



D. Diret. 08.11.2021 del Ministero dell'interno "Contributi ai Comuni per la realizzazione di opere pubbliche per la messa in sicurezza di edifici e del territorio anno 2021. Scorrimento graduatoria di cui al D.M. 23 febbraio 2021, come rettificato dal D.M. 25 agosto 2021"

*PNRR - M2C4 - TUTELA DEL TERRITORIO E DELLA RISORSA IDRICA - 2.2:
Interventi per la resilienza, la valorizzazione del territorio e l'efficienza energetica dei Comuni.*



COMUNE DI FANO

Provincia di Pesaro e Urbino
SETTORE 5° - LAVORI PUBBLICI

COMPLETAMENTO RIFIORIMENTO SCOGLIERE
SE4-SE5-SE6 FRONTE "BERSAGLIO"
CUP E39E19000740002 CUI L00127440410202000002

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE TECNICA IDRAULICA

PROGETTISTA GENERALE:

Dott. Ing. Elisa Seta

D.L.:

Prof. Ing. Alessandro Mancinelli

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Dott. Ing. Federico Fabbri

DATA: DICEMBRE 2022

Rev 00

SCALA:

ELAB.

02

Sommario

1.	PREMESSA	2
2.	ANALISI METEOMARINA.....	7
2.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO E DETERMINAZIONE DEI FETCHES.....	7
2.2	CONDIZIONI METEOMARINE NEL PARAGGIO DI FANO	11
3.	DESCRIZIONE DELLE IPOTESI DI INTERVENTO	20
3.1	STATO DI FATTO DEL SISTEMA DI DIFESA COSTIERA.....	20
3.2	VERIFICHE IDRAULICHE.....	21
3.4.1	DIMENSIONAMENTO DEL VARCO	22
3.4.2	TRASMISSIONE DELLE ONDE, RUN-UP E OVERTOPPING.....	23
3.4.3	RUN-UP SULLA SPIAGGIA EMERSA	25

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, la cui validità è stata prorogata fino al 31.12.2023 con DDPF VAA n. 181/2020, 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

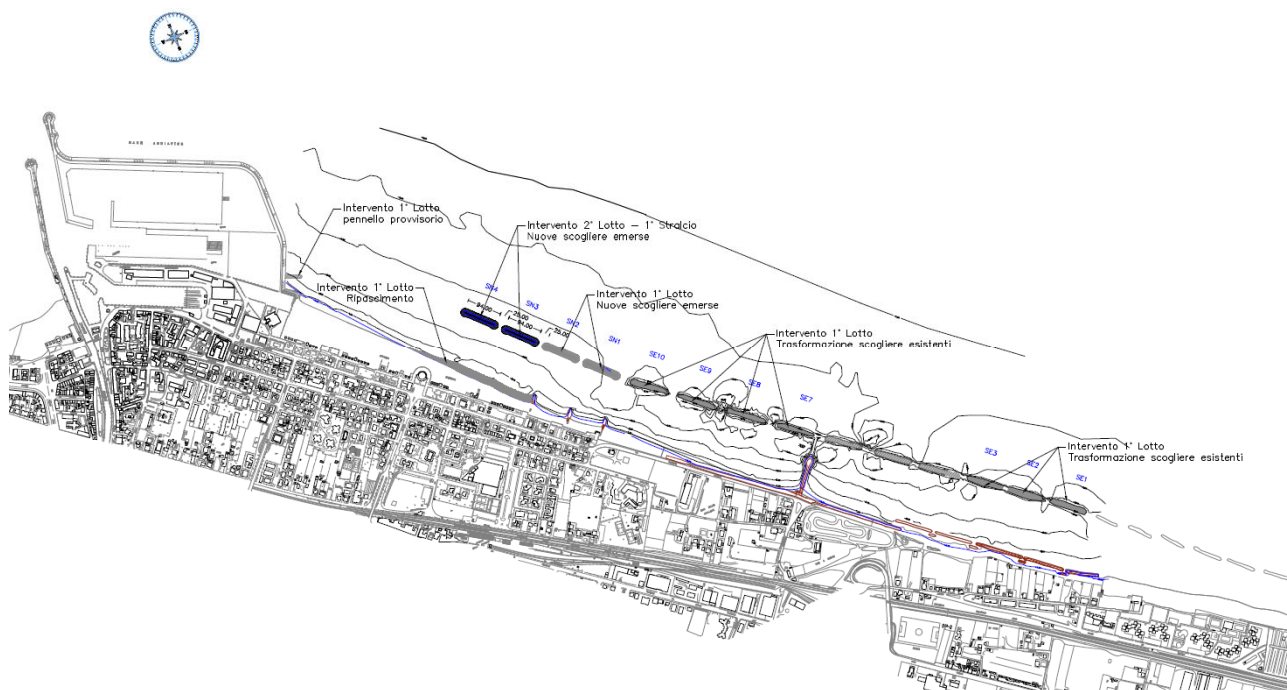


Fig. 1.2 Stralcio della planimetria di Progetto – 1° e 2° lotto



Fig. 1.3 Stato attuale delle opere nel tratto delle nuove scogliere foranee emerse

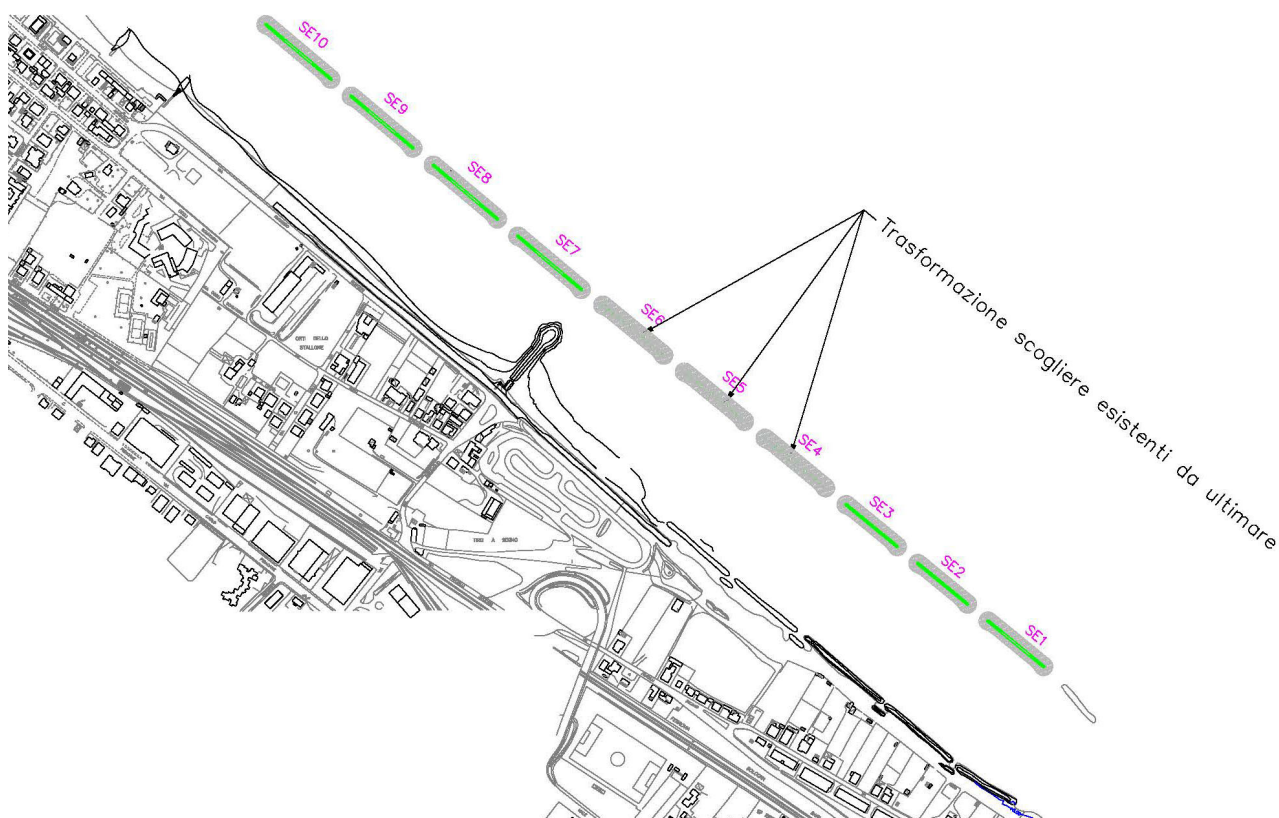


Fig. 1.4 Ultime tre scogliere soffolte da rifiorire a sud del pennello di via del Bersaglio

Allo stato attuale per il completamento del sistema di difesa costiera di tutto il tratto di litorale compreso tra il porto e Baia Metauro manca la realizzazione dell'ultima nuova scogliera emersa SN 8 verso il porto già oggetto di appalto e il rifiorimento delle ultime 3 scogliere soffolte rimaste a sud del pennello del Bersaglio.

Il progetto generale prevedeva inoltre il salpamento delle opere radenti esistenti, compreso il pennello, una volta completate le opere foranee e chiuso il paraggio, sulla base dell'esito positivo del monitoraggio morfo-batimetrico post operam.

Il presente Progetto Esecutivo riguarda la realizzazione del rifiorimento delle ultime tre scogliere soffolte a sud del pennello denominate SE6, SE5 e SE4.

La figura che segue, tratta dal motore di ricerca GoogleEarth riporta, su un immagine satellitare recente del sito, la numerazione dei transetti, gli interventi strutturali proposti dal Piano di Gestione Integrata delle Zone Costiere e il bilancio arretramento/avanzamento della linea di riva.

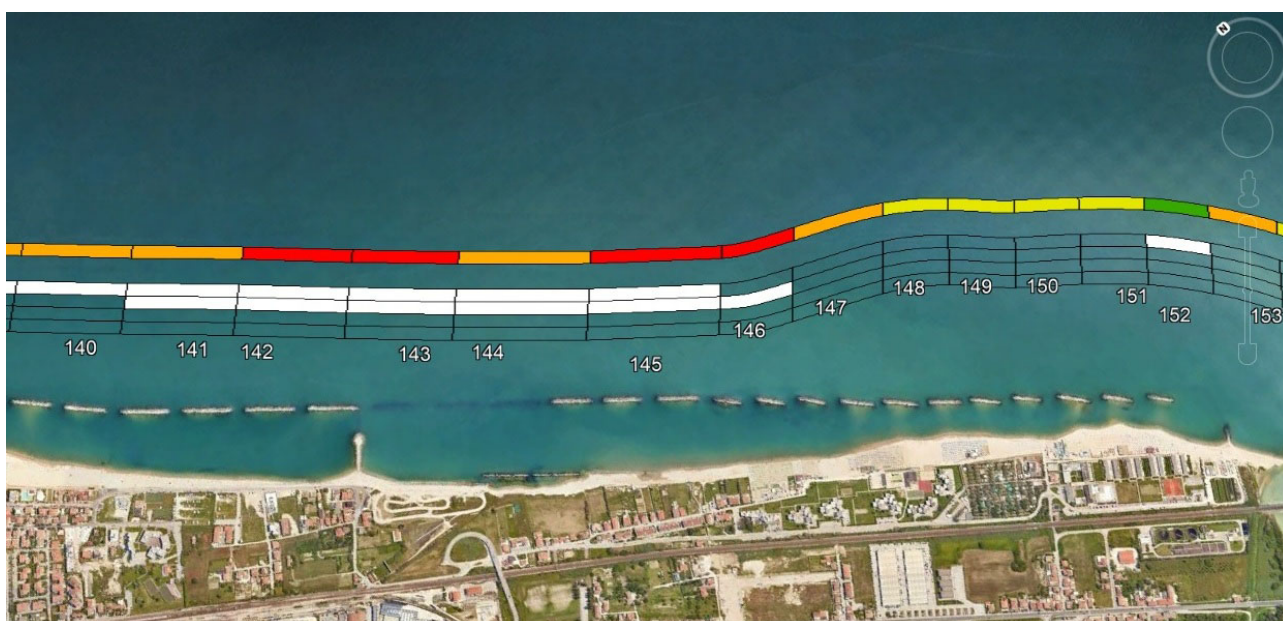


Fig. 2.2 Transetti, bilancio arretramento/avanzamento linea di riva, interventi strutturali PGIZC su immagine satellitare



Fig. 2.3 Immagini satellitare - opere di costiera in corrispondenza del Bersaglio

I transetti interessati dalle 3 soffolte oggetto di intervento sono il 143 e il 144 per i quali il Piano prevede opere di “completamento/revisione opere rigide esistenti”, il transetto più a nord 143 risulta in stato di forte arretramento rispetto il transetto a sud 144.

Le scogliere adiacenti sono state trasformate da sommerse in emerse, in conformità a quanto previsto nel Progetto Generale del 2015, con interventi precedenti.

Il progetto è stato redatto sulla base del rilievo batimetrico commissionato dal Comune alla ditta d'Angeli che viene assunto come base planimetrica, è stato inoltre consultato il rilievo fornito da Aset S.p.A. *“Monitoraggio subacqueo scolmatori comune di Fano - scarico S2 (di via del Bersaglio) TAV_A0 Planimetria con individuazione e georeferenziazione dei punti di interesse”* che individua il posizionamento della condotta sottomarina e dei manufatti a protezione della stessa (sacchi in geotessuto riempiti in sabbia e cavalieri di affondamento in calcestruzzo). La realizzazione dei due scolmatori fognari (S1 via Ruggeri e S2 via del Bersaglio) è rientrata nel Progetto Generale del 2015 in ottemperanza agli aspetti ambientali e al rispetto del Piano di Tutela delle Acque della Regione.

La condotta S2 che si sviluppa sul fondale a sud del pennello in zona Bersaglio, attraversa il varco tra la sezione SE7 già trasformata e la scogliera SE6 oggetto del presente intervento. Considerato il vincolo dimensionale dei varchi tra le opere di difesa di 25m misurato sul livello medio mare (come ribadito anche nell'ultimo Decreto di autorizzazione ambientale dell'intervento relativo alla SN8 DDPF VAA n. 10/2022), la testata nord della scogliera SE6 sarà rastremata con pendenza che va da 1:2 lato mare a 1:1.5 in corrispondenza del varco e lato terra, per ridurre l'interferenza con la condotta esistente, per la quale è previsto, di concerto con il gestore Aset S.p.A. la valutazione dell'eventuale potenziamento dei manufatti di protezione in calcestruzzo in corrispondenza del varco stesso previo rilievo di prima pianta da parte dell'impresa, prima dell'inizio lavori, con l'attuale situazione dei fondali.

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.

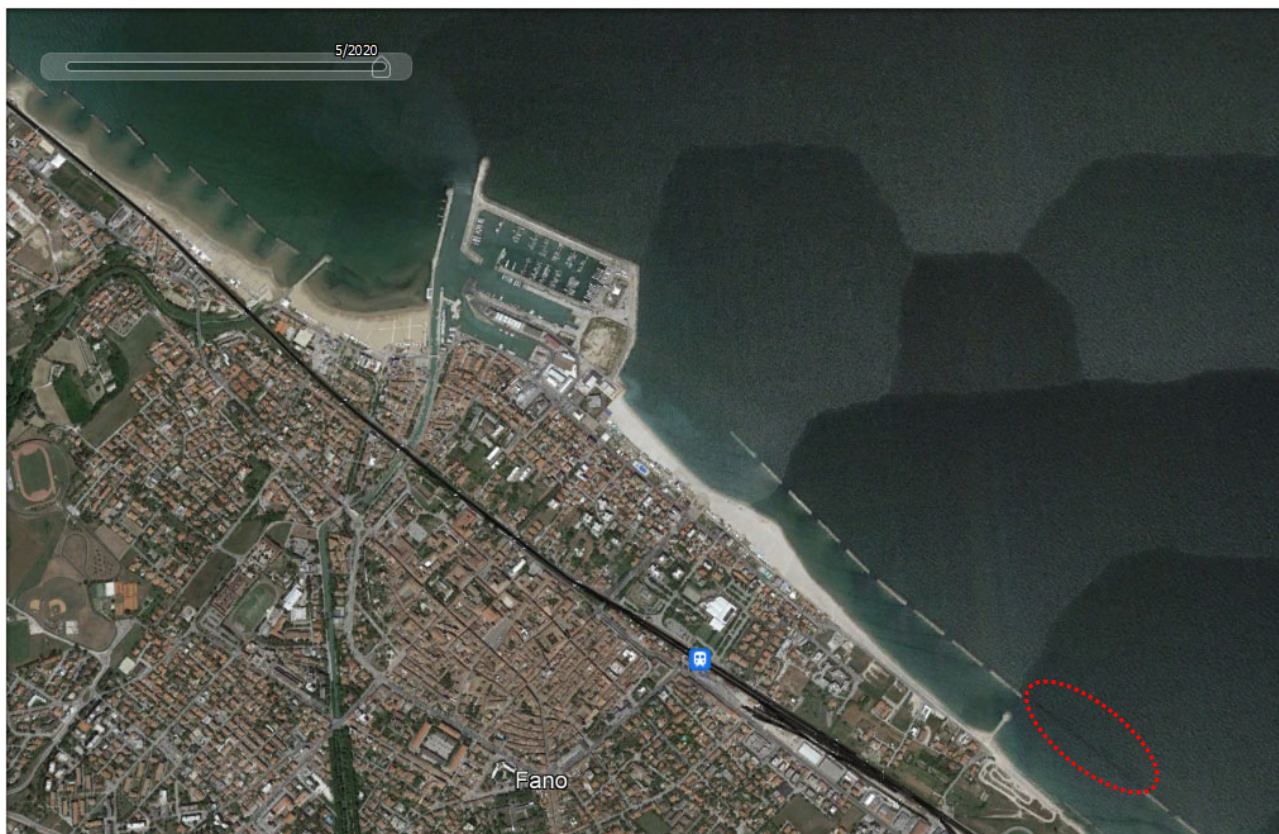


Fig. 2.1/1 Immagine satellitare della zona di intervento maggio 2020



Fig. 2.1/2 Stato attuale delle opere – foto da satellite Apr.2022 (in rosso le opere rimaste da rifiorire)

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.

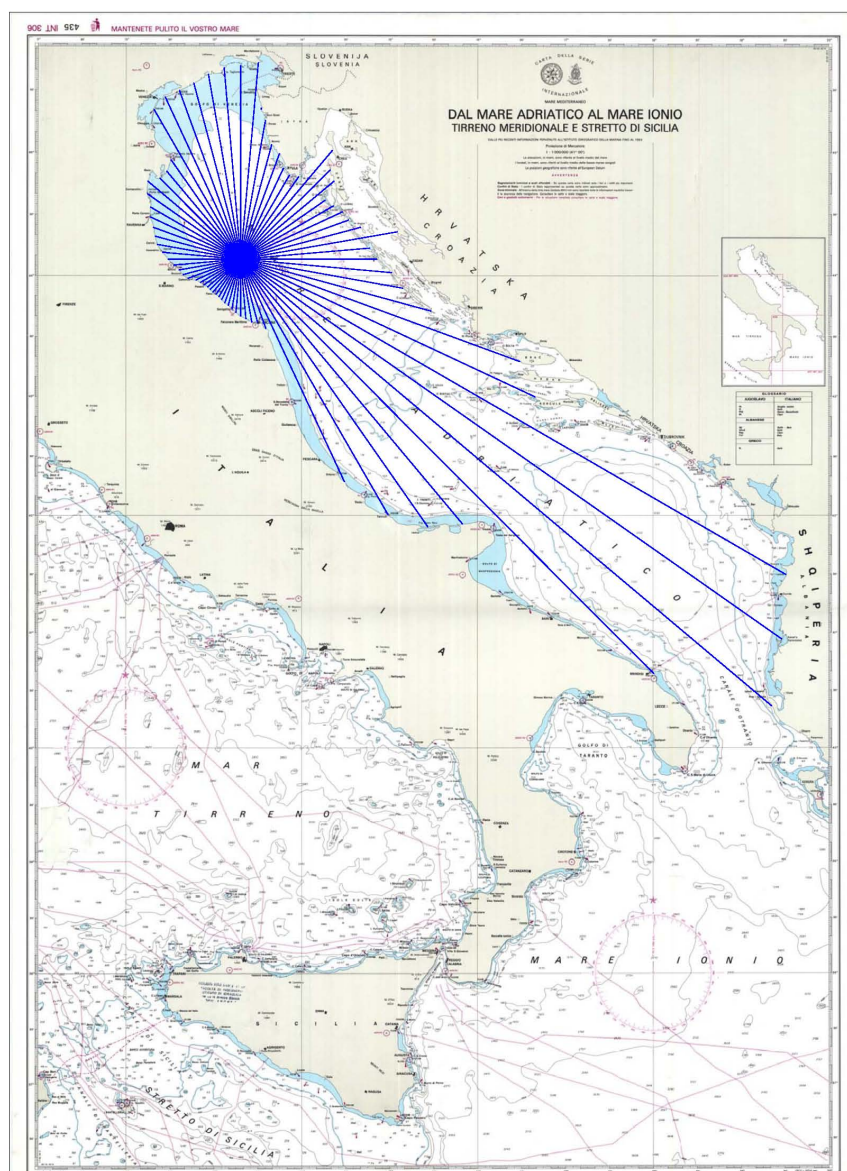


Fig. 2.1/3 Fetches geografici sito costiero di Fano

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 ϕ_W ;

F_i lunghezza del *fetch* geografico relativo alla direzione i-esima ϕ_i ;

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

ϕ_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°);

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°, ampiezza del settore di 45° e termine esponenziale pari a 2.

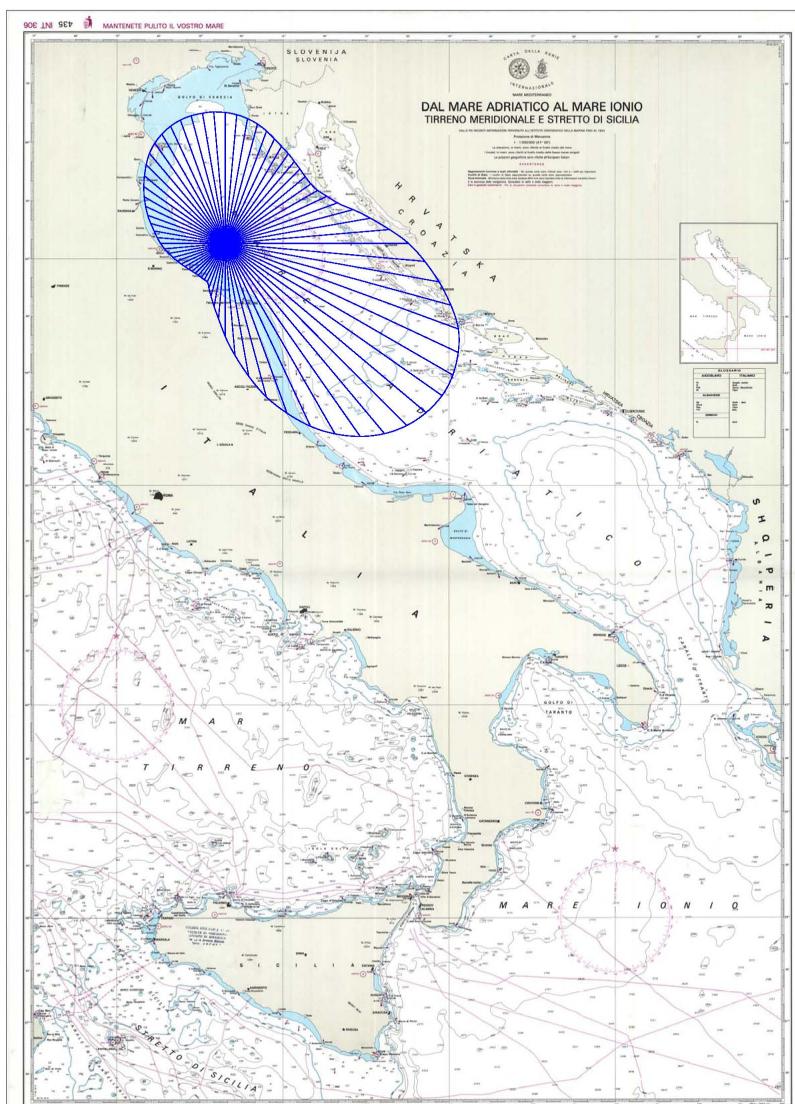


Fig. 2.1/4 Fetches efficaci sito costiero di Fano

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 meteomarino 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.

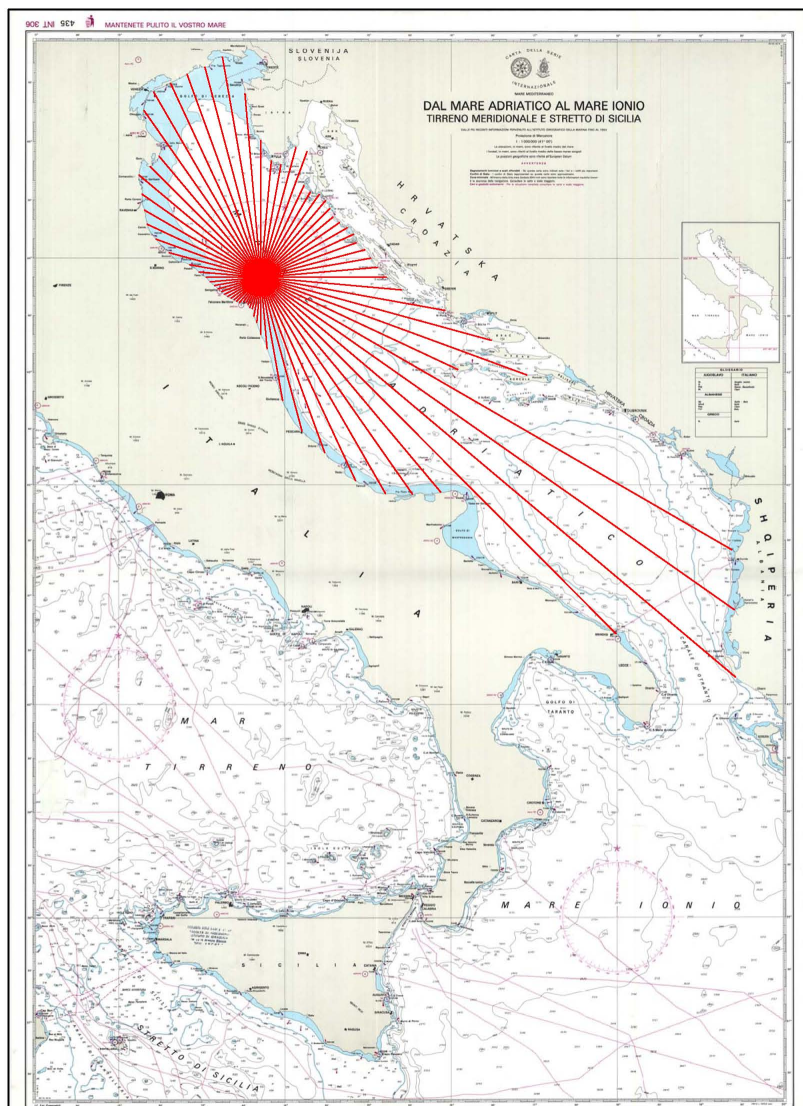


Fig. 2.2/1 Fetches geografici Boa R.O.N. di Ancona

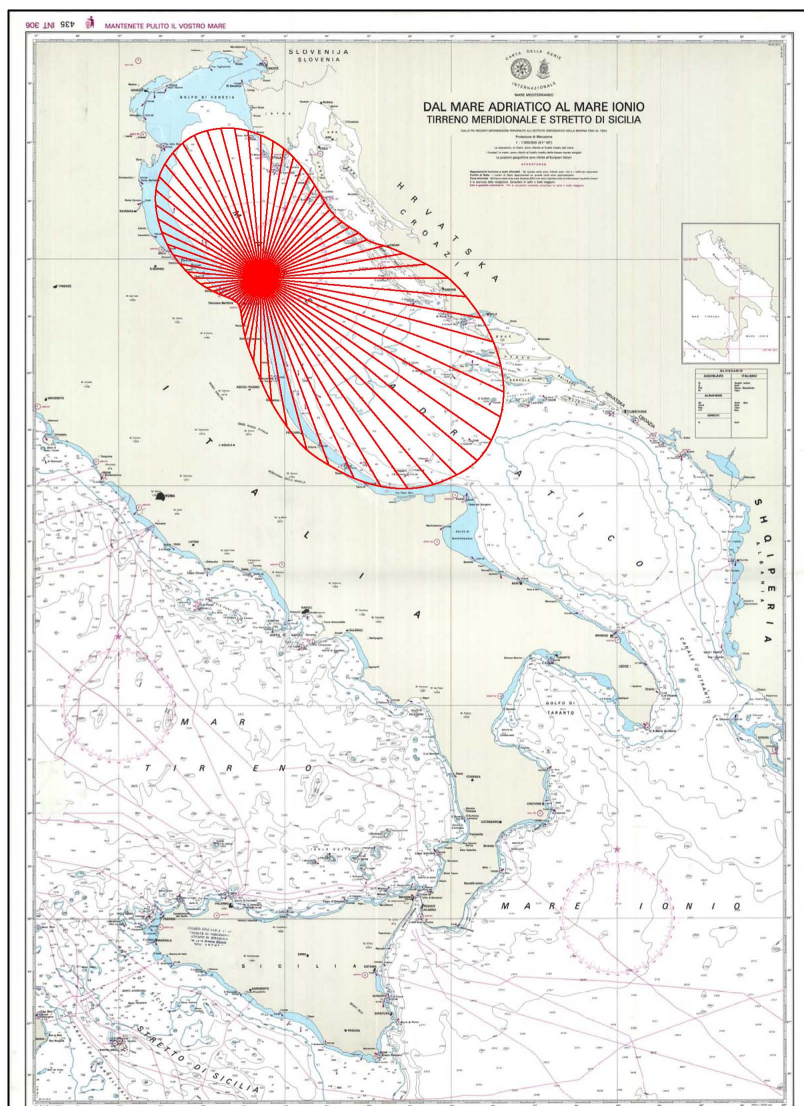


Fig. 2.2/2 Fetches efficaci Boa R.O.N. di Ancona

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 _S (Fano) (m)	T _P (Fano) (s)		Tr (anni)	H _S (Fano) (m)	T _P (Fano) (s)		Tr (anni)	H _S (Fano) (m)	T _P (Fano) (s)		Tr (anni)	H _S (Fano) (m)	T _P (Fano) (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 _S (Fano) (m)	T _P (Fano) (s)		Tr (anni)	H _S (Fano) (m)	T _P (Fano) (s)		Tr (anni)	H _S (Fano) (m)	T _P (Fano) (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.

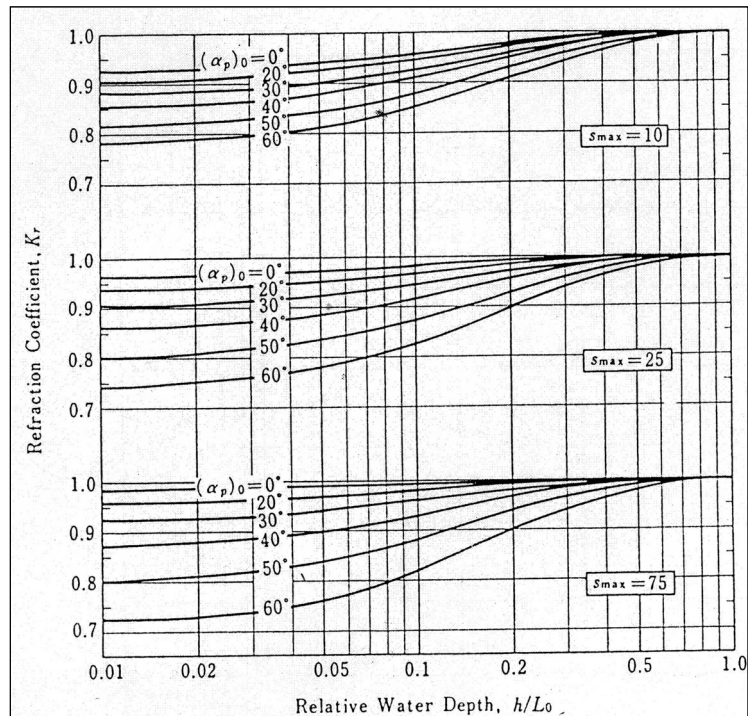


Fig. 2.2/3 Coefficiente di rifrazione di onde irregolari in un fondale con isobate rettilinee e parallele (Goda 1985)

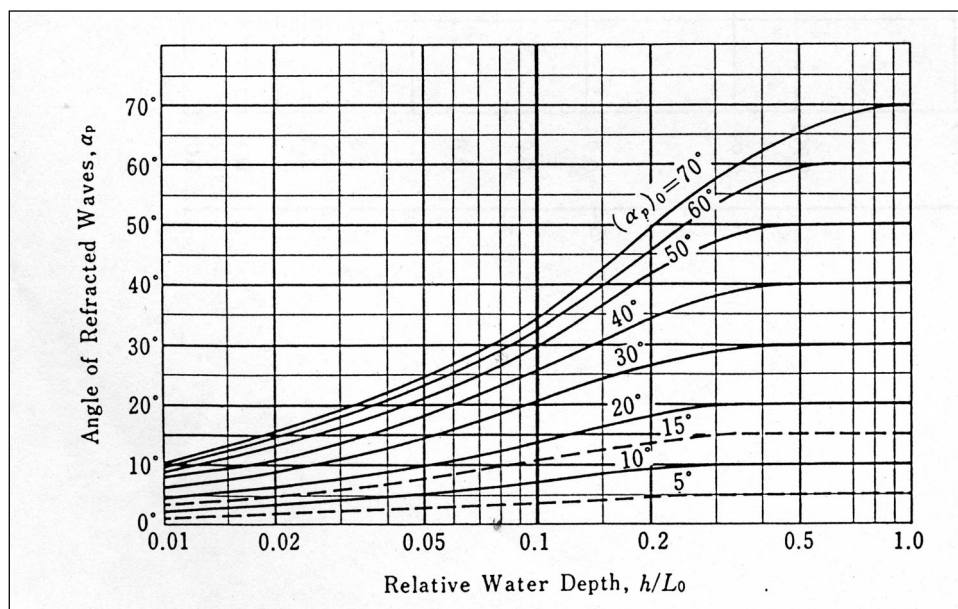


Fig. 2.2/4 Variazione della direzione predominante delle onde irregolari dovuta alla rifrazione. (Goda 1985)

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.

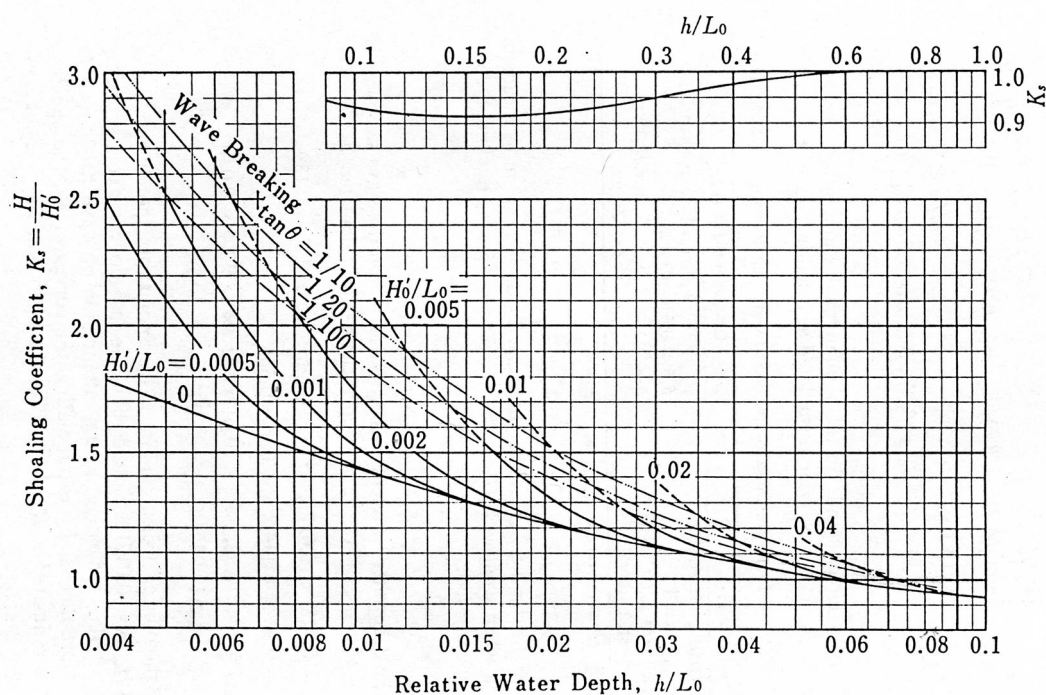


Fig. 2.2/5 Coefficiente di shoaling per onde irregolari. (Goda 1985)

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	Θ_0 (°N)	Hs (m)	Ts (s)	Lo (m)	α_0	h/Lo	Kr	H'o (m)	H'o/Lo	Ks	H _{1/3} (progetto)	Θ_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	Θ_0 (°N)	Hs (m)	Ts (s)	Lo (m)	α_0	h/Lo	Kr	H'o (m)	H'o/Lo	Ks	H _{1/3} (progetto)	Θ_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	Θ_0 (°N)	Hs (m)	Ts (s)	Lo (m)	α_0	h/Lo	Kr	H'o (m)	H'o/Lo	Ks	H _{1/3} (progetto)	Θ_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 “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 sommergezza 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.

Sono stati realizzati i 7 Setti di Nuove Scogliere Emerse (SN1, SN2, SN3, SN4, SN5, SN6, SN7) previste verso il porto.

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 di via Ruggeri, le opere radenti esistenti che si estendono fino all'altezza della ex scogliera sommersa SE1.

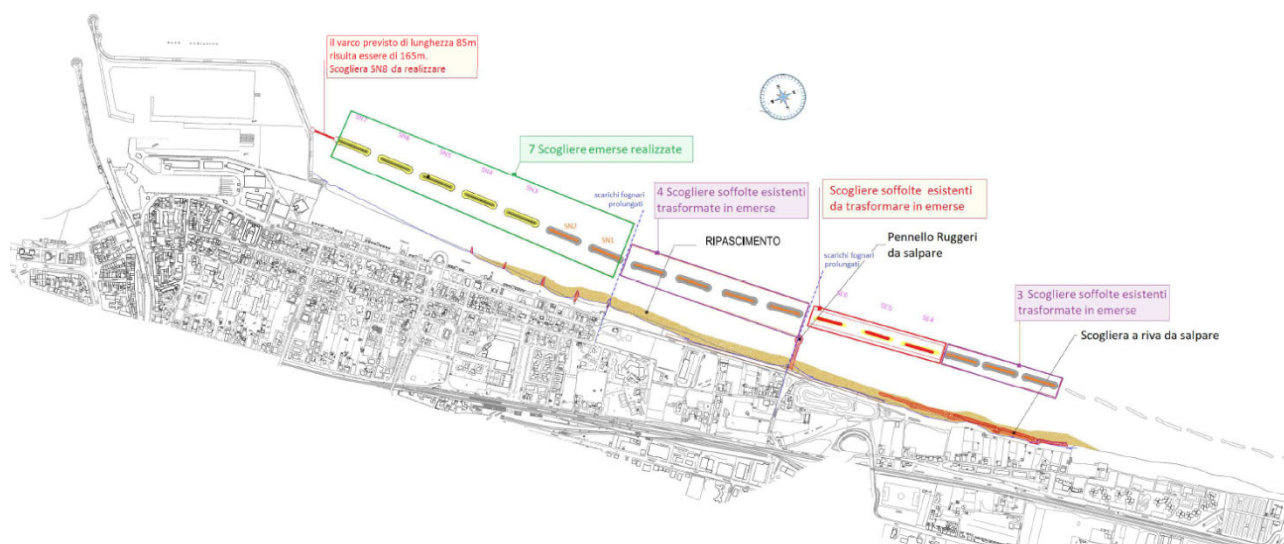


Fig. 3.1/1 Progetto Generale 2015 – Resoconto degli interventi

A completamento del sistema di difesa con barriere foranee emerse fino al porto di Fano, è stato appaltato il progetto per la realizzazione di un ultimo setto di scogliera (SN8) emersa a protezione dell'ultimo varco, di 165m circa, rimasto scoperto tra l'ultima scogliera realizzata SN7 e la diga portuale. Il Progetto della SN8 è stato sottoposto alla Procedura di Screening di VIA come Variante del Progetto Generale valutato nel 2015 (DDPF VAA n.60/2015) ed ha ottenuto l'esclusione alla VIA con DDPF VAA n.10/2022 .

Il presente Progetto Esecutivo è relativo alla trasformazione da sommerse ad emerse delle scogliere SE6, SE5 e SE4.

3.2 VERIFICHE IDRAULICHE

Le caratteristiche tipologiche, dimensionali, di materiali delle ultime opere da rifiorire 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 sommergenza 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

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

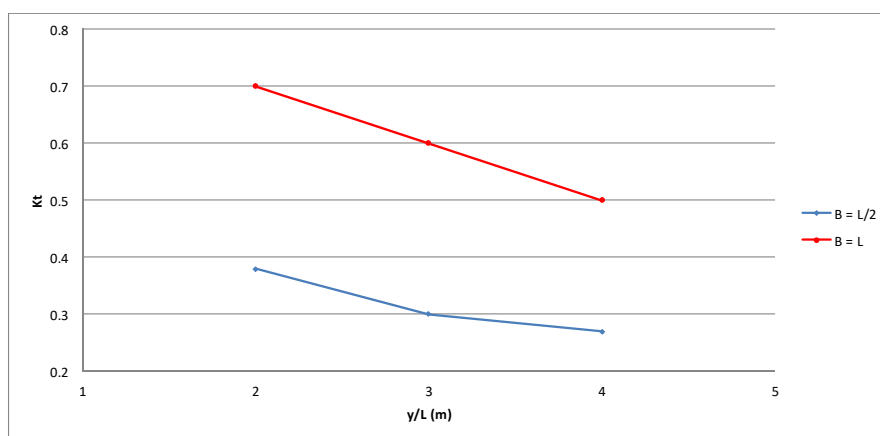


Fig. 3.4/1 Coefficiente di diffrazione attraverso il varco

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, 170m circa, 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_t con le formule di Van der Meer et al. (2005). Per $B/H_i < 8$ si ha:

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

dove B è la larghezza della cresta, H_i l'altezza dell'onda incidente, R_c la sommergenza della struttura e ξ il parametro di Iribarren calcolato con il periodo di picco T_p dello spettro.

Stimato il coefficiente di trasmissione è possibile calcolare l'altezza d'onda trasmessa dalla struttura ($H_t = K_t \cdot H_i$).

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.

SCOGLIERA ESISTENTE	SE4	SE5	SE6
K_t	0.45	0.49	0.41
H_t (m)	1.34	1.43	1.21
δ (m)	0.41	0.41	0.41

SCOGLIERA PROGETTO	$B = 3m$ $R_c = 1.50m$ $cot\alpha_{mare} = 2$
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

SCOGLIERA ESISTENTE	SE4	SE5	SE6
K_t	0.60	0.63	0.56
H_t (m)	1.78	1.87	1.65
δ (m)	0.15	0.15	0.15

SCOGLIERA PROGETTO	$B = 3m \ R_c = 1.50m \ cota_{mare} = 2$		
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

SCOGLIERA ESISTENTE	SE4	SE5	SE6
K_t	0.46	0.49	0.42
H_t (m)	1.44	1.53	1.30
δ (m)	0.46	0.46	0.46

SCOGLIERA PROGETTO	$B = 3m \ R_c = 1.50m \ cota_{mare} = 2$		
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

SCOGLIERA ESISTENTE	SE4	SE5	SE6
K_t	0.61	0.64	0.56
H_t (m)	1.88	1.97	1.74
δ (m)	0.17	0.17	0.17

SCOGLIERA PROGETTO	$B = 3m \ R_c = 1.50m \ cota_{mare} = 2$		
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, le opere sommerse preesistenti trasmettono 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 γ fattori correttivi che tengono conto rispettivamente della scabrezza del paramento della scogliera, dell'eventuale presenza di berma al piede, delle condizioni di acque basse e dell'inclinazione dell'attacco ondoso.

SCOGLIERE PROGETTO	B = 3.0m cotg $\alpha_{mare} = 2$
R_{up} (m)	4.5
q (l/sm)	288
$q_{s.s.}$ (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_{up} (m)	5.3
q (l/sm)	349
$q_{s.s.}$ (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 Tr 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 10sperimentazioni 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:

$$R_{up2\%} = 4.1 \left(0.35\beta_f (H_0 L_0)^{1/2} + \frac{[H_0 L_0 (0.563\beta_f^2 + 0.004)]^{1/2}}{2} \right)$$

Non è facilmente definibile la pendenza del fondo β_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.