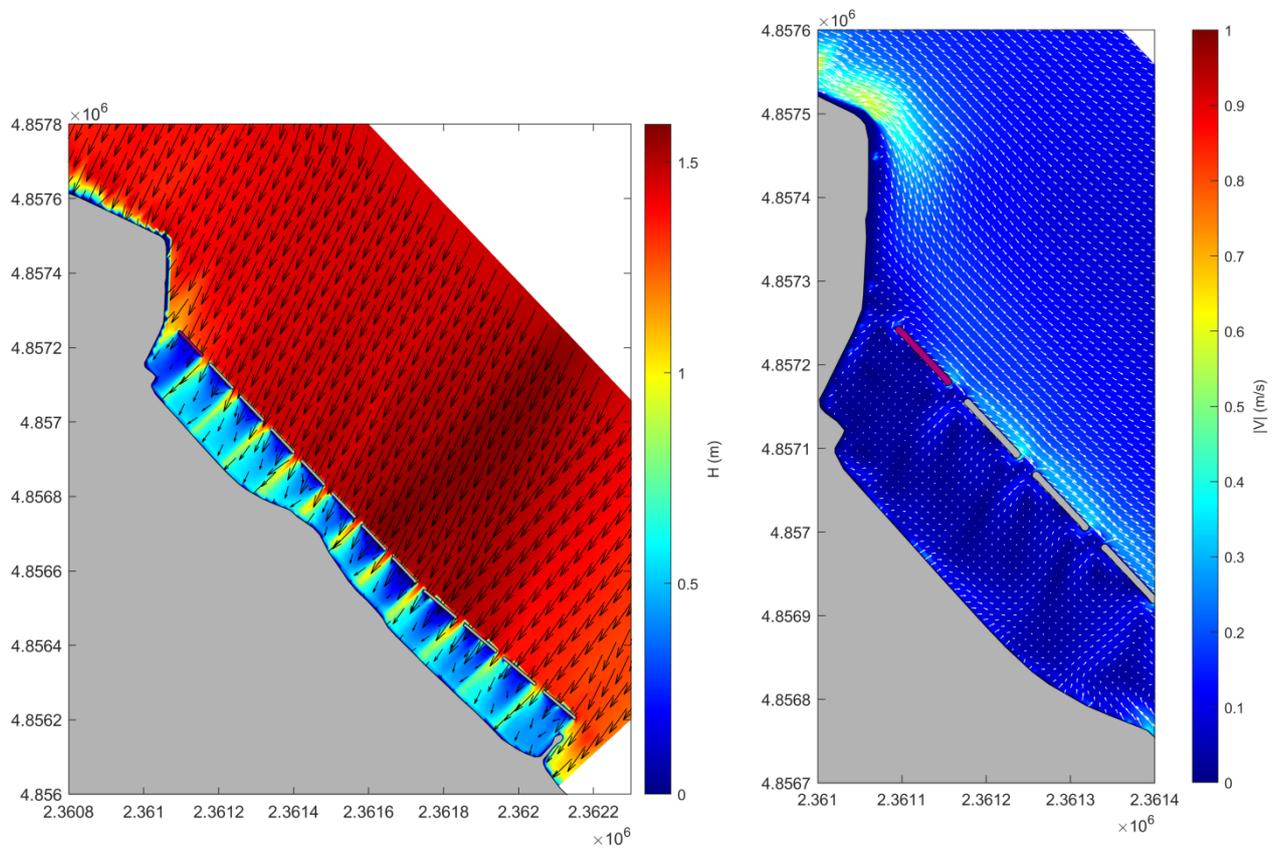


Fig. 3.3/4 Config. 3) scogliera SN8 "lunga" – onda 0°N– altezza d'onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

DIREZIONE 30°N

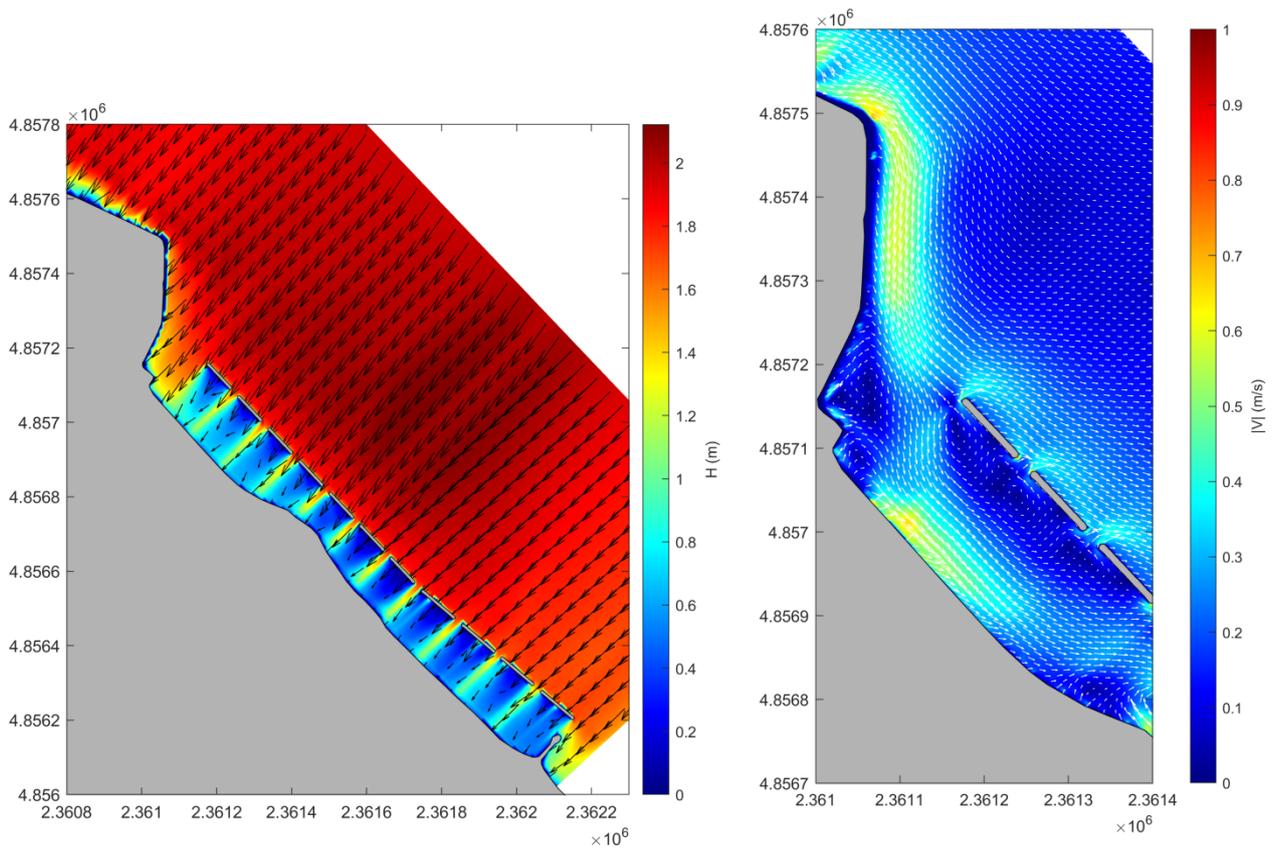


Fig. 3.3/5 Config. 0) stato attuale – onda 30°N – altezza d’onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

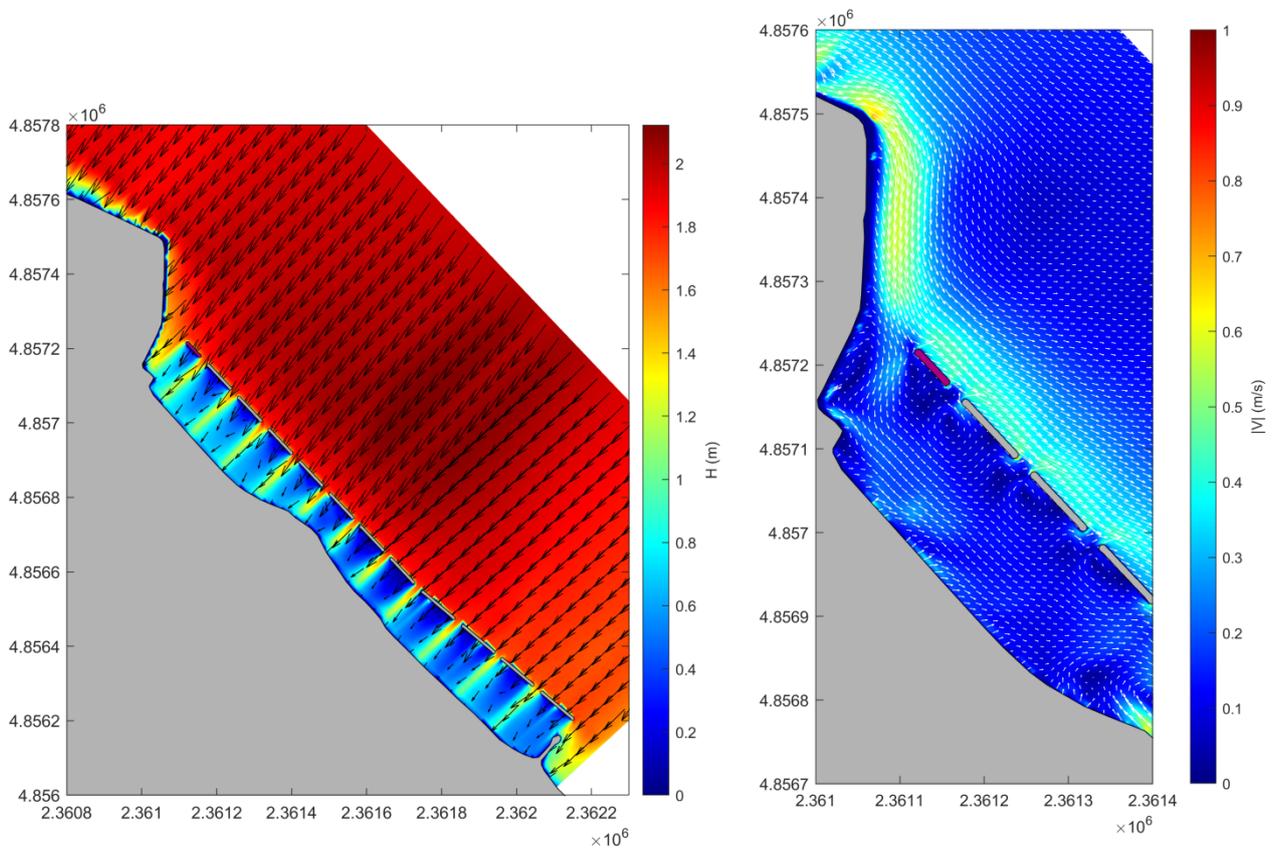


Fig. 3.3/6 Config. 1) scogliera SN8 “corta” – onda 30°N– altezza d’onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

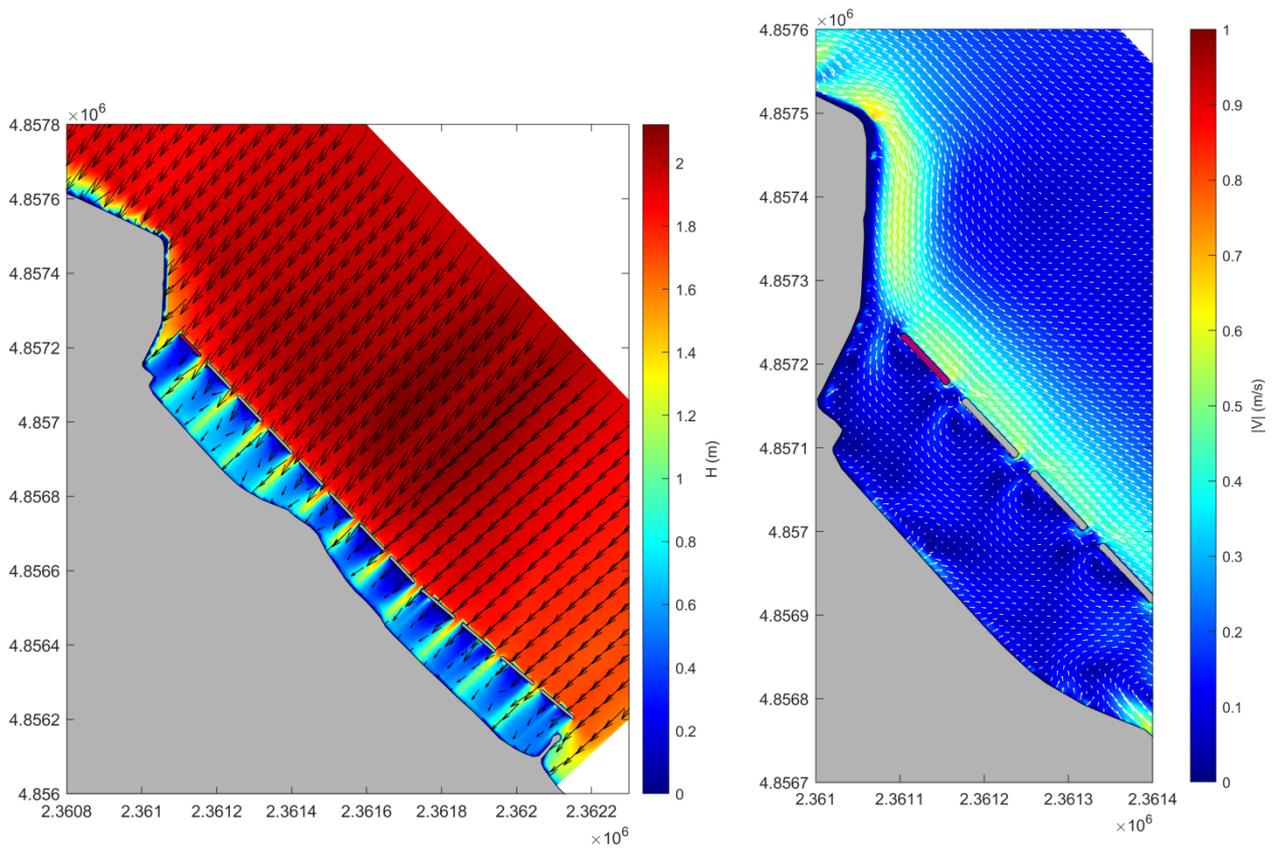


Fig. 3.3/7 Config. 2) scogliera SN8 "media" – onda 30°N– altezza d'onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

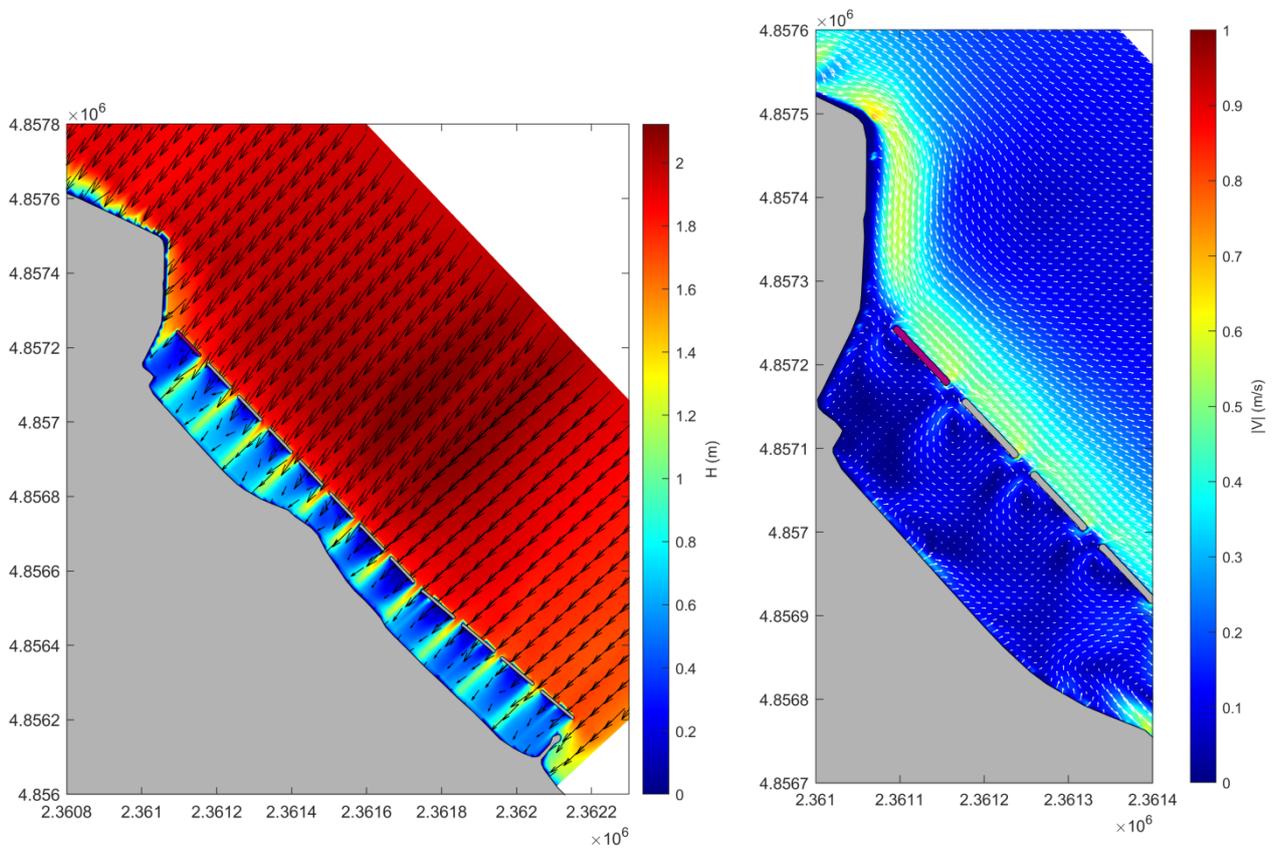


Fig. 3.3/8 Config. 3) scogliera SN8 "lunga" – onda 30°N– altezza d'onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

DIREZIONE 60°N

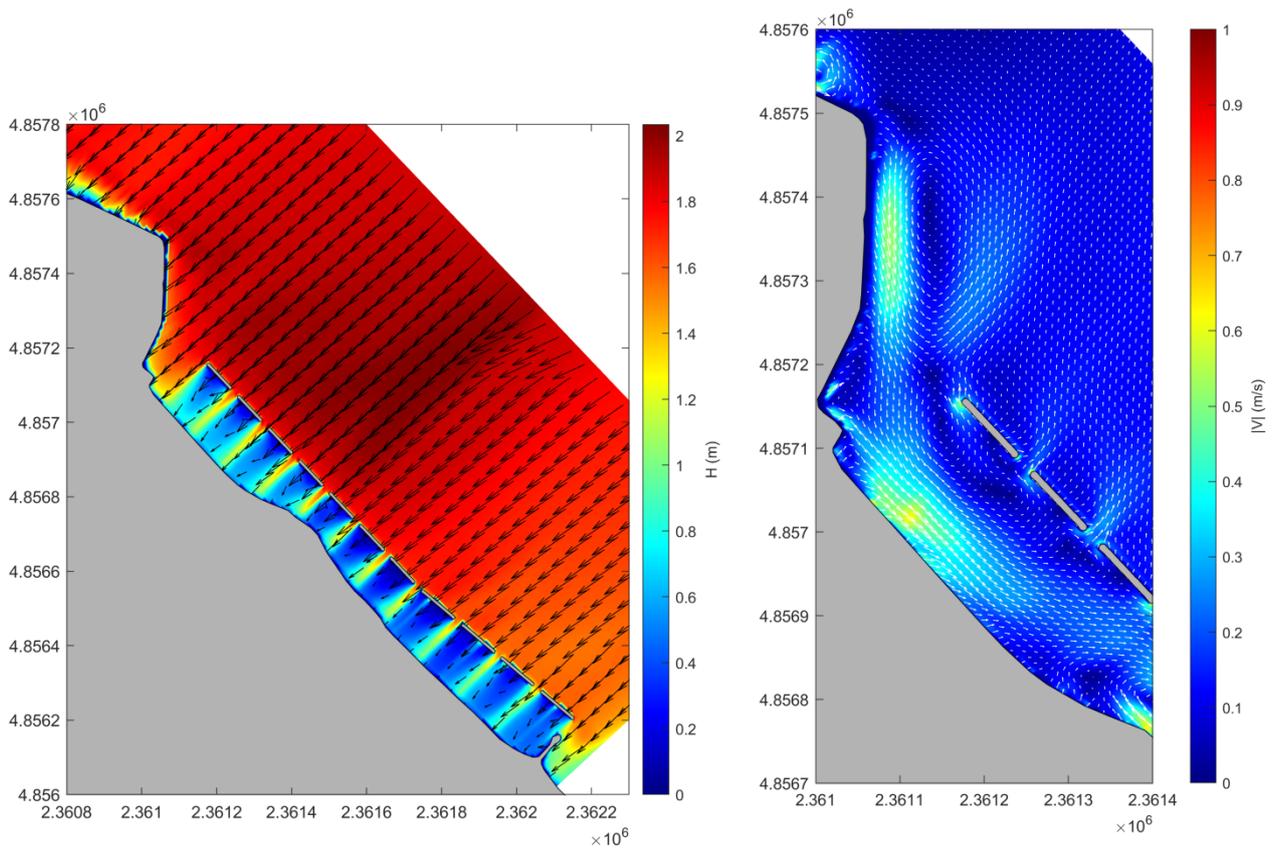


Fig. 3.3/9 Config. 0) stato attuale – onda 60°N – altezza d’onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

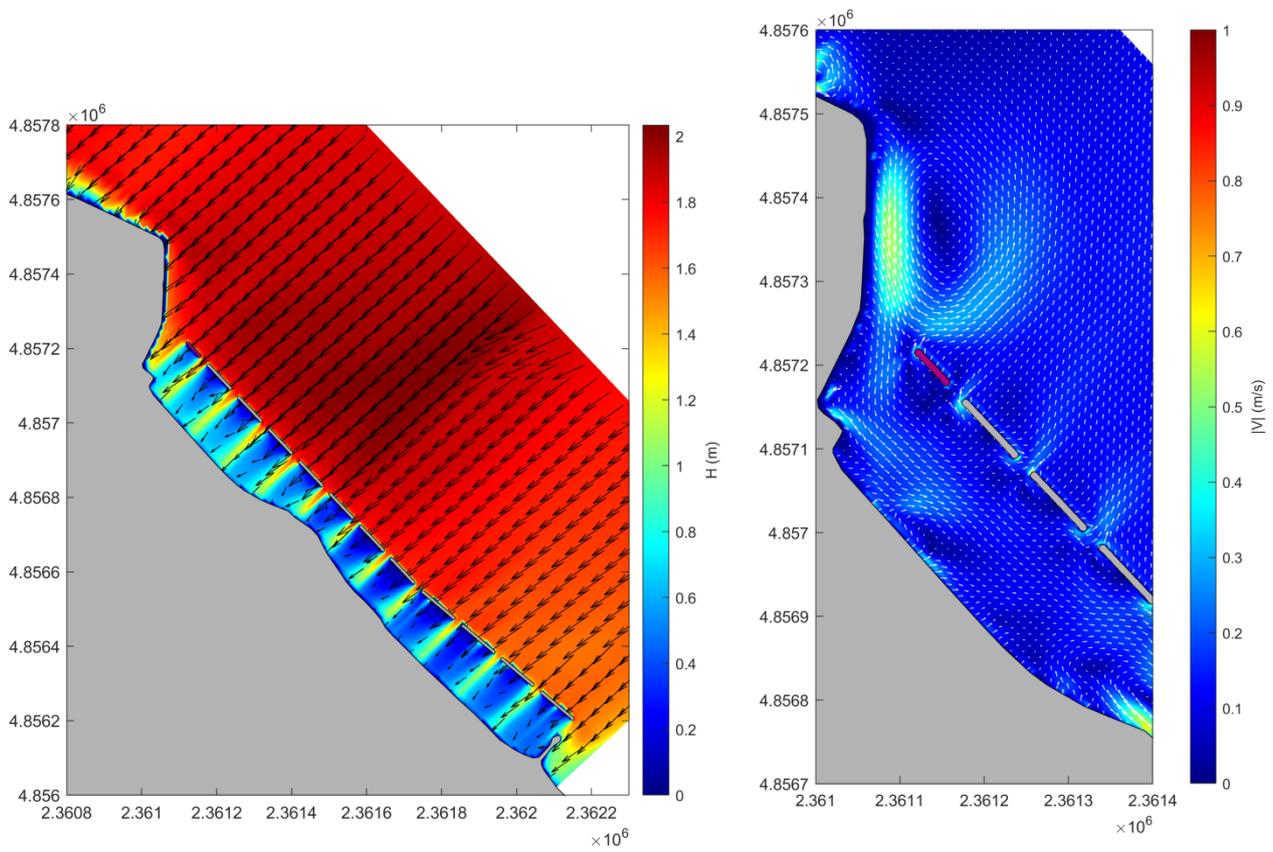


Fig. 3.3/10 Config. 1) scogliera SN8 “corta” – onda 60°N– altezza d’onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

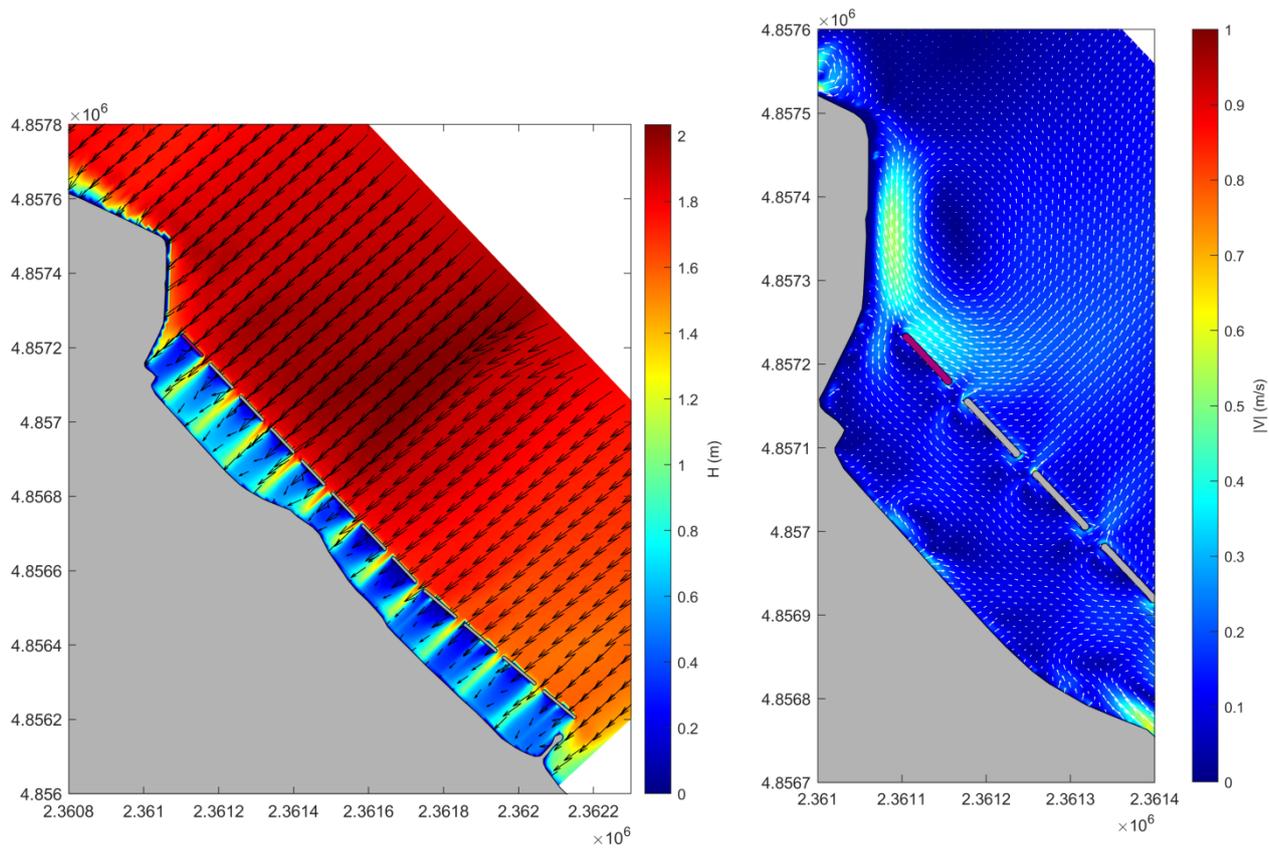


Fig. 3.3/11 Config. 2) scogliera SN8 "media" – onda 60°N– altezza d'onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

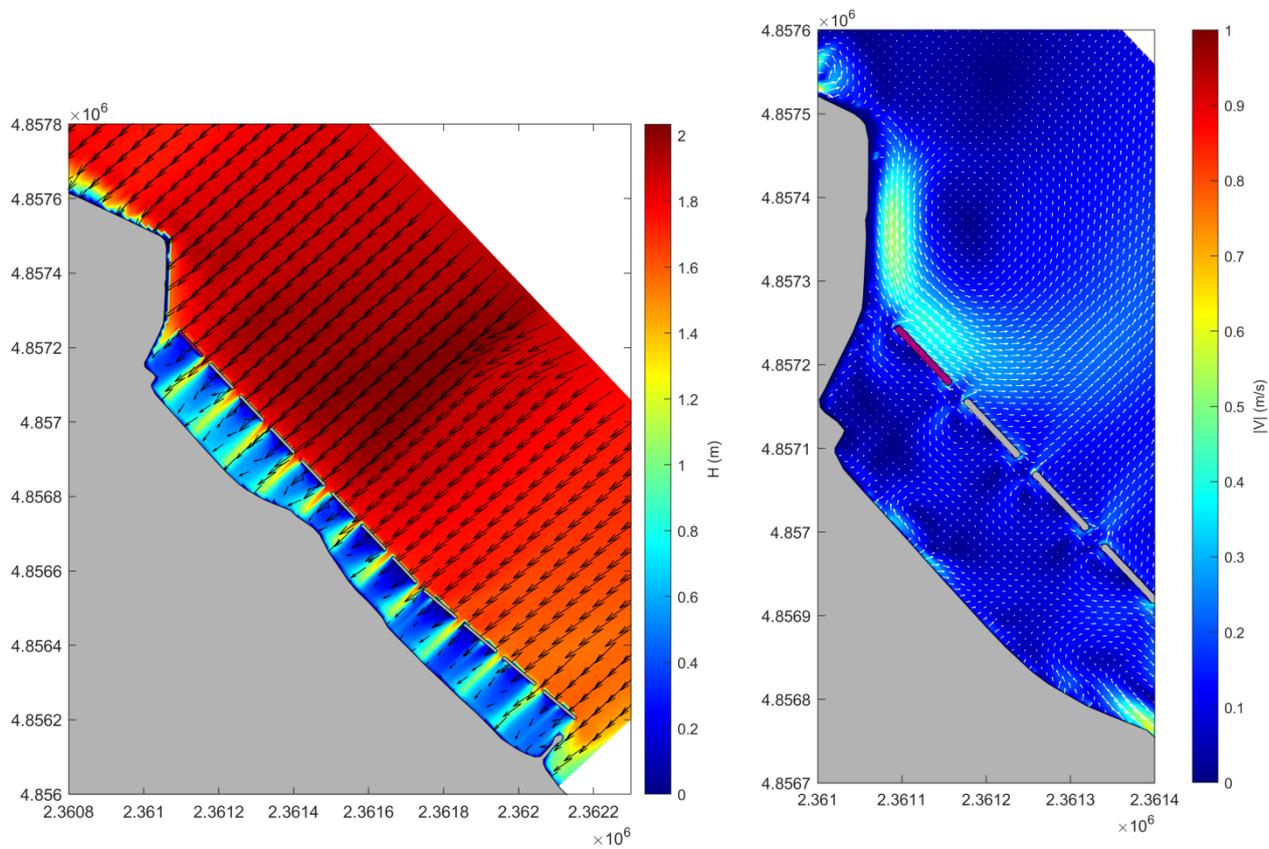


Fig. 3.3/12 Config. 3) scogliera SN8 "lunga" – onda 60°N– altezza d'onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

DIREZIONE 90°N

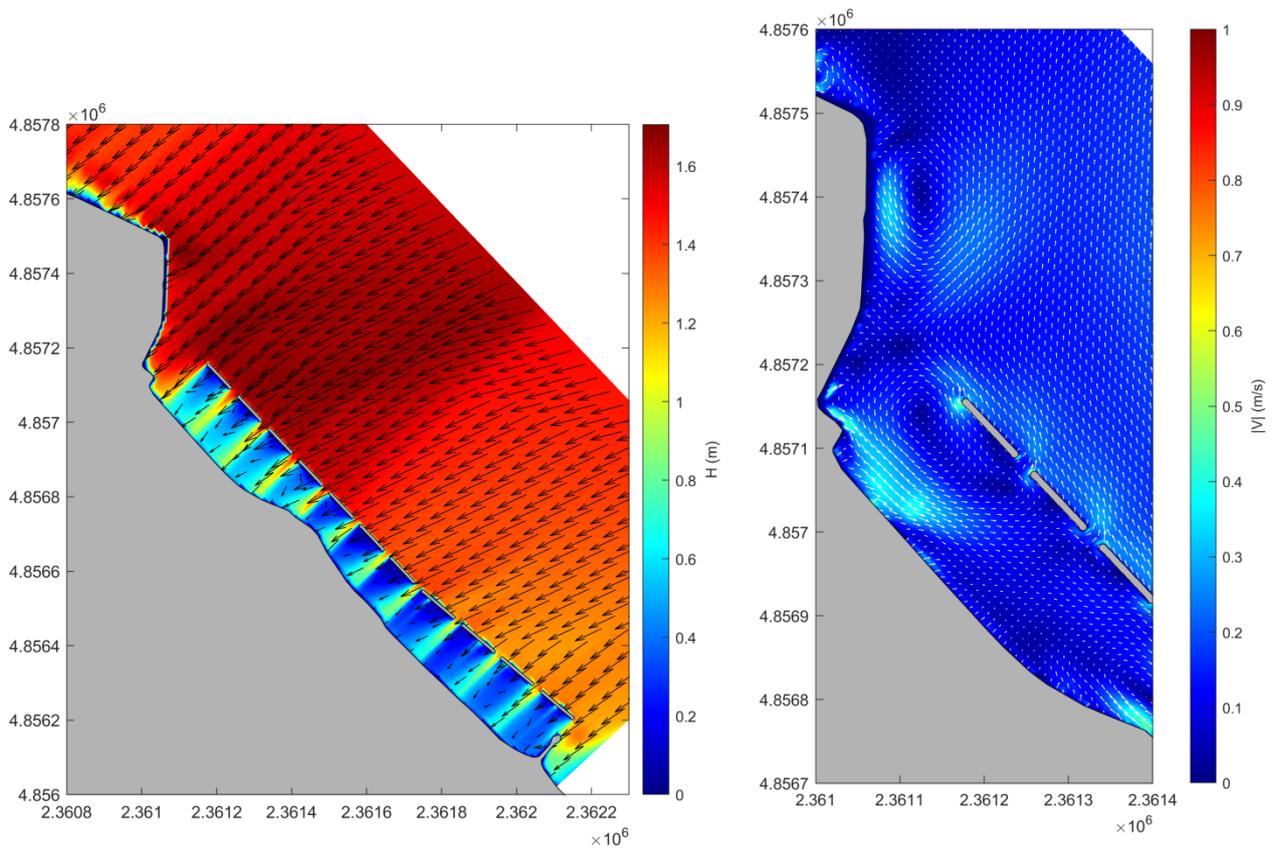


Fig. 3.3/13 Config. 0) stato attuale – onda 90°N – altezza d’onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

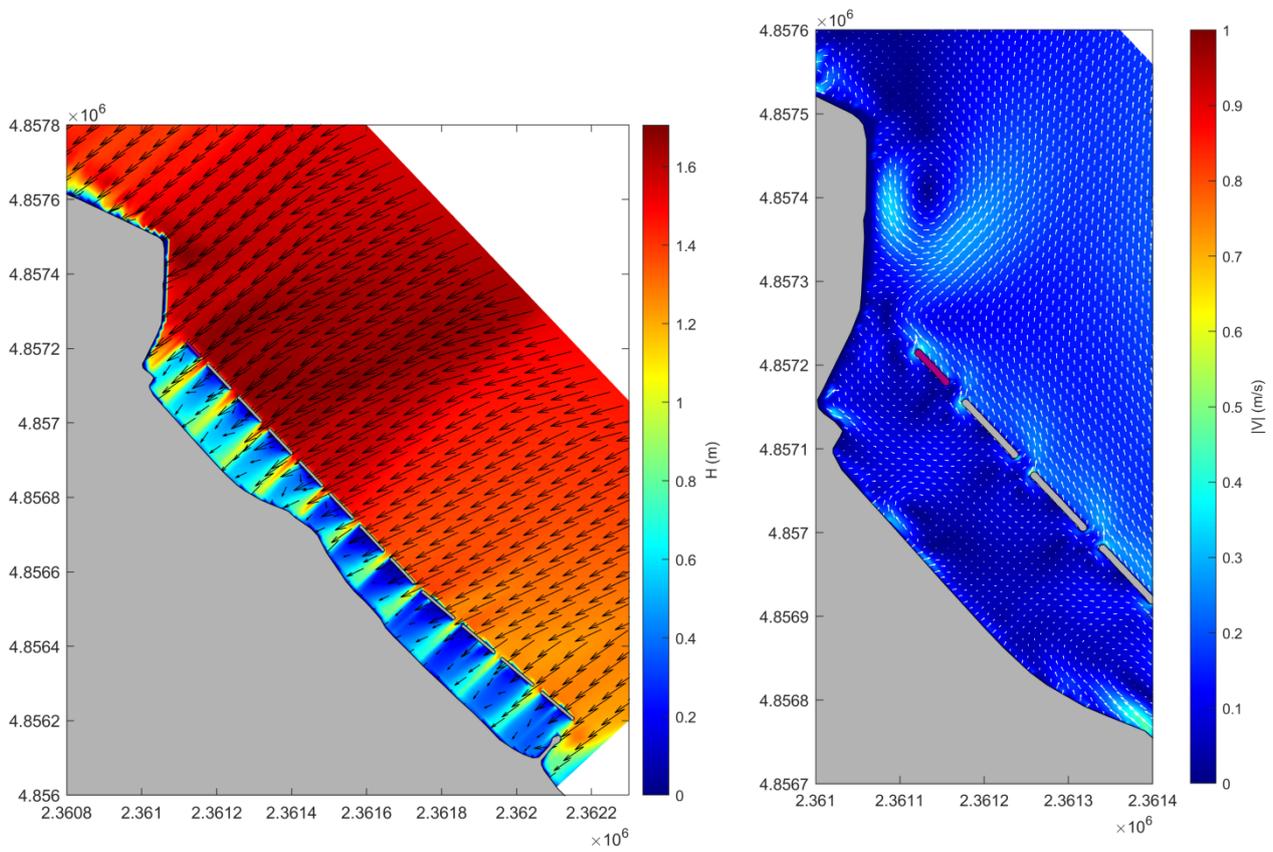


Fig. 3.3/14 Config. 1) scogliera SN8 “corta” – onda 90°N– altezza d’onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

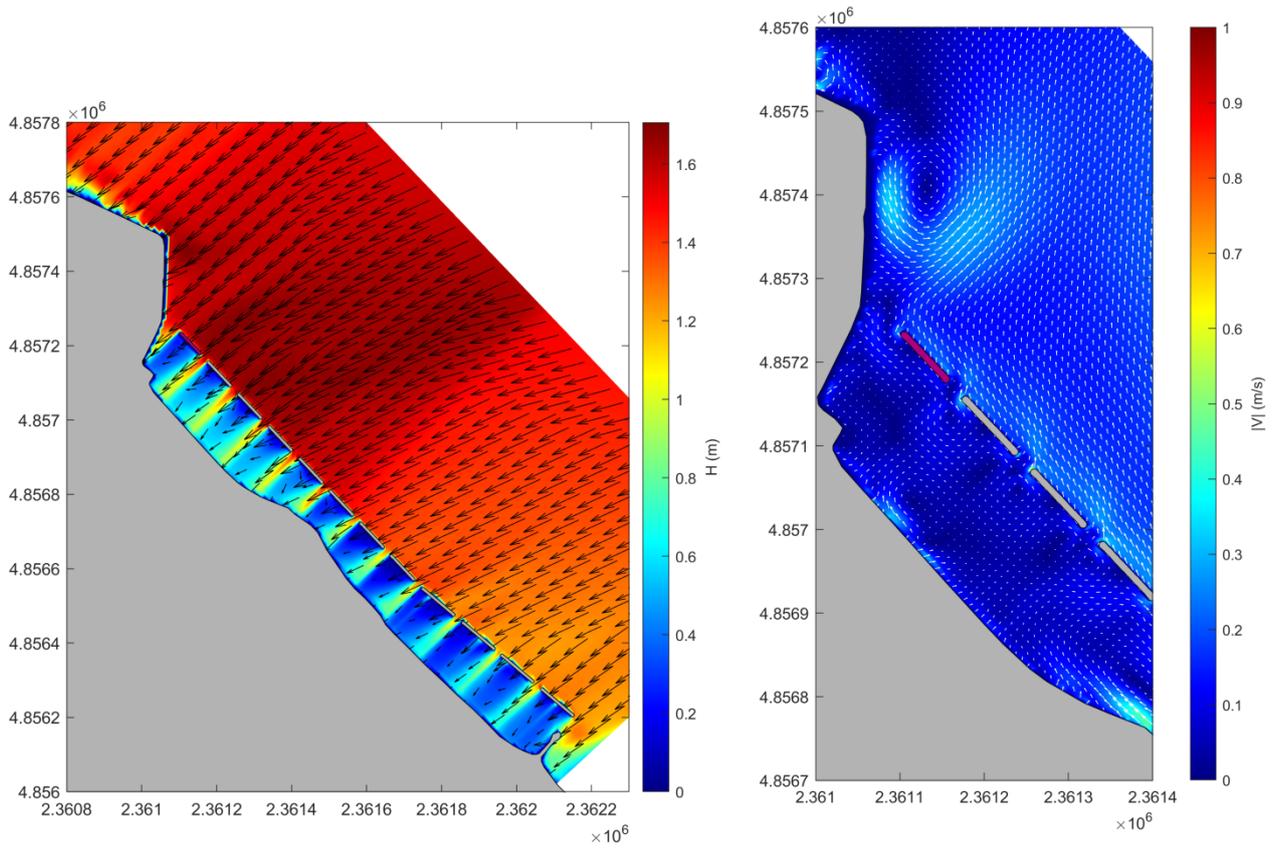


Fig. 3.3/15 Config. 2) scogliera SN8 "media" – onda 90°N– altezza d'onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

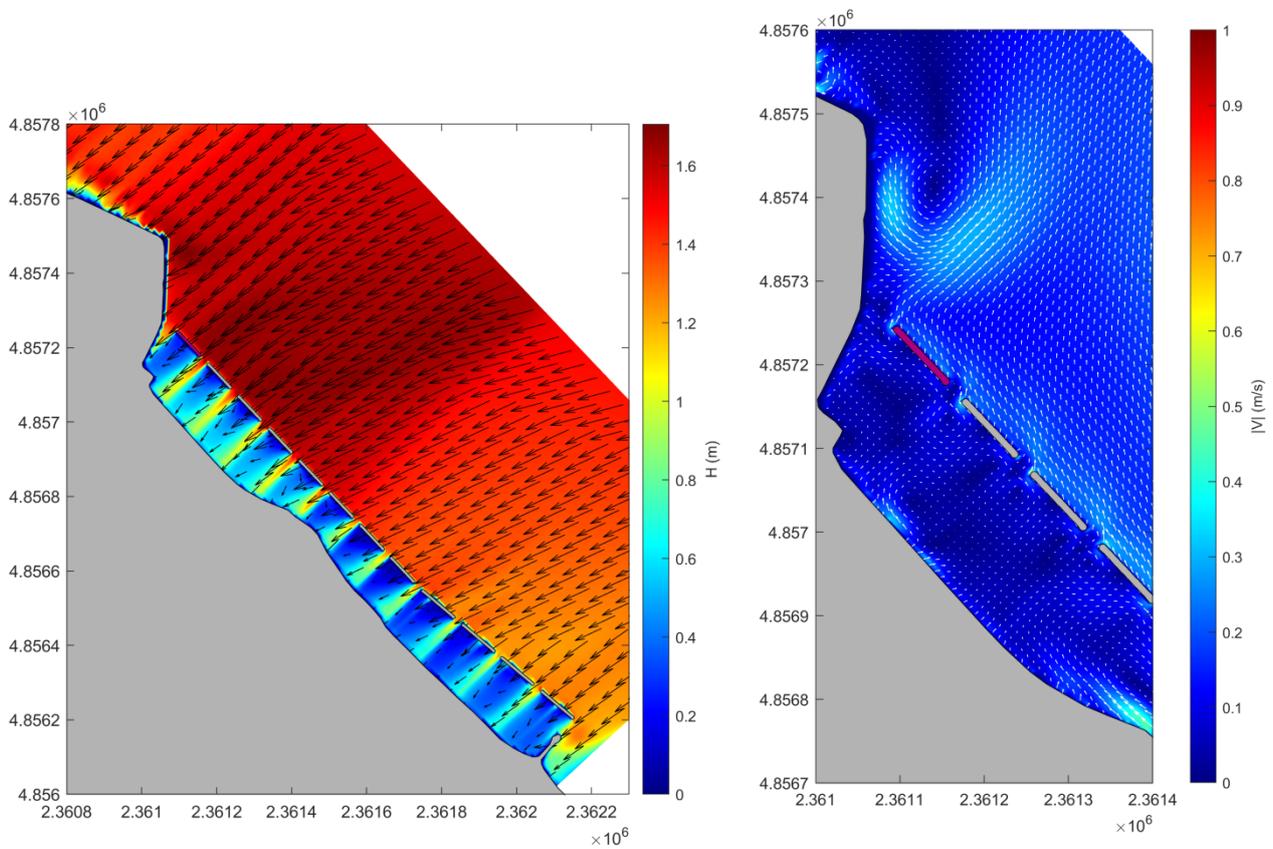


Fig. 3.3/16 Config. 3) scogliera SN8 "lunga" – onda 90°N– altezza d'onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

DIREZIONE 120°N

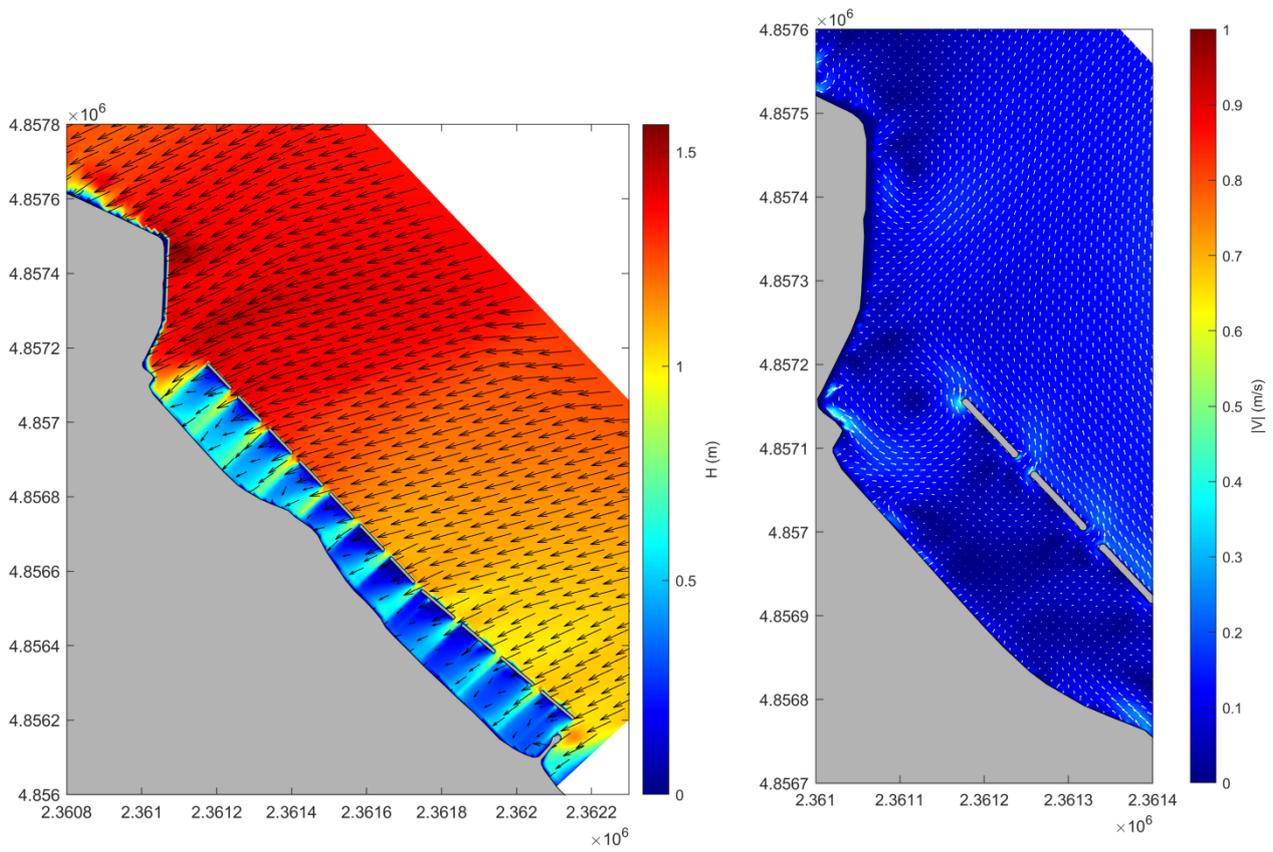


Fig. 3.3/17 Config. 0) stato attuale – onda 120°N – altezza d’onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

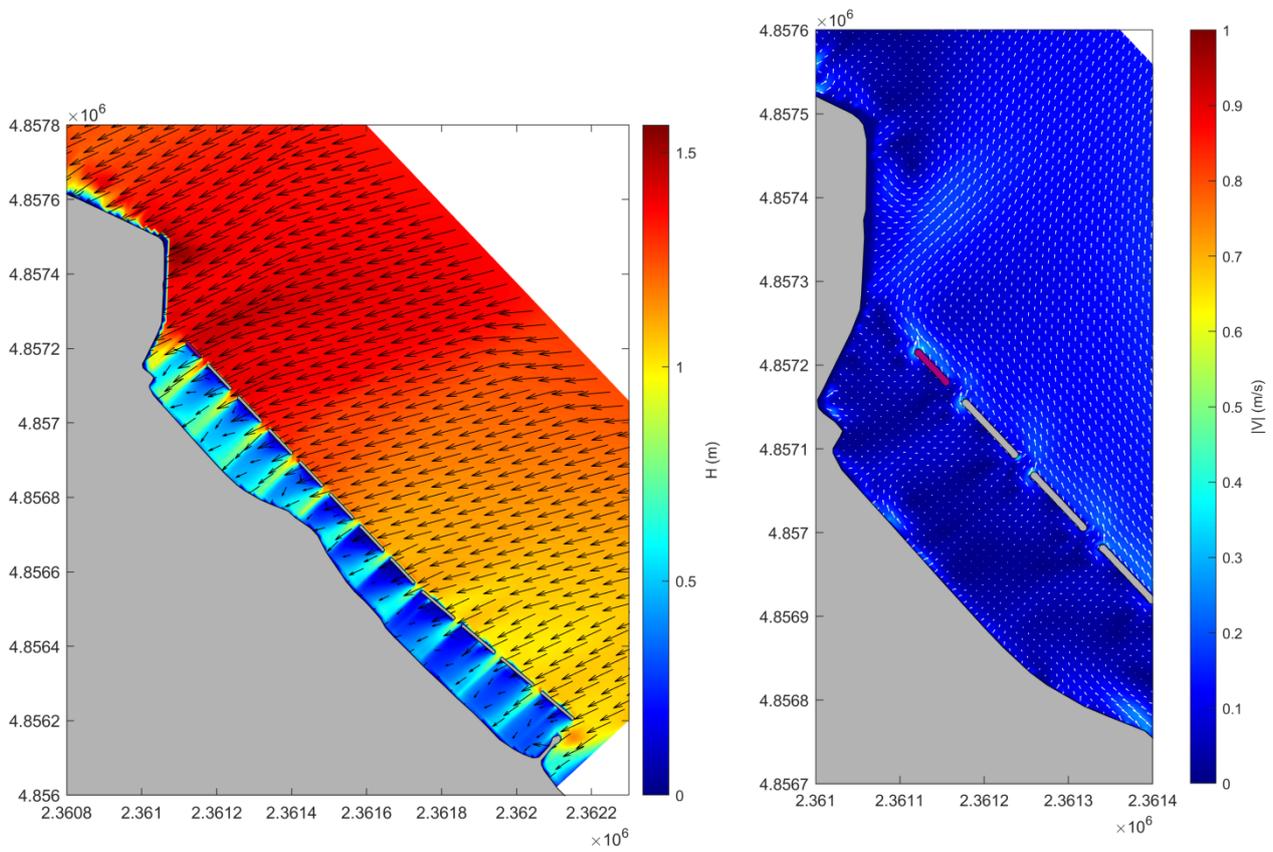


Fig. 3.3/18 Config. 1) scogliera SN8 “corta” – onda 120°N– altezza d’onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

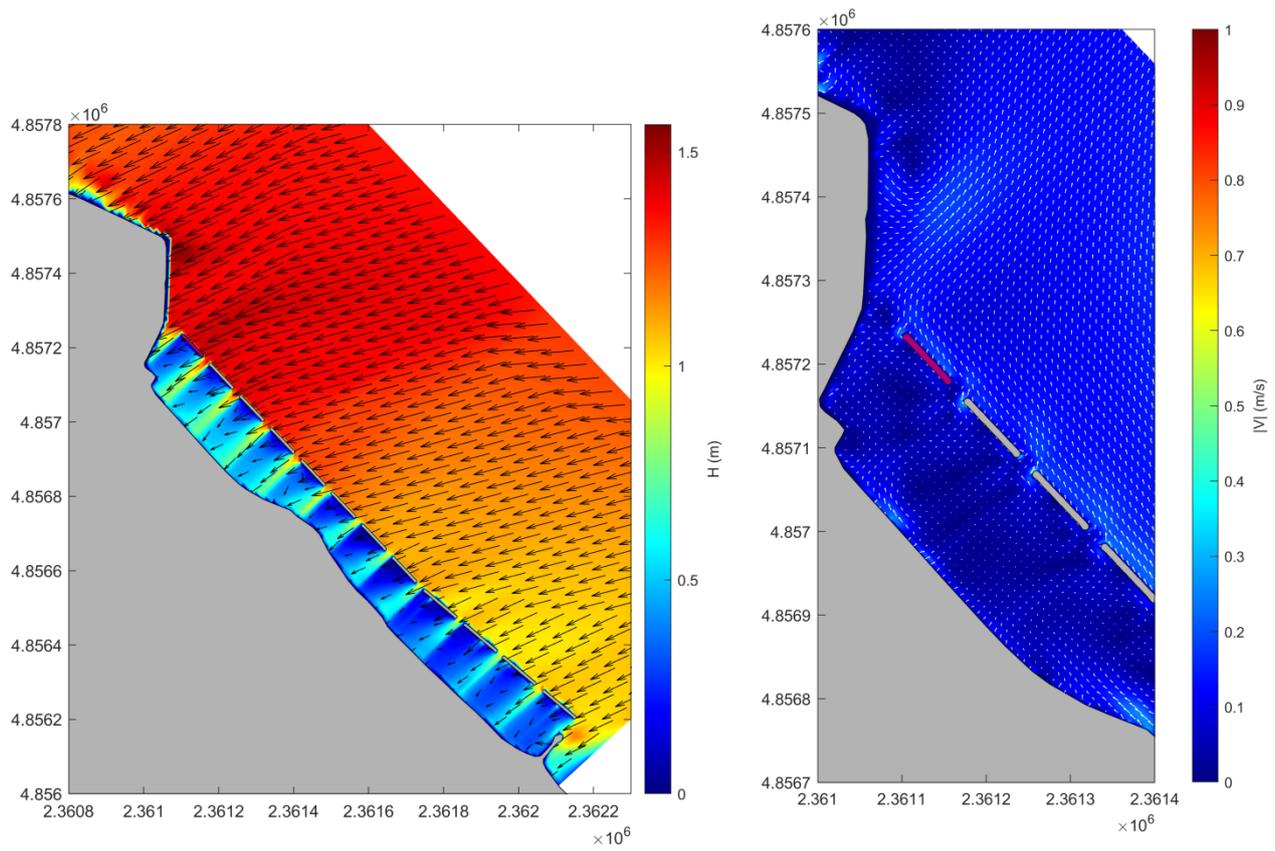


Fig. 3.3/19 Config. 2) scogliera SN8 “media” – onda 120°N– altezza d’onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

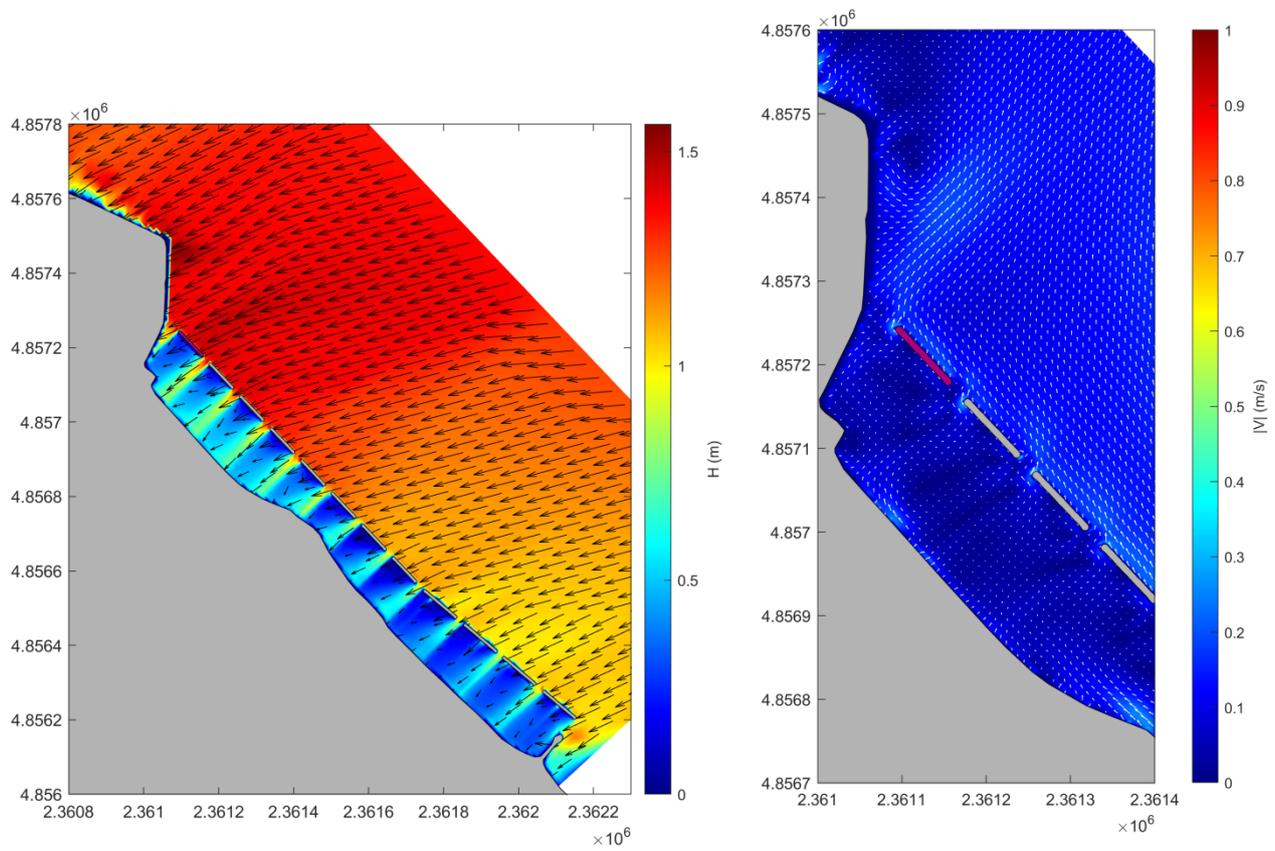


Fig. 3.3/20 Config. 3) scogliera SN8 “lunga” – onda 120°N– altezza d’onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

DIREZIONE 340°N

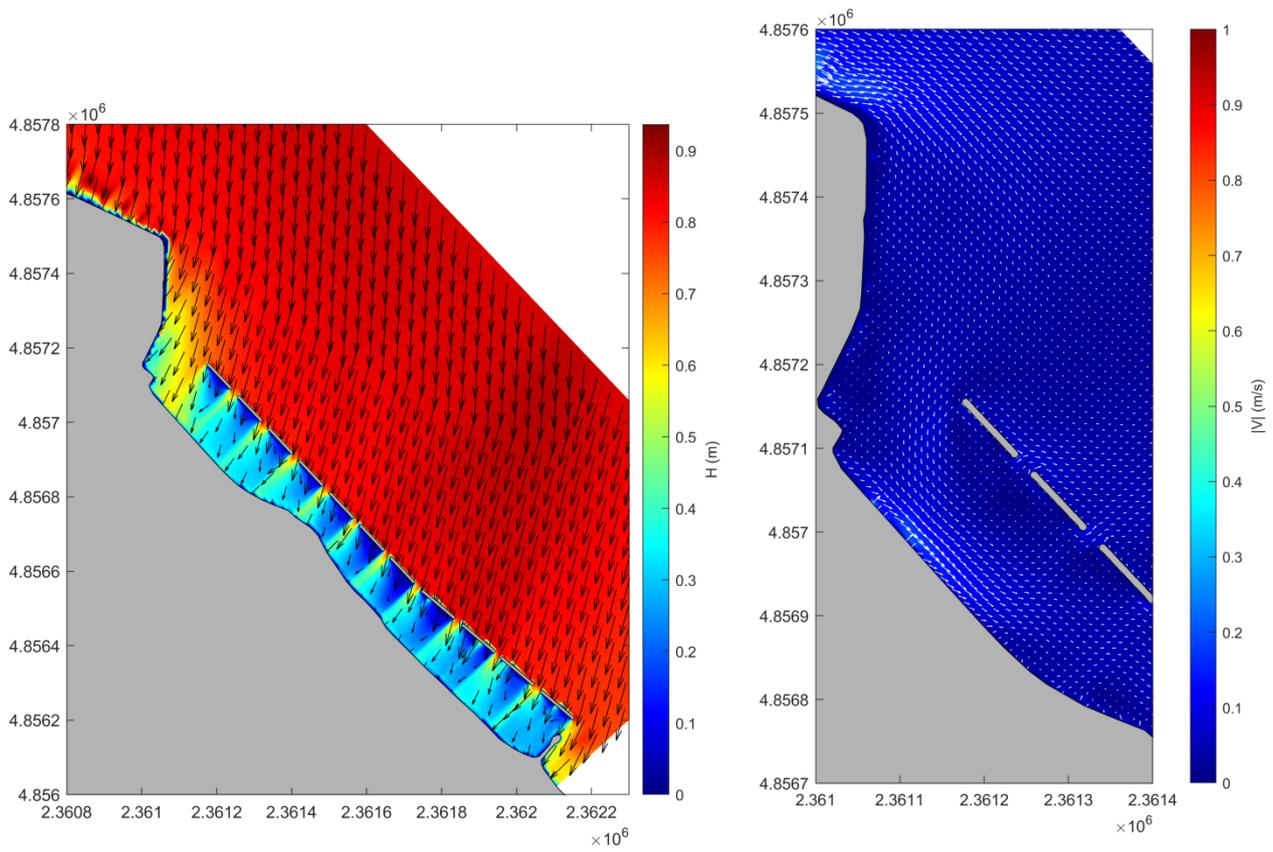


Fig. 3.3/21 Config. 0) stato attuale – onda 340°N – altezza d’onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

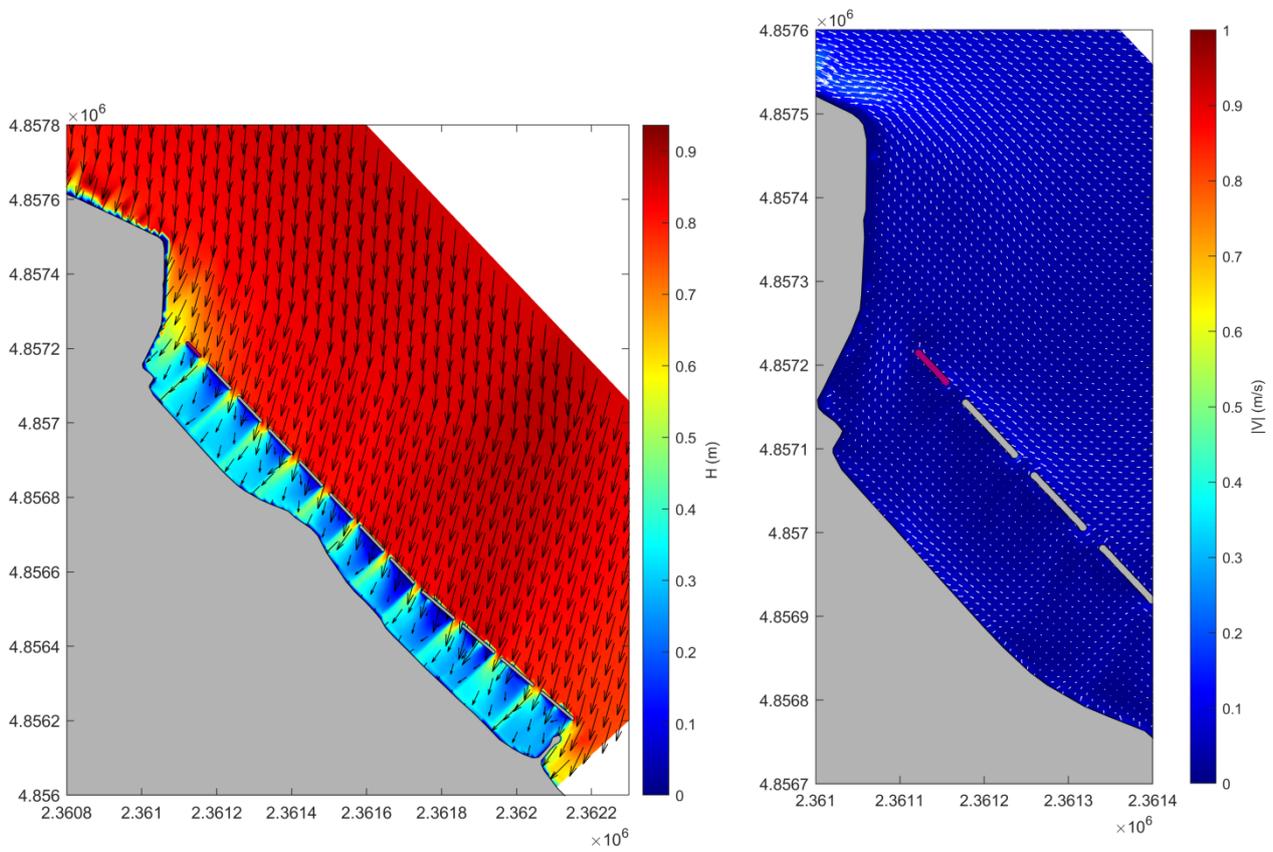


Fig. 3.3/22 Config. 1) scogliera SN8 “corta” – onda 340°N– altezza d’onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

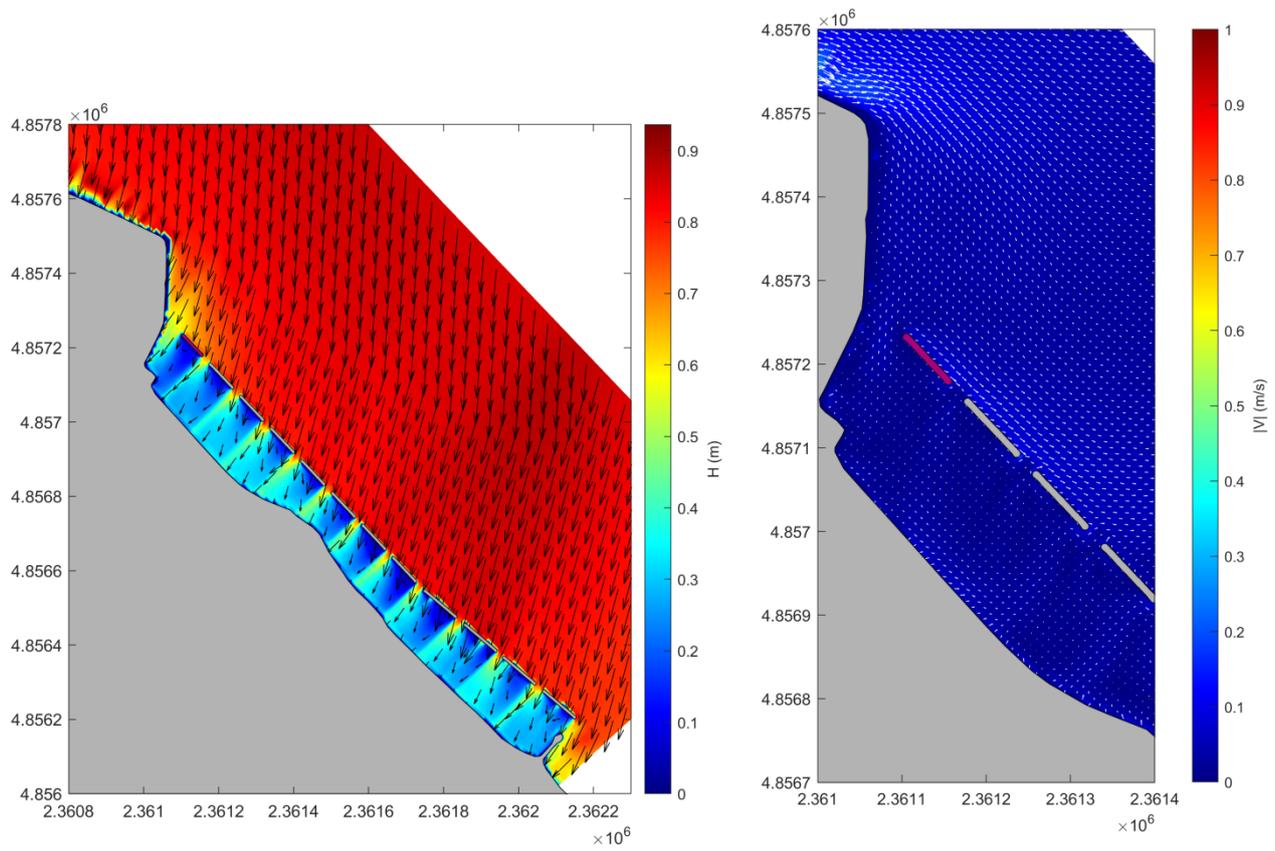


Fig. 3.3/23 Config. 2) scogliera SN8 "media" – onda 340°N– altezza d'onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

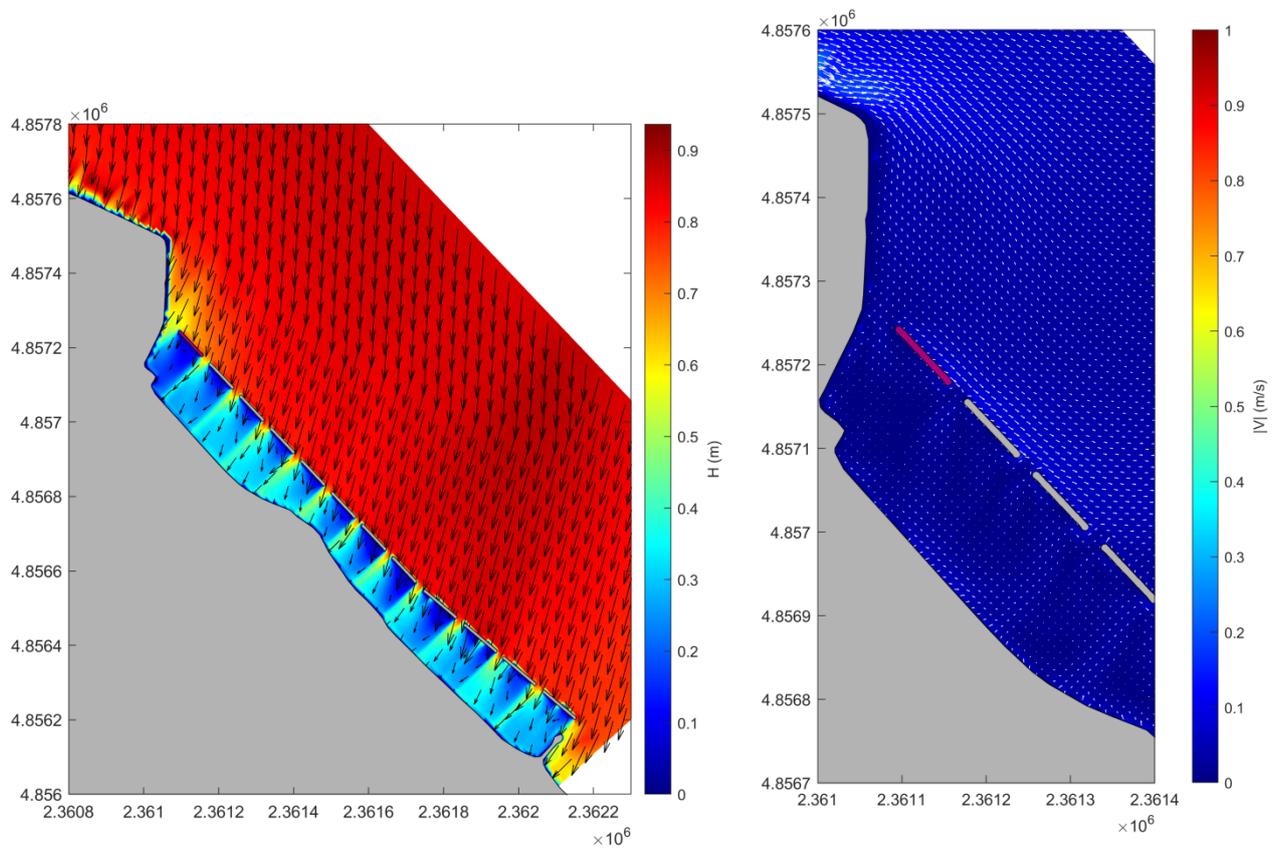


Fig. 3.3/24 Config. 3) scogliera SN8 "lunga" – onda 340°N– altezza d'onda  $H_s$ (m) (sinistra) e velocità (m/s) (destra)

Dall'analisi dei risultati appare evidente come nello stato attuale si ritrovino valori di altezza d'onda superiore al metro per le onde nel settore da  $0^{\circ}$ ÷ $120^{\circ}$ N nella zona più a ridosso del porto (tratto tra i punti C e A) e un flash di velocità diretto verso sudest nel tratto più a sud (in prossimità del punto di riferimento B) con valori che superano anche 0.5m/s. L'inserimento del setto di scogliera "corto" (varco risultante tra la scogliera oggetto di studio SN8 ed il porto pari a 85m) produce una riduzione sia dell'altezza che della velocità delle onde nelle rispettive zone critiche rispetto la condizione attuale. L'abbattimento di altezza e velocità d'onda è ancora più evidente, come atteso, all'aumentare della lunghezza del setto di scogliera e chiusura del varco (configurazioni 2 e 3).

Di seguito sono schematizzati graficamente i risultati ottenuti nei 3 punti di controllo A' b' e C' ottenuti traslando i punti precedentemente considerati A, B e C verso il largo dalla linea di riva, di 60 m i punti A e B e di 35m il punto C (il modello matematico, fornisce valori nulli di altezze e velocità d'onda in corrispondenza della battigia). I grafici consentono di confrontare tra loro le configurazioni analizzate.

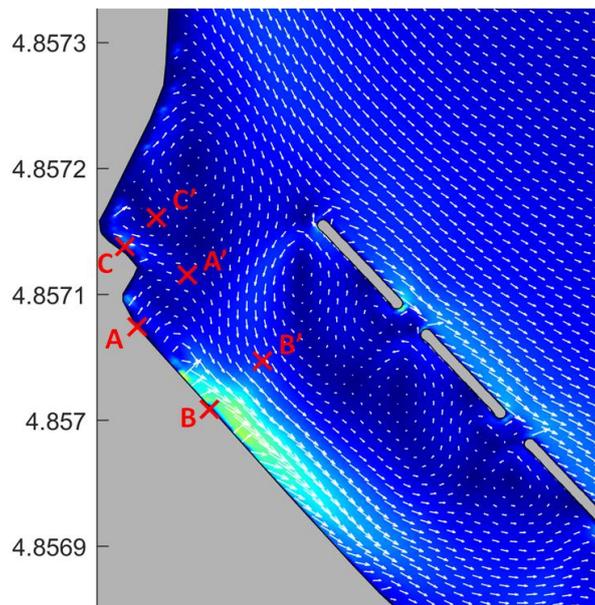


Fig. 3.3/25 Stralcio della Fig. 3.1 con indicati i puntatori di riferimento A, B e C sulla linea di riva – A', B' e C' più al largo

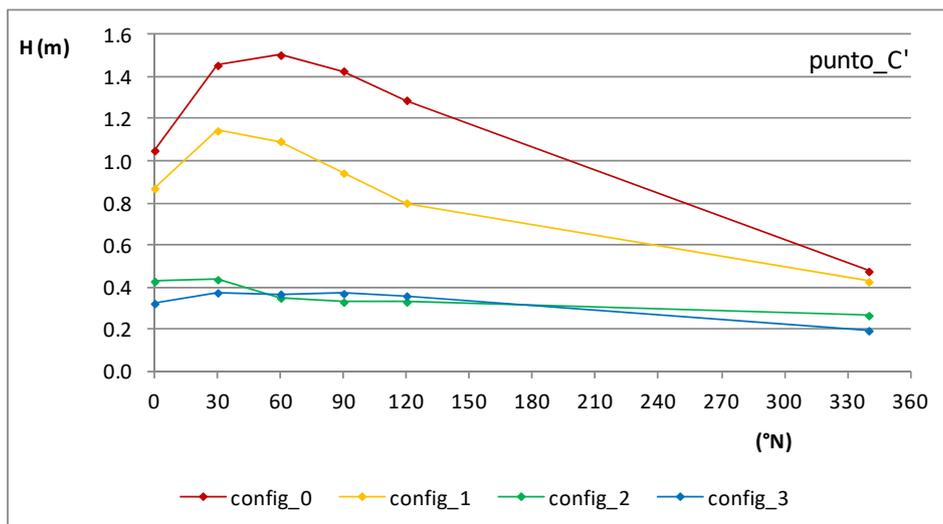
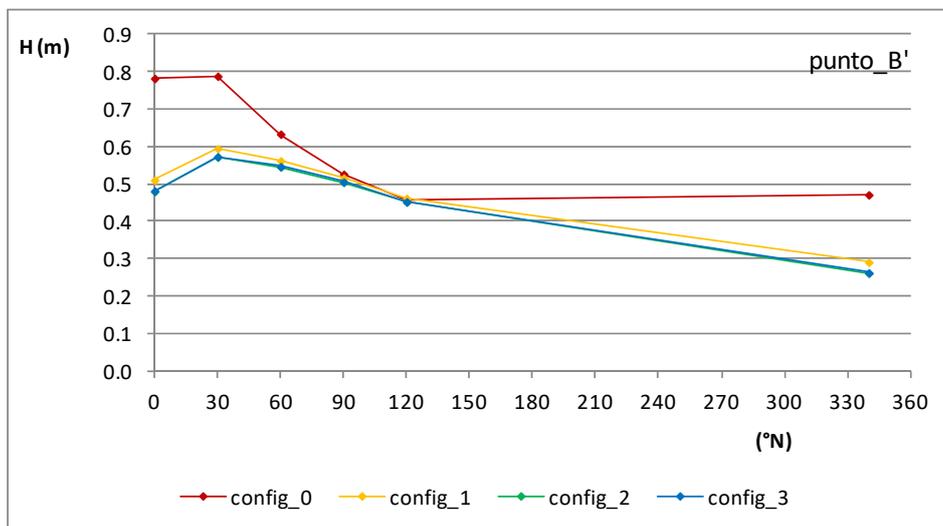
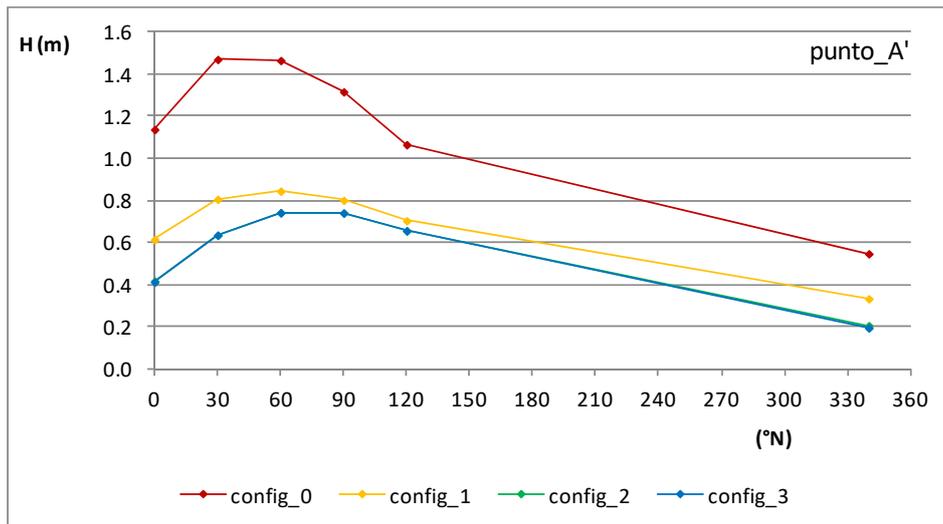


Fig. 3.3/26 Valori di altezze d'onda nei punti di controllo, al variare della direzione di incidenza, per le 4 configurazioni

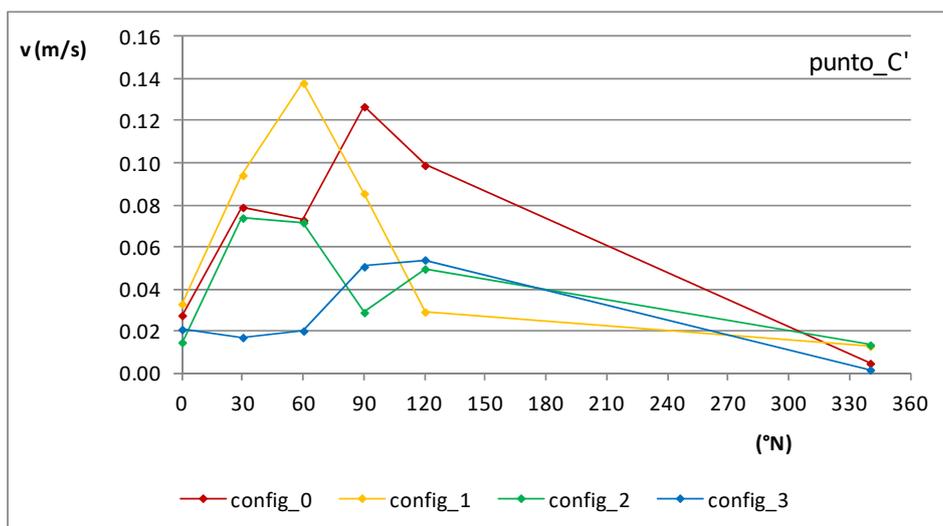
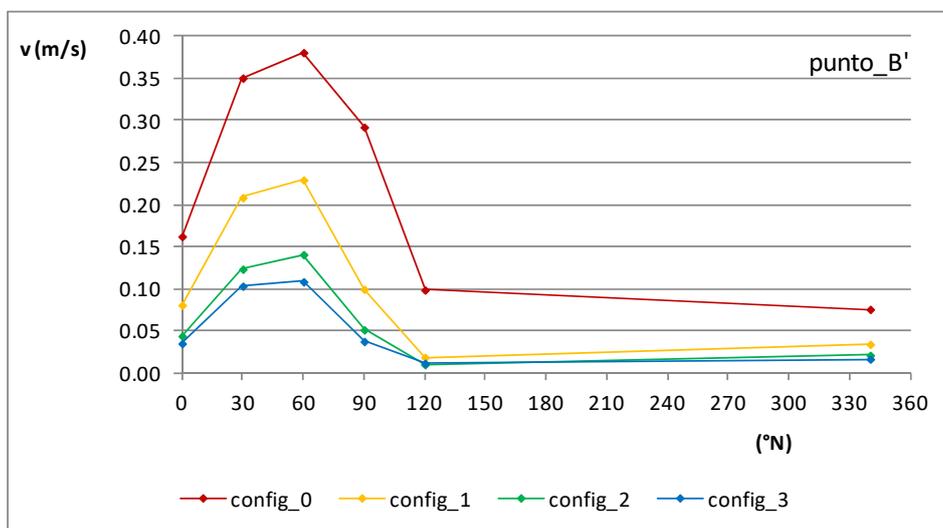
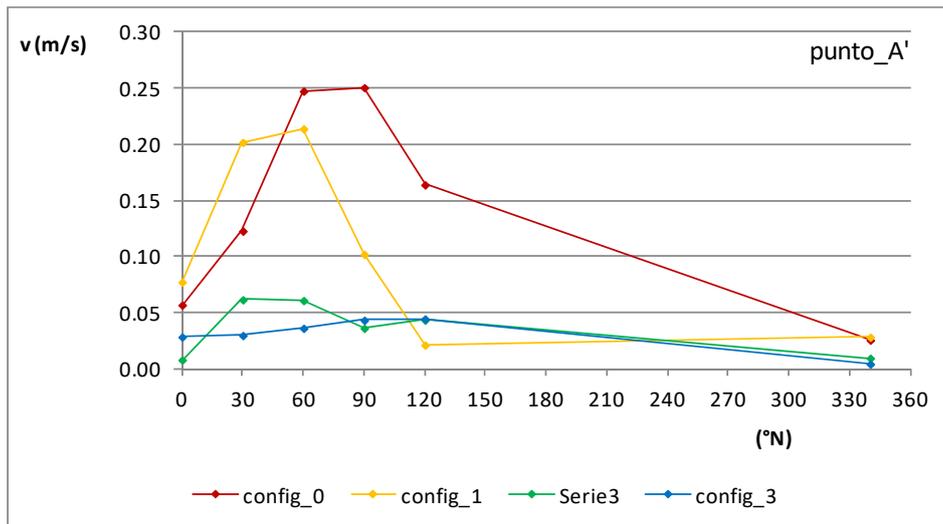


Fig. 3.3/27 Valori di velocità d'onda (mediata nella verticale) nei punti di controllo, al variare della direzione di incidenza, per le 4 configurazioni

Le configurazioni 2 (scogliera "intermedia" - lunghezza setto al l.m.m. di 81m e varco di 61m) e 3 (scogliera "lunga" - lunghezza setto al l.m.m. di 94m e varco di 48m) offrono una maggiore protezione del tratto di spiaggia in occasione di mareggiate rispetto la configurazione 1 (scogliera "corta" - lunghezza setto al l.m.m. di 81m e varco di 61m) per tutte le direzioni di incidenza delle onde. Le due configurazioni, se confrontate tra loro, producono un campo idrodinamico paragonabile, le altezze d'onda nei punti considerati sono praticamente coincidenti, leggermente superiori i valori di velocità nel caso di scogliera intermedia rispetto al caso di scogliera lunga.

Per tutte le direzioni di incidenza delle onde, la configurazione2 (scogliera "intermedia" - lunghezza setto al l.m.m. di 81m e varco con il molo del porto di 61m) e la configurazione3 (scogliera "lunga" - lunghezza setto al l.m.m. di 94m e varco con il molo del porto di 48m) offrono una maggiore protezione del tratto di spiaggia in occasione di mareggiate rispetto alla configurazione1 (scogliera "corta" - lunghezza setto al l.m.m. di 57m e varco con il molo del porto di 85m).

Le due configurazioni (1 e 2), se confrontate tra loro, producono un campo idrodinamico paragonabile: le altezze d'onda nei punti considerati sono praticamente coincidenti, leggermente superiori risultano i valori di velocità nel caso di scogliera intermedia rispetto al caso di scogliera lunga.

In conclusione la migliore soluzione, fra le varie alternative valutate, risulta essere la Scogliera "intermedia" (lunghezza setto al l.m.m. di 81m e varco con il molo del porto di 61m). Essa garantisce una buona difesa della spiaggia dalle mareggiate ed allo stesso tempo è una buona soluzione ambientale con il varco di 61m dal molo del porto che consente un adeguato ricambio idrico del paraggio di mare.

### 3.4 VERIFICHE IDRAULICHE

Le caratteristiche tipologiche, dimensionali, di materiali dell'ultima opera sono perfettamente conformi a quelle delle opere già realizzate, scaturite dallo studio del progetto generale, che ha messo a confronto le prestazioni in termini di diffrazione, abbattimento dell'altezza d'onda, trasmissione dell'energia ondosa a terra, risalita dell'onda sulla spiaggia delle barriere sommerse preesistenti e delle scogliere emerse in progetto.

Nelle scogliere foranee emerse la circolazione idrodinamica è dominata dalla diffrazione e dall'overtopping. Con la sommergezza prevista a +1.50 m sul l.m.m., la tracimazione (overtopping) delle onde frangenti che presentano una altezza di cresta maggiore della quota di sommità della berma apporta un volume d'acqua che innalza il livello medio lato terra della struttura fino a quando il livello raggiunto forza il flusso di ritorno attraverso i varchi e la struttura porosa. La portata di overtopping ed il flusso di ritorno si equivalgono. Per queste strutture emerse il processo di overtopping non è significativamente influenzato ne dalle quote di

piling-up che si determina lato terra della scogliera, ne dal flusso di ritorno. La circolazione indotta dal passaggio delle onde tra i varchi è dominata dalla diffrazione delle onde e dipende quindi dalla dimensione del varco e dalla sua distanza da riva.

Optando per strutture emerse ma con quota di sommità contenute, per ridurre l'impatto visivo delle stesse opere, si attiva la portata di overtopping quando la quota di run-up sulla struttura supera l'emersione. E' chiaro che il meccanismo si attiva per gli eventi ondosi che superano appunto la quota di  $R_c$ , dipende quindi dalla frequenza delle mareggiate, e quindi dal clima del moto ondoso. Il fenomeno dello storme surge (innalzamento del livello medio mare) frequente in Adriatico soprattutto, non esclusivamente, con i mari di scirocco-levante può trasformare nei casi estremi, cioè quando lo storme surge supera  $R_c$ , la struttura emersa in una struttura sommersa.

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

Nei paragrafi successivi vengono riassunti i principali risultati delle verifiche idrauliche.

#### 3.4.1 DIMENSIONAMENTO DEL VARCO

Nelle scogliere foranee emerse l'energia delle onde è trasmessa principalmente attraverso i varchi. L'energia ondosa si tramette nella parte interna per diffrazione che governa la forma del saliente anche se le prove sperimentali hanno evidenziato che la larghezza del varco non è un parametro fondamentale nel processo di sedimentazione.

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

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

B=L/2	y = 2L	K <sub>D</sub> = 0.38
	y = 3L	K <sub>D</sub> = 0.3
	y = 4L	K <sub>D</sub> = 0.27
B=L	y = 2L	K <sub>D</sub> = 0.7
	y = 3L	K <sub>D</sub> = 0.6
	y = 4L	K <sub>D</sub> = 0.5

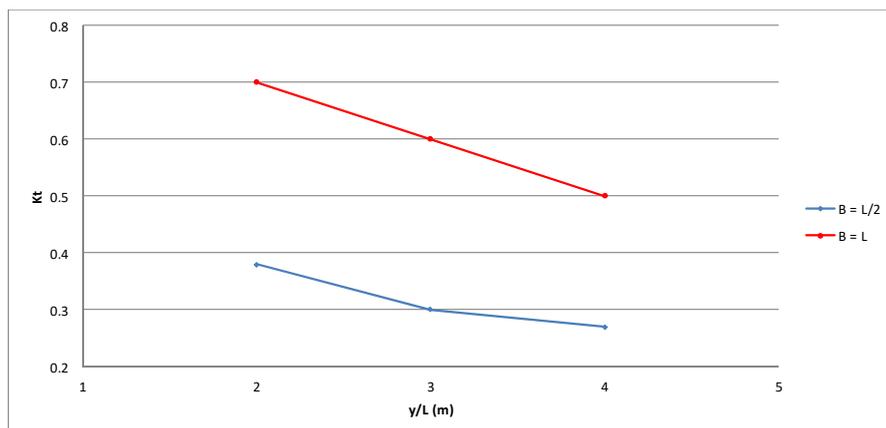


Fig. 3.4/1 Coefficiente di diffrazione attraverso il varco

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

Con la dimensione dei varchi di 25m, per un'onda perpendicolare all'ingresso, con la lunghezza dell'onda di progetto di 50m (onde con tempo di ritorno di 30anni alla profondità di imbasamento dell'opera), il coefficiente di diffrazione sulla battigia, alla distanza di 150m pari a 3L è di 0.3. Aumentando il varco a 30m il coefficiente di diffrazione diverrebbe 0.42, e quindi nei due casi l'onda trasmessa, che incide l'opera con un'altezza pari a circa 3m, sarebbe rispettivamente 0.90m e 1.30m. L'allargamento del varco da 25m a 30m comporterebbe un incremento dell'altezza dell'onda del 40% circa, si è quindi adottato nella progettazione generale un varco di 25m sul livello medio mare. La distanza dalla riva e la spiaggia ghiaiosa evitano la formazione del tombolo e quindi la circolazione idrodinamica rimane consistente sia attraverso i varchi sia con l'overtopping durante le mareggiate più intense senza produrre danni sulla spiaggia emersa.

### 3.4.2 TRASMISSIONE DELLE ONDE, RUN-UP E OVERTOPPING

La trasmissione delle onde lato terra delle scogliere foranee può essere valutata stimando il coefficiente di trasmissione K<sub>t</sub> con le formule di Van der Meer et al. (2005). Per B/H<sub>i</sub><8 si ha:

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

dove B è la larghezza della cresta, H<sub>i</sub> l'altezza dell'onda incidente, R<sub>c</sub> la sommergenza della struttura e ξ il parametro di Iribarren calcolato con il periodo di picco T<sub>p</sub> dello spettro.

Stimato il coefficiente di trasmissione è possibile calcolare l'altezza d'onda trasmessa dalla struttura (H<sub>t</sub> = K<sub>t</sub> · H<sub>i</sub>).

L'analisi dei valori del coefficiente di trasmissione e dell'overtopping in condizioni di progetto è stata effettuata considerando i casi di mareggiata estrema e mareggiata accompagnata da uno storme-surge di +1.10m. Nel caso di sovrizzo del livello medio mare è di +1.10m la sommergenza delle barriere prevista da progetto di +1.50m si riduce a +0.40m. Ciò accade in concomitanza di mareggiate da levante quando lo storme surge prodotto dalle onde può raggiungere valori superiori al metro 1m.

Nei calcoli l'altezza dell'onda incidente è stata mantenuta dello stesso valore anche in condizioni di storm-surge aumentato, sono stati scelti i valori relativi all'onda di direzione al largo 30°N, che incide le strutture quasi perpendicolarmente, con tempo di ritorno 1 anno e 30 anni.

SCOGLIERE PROGETTO	$B = 3.0m \cotg \alpha_{mare} = 2$
$K_t$	0.25
$H_t$ (m)	0.73

Tab. 3.4/1 Coefficiente Valori dei coefficienti di trasmissione e altezze d'onda trasmesse per le strutture sommerse esistenti e le scogliere emerse di progetto – Tr 1 anno

SCOGLIERE PROGETTO	$B = 3.0m \cotg \alpha_{mare} = 2$
$K_t$	0.40
$H_t$ (m)	1.17

Tab. 3.4/2 Valori dei coefficienti di trasmissione e altezze d'onda trasmesse per le strutture sommerse esistenti e le scogliere emerse di progetto – Tr 1 anno – con storme-surge

SCOGLIERE PROGETTO	$B=3.0m \cotg \alpha_{mare} = 2$
$K_t$	0.28
$H_t$ (m)	0.88

Tab. 3.4/3 Valori dei coefficienti di trasmissione e altezze d'onda trasmesse per le strutture sommerse esistenti e le scogliere emerse di progetto – Tr 30 anni

SCOGLIERE PROGETTO	$B=3.0m \cotg \alpha_{mare} = 2$
$K_t$	0.43
$H_t$ (m)	1.32

Tab. 3.4/4 Valori dei coefficienti di trasmissione e altezze d'onda trasmesse per le strutture sommerse esistenti e le scogliere emerse di progetto – Tr 30 anni – con storme-surge

Nei casi eccezionali con tempi di ritorno superiori a 30 anni quando allo storm-surge massimo si accoppiano onde estreme (di solito per mareggiate da Est-SudEst) la struttura in progetto abbatte l'altezza d'onda del 57%, il  $K_t$  è pari a 0.43 e l'altezza dell'onda trasmessa è pari a circa 1.30m (nel progetto generale del 2015 era stato verificato il comportamento delle opere sommerse preesistenti che trasmettevano onde di altezze di quasi 2).

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

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

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

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

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

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

SCOGLIERE PROGETTO	B = 3.0m cotg $\alpha_{mare} = 2$
R <sub>up</sub> (m)	4.5
q (l/sm)	288
q <sub>s.s.</sub> (l/sm)	1674

Tab. 3.4/5 Run-up e portata di tracimazione dell'onda sulla scogliera – Tr 1 anno

SCOGLIERE PROGETTO	B=3.0m cotg $\alpha_{mare} = 2$
R <sub>up</sub> (m)	5.3
q (l/sm)	349
q <sub>s.s.</sub> (l/sm)	1862

Tab. 3.4/6 Run-up e portata di tracimazione dell'onda sulla scogliera – Tr 30 anni

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

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

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

### 3.4.3 RUN-UP SULLA SPIAGGIA EMERSA

Per stimare l'effetto che le onde trasmesse a tergo della scogliera producono viene valutata la propagazione delle onde estreme durante la mareggiata sulla spiaggia emersa. Tale fenomeno viene chiamato "wave run-up" e rappresenta la distanza verticale, misurata dal livello medio mare, della risalita massima dell'onda. Il fenomeno, studiato in laboratorio e in campo, viene schematizzato attraverso formule empiriche che, data la complessità del fenomeno, presentano un certo grado di incertezza sui coefficienti da utilizzare in situazioni reali soprattutto quando il fenomeno avviene nell'area protetta da scogliere foranee. Le formule sono state ricavate in laboratorio con pendenza del fondo costante e parametri del moto ondoso calcolati al largo.

Ad esempio la formula, ottenuta con sperimentazione con onde regolari, più utilizzata è quella di Hunt (1959), modificata in forma adimensionale da Battjes (1974) :

$$\frac{R_{up}}{H_0} = \xi_0 \quad 0.1 < \xi_0 < 2.3$$

valida per un fondo uniforme liscio con  $H_0$  altezza d'onda al largo e  $\xi_0 = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{H_0/L_0}}$  con  $\tan\alpha$  pendenza del fondo e  $L_0$  lunghezza d'onda al largo.

Mase nel 1989 ha esteso e calcolato il run-up per onde irregolari su fondo impermeabile in canaletta ottenendo i seguenti risultati:

$$R_{up2\%} = 1.86\xi^{0.71}H_0$$

$$R_{upmax} = 2.32\xi^{0.77}H_0$$

I valori delle formule di Mase sovrastimano i valori reali poiché sono stati ottenuti come curve inviluppo di valori sperimentali.

In presenza di scogliere foranee l'altezza d'onda incidente viene ridotta così come vengono modificati i periodi dell'onda. Il run up è inoltre molto variabile lungo la spiaggia. Si potrebbe avere quindi una stima di larga massima introducendo nelle formule l'altezza dell'onda trasmessa e un periodo ridotto rispetto a quello incidente. Nel caso in progetto si tratta di una scogliera emersa con un varco di 25m rispetto la precedente e di 60m circa con la scogliera del porto, pertanto il calcolo può essere effettuato considerando l'altezza d'onda modificata dalla trasmissione sulla struttura, con periodo inalterato e considerando la pendenza media della spiaggia sommersa a tergo delle scogliere pari a circa  $i=0.040$ . Considerando l'onda con  $T_r$  30anni, direzione  $30^\circ N$  il run-up massimo è contenuto sui 0.5m in presenza di scogliera, contro i 2.5-3.0m in assenza di opere foranee.

Nel 2006 H. F. Stockdon et al. (Empirical parametrization of set-up, swash and run-up Coastal Engineering 53 (2006) 573-588) utilizzando i dati di livello marino misurati in 10 sperimentazioni in campo in siti diversi, hanno fornito una parametrizzazione dei valori estremi del run-up alla probabilità di superamento del 2%. La quota massima del run-up ha una componente di set-up dovuta al frangimento delle onde ed una oscillatoria dovuta al moto delle onde nella zona di swash. La formula finale del run-up  $R_{up2\%}$  è:

$$R_{up2\%} = 4.1 \left( 0.35\beta_f(H_0L_0)^{1/2} + \frac{[H_0L_0(0.563\beta_f^2 + 0.004)]^{1/2}}{2} \right)$$

Non è facilmente definibile la pendenza del fondo  $\beta_f$ , si assume di solito quella della zona di swash, e soprattutto la parametrizzazione è ottenuta considerando valori delle H e di L al largo. Nel caso di presenza di opere di difesa rigide la trasformazione degli stati di mare inducono variazioni spettrali rispetto alle condizioni al largo, non è quindi possibile definire i valori da utilizzare nella formula. Anche in questo caso è possibile effettuare una stima considerando l'altezza d'onda modificata dalla trasmissione sulla struttura, con periodo inalterato, il risultato del run-up sulla spiaggia è dell'ordine di 0.70m, con mareggiate con tempi di ritorno di 30anni.

#### 4. VERIFICA BELLICA E ARCHEOLOGICA

Nei precedenti stralci funzionali, con i quali sono stati svolti i lavori di costruzione delle nuove scogliere, l'Amministrazione Comunale ha provveduto a far eseguire indagini belliche sul fondale interessato dai lavori, in quanto, pur non essendo previsti lavori di scavo ma solo il versamento di pietrame a costituire uno strato di imbasamento per la successiva collocazione dei massi naturali che formano il corpo della scogliera, non è esclusa una minima interazione tra il materiale posto in opera ed il fondale stesso (leggasi lieve sprofondamento del pietrame di allettamento a seguito del peso dei soprastanti massi che saranno allocati).

L'ultimo tratto di mare, di circa 165m fino alla scogliera del porto, è rimasto scoperto dalle precedenti indagini per cui, a totale garanzia della sicurezza dei lavoratori, l'Amministrazione Comunale, prima della consegna dei lavori, provvederà a commissionare ad idonea Ditta iscritta all'Albo del Ministero della Difesa istituito ai sensi della L. n.177/2012 e di cui all'Art. 104, comma 4-bis del D. Lgs. n. 81/2008 e s.m.i., una preventiva indagine magnetometrica subacquea, all'esito della quale, un Professionista munito dei requisiti previsti dal D.Lgs n.81/2008 incaricato dal Comune, redigerà, in qualità di Coordinatore della Sicurezza, apposita dichiarazione di valutazione del rischio ordigni esplosivi bellici (Art. 28, comma 1, del D.lgs n. 81/2008 e s.m.i.).

Allo stesso modo, per quanto riguarda l'interesse archeologico, pur non essendo previsti lavori di scavo per la realizzazione della scogliera, la presenza della scogliera in esercizio genera modificazioni nel flusso delle correnti e nel riflesso del moto ondoso, rispetto lo stato attuale, che favoriscono il deposito nell'area protetta dalle opere foranee ma potrebbero causare scalzamenti localizzati lato mare e nei varchi tra le opere. Per tale motivo, in corso d'opera, prima dei collaudi finali sarà attivata la verifica archeologica di cui all'art.25 del D.Lgs n.50/2016 e s.m.i.. il cui scopo è quello di appurare l'eventuale esistenza di elementi archeologici, nel tratto di mare interessato dall'opera, che potrebbero venire alla luce nel corso del tempo per le modificazioni locali della morfologia del fondale dovute alla presenza della nuova opera realizzata. Tale indagine potrà essere eseguita da un Archeologo subacqueo autorizzato e concordata nelle metodiche di rilevamento strumentali e visive con la Soprintendenza Archeologica Belle Arti e Paesaggio della Regione Marche.

