

0	Ott. 2023	Prima emissione	Ballerini			
Revisione	Data	Oggetto Revisione	Redatto	Controllato	Verificato	Approvato

BAGNI CASTELLUCCIO S.p.A.

Sede Legale: Via Fieschi, 3/17 – 16121 Genova
 Tel.+390106121111 - E-mail: castelluccio@fastwebnet.it
 Part.I.V.A.: 02218930101



COORDINAMENTO PROGETTAZIONE

Progetto Architettonico Dott.Arch.Marco Roggeri – mag.MA architetture Via Cardinal Meglia, 28 – 18010 – Santo Stefano al Mare - IM Tel.+393476185301 – E-mail: info@mag-ma.it Part.I.V.A.: 01211220080	Progettazione Opere Marittime Studio Ballerini Ingegneri Associati Via Caffaro, 27/10 – 16124 – GE Tel.+390102091295 – E-mail: studioballerini@gmail.com Part.I.V.A.: 02555620992
Progetto Strutturale Dott.Ing.Davide Barilli - BD INGEGNERIA STP S.r.l. Piazza R.Baldini, 4/28 – 16149 – GE Tel.+39010532074 – E-mail: studio@bdingegneria.com Part.I.V.A.: 02533670994	Progettazione Opere Fluviali Dott.Ing.Giampiero Nobile – OAC INNOVATION S.r.l. Via di Sottoripa, 1A/81 – 16124 – GE Tel.+390108698603 – E-mail: gmobile@oacingegneria.com Part.I.V.A.: 02790430991
Progetto Impianti Dott.Ing.Maurizio Cambiaso – CAMBIASO INGEGNERIA S.r.l. Piazza della Vittoria, 15/23 – 16121 – GE Tel.+390108690286 – E-mail: cambiaso.maurizio@gmail.com Part.I.V.A.: 02360420992	Progettazione Geologica Dott.Geol.Andrea Guardiani Piazza S.Benedetto, 8 - 18018 – Taggia – IM Tel.+390184475874 – E-mail: aguardiani.ag@gmail.com Part.I.V.A.: 01277730089
Progettazione Acustica Dott.Ing.Gianluca Agliata Via Montelungo, 80/2 – 16133 – GE Tel.+393356116854 – E-mail: gianluca.agliata@gmail.com Part.I.V.A.: 01438460998	Progettazione Geologica Dott.Geol.Paolo Anfossi Via Lungo Argentina, 19 - 18018 – Taggia – IM Tel.+393937684781 – E-mail: anfossipaolo@libero.it Part.I.V.A.: 01532840087
Progettazione Geologica Dott.Geol.Stefano Romanelli Piazza S.Giovanni, 9/3 – 16043 – Chiavari – GE Tel.+390185312417 – E-mail: romanelli.stefano@libero.it Part.I.V.A.: 02318810302	Rilievi Geom.Alberto Centenari – 4geo Via Colombo, 13 – 16121 – GE Tel.+390105957355 – E-mail: centenari@4geo.it Part.I.V.A.: 03787920101

Intervento/Opera	Scala	Data
Realizzazione di una struttura dedicata alla nautica da diporto a Genova Pegli – Procedimento previsto dal D.P.R.2/12/1997 n.509 PROGETTO DEFINITIVO	-	03 Ottobre 2023
Oggetto dell'elaborato	Elaborato n°	
RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA	D-OM-PR-D02-0	
Livello di Progettazione	DEFINITIVO	

INDICE

01.	Introduzione	3
01.1	Generalità	3
01.2	Scopo del lavoro	3
01.3	Inquadramento geografico	3
01.4	Oggetto dello studio	4
02.	Caratteristiche delle onde e analisi degli eventi estremi	5
02.1	Dati utilizzati	5
02.2	Altezze d'onda.....	5
03.	Analisi di propagazione e penetrazione delle onde.....	16
03.1	Il modello numerico.....	16
03.1.1	La trasformazione delle onde	16
03.1.2	Batimetria e riflettenza delle frontiere.....	16
03.1.3	L'attacco ondososo di progetto.....	17
03.2	Risultati dell'analisi di propagazione delle onde	17
04.	Generazione delle onde di vento all'interno del bacino portuale.....	26
05.	Livelli di marea	29
	Bibliografia	30
	Appendice A - TELEMAC-MASCARET	31
1	Introduzione	32
2	ARTEMIS (Versione 6.2)	33

01. INTRODUZIONE

01.1 Generalità

Il presente progetto definitivo per la realizzazione di una struttura dedicata alla nautica da diporto nell'area compresa fra il Castelluccio ed il Risveglio a Genova Pegli.

01.2 Scopo del lavoro

La presente indagine ha come scopo la stima dell'agitazione ondosa in corrispondenza delle nuove opere, al fine sia di dimensionare correttamente le strutture, sia di verificarne l'influenza nei confronti della fruibilità degli specchi acquei da parte delle imbarcazioni previste a progetto.

01.3 Inquadramento geografico

Il tratto di litorale interessato dall'intervento è situato all'interno del bacino portuale di Genova Prà nella zona evidenziata in Figura 1 e Figura 2. Il paraggio è esposto ad un ampio settore di traversia con lunghezze del fetch considerevoli. Tuttavia, la presenza della diga foranea del porto fa sì che il sito oggetto dell'intervento risulti ben protetto anche dalle mareggiate più severe.

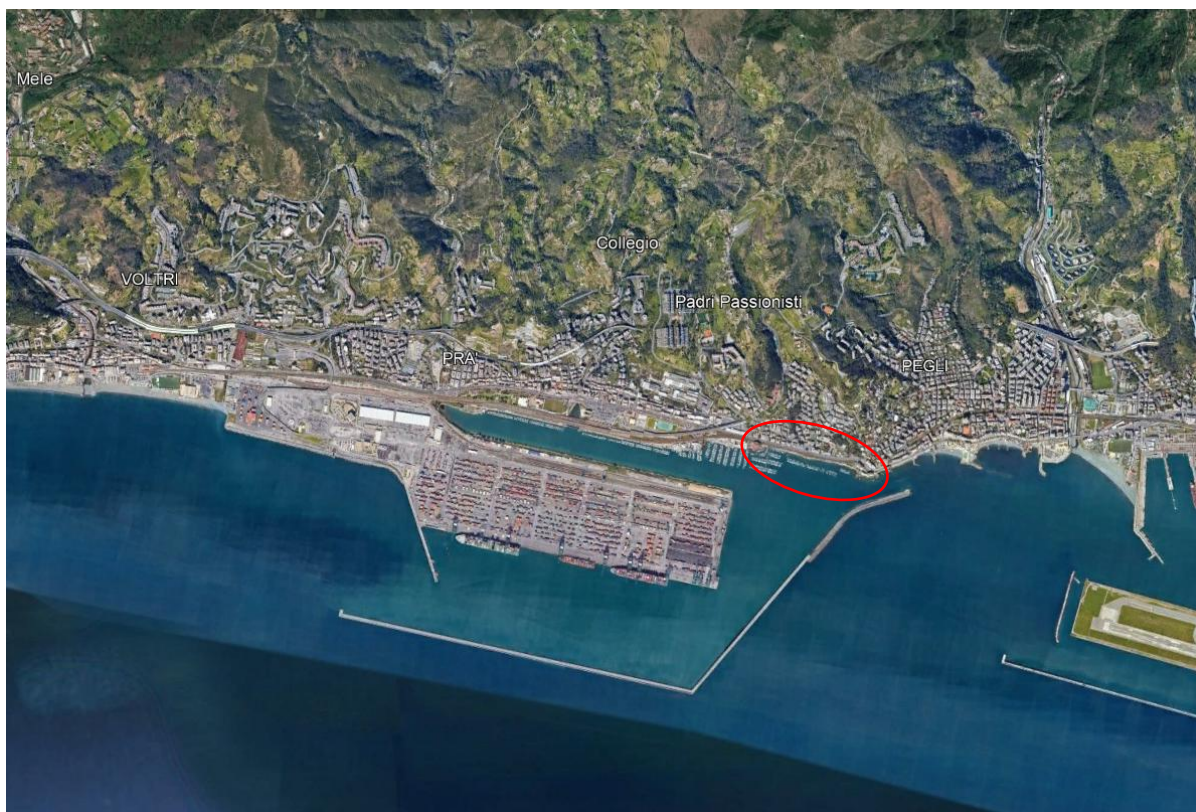


Figura 1 Ubicazione del paraggio di Genova Prà



Figura 2 Vista aerea del sito interessato dall'intervento

01.4 Oggetto dello studio

Ai fini del progetto si sono svolte l'analisi del clima ondoso a partire dalle condizioni meteomarine al largo. Le onde al largo sono state ricostruite nel paraggio antistante, con un settore di traversia compreso tra 140° N e 230° N e con un fetch di estensione variabile sino a più di 500 km in direzione 220° N. La spiaggia sommersa ha una pendenza rilevante, con fondali che raggiungono a breve distanza dalla costa profondità maggiori di 100 m. L'allineamento medio della linea di costa è prossimo a 100° - 280° N. Quindi, tramite modello matematico si è provveduto a simulare la propagazione dell'onda generata al largo verso la costa e la sua penetrazione attraverso le due imboccature della diga foranea, poste alle due estremità di levante e di ponente. Infine, si è analizzata la generazione delle onde di vento all'interno del bacino portuale per effetto del fetch secondario limitato a sud dalla diga foranea. Nel presente studio viene riportata anche una valutazione della sopraelevazione del pelo libero marino per effetto delle maree, sulla base delle registrazioni disponibili in letteratura.

02. CARATTERISTICHE DELLE ONDE E ANALISI DEGLI EVENTI ESTREMI

02.1 Dati utilizzati

Sebbene siano disponibili diversi recenti studi finalizzati alla definizione delle onde estreme al largo del Porto di Genova, basati su misurazioni ondometriche, nel caso in esame si è fatto uso dei dati del KNMI (Istituto Reale Meteorologico dei Paesi Bassi) rilevati nella zona tra 7°-11° E e 42°-45° N nel periodo 1961-1980, elaborati per ottenere la distribuzione direzionale dell'altezza e del periodo delle onde al largo. Benché i dati del KNMI siano in gran parte stimati e non misurati, e quindi in qualche misura soggettivi, sono comunque ritenuti attendibili, con il vantaggio di essere rilevati in mare aperto senza interferenze dovute alle coste o ai bassi fondali; l'altezza stimata è da assimilarsi all'altezza d'onda significativa. Nel ventennio 1961-1980, nella regione in esame, sono state eseguite circa 46.000 stime e misurazioni utili, con una media di 7,42 rilevazioni giornaliere. La statistica, maggiormente significativa verso il baricentro della distribuzione areale delle osservazioni, è comunque utilizzabile, con opportuni accorgimenti, per il paraggio in studio.

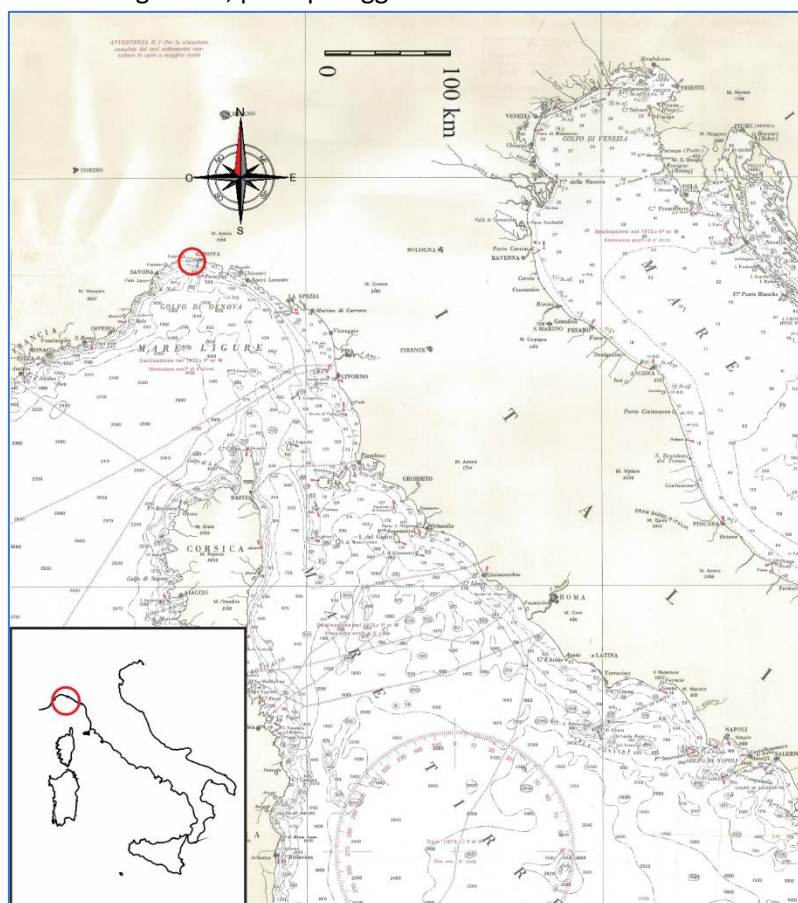


Figura 3. Paraggio di Genova Pegli-Castelluccio.

02.2 Altezze d'onda

In Tabella 1 e in Tabella 2 è riportata la numerosità degli eventi al variare dell'altezza e del periodo dell'onda. La distribuzione direzione è visibile in Figura 4 e in Figura 5, rispettivamente. Le distribuzioni direzionali delle onde riportano le maggiori onde provenienti da W, con significativi contributi di tutto il quadrante S-W, dove i

fetch geografici sono più estesi. Il quadrante N-E, ruotando verso N, è interessato da onde di altezza progressivamente minore.

Tabella 1 Distribuzione direzionale delle altezze d'onda. Elaborazione dati KNMI nel settore 7°-11° E e 42°-45° N, periodo 1961-80. Direzioni tra 90° e 240° N.

H (m)/ DD (°N)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	>6.0	Totale
90	1300	334	50	11	4	0	0	1699
100	624	152	34	6	3	0	0	819
110	533	132	16	2	1	15	0	699
120	606	133	21	5	0	0	0	765
130	579	173	19	3	0	1	0	775
140	726	212	24	6	0	0	0	968
150	545	150	17	4	0	0	0	716
160	691	199	18	5	0	0	0	913
170	524	117	22	0	0	0	0	663
180	1049	238	33	2	0	1	0	1323
190	625	155	27	5	0	0	0	812
200	991	344	59	4	1	1	0	1400
210	762	385	74	17	4	0	0	1242
220	1087	527	117	25	9	0	0	1765
230	1102	560	152	30	7	2	1	1854
240	1139	588	168	47	11	7	1	1962

Tabella 2. Distribuzione direzionale dei periodi delle onde, in classi di ampiezza 3 s. Elaborazione dati KNMI nel settore 7°-11° E e 42°-45° N, periodo 1961-80. Direzioni tra 90° e 240° N.

T (s)/DD (°N)	calma	3	6	9	12	>12	tot
90	741	845	175	8	0	16	1769
100	322	399	85	3	2	16	811
110	317	324	77	1	16	16	735
120	307	378	73	4	3	16	765
130	298	415	71	4	1	16	789
140	398	473	101	5	1	17	978
150	303	321	84	3	0	17	711
160	368	451	92	5	0	16	916
170	292	302	67	3	1	16	665
180	616	597	123	3	1	20	1340
190	293	387	83	6	1	16	770
200	500	693	170	9	3	16	1375
210	394	626	191	18	2	16	1231
220	531	930	262	25	1	16	1749
230	392	526	197	16	2	12	1145
240	431	730	283	15	1	11	1471

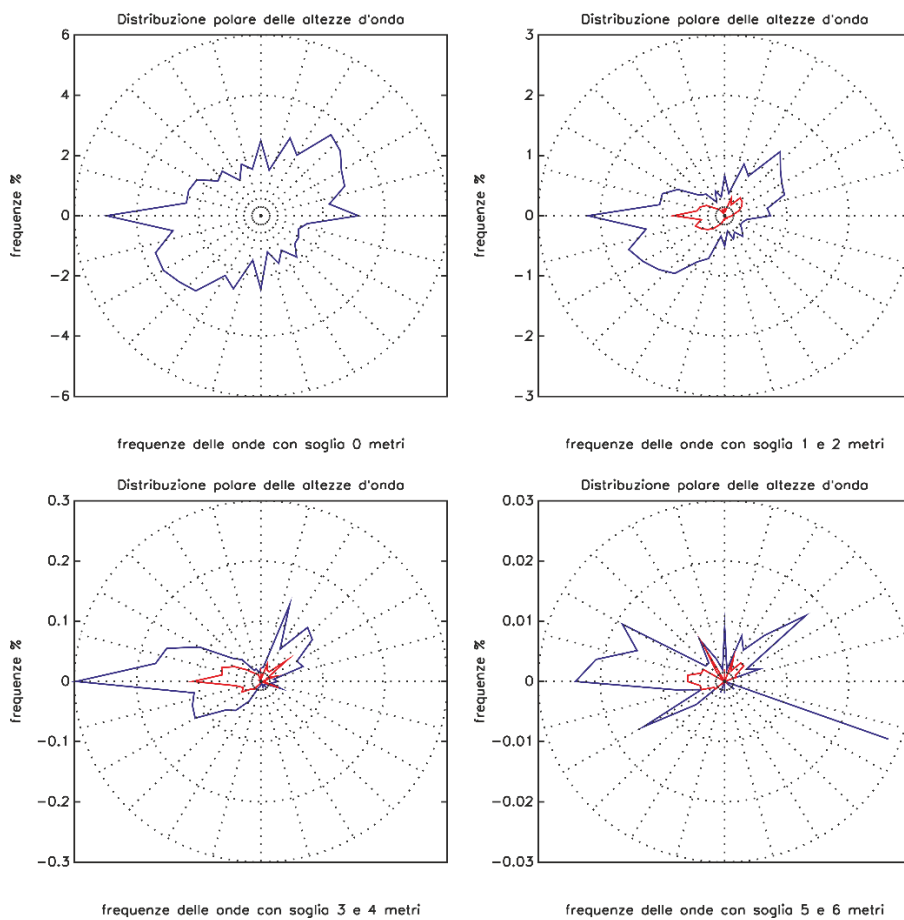


Figura 4. Distribuzione direzionale in frequenza delle onde per classi di altezza d'onda.

Elaborazione dati KNMI settore 7°-11°E 42°-45°N anni 1961-1980.

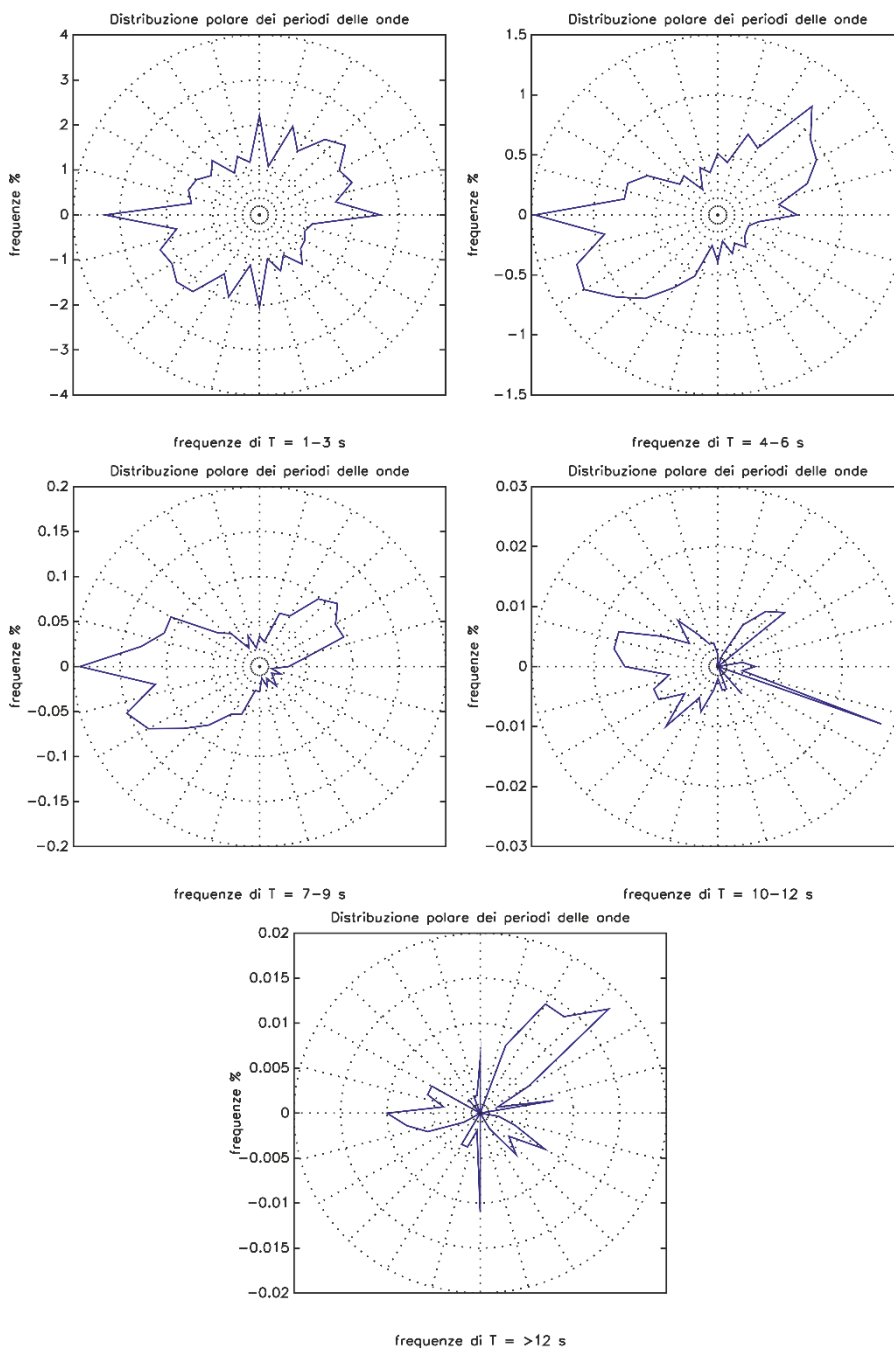


Figura 5. Distribuzione direzionale in frequenza delle onde per classi di periodo d'onda.

Elaborazione dati KNMI settore 7°-11°E 42°-45°N anni 1961-1980.

La distribuzione degli estremi delle onde è stata stimata suddividendo il settore di traversia nei due sottosectori 130-180 °N e 180-220 °N. La distribuzione di probabilità delle onde estreme, separatamente per i due settori, è stata calcolata secondo la distribuzione di Fisher-Tippet II:

$$P(H) = \exp \left[- \left(1 + \frac{H-B}{kA} \right)^{-k} \right],$$

con la seguente funzione inversa:

$$H = B - kA \left[1 - (-\ln P(H))^{-1/k} \right].$$

Nella progettazione di molte opere risulta significativo definire, insieme all'onda di progetto con fissato tempo di ritorno, la probabilità di superamento di tale onda durante la vita utile della struttura, detta anche *probabilità di incontro*. Secondo Borgman (1963), tale probabilità è esprimibile nella forma:

$$E = 1 - \left(1 - \frac{\delta}{Tr} \right)^{L/\delta}, \quad \frac{Tr^2}{\delta L} \gg 1$$

E = probabilità di superamento di H nell'intervallo di tempo L

L = vita utile di progetto della struttura

Tr = tempo di ritorno

δ = intervallo di tempo medio tra i dati.

Una buona approssimazione della precedente equazione è

$$E \approx 1 - \exp \left(- \frac{L}{Tr} \right).$$

In generale, fissato il tempo di vita utile dell'opera e il rischio ammissibile (legato alla natura della struttura, a valutazioni economiche, ecc.), si calcola il tempo di ritorno dell'onda di progetto al largo e, quindi, l'altezza dell'onda di progetto al largo.

La probabilità di danneggiamento ammissibile durante la vita utile dell'opera è riportata in Tabella 3.

A titolo di esempio, per opere o installazioni che comportino un elevato rischio di perdita di vite umane o di danno ambientale in caso di collasso, le Istruzioni Tecniche per la Progettazione di Dighe Marittime indicano un livello di sicurezza tra 2 e 3, corrispondente a una vita di progetto di 25 o di 50 anni nel caso di infrastrutture a uso specifico, quale un pontile per l'attracco di petroliere.

Tabella 3. Probabilità di danneggiamento ammissibile sulla base del livello di danno e di rischio.

Danneggiamento incipiente		
	<i>Rischio per la vita umana</i>	
<i>Ripercussione economica</i>	Limitato	Elevato
Bassa	0.50	0.30
Media	0.30	0.20
Alta	0.25	0.15
Distruzione totale		
	<i>Rischio per la vita umana</i>	

<i>Ripercussione economica</i>	Limitato	Elevato
Bassa	0.20	0.15
Media	0.15	0.10
Alta	0.10	0.05

Per strutture flessibili il danneggiamento incipiente è inteso come il livello di danneggiamento al di sopra del quale il danno è apprezzabile, e si rende necessario intervenire con lavori di risarcimento e ripristino. Per rischio limitato di vite umane si intende il caso in cui, a seguito del danneggiamento, non è logico prevedere perdita di vite umane; se questa è preventivabile, il rischio è elevato. Per ripercussione economica bassa, media o alta si intendono i casi nei quali il rapporto tra i costi diretti del danneggiamento, sommati a quelli indiretti legati alla perdita di funzionalità della struttura, e il costo totale delle opere, è minore di 5, tra 5 e 20 o maggiore di 20. Nel caso in esame si assume una ripercussione economica media e un rischio di vita umana limitato per il caso di danneggiamento incipiente, corrispondente a una probabilità di superamento $E = 0.25$ per una vita di progetto di 50 anni. Per il caso di distruzione totale la probabilità di superamento deve essere non superiore a $E = 0.10$.

Il tempo di ritorno dell'onda di progetto, associato a una vita utile dell'opera L e per la probabilità di danneggiamento E , è pari a:

$$Tr = \frac{r}{1 - (1 - E)^{r/L}}$$

Anche il periodo dell'onda potrebbe essere calcolato su base statistica. Tuttavia, è più conveniente calcolarlo in relazione alle caratteristiche dell'onda di progetto. Un limite inferiore al periodo delle onde è posto dalla massima ripidità. Secondo Battjes (1970), la ripidità limite delle onde in acque profonde è:

$$\frac{2\pi H}{gT^2} \leq \frac{1}{16}$$

Una buona approssimazione al limite superiore del periodo dell'onda, fissata l'onda di progetto, è fornita dalla relazione (Grancini, 1979)

$$T = 4.062H^{0.513},$$

ritenuta valida nel Mediterraneo.

In Figura 6 sono visibili le curve di rischio; i valori di altezza e periodo d'onda corrispondenti a differenti valori di vita utile dell'opera e di probabilità di danneggiamento sono riportati in

Tabella 4 e in Tabella 5 per i due settori.

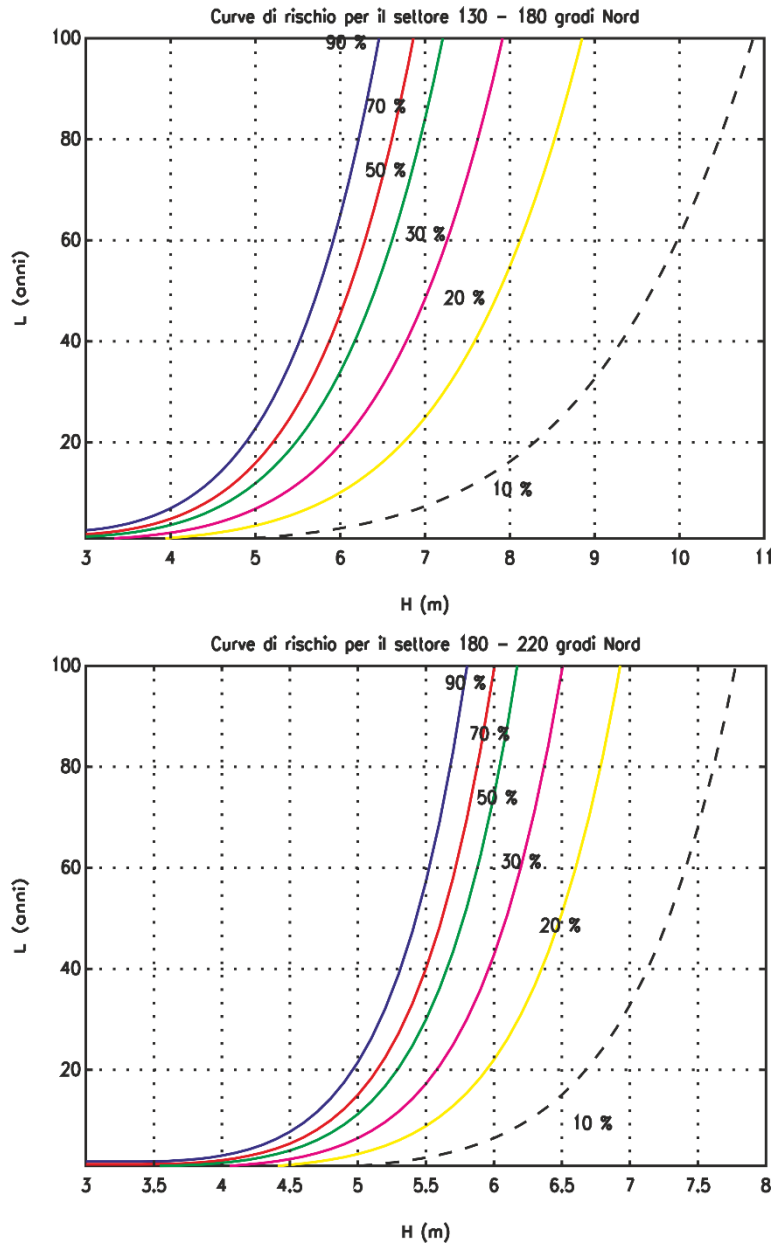


Figura 6. Curve di rischio per le altezze d'onda secondo Borgman e Fretchet.

Tabella 4. Settore 130°-180° N. Caratteristiche delle onde per differenti percentuali di rischio E e tempi di vita utile dell'opera L.

<i>E</i>	10%		20%		30%		50%		70%		90%	
<i>L</i> (anni)	H(m)	T(s)	H(m)	T(s)	H(m)	T(s)	H(m)	T(s)	H(m)	T(s)	H(m)	T(s)
5	6.56	10.66	5.78	9.99	5.35	9.60	4.78	9.06	4.36	8.65	3.90	8.17
10	7.38	11.32	6.50	10.61	6.01	10.19	5.37	9.63	4.89	9.18	4.39	8.67
25	8.61	12.25	7.59	11.48	7.01	11.03	6.27	10.42	5.71	9.93	5.12	9.39
50	9.67	13.01	8.53	12.19	7.88	11.71	7.05	11.06	6.42	10.54	5.75	9.97
100	10.87	13.81	9.58	12.95	8.85	12.43	7.92	11.74	7.21	11.19	6.47	10.58

Tabella 5. Settore 180°-220° N. Caratteristiche delle onde per differenti percentuali di rischio E e tempi di vita utile dell'opera L.

<i>E</i>	10%		20%		30%		50%		70%		90%	
<i>L</i> (anni)	H(m)	T(s)	H(m)	T(s)	H(m)	T(s)	H(m)	T(s)	H(m)	T(s)	H(m)	T(s)
5	5.85	10.06	5.45	9.69	5.21	9.48	4.89	9.17	4.64	8.93	4.37	8.65
10	6.25	10.40	5.83	10.03	5.57	9.80	5.23	9.49	4.96	9.24	4.66	8.95
25	6.82	10.87	6.35	10.48	6.08	10.25	5.71	9.92	5.41	9.66	5.09	9.36
50	7.28	11.25	6.78	10.84	6.49	10.60	6.09	10.26	5.78	9.99	5.43	9.68
100	7.78	11.63	7.24	11.21	6.93	10.96	6.50	10.61	6.17	10.33	5.80	10.02

Tali risultati concordano con le analisi di Boccotti (1986) relative al settore di interesse, secondo quanto riportato nel diagramma in Figura 7, dal quale si desume che l'onda con tempo di ritorno $T_r = 25$ anni ha un'altezza di 7,50 m e un periodo di 12 s

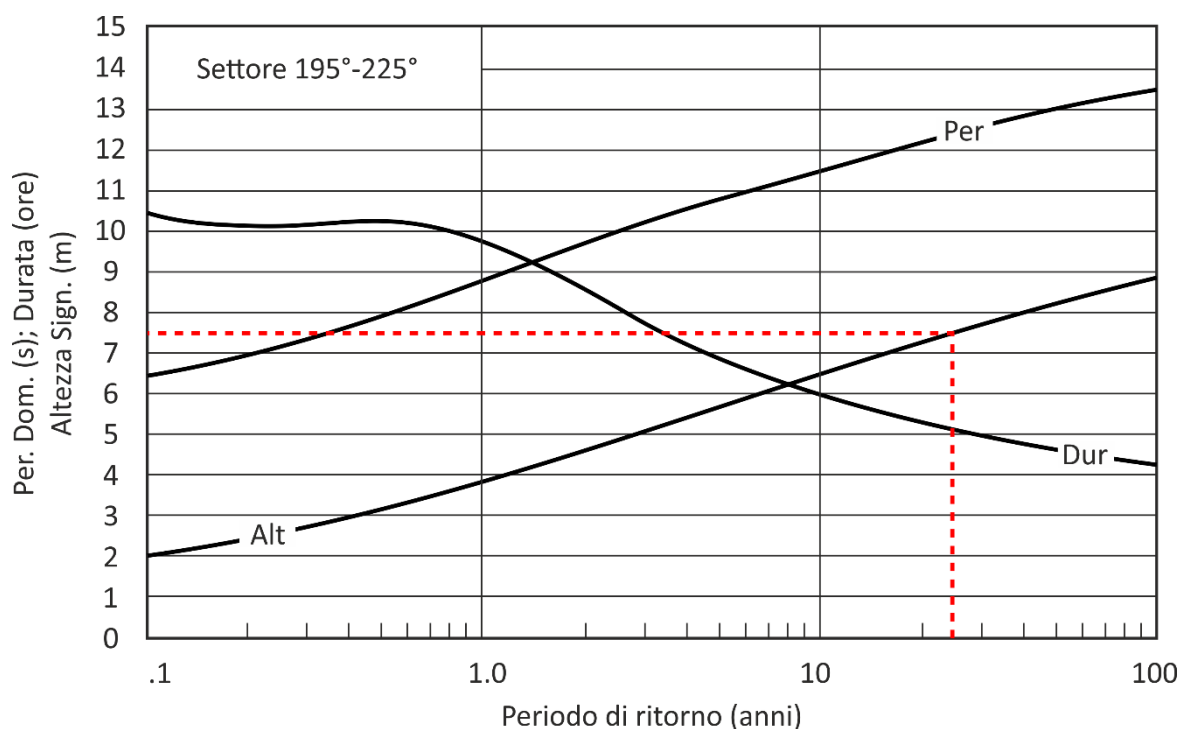


Figura 7. Altezza e periodo dell'onda al variare del tempo di ritorno, per il paraggio di interesse (da Boccotti, 1986).

Anche le elaborazioni statistiche dei dati registrati dalla boa ondometrica della Rete Ondometrica Nazionale presso La Spezia, (Figura 8), concordano con le analisi eseguite. La Tabella 6 riporta le altezze d'onda registrate ed estrapolate a 10 e 50 anni. Per il settore di interesse, La Spezia 195-260 °N, le registrazioni dei dati continui riportano $H = 7,10$ m (registrata) e $H = 7.80$ m (con $Tr = 50$ anni).

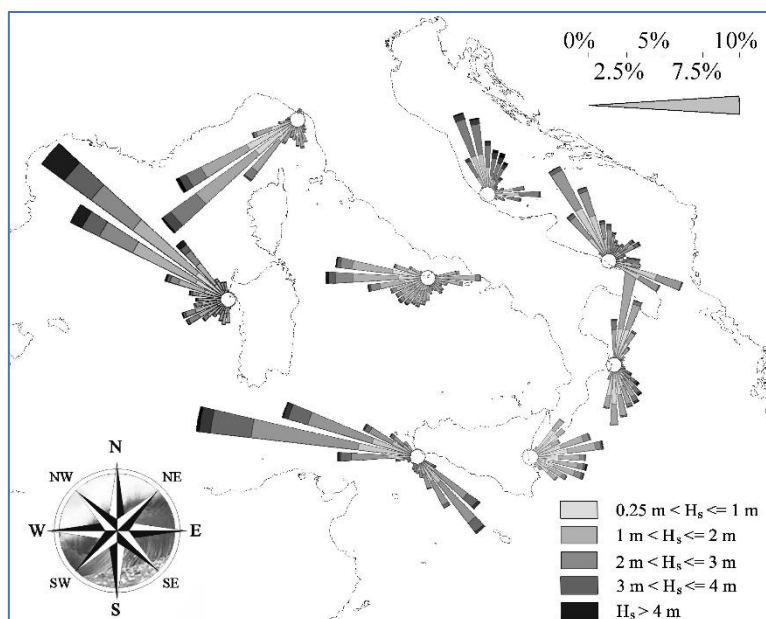


Figura 8. Regimi di moto ondoso per le 8 stazioni di misura originali RON (da Piscopia et al., 2003)

Tabella 6. Confronto tra i risultati delle analisi degli eventi estremi effettuate sui dati triorari e su quelli continui della RON-SIMN (legenda: H_{max} =altezza significativa massima osservata; H_{10} = altezza significativa con tempo di ritorno decennale; H_{50} = altezza significativa con tempo di ritorno cinquantennale). (da Piscopia et al., 2003)

Stazione di misura	Dati Triorari			Dati Continui			Differenze		
	H_{max}	H_{10}	H_{50}	H_{max}	H_{10}	H_{50}	H_{max}	H_{10}	H_{50}
La Spezia (135-195)	5.8	4.4	6.5	5.8	4.4	6.5	0.0	0.0	0.0
La Spezia (195-260)	6.6	6.2	7.1	7.1	6.6	7.8	0.5	0.4	0.7

Si osserva, per altro, che le simulazioni effettuate in sede di progettazione della nuova diga foranea del Porto di Genova tramite il modello SWAN hanno fornito per le direzioni di interesse i parametri delle altezze d'onda al largo, con tempo di ritorno pari a 100 anni, riassunti nella tabella che segue.

Tabella 7. Risultati delle simulazioni effettuate in sede di progettazione della nuova diga foranea

Settore 180 – 240 °N						
al largo				sottocosta nel punto P1 (-75 m s.l.m.)		
TR	Hs	Tp	Dir	Hs	Tp	Dir
[anni]	[m]	[s]	[°N]	[m]	[s]	[°N]
	8.0	11.3	180	7.5	12.0	174
100	8.0	11.3	210	7.2	12.0	201
	8.0	11.3	240	5.8	10.9	215

Tali valori, pertanto, concordano con le risultanze del presente studio.

03. ANALISI DI PROPAGAZIONE E PENETRAZIONE DELLE ONDE

03.1 Il modello numerico

03.1.1 La trasformazione delle onde

Le onde di mare, propagandosi dal largo sotto costa, sono soggette a rifrazione e *shoaling*, con variazione di direzione, lunghezza e altezza. In presenza di frontiere rappresentate da dighe, pennelli, opere antropiche o strutture naturali che delimitano bacini, sono soggette anche a diffrazione e riflessione. In letteratura sono riportati numerosi modelli di trasformazione delle onde. Nel presente Studio si è fatto uso del modulo ARTEMIS, implementato nella suite di calcolo open-source TELEMAT (AA.VV., 2014). Nel modello adottato, ogni attacco ondoso è rappresentato spettralmente. Si è assunta una distribuzione in frequenza al largo di tipo JONSWAP (Hasselmann *et al.* 1973).

Il dominio di calcolo del presente studio è schematizzato in Figura 9.



Figura 9. Genova Pegli-Castelluccio: inquadramento dell'area di calcolo del modello numerico.

03.1.2 Batimetria e riflettenza delle frontiere

Sulla base dei dati batimetrici disponibili è stata predisposta una *mesh* di calcolo che ricostruisce una zona con estensione lungo costa pari a 20 km, e che si estende verso il largo per almeno 6 km fino a profondità superiori a 200 m. La *mesh* di calcolo, rappresentata in Figura 10, è stata costruita utilizzando l'approccio a maglia flessibile: la risoluzione spaziale al largo (lunghezza media dei lati dei triangoli) è di circa 100 m; sotto costa la risoluzione è maggiore, fino ad arrivare a elementi con lato pari a 5 m in prossimità delle strutture in progetto.

Le analisi tengono conto degli effetti di rifrazione, di diffrazione attraverso le imboccature portuali di ponente e di levante e di riflessione delle onde lungo la linea di costa rappresentata dalle strutture portuali e dalle spiagge e scogliere naturali. La scelta della tipologia strutturale della nuova banchina è stata dettata dalla necessità di limitare al massimo l'agitazione interne al fine di assicurare la massima fruibilità del nuovo porticciolo. Pertanto si è scelta la soluzione a giorno con scogliera sottostante all'impalcato appoggiato su piloni isolati.

La riflettenza delle frontiere è stata desunta da dati di letteratura. In particolare, le pareti verticali hanno riflettenza $R = 0.99$, le gettate a scogliera $R = 0.40$ (SPM, 1984), le spiagge $R = 0.30$ (Goda, 1995), le banchine verticali assorbenti $R = 0.70$.

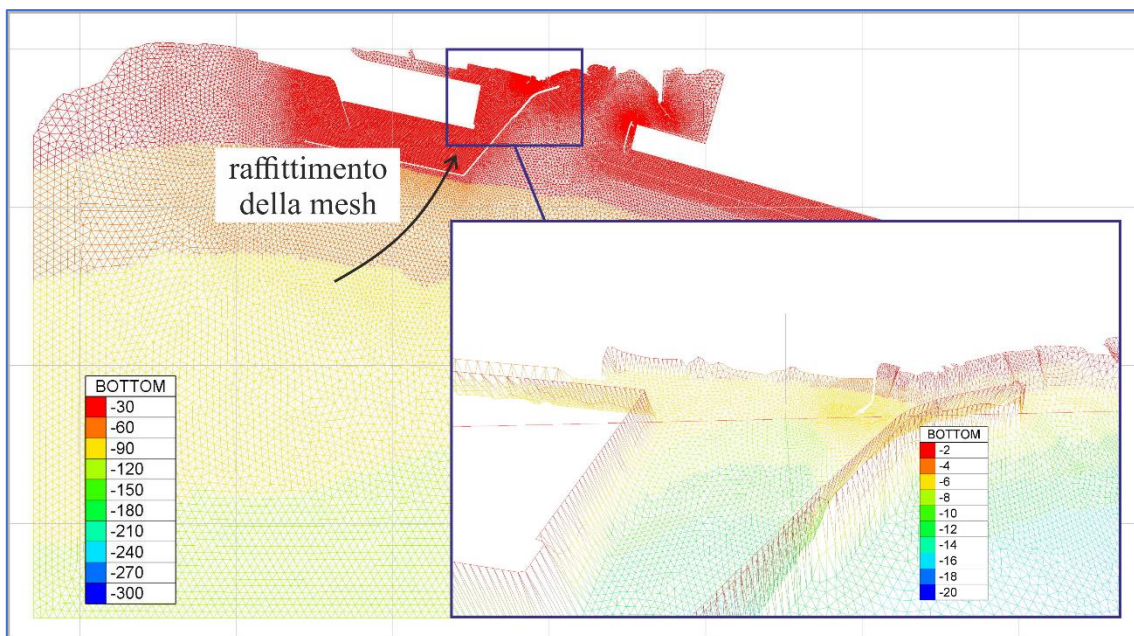


Figura 10. Mesh di calcolo (progetto)

03.1.3 L'attacco onduoso di progetto

Allo scopo di verificare l'effetto delle nuove opere in progetto, sono stati analizzati due differenti scenari:

1. Mezzogiorno: onda corrispondente a una probabilità di superamento $E = 30\%$ per una vita utile dell'opera $L = 50$ anni, con altezza d'onda significativa $H_s = 6.49$ m e periodo $T = 10.60$ s, proveniente da 180° N, discretizzata in frequenza con 15 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.
2. Scirocco: onda corrispondente a una probabilità di superamento $E = 30\%$ per una vita utile dell'opera $L = 50$ anni, con altezza d'onda significativa $H_s = 7.88$ m e periodo $T = 11.71$ s, proveniente da 135° N, discretizzata in frequenza con 15 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

03.2 Risultati dell'analisi di propagazione delle onde

In Tabella 8 sono riportate le principali caratteristiche delle simulazioni eseguite con geometria relativa allo stato di fatto.

Tabella 8. Parametri delle simulazioni. H_s è l'altezza d'onda significativa, DD e T_p sono rispettivamente la direzione e il periodo di picco dell'onda. A si riferisce allo stato attuale, mentre P allo stato di progetto.

Simulazione	Hs	DD	Tp	Geometria
	(m)	(°N)	(s)	-

Sim1	6.49	180	10.60	A
Sim2	6.49	180	10.60	P
Sim3	7.88	135	11.71	A
Sim4	7.88	135	11.71	P

I risultati sono riportati sia in forma di curve di equi-agitazione, sia come confronto tra le altezze d'onda lungo la coordinata definita in Figura 11 per le simulazioni di maggiore interesse.

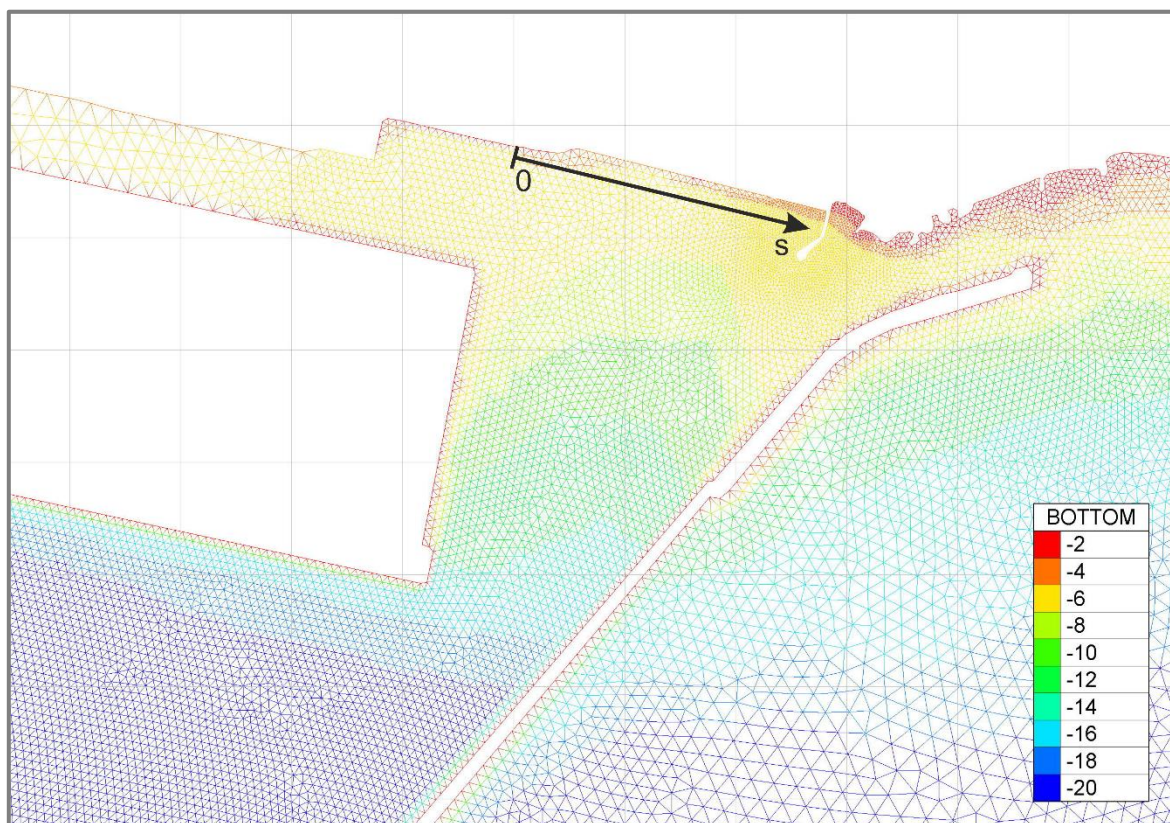


Figura 11. Batimetria e sistema di coordinate scelto per il confronto dei risultati

Le Figure 10 e 11 riportano i risultati relativi alle simulazioni con onde da 180° N, generate da vento che spira da sud, anche detto vento di Mezzogiorno, sia per lo stato attuale A, sia per lo stato di progetto P. Analogamente, le Figure 12 e 13 riportano i risultati relativi alle simulazioni con onde da 135° N, generate da vento che spira da sud-ovest, di Scirocco, per le differenti geometrie A e P.

Con specifico riferimento all'area di mare prossima agli interventi in studio, per entrambi gli attacchi ondosi e per le due configurazioni di fatto e di progetto si registrano differenze poco rilevanti nella distribuzione spaziale delle altezze d'onda, dovute principalmente alle modifiche della linea di costa. In nessun caso si registra un particolare aumento dei valori massimi di altezza d'onda.

Tale evidenza è riscontrabile anche in Figura 16 e in Figura 17, dove è riportato il confronto tra le altezze d'onda lungo la coordinata visibile in Figura 9. Assunto un livello di agitazione ondosa accettabile pari a 30 cm, si possono osservare

altezze d'onda leggermente differenti tra le simulazioni in funzione dell'ascissa considerata, ma sempre al di sotto della soglia prescelta.

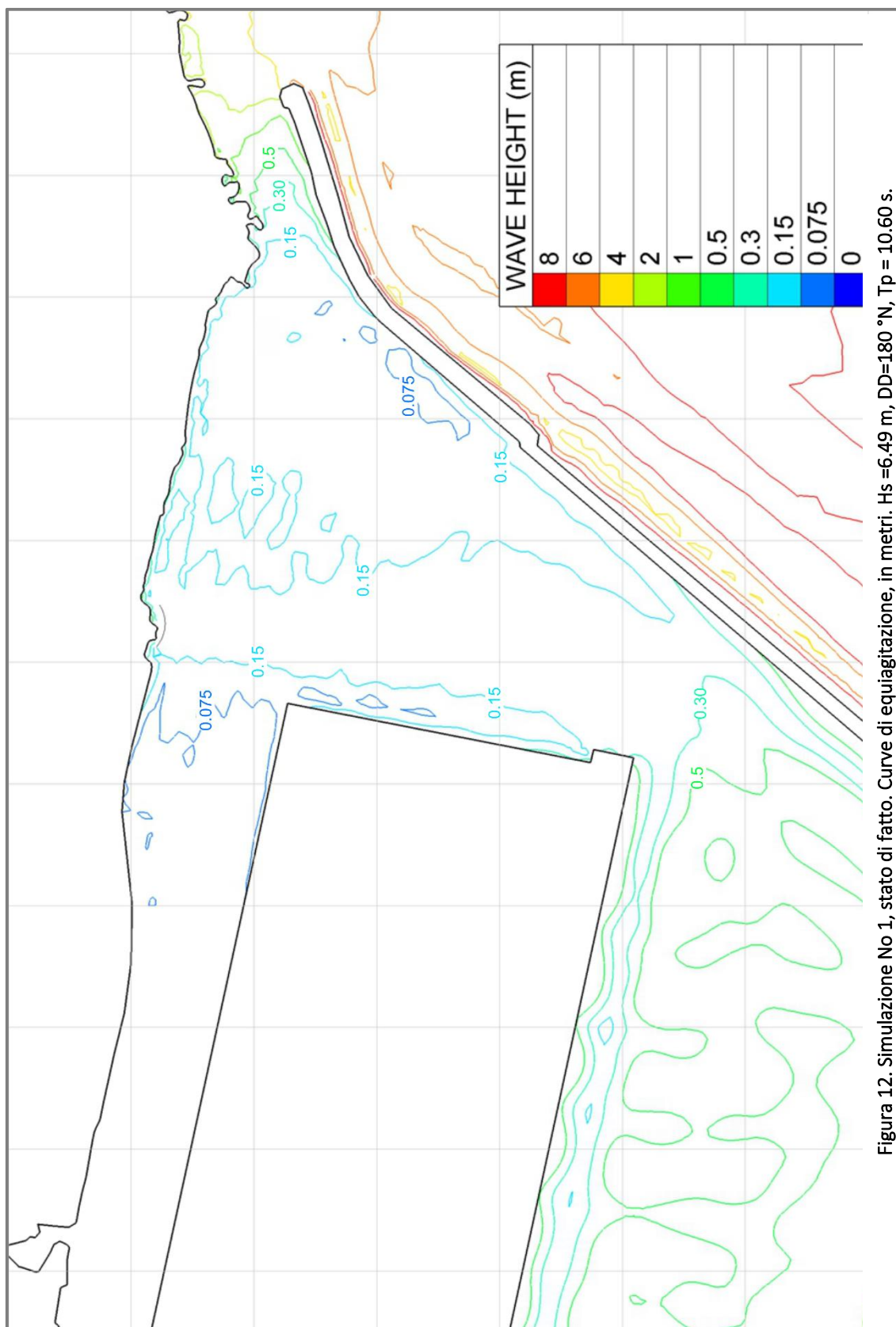


Figura 12. Simulazione No 1, stato di fatto. Curve di equiegitazione, in metri. Hs =6.49 m, DD=180 °N, Tp = 10.60 s.

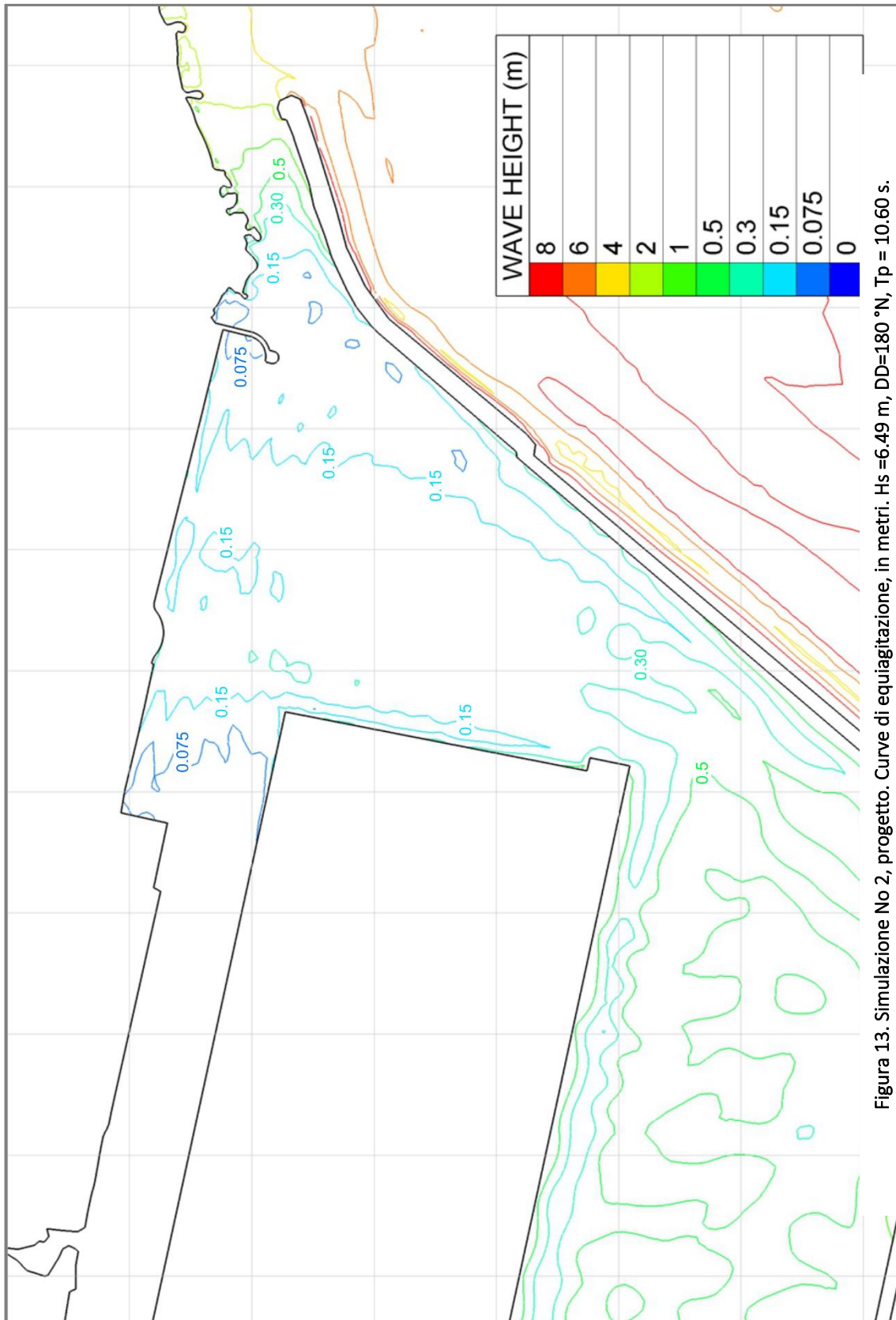


Figura 13. Simulazione No 2, progetto. Curve di equiagitazione, in metri. $H_s = 6.49$ m, $DD = 180^\circ$ N, $T_p = 10.60$ s.

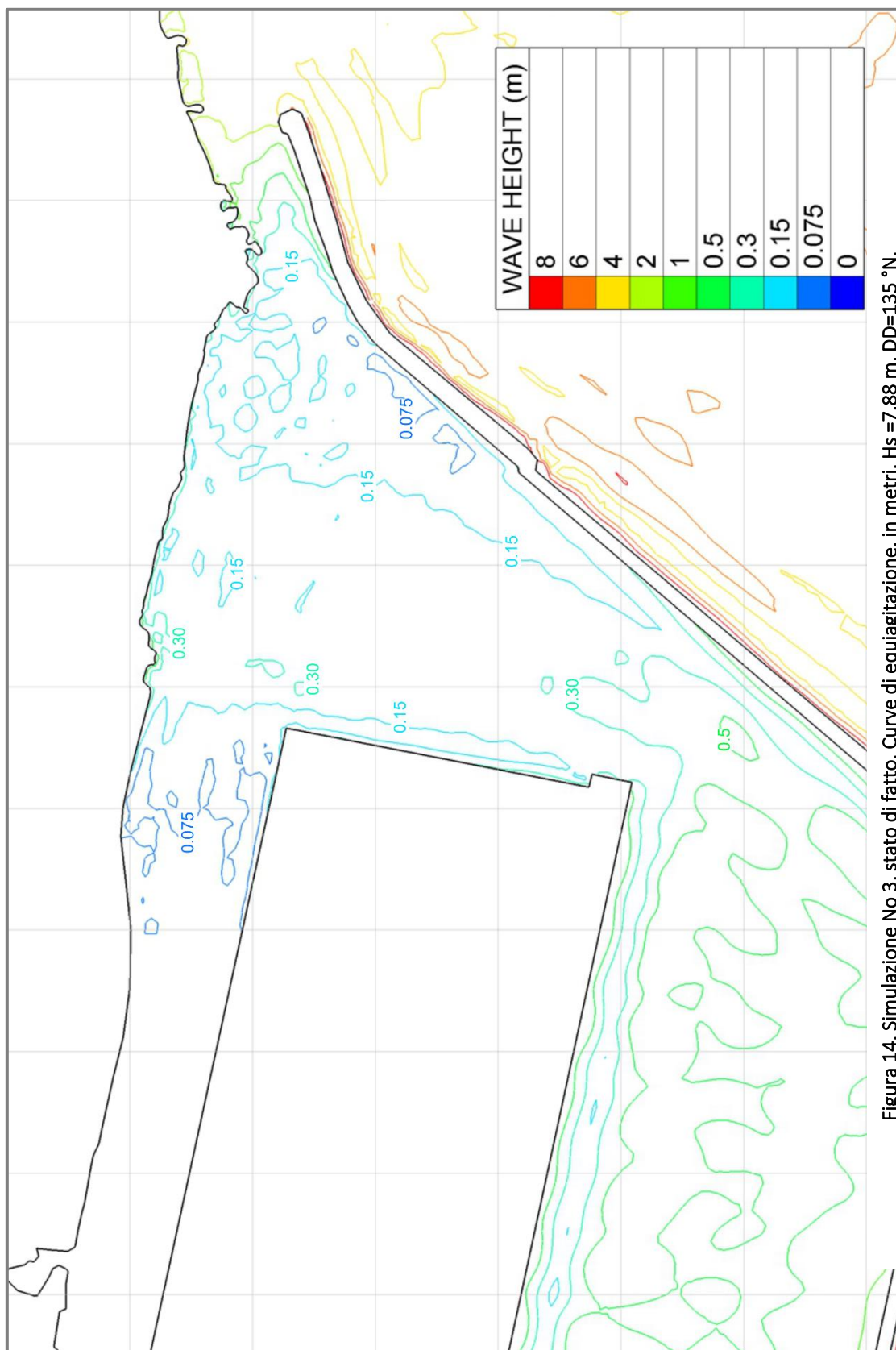


Figura 14. Simulazione No 3, stato di fatto. Curve di equagitazione, in metri. $H_s = 7.88$ m, $DD=135^\circ$ N, $T_p = 11.71$ s.

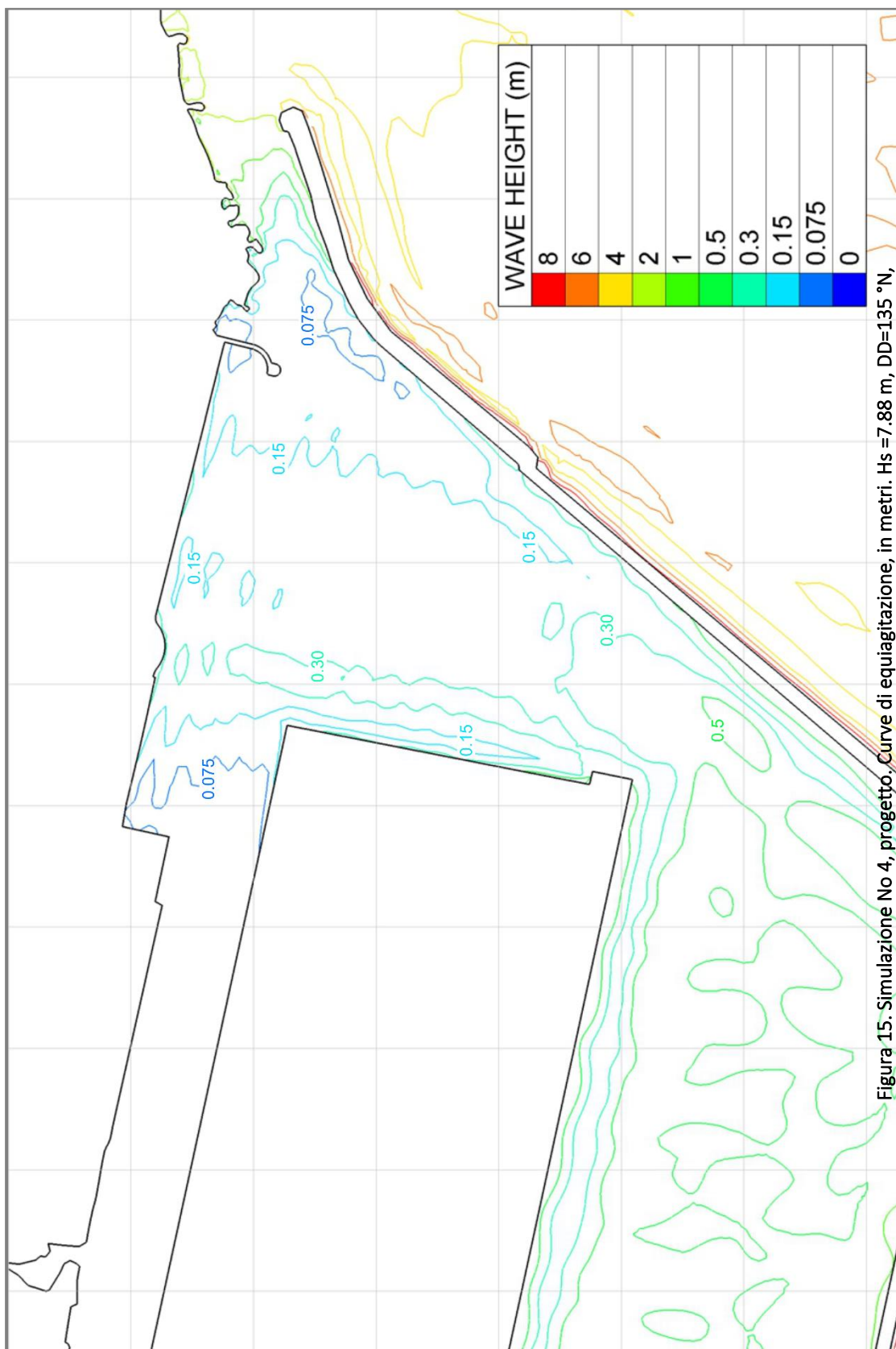
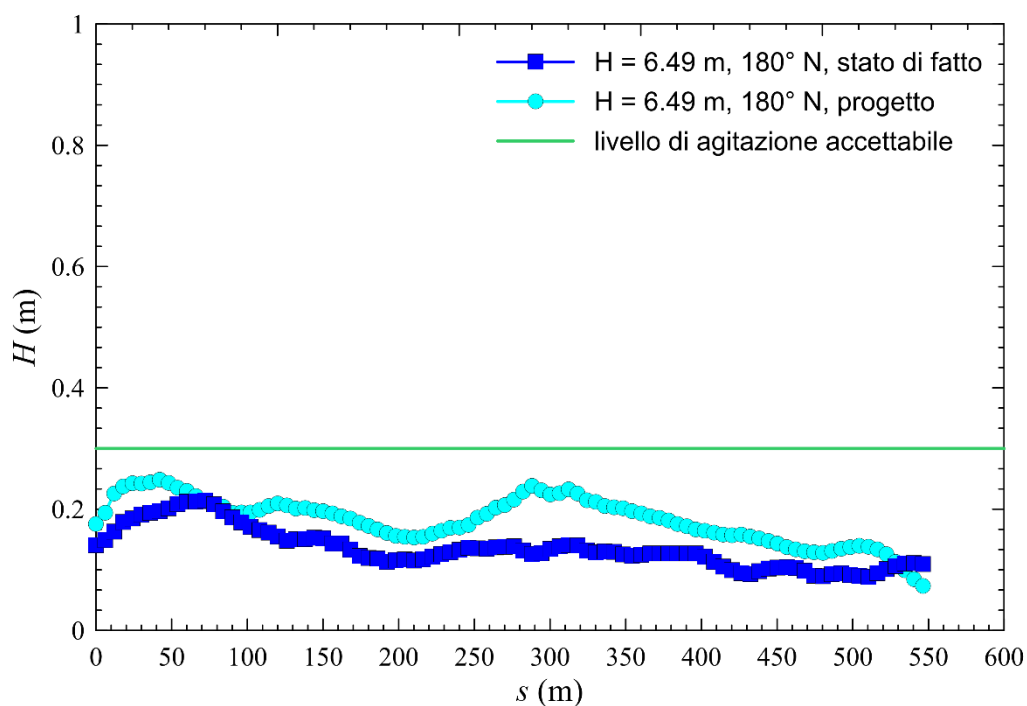
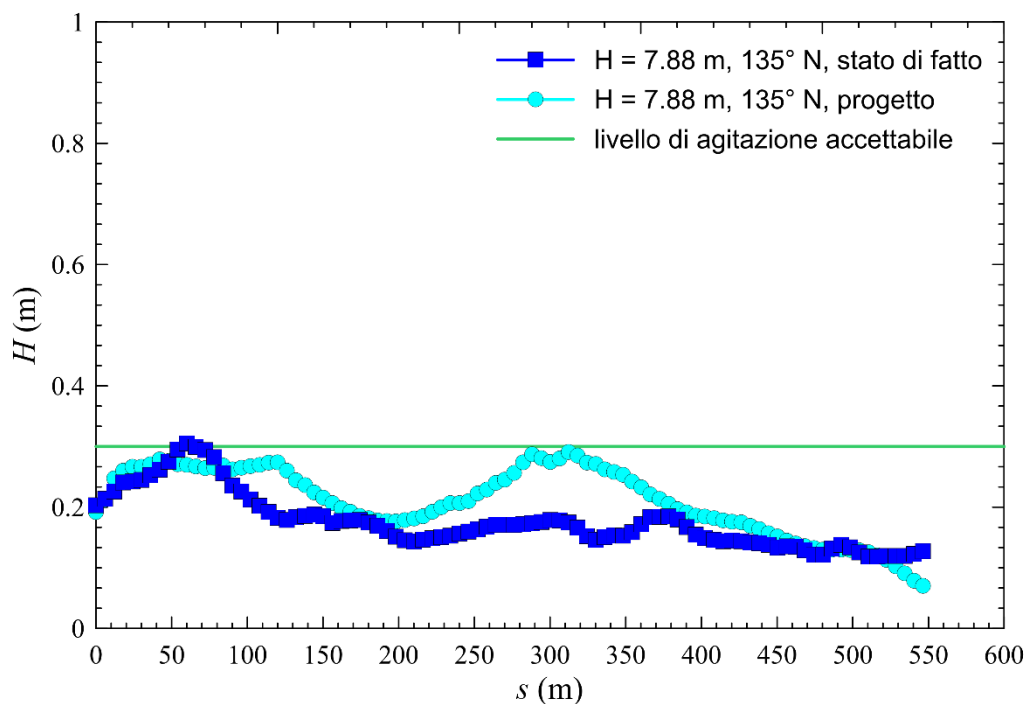


Figura 15. Simulazione No 4, progetto, Curve di equiagitazione, in metri. Hs =7.88 m, DD=135 °N, Tp = 11.71 s.

Figura 16. Simulazioni 1 e 2. Confronto tra le altezze d'onda. $H_s = 6.49$ m, $DD = 180^\circ$ N, $T_p = 10.60$ s.Figura 17. Simulazioni 3 e 4. Confronto tra le altezze d'onda. $H_s = 7.88$ m, $DD = 135^\circ$ N, $T_p = 11.71$ s.

04. GENERAZIONE DELLE ONDE DI VENTO ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE

Nel presente capitolo viene valutata l'agitazione ondosa generata all'interno del bacino portuale per effetto dei venti spiranti dalle direzioni che interessano i massimi fetch. Si osserva, infatti, che il tratto di costa interessato dall'intervento a progetto è esposto ad una traversia secondaria con fetch limitato dalla diga foranea del porto di Prà, con possibilità di formazione, in caso di vento forte dalle direzioni meridionali, di onde di vento nel tratto di mare interno alla diga stessa.

Nelle due figure che seguono sono riportati i due fetch principali corrispondenti alle direzioni di provenienza del vento sud e sud-est ed i relativi parametri per la determinazione del fetch medio in base al quale viene effettuata la previsione dello stato del mare, secondo il metodo di previsione di Swerdrup-Munch-Bretschneider che si basa sul parametro "Adjusted wind speed"

$$U_A = 0.71 U^{1.23}$$

dove U è la velocità del vento misurata.

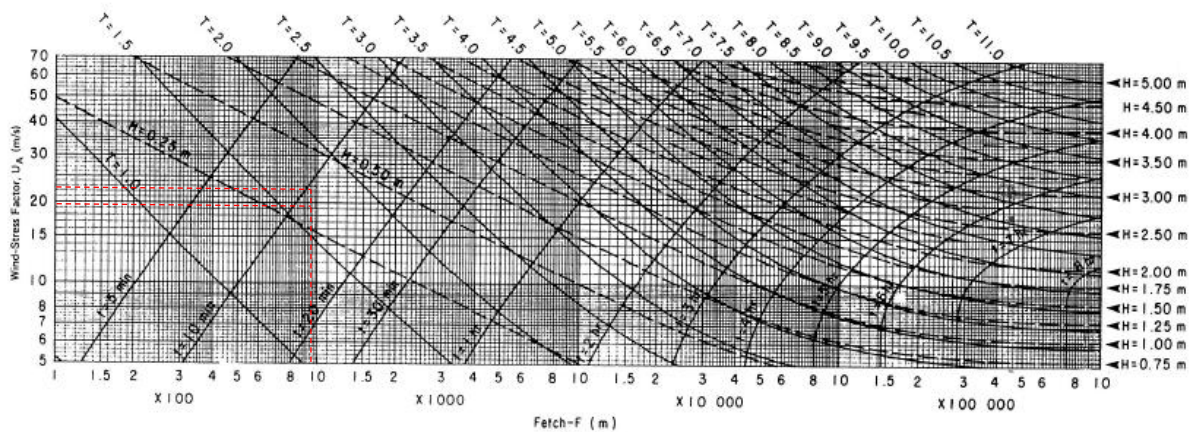


Figura 18 Curve di previsione su profondità limitata (15 m)

Le registrazioni anemometriche disponibili presso la stazione della Lanterna di Genova effettuate dal 1975 al 1980 forniscono per le direzioni di interesse le due seguenti condizioni più severe:

U = 28,5 kn D = 33 ore da SE
 U = 32 kn D = 8 ore da SO

Il fetch medio viene determinato in base alla seguente espressione suggerita dallo Shore Protection Manual e con riferimento alle figure sotto riportate risulta, in entrambi i casi:

$$F_{\text{eff.}} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} = 960 \text{ m}$$

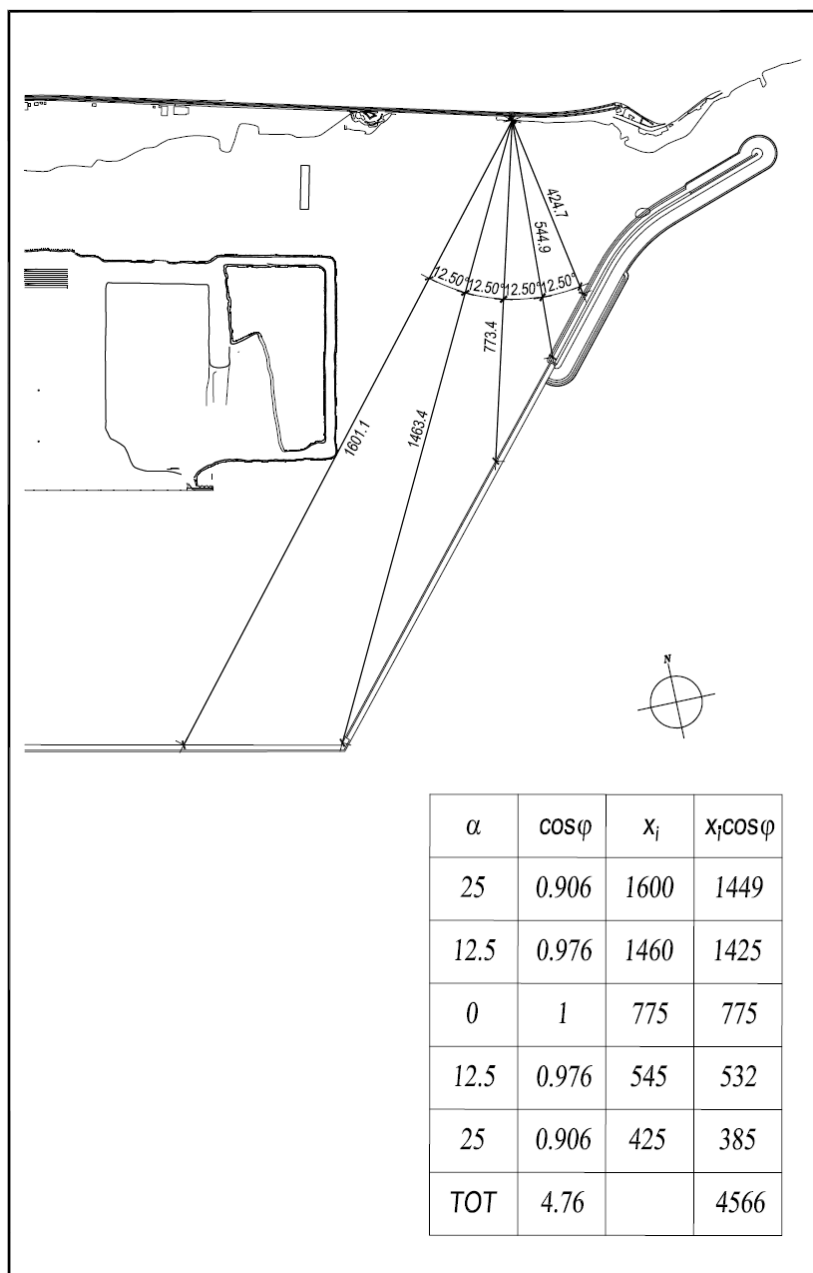


Figura 19. Schema per la determinazione del fetch efficace per le direzioni di Libeccio

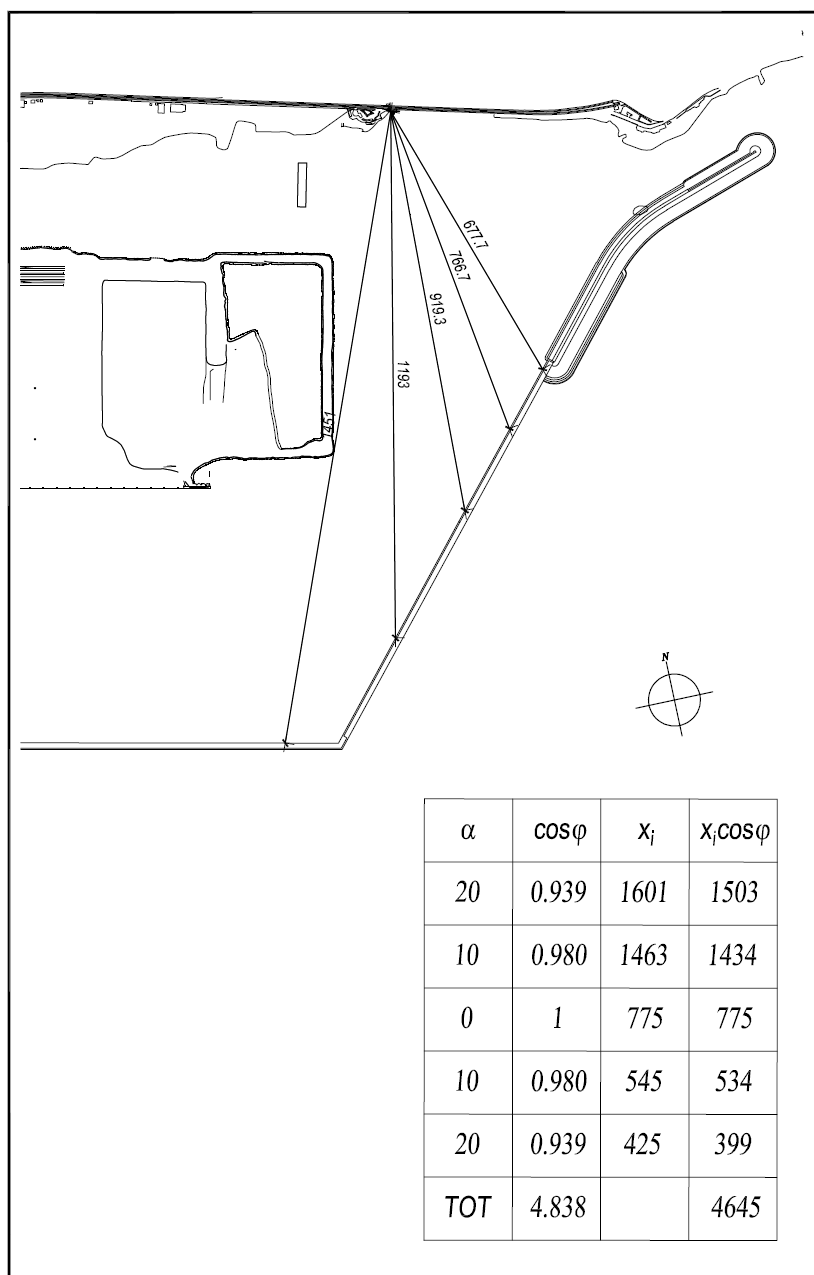


Figura 20. Schema per la determinazione del fetch efficace per le direzioni di Mezzogiorno

Ai fini della previsione si tiene conto della profondità del fondale, variabile da circa 30 m in corrispondenza della diga foranea a 0 m in corrispondenza della linea di costa, assumendo, in via semplificata, un valore medio di 15 m.

Sulla base dei dati riportati sopra si ottiene che la massima agitazione ondosa dovuta all’azione del vento all’interno del bacino portuale risulta caratterizzata da altezza e periodo:

$H_s = 0,37 \text{ m}$

$T_s = 1,7 \text{ s}$

CONSIDERAZIONI SULLA CONCOMITANZA DEGLI EFFETTI.....

05. LIVELLI DI MAREA

Per quanto riguarda gli effetti di marea astronomica, le registrazioni dell'IIM nel paraggio di Genova forniscono livelli di massima marea pari a +0.32 m riferiti al Datum altimetrico nazionale corrispondente al livello medio delle basse maree sigiziali, posto convenzionalmente a quota -0.15 m s.l.m.m (rif. Stazione mareografica di Genova). Pertanto rispetto al livello medio mare risulta un'altezza massima di circa +0.17 m s.l.m.m.

Per quanto riguarda, invece, la marea barica la massima escursione può raggiungere i +0.50 m rispetto al livello medio mare. Tale fenomeno si può verificare in occasione delle mareggiate più severe e perciò i suoi effetti si sommano a quelli della mareggiata stessa, generando sopraelevazioni del pelo libero significative.

Pertanto, si stima che occasionalmente, in corrispondenza del paraggio in oggetto, si può avere una massima sopraelevazione del pelo libero di circa 80 cm, come peraltro si può confermare in base all'esperienza personale degli scriventi.

Bibliografia

AA.VV. (2004), Open Telemac-Mascaret solver, <http://www.opentelemac.org>.

U.S. Army Corps of Engineers (1984), Shore Protection Manual (SPM), Vicksburg, Mississippi.

Boccotti, P., 1986. Previsione delle onde per i mari italiani, XX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Padova.

Borgman L. E. (1963), Risk Criteria, J. of The Waterways and Harbors Division, ASCE, Vol. 89, No. WW3, Proc. Paper 3607.

Goda Y. (1995), Random seas and design of maritime structures, University of Tokyo Press, Tokyo, Japan.

Hasselmann K. et al. (1973), Measurement of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), *Erganzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift, Reihe A*, n.12.

Piscopio R., Inghilesi R., Corsini S., Franco L. L'atlante delle onde nei mari italiani, 2003 Atti Giornate Italiane di Ingegneria Costiera VII ediz., AIPCN, At: Trieste Volume: pp.93-104.

Appendice A

TELEMAC-MASCARET

1 INTRODUZIONE

TELEMAC-MASCARET è una suite integrata di risolutori (*open source*) per applicazioni nel campo dell'idraulica a superficie libera (sia fluviale sia marittima). Lo sviluppo dei codici di calcolo che compongono la suite è gestito da un consorzio di organizzazioni: Artelia (ex Sogreah, Francia), Bundesanstalt für Wasserbau (BAW, Germania), Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales (CETMEF, Francia), Daresbury Lab. (UK), Electricité de France (EDF, Francia) e HR Wallingford (UK).

Il largo impiego per studi in tutto il mondo ha reso TELEMAC-MASCARET uno dei principali standard nel settore. TELEMAC-MASCARET è utilizzato per attività di dimensionamento e studi di impatto ambientale, dove la sicurezza è il fattore predominante. Per questo motivo, l'affidabilità e la validità sono aspetti caratteristici e comprovati del software.

I solutori utilizzano algoritmi basati sul metodo degli elementi finiti. Il dominio di calcolo è discretizzato in forma di una griglia non strutturata di elementi triangolari, che può essere raffinata nelle zone di particolare interesse.

Il sistema TELEMAC-MASCARET è composto dai seguenti moduli per il trattamento dei fenomeni idrodinamici:

- ARTEMIS: agitazione ondosa nei porti;
- MASCARET: flussi monodimensionali;
- TELEMAC-2D: flussi bidimensionali - equazioni di Saint-Venant (compreso il trasporto di un tracciante diluito);
- TELEMAC-3D: flussi tridimensionali - equazioni di Navier-Stokes (compreso il trasporto di traccianti attivi o passivi);
- TOMAWAC: propagazione di onde nella zona costiera.

e dei seguenti moduli per i fenomeni di trasporto e/o dispersione:

- SISYPHE: trasporto solido 2D;
- SEDI-3D: trasporto di sedimenti in sospensione 3D;
- DREDGESIM: simulazione di operazioni di dragaggio.

2 ARTEMIS (VERSIONE 6.2)

ARTEMIS (Agitation and Refraction with TElemac on a Mild Slope) è un software scientifico dedicato alla simulazione di propagazione delle onde verso la costa o all'interno di porti, su un dominio geografico di pochi km quadrati (il dominio può essere più esteso per la simulazione di onde lunghe o di fenomeni di risonanza). Il solutore restituisce le principali caratteristiche delle onde in corrispondenza degli elementi che costituiscono la *mesh* di calcolo: altezza significativa dell'onda, fase e direzione dell'onda, velocità orbitali, indice di frangimento, ecc. ARTEMIS risolve l'equazione di Berkhoff (o *Mild Slope Equation*) attraverso la formulazione agli elementi finiti. Questa equazione è ottenuta a partire dalle equazioni di Navier-Stokes sulla base di un insieme di ipotesi semplificative (basso valore della ripidezza dell'onda, basso valore della pendenza del fondo). Il set completo di equazioni è stato integrato dagli sviluppatori in modo da prendere in considerazione i principali processi dissipativi. Assegnando le opportune condizioni al contorno, ARTEMIS è in grado di modellare i seguenti processi:

- rifrazione al fondo;
- diffrazione in prossimità di ostacoli;
- frangimento delle onde indotto dalla profondità
- attrito al fondo;
- riflessione totale o parziale contro pareti, frangiflutti, dighe, ecc.

Tuttavia, l'attuale versione del software non è in grado di prendere in considerazione i seguenti fenomeni:

- rifrazione dovuta alle correnti;
- celle asciutte all'interno del dominio (tidal flats).

I campi di applicazione del software sono molteplici. In particolare, esso offre la possibilità di studiare l'agitazione ondosa all'interno di porti o di piccole baie, di valutare l'impatto delle strutture portuali (moli, dighe, ecc.), di stimare l'agitazione ondosa a targo di una breccia, di un'isola o di una barriera.

Il programma risponde al protocollo di qualità di Electricité de France (EDF-DER's Quality Assurance) per programmi scientifici e tecnici. Questo stabilisce le regole per lo sviluppo e la verifica del prodotto in tutte le fasi. In particolare, il software è accompagnato da un documento di validazione che descrive una serie di casi di test. Questo documento può essere utilizzato per determinare le prestazioni e le limitazioni del software e definire il suo campo di applicazione. I casi test vengono utilizzati per le attività di sviluppo e sono controllati ogni volta che viene rilasciata una nuova versione.