



COMUNE DI ROCCELLA JONICA



RIQUALIFICAZIONE E ADEGUAMENTO DEL PORTO DELLE GRAZIE DI ROCCELLA JONICA

Progetto Definitivo

C – OPERE MARITTIME

C.01

STUDIO SU MODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO - STUDIO MORFODINAMICO

(a cura del dipartimento DICEAM)

Data:

05-08-2019

Scala:

PROGETTAZIONE:



Certified by Bureau Veritas Italia S.p.A.

ISO 9001:2015 ISO 14001:2015
Sistema di Gestione Qualità Sistema di Gestione Ambientale

ASSOCIATO
oice Associazione delle organizzazioni di Ingegneria
di architettura e di consulenza tecnico-economica

PROJECT MANAGER

ing. Antonino Sutera

PROGETTISTA

ing. Antonino Sutera
ing. Giuseppe Bernardo

GRUPPO DI LAVORO

ing. Giuseppe Cutrupi
ing. Roberta Chiara De Clario
ing. Simone Fiumara
ing. Tindara Cristina Grasso
ing. Fabio Vinci
arch. Elio Carrozza
arch. Nicola Cosenza

REVISIONI			
01	05-08-2019	Aggiornamento studio idraulico marittimo	
Rev. n°	Data	Motivazione	

R.U.P.

Visti/Approvazioni

Ing. Lorenzo Surace

Codice elaborato:



Comune di
Roccella Jonica



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
'MEDITERRANEA'
DI REGGIO CALABRIA

NATURAL OCEAN ENGINEERING LABORATORY **NOEL**

DIP. DICEAM

STUDIO METEOMARINO PER IL PORTO DI ROCCELLA JONICA

MAGGIO 2019

INDICE

1.	PREMESSA.....	3
2.	LOCALIZZAZIONE DEL SITO	3
3.	DATI DI INPUT	5
3.1	Dati batimetrici e topografici	5
3.2	Dati di riferimento.....	7
3.2.1	<i>Dati UKMO</i>	<i>7</i>
3.2.2	<i>Dati MWM</i>	<i>8</i>
4.	CLIMA ONDOSO A LARGO	8
4.1	Energia associata al moto ondoso.....	8
5.	CALCOLO DEGLI EVENTI ESTREMI SU ALTI FONDALI.....	12
5.1	Periodi di ritorno per l'onda di progetto delle opere.....	12
5.2	La probabilità di superamento omnidirezionale dei livelli di altezza significativa.....	13
5.3	La probabilità di superamento direzionale dei livelli di altezza significativa	16
5.4	Gli eventi estremi associati a tempi di ritorno assegnati	28
5.5	Il periodo di ritorno $R(H_s > h)$ omnidirezionale	31
5.6	Il periodo di ritorno $R(H_s > h, \Delta\theta)$ direzionale	33

1. PREMESSA

Il presente elaborato fornisce la caratterizzazione del clima al largo in corrispondenza del Porto di Roccella Jonica, fondamentale per la progettazione delle opere portuali.

I dati sono di impiego diretto per la propagazione sotto costa, che sarà eseguita nello Studio Morfodinamico. La propagazione sarà condotta applicando il modulo di calcolo SW (Spectral waves) del modello numerico MIKE 21 del DHI.

Per lo Studio si è fatto riferimento a due famiglie di dati:

1. i dati ricostruiti con lo European Wave Model - Bracknell - relativi al punto [37.8°N-15.5°E], forniti dal Met-Office (UKMO), relativi al periodo di registrazione 1990-2001.
2. i dati ottenuti del database Mediterranean Wind Wave Model (MWM), relativi al grid point avente coordinate geografiche sono [38.29°N-16.45°E], tra il 1979 e il 2013.

2. LOCALIZZAZIONE DEL SITO

L'area oggetto di studio (Figure 2.1) ,localizzata nell'intorno del punto di coordinate [38.19°N-16.24°N], è situata nella parte meridionale della Calabria e si affaccia sul Mar Ionio. La costa è caratterizzata da spiagge sabbiose, che in alcuni tratti presentano basse dune retrostanti. La sabbia naturale presenta una granulometria variabile tra media e grossolana.

L'erosione a cui è soggetto in condizioni naturali il tratto di costa è dovuta alla diminuzione dell'apporto di sedimenti dai corsi d'acqua successiva alla realizzazione di arginature di questi ultimi.

A seguito poi della costruzione del Porto di Roccella Jonica (Figure 2.2 e 2.3), nel tratto di costa a Sud Ovest del Porto stesso, il fenomeno erosivo si è incrementato a causa dell'interruzione del trasporto litoraneo dovuta alla presenza dei moli del Porto. L'accumulo di sedimenti ha invece determinato a Nord Est dei moli portuali lo sviluppo di un'ampia spiaggia.

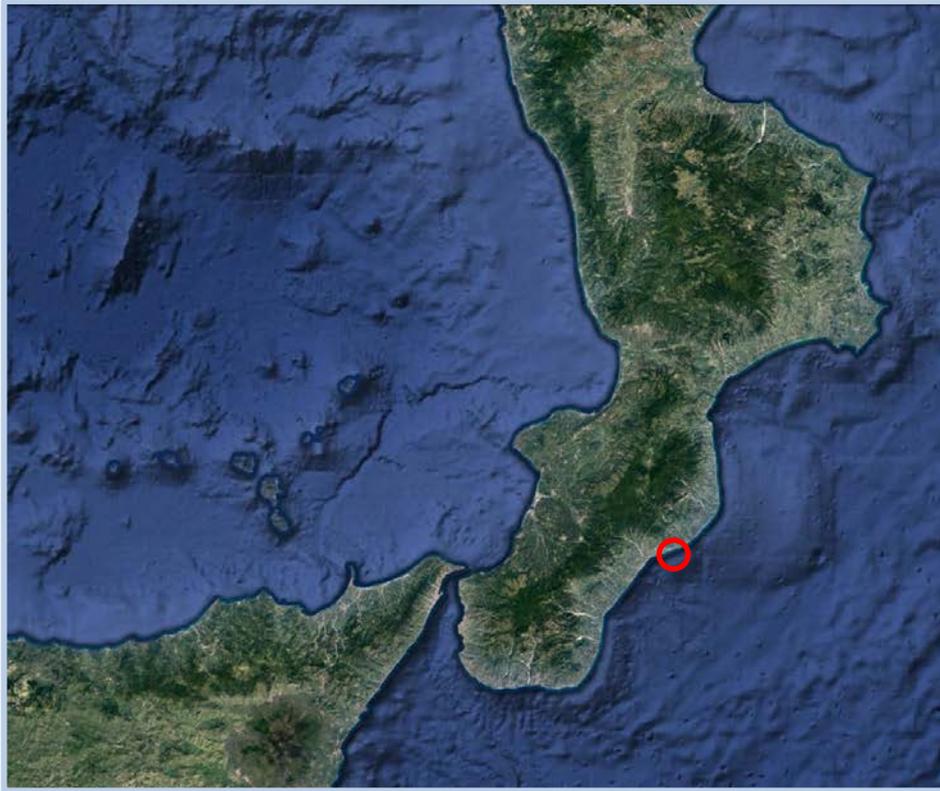


Fig. 2.1 Localizzazione dell'area oggetto di studio (Fonte: Google Earth)



Fig. 2.2 Il Porto di Roccella Jonica Jonica



Fig. 2.3 Vista ravvicinata del Porto di Roccella Jonica

3. DATI DI INPUT

3.1 Dati batimetrici e topografici

I dati batimetrici utilizzati per il presente studio fanno riferimento a tre fonti:

1. Rilievo batimetrico;
2. Rilievo topografico della spiaggia e della linea di riva;
3. Dati C-MAP

La batimetria è stata prevalentemente utilizzata per la costruzione del modello numerico per il calcolo delle trasformazioni del moto ondoso. In particolare sono stati considerati i dati del rilievo della linea di riva fino alla profondità dei 30 m, mentre per le maggiori profondità sono stati utilizzati i dati forniti mediante l'utilizzo del software C-MAP (Figura 3.1).

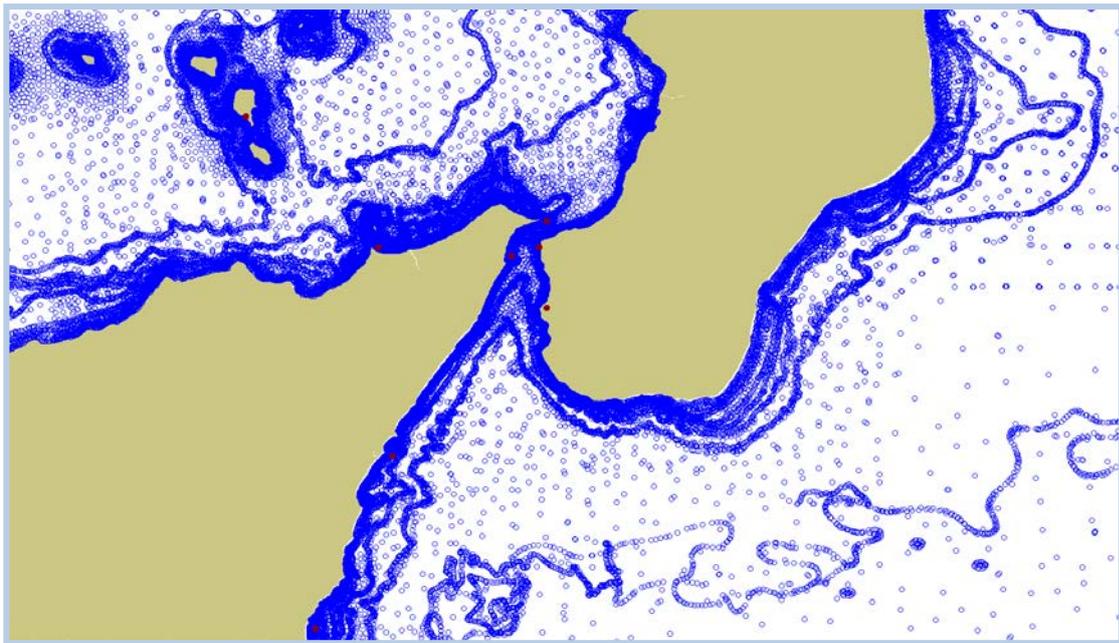
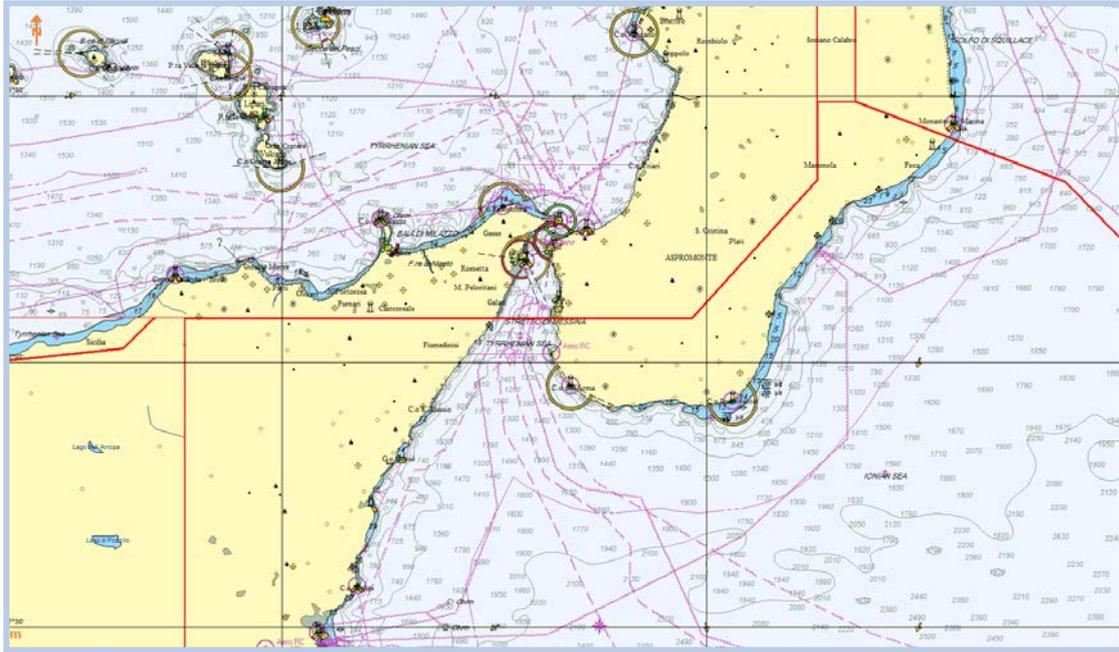


Fig. 3.1 Esportazione dati batimetrici mediante C-MAP

3.2 Dati di riferimento

Nel presente Studio Meteomarinario sono stati elaborati due famiglie di dati.

3.2.1 Dati UKMO

I dati sono stati ottenuti dalla ricostruzione dei dati di vento mediante lo European Wave Model (EWM) dal centro meteorologico inglese Met-Office (UKMO) di Bracknell.

Tali dati sono relativi al grid point avente coordinate geografiche sono [38.3°N 16.7°E].

I dati di moto ondoso UKMO sono il risultato di elaborazioni, effettuate dal Met-Office mediante il modello EWM, di dati di vento acquisiti con continuità rispettivamente dal 1990 al 2001. Il Met-Office fornisce le serie temporali indicando, ad intervalli di sei ore, altezza d'onda significativa e periodo medio (Rice) per assegnato settore di provenienza.

Lo stesso Istituto fornisce inoltre delle tabelle statistiche nelle quali sono riportate le frequenze di occorrenza dei livelli di altezza significativa e periodi medi per settore di provenienza. In particolare in esse sono riportati, per settori di ampiezza $\Delta\theta$, il numero di osservazioni per classi di altezza significativa di ampiezza pari a ΔH_s ed classi di periodo medio ΔT_m .

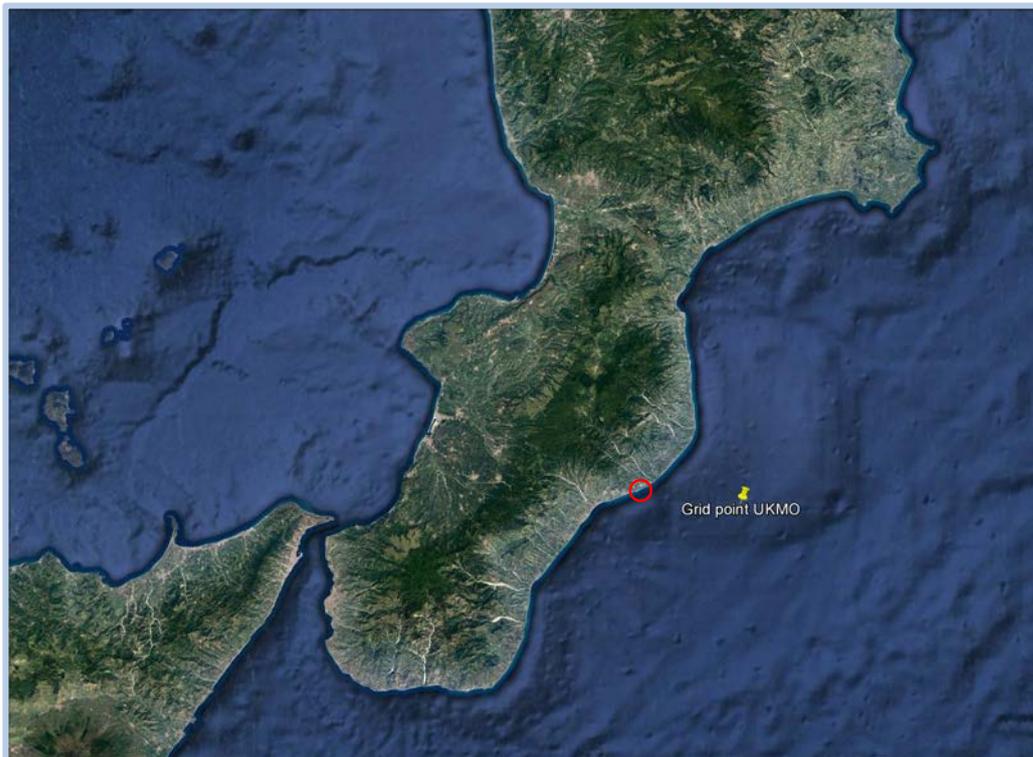


Fig. 3.2 Posizione del grid point UKMO [37.8°N-15.5°E] rispetto al paraggio di Roccella Jonica Ionica

3.2.2 Dati MWM

I dati ottenuti dal database Mediterranean Wind Wave Model (MWM) sono relativi al grid point avente coordinate geografiche sono [38.29°N 16.45°E]. Tale database è composto da dati orari del vento e delle onde su tutto il bacino del Mediterraneo, con una risoluzione di circa 10 km per il vento e una risoluzione variabile per le onde, da circa 10 km in mare aperto fino a circa 3 km in zone poco profonde, vicino alla costa e attorno alle isole. La copertura temporale di tali dati va dal 1979 al 2013.

4. CLIMA ONDOSO A LARGO

4.1 Energia associata al moto ondoso

L'energia associata al moto ondoso può essere calcolata, in prima approssimazione, tramite la seguente espressione:

$$\Phi = \frac{1}{8} \gamma H_s^2 \frac{c}{2}$$

dove H_s è l'altezza significativa, c la celerità dell'onda, γ il peso specifico dell'acqua marina.

La suddetta espressione, valida su alti fondali, può essere riscritta nella forma sintetica:

$$\Phi = 985.2 H_s^2 T_p$$

dove T_p è il periodo di picco dello spettro che è legato al periodo medio T_m di Rice dalla relazione: $T_p = T_m / 0.78$. Indicando con $f(\Delta\theta)$ la frequenza di accadimento per fissato settore direzionale di provenienza $\Delta\theta$, il flusso medio di energia associato al settore in esame può essere espresso nella forma seguente

$$\Phi(\Delta\theta) = 9.857 \tilde{H}_s^2 \tilde{T}_p f(\Delta\theta)$$

Si noti che, esprimendo H_s in metri e T_p in secondi, il flusso di energia Φ relativo al generico settore direzionale è espresso in N/s.

Il flusso di energia per i vari settori di provenienza, calcolato con i dati UKMO, è rappresentato nel diagramma polare di Fig. 4.1.

Tab. 4.1 Tabella della frequenza delle onde a largo in corrispondenza del paraggio in oggetto suddivisa in gradi di altezza di 0.5 m e settori di provenienza di 10°(da 0° a 170° N) relativa ai dati UKMO nel punto di coordinate [38.3 °N 16.7 °E]

Direzione	356	6	16	26	36	46	56	66	76	86	96	106	116	126	136	146	156	166	Frequenza
H _s [m]	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	165	175	[%]
0 0.5	1.4176	1.3435	1.1389	1.2130	2.7078	2.0612	1.1655	0.8986	0.7889	0.7770	0.4953	1.5600	0.8452	0.8541	0.6940	0.8245	0.8630	1.2338	20.8820
0.5 1	0.5665	0.4241	0.5042	0.5694	0.9817	1.3850	0.8186	0.6198	0.7414	0.8363	0.5961	0.6703	0.4389	0.6228	0.6228	0.6703	1.0262	1.1329	13.2274
1 1.5	0.2313	0.2195	0.3292	0.2877	0.3144	0.3796	0.3351	0.2788	0.2877	0.4093	0.3322	0.2373	0.2284	0.2491	0.3233	0.3470	0.4894	0.5665	5.8455
1.5 2	0.0682	0.0979	0.1246	0.1631	0.1809	0.1424	0.0890	0.1839	0.1928	0.2551	0.1690	0.1928	0.1513	0.2046	0.2491	0.2669	0.3144	0.2373	3.2831
2 2.5	0.0119	0.0148	0.0563	0.0652	0.0623	0.0386	0.0386	0.1127	0.1690	0.1750	0.1602	0.1275	0.0860	0.1335	0.1690	0.1275	0.1364	0.1097	1.7943
2.5 3	0.0119	0.0089	0.0326	0.0178	0.0208	0.0208	0.0208	0.0475	0.0504	0.0534	0.0771	0.1216	0.0830	0.0652	0.0949	0.1008	0.0949	0.0475	0.9698
3 3.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0089	0.0059	0.0030	0.0326	0.0178	0.0475	0.0356	0.0682	0.0682	0.0563	0.0386	0.0504	0.0563	0.0356	0.5249
3.5 4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.0059	0.0119	0.0178	0.0208	0.0326	0.0504	0.0356	0.0326	0.0178	0.0297	0.0297	0.0089	0.2966
4 4.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.0000	0.0267	0.0089	0.0386	0.0593	0.0504	0.0119	0.0030	0.0119	0.0089	0.0000	0.2224
4.5 5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.0030	0.0059	0.0208	0.0297	0.0089	0.0119	0.0059	0.0030	0.0000	0.0030	0.0949
5 5.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.0089	0.0148	0.0030	0.0119	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0445
5.5 6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.0000	0.0030	0.0000	0.0089	0.0059	0.0148	0.0030	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0386
6 6.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.0000	0.0000	0.0119	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0148
6.5 7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030
Totale [%]	2.307373	2.108666	2.185776	2.31627	4.276647	4.042351	2.485319	2.191708	2.29551	2.612848	1.97224	3.146687	2.001898	2.253989	2.21839967	2.431935465	3.019159	3.375052	47.2418

Tab. 4.2 Tabella della frequenza delle onde a largo in corrispondenza del paraggio in oggetto suddivisa in gradi di altezza di 0.5 m e settori di provenienza di 10°(da 180 a 350° N) relativa ai dati UKMO nel punto di coordinate [38.3 °N 16.7 °E]

Direzione		176	186	196	206	216	226	236	246	256	266	276	286	296	306	316	326	336	346	Frequenza [%]
H _s [m]		185	195	205	215	225	235	245	255	265	275	285	295	305	315	325	335	345	355	
0	0.5	1.8803	2.0642	2.4646	2.1561	1.3494	1.0321	1.0677	1.2249	1.1922	1.5244	1.6519	2.1620	2.4082	2.8501	2.3548	1.7765	1.7439	1.2871	32.1905
0.5	1	1.3909	1.6371	1.3880	0.8660	0.3529	0.3381	0.3974	0.4834	0.6169	0.7059	0.7088	0.9253	1.0647	0.9757	0.5338	0.4211	0.5012	0.5012	13.8086
1	1.5	0.6910	0.5309	0.5101	0.2966	0.2432	0.1690	0.2195	0.2817	0.3589	0.2936	0.2343	0.1898	0.1779	0.0949	0.0860	0.0949	0.1542	0.1898	4.8164
1.5	2	0.2343	0.2106	0.1542	0.0771	0.0682	0.1068	0.0771	0.0830	0.0890	0.0741	0.0652	0.0208	0.0178	0.0030	0.0059	0.0148	0.0000	0.0415	1.3435
2	2.5	0.1157	0.0919	0.0386	0.0386	0.0208	0.0445	0.0089	0.0178	0.0119	0.0119	0.0030	0.0059	0.0059	0.0030	0.0030	0.0000	0.0030	0.0030	0.4271
2.5	3	0.0475	0.0386	0.0237	0.0119	0.0000	0.0030	0.0030	0.0030	0.0059	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1364
3	3.5	0.0119	0.0030	0.0030	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0178
3.5	4	0.0000	0.0000	0.0030	0.0030	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0059
4	4.5	0.0030	0.0030	0.0000	0.0030	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0089
4.5	5	0.0000	0.0000	0.0030	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030
5	5.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5.5	6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	6.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6.5	7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Totale [%]		4.374518	4.579157	4.58805386	3.45216	2.03452	1.69346	1.77353	2.09384	2.27475	2.60988	2.66327	3.30387	3.6746	3.92669	2.98356961	2.30737	2.40228	2.02266	52.7582

Tab. 4.3 Tabella dell'occorrenza delle onde a largo in corrispondenza del paraggio in oggetto suddivisa in gradi di altezza di 0.5 m e settori di provenienza di 15°(da 60 a 255° N) relativa ai dati MWM nel punto di coordinate [38.29°N 16.45°E]

	angolo sul quale sono centrati i settori di 15°												
Hs [m]	67.5	82.5	97.5	112.5	127.5	142.5	157.5	172.5	187.5	202.5	217.5	232.5	247.5
0-0.5	22709	10002	8005	6622	6073	5752	6881	9468	20767	13749	3841	2664	2540
0.5-1	10052	4278	4061	4832	5901	5662	6279	7948	14073	9198	2620	1795	1575
1-1.5	3347	1849	1893	2471	3694	3473	3738	4242	5382	3665	710	254	156
1.5-2	1336	857	928	1526	1833	1837	1915	1952	1963	1474	120	30	20
2-2.5	439	508	499	947	992	918	929	768	918	463	13	2	0
2.5-3	163	215	269	595	568	524	400	356	336	120	0	0	0
3-3.5	71	132	143	326	383	328	167	166	149	24	0	0	0
3.5-4	23	66	80	176	285	160	103	47	28	1	0	0	0
4-4.5	8	29	30	99	140	82	45	18	25	0	0	0	0
4.5-5	12	12	18	48	68	37	25	7	24	0	0	0	0
5-5.5	10	1	16	35	42	34	11	0	6	0	0	0	0
5.5-6	0	0	11	10	19	17	2	0	1	0	0	0	0
6-6.5	0	0	3	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5-7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7-7.5		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

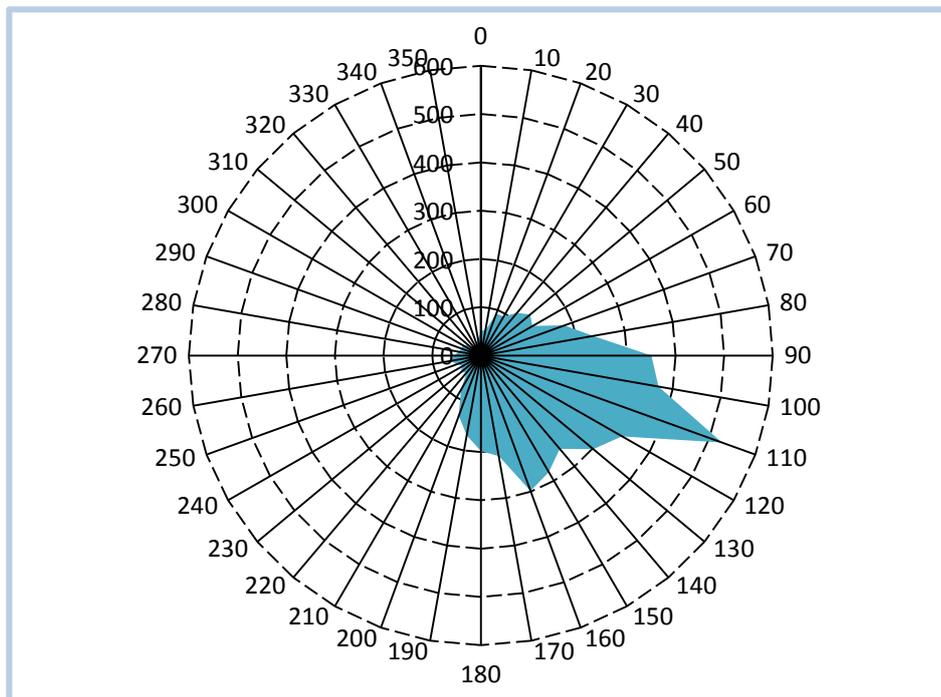


Fig. 4.1 Energia del moto ondoso ricavato con i dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E], in forma di diagramma polare, per tutti i settori di provenienza.

5. CALCOLO DEGLI EVENTI ESTREMI SU ALTI FONDALI

Come stabilito dalle Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC 2008) le opere devono essere progettate per durare, tenuto conto delle manutenzioni ordinarie, un intervallo temporale di anni appropriato alle caratteristiche prestazionali della tipologia di appartenenza. Il periodo di ritorno della tempesta da utilizzare come onda di progetto, è stato assunto seguendo le linee guida delle NTC e le indicazioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLLPP).

5.1 Periodi di ritorno per l'onda di progetto delle opere

Il *periodo di riferimento* V_R (anni), in conformità a quanto prescrivono le NTC, si ricava per ciascuna classe di costruzione, moltiplicando la vita nominale V_N per il *coefficiente d'uso* C_U

$$V_R = V_N C_U .$$

Per le opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o d'importanza normale le NTC stabiliscono il periodo di riferimento minimo $V_N = 50$ anni . Assunto il coefficiente d'uso minimo $C_U = 0.7$ si avrebbe il periodo di riferimento $V_R = 35$ anni.

Secondo le indicazioni del CSLLPP, e su indicazione dei progettisti, considerato che l'opera a gettata è definibile di *uso specifico con livello di sicurezza 1*, la vita di progetto minima è $V_P = 15$ anni. Inoltre per una *ripercussione economica media e rischio per le vite umane limitato* si ha il rischio $P = 0.3$. Introducendo questi dati nella distribuzione di Poisson

$$T = \frac{V_P}{-\ln[1-P]}$$

si ottiene il periodo di ritorno $T = 42$ anni. Tenuto conto di questi risultati, si è fatta la scelta di assumere per gli eventi estremi un tempo di ritorno $T_R = 50$ anni.

Per quanto riguarda i cassoni, il periodo di ritorno di riferimento, indicato dai progettisti, risulta pari a 112 anni.

5.2 La probabilità di superamento omnidirezionale dei livelli di altezza significativa

A partire dai livelli di altezza significativa, è possibile ricavare la probabilità $P(H_s > h)$ che l'altezza significativa superi un'assegnata soglia h (quale che sia la direzione di propagazione delle onde). In concreto, la $P(H_s > h)$ rappresenta la frazione di tempo durante cui l'altezza significativa si mantiene al di sopra della soglia fissata h , in una località assegnata.

Analiticamente la probabilità di superamento dei livelli di altezza significativa, per i mari italiani, è ben rappresentata mediante la distribuzione statistica Weibull a due parametri (Boccotti 1997,2000).

Essa assume la seguente forma:

$$P(H_s > h) = \exp \left[- \left(\frac{h}{w} \right)^u \right]$$

Il parametro u è un parametro di forma adimensionale, mentre w è un fattore di scala, espresso in metri se H_s è in metri. In termini probabilistici, maggiore è w , maggiori saranno i valori di altezza significativa nella località fissata (a parità di u).

I parametri u e w si determinano a partire dai dati di altezza significativa, che vengono rappresentati su una carta probabilistica di Weibull. I dati tendono a disporsi lungo una retta, e di conseguenza la distribuzione Weibull a 2 parametri interpreta efficacemente i dati.

Per rappresentare i dati sulla carta probabilistica di Weibull vengono utilizzate due variabili ausiliarie X e Y:

$$X \equiv 100 \ln(2,5h)$$

$$Y \equiv 100 \ln \ln \frac{1}{P}$$

con $P = \frac{\text{Numero di dati con altezza significativa } > h}{N \text{ complessivo di dati}}$

Dopo aver scelto due punti $(X_1 ; Y_1)$ $(X_2 ; Y_2)$, viene calcolato il coefficiente angolare, che risulta pari ad u:

$$u = b = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

Dall'equazione della retta si ricava il valore dell'intercetta:

$$a = Y_1 - bX_1$$

infine viene calcolato il parametro w:

$$w = \frac{1}{2,5} \exp\left(-\frac{a}{100b}\right)$$

Per la località in esame sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Tab. 5.1 Tabella parametri u e w della probabilità $P(H_s > h)$

	u	w [m]
UKMO [38.3 °N; 16.7 °E]	0,898	0,581
MWM [38.29°N-16.45°E]	0,924	0,578

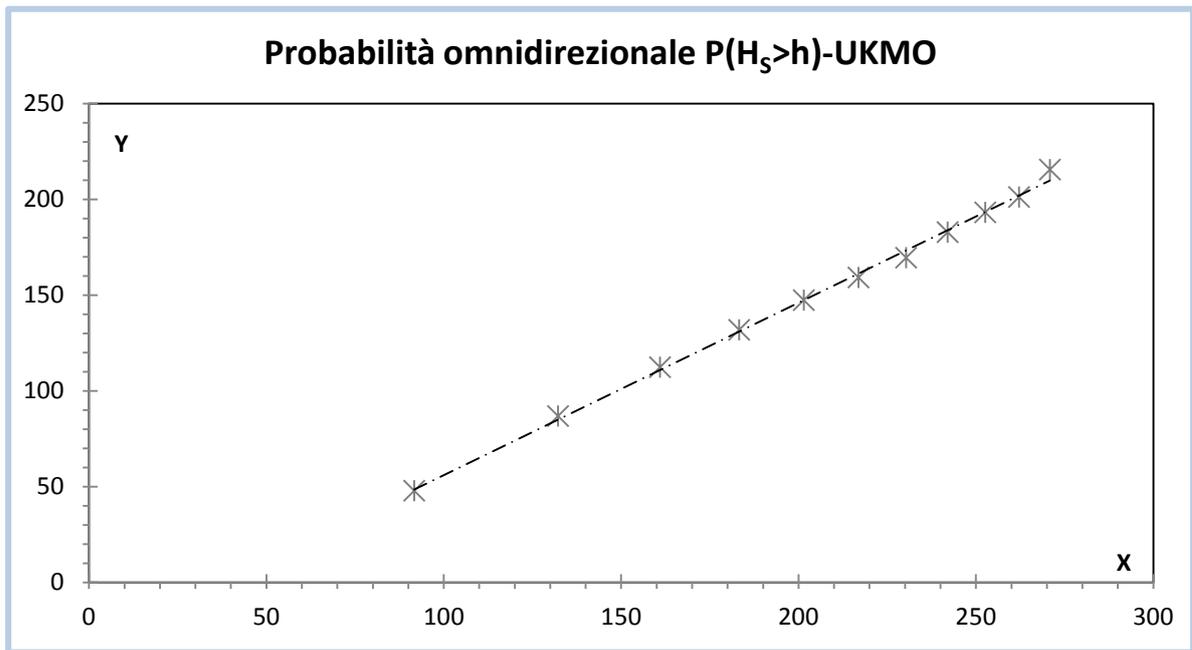


Fig. 5.1 Distribuzione della probabilità omnidirezionale $P(H_s > h)$ nella località di Roccella Jonica, ottenuta mediante i dati UKMO , relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E].

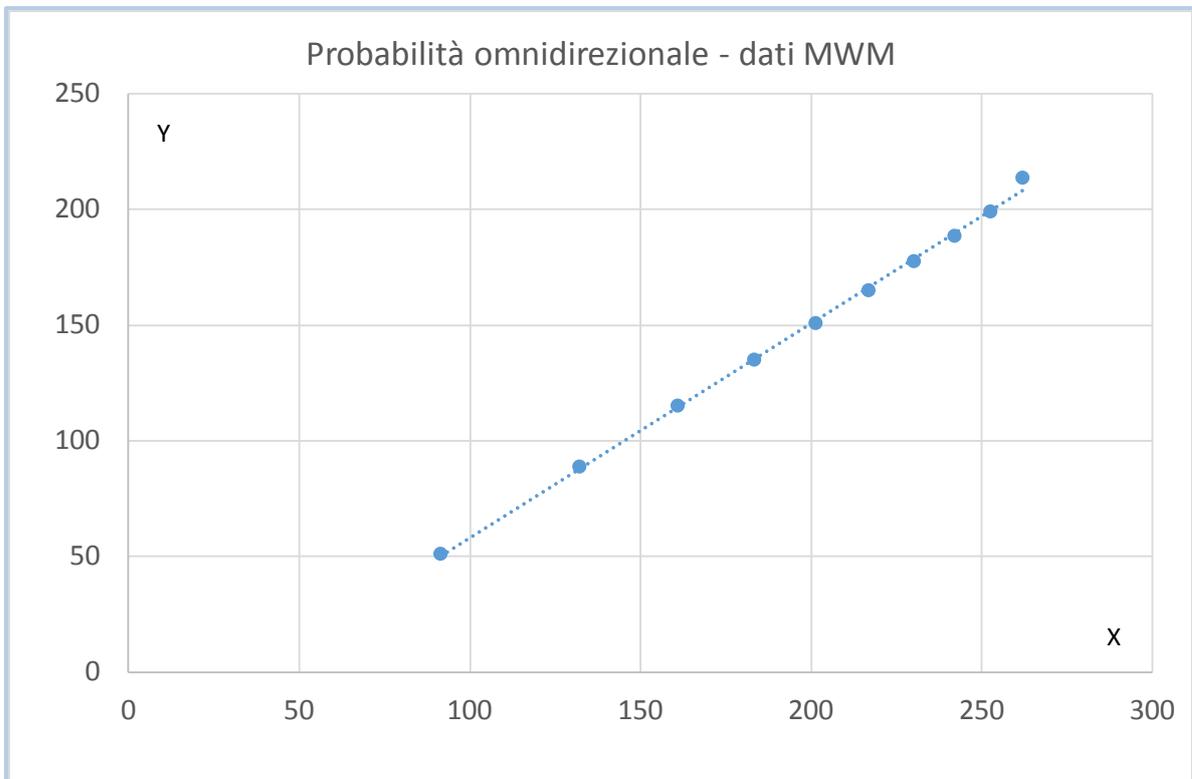


Fig. 5.2 Distribuzione della probabilità omnidirezionale $P(H_s > h)$ nella località di Roccella Jonica, ottenuta mediante i dati MWM, relativi al punto [38.29°N-16.45°E].

5.3 La probabilità di superamento direzionale dei livelli di altezza significativa

La funzione $P(H_s > h; \mathcal{G}_1 < \mathcal{G} < \mathcal{G}_2)$ rappresenta la probabilità che l'altezza significativa, in una località, superi un'assegnata soglia h e che l'azimut della direzione dominante di provenienza delle onde sia compreso entro un assegnato settore (θ_1, θ_2) .

In genere la $P(H_s > h; \mathcal{G}_1 < \mathcal{G} < \mathcal{G}_2)$ può essere rappresentata dalla differenza di due Weibull (Boccotti 1997)

$$P(H_s > h; \mathcal{G}_1 < \mathcal{G} < \mathcal{G}_2) = \exp\left[-\left(\frac{h}{w_\alpha}\right)^u\right] - \exp\left[-\left(\frac{h}{w_\beta}\right)^u\right]$$

Si tratta della differenza di due distribuzioni Weibull a due parametri. Il parametro u è uguale a quello della probabilità di superamento omnidirezionale mentre w_α e w_β sono i parametri direzionali. Si tratta di parametri positivi che variano da un settore all'altro e devono verificare la condizione seguente:

$$w_\beta < w_\alpha \leq W$$

altrimenti la probabilità direzionale risulterebbe negativa e inoltre deve risultare sempre soddisfatta la condizione:

$$P(H_s > h; \mathcal{G}_1 < \mathcal{G} < \mathcal{G}_2) \leq P(H_s > h)$$

perché la probabilità che l'onda provenga da un assegnato settore deve essere minore della probabilità che l'onda provenga da tutti i settori (compreso quello assegnato); l'uguaglianza si verifica nel settore di traversia principale: da tale settore provengono le mareggiate più intense quindi è molto probabile che un'onda più alta di una soglia elevata provenga da tale settore e non da altri.

Per rappresentare graficamente i dati si può ricorrere alle variabili ausiliarie X e Y , come visto per la probabilità di superamento omnidirezionale; nel piano (X, Y) i dati relativi alla probabilità direzionale si posizionano a sinistra di quelli relativi alla probabilità omnidirezionale e si dispongono lungo una curva definita curva direzionale avente curvatura piccola; essa per:

$$X \rightarrow \infty \Rightarrow h \rightarrow \infty \quad (\text{altezze molto grandi})$$

$$Y \rightarrow \infty \Rightarrow P \rightarrow 1 \quad (\text{onde rare})$$

tende asintoticamente ad una retta, parallela alla retta omnidirezionale, definita retta asintoto, che non può avere inclinazione minore della retta omnidirezionale altrimenti la curva direzionale intersecherebbe la retta omnidirezionale, deve quindi verificarsi che:

$$w_\alpha < W$$

In un'assegnata località il settore di traversia principale è quello avente il più grande valore di w_α ; se due settori hanno uguale w_α , il settore di traversia principale è quello avente il minor valore di w_β perché la curva direzionale converge più velocemente alla retta asintoto.

Per effettuare la stima analitica dei parametri w_α e w_β si scelgono due punti della curva direzionale aventi coordinate (X_1, Y_1) e (X_2, Y_2) ; invece delle variabili ausiliarie X e Y conviene utilizzare le variabili inverse h e P : per ricavarle si parte dalle espressioni di X e Y viste precedentemente esplicitandole in funzione di h e P :

$$h = \frac{1}{2.5} \cdot \exp\left(\frac{X}{100}\right)$$

$$P = \left\{ \exp \left[\exp \left(\frac{Y}{100} \right) \right] \right\}^{-1}$$

Viene così effettuato il procedimento per ogni settore di traversia.

A causa del legame biunivoco tra h e X e tra P e Y , alle coppie (X_1, Y_1) e (X_2, Y_2) corrisponderanno, rispettivamente, le coppie (h_1, P_1) e (h_2, P_2) ; si scelgono punti tali che:

$$X_1 < X_2 \Rightarrow h_1 < h_2$$

$$Y_1 < Y_2 \Rightarrow P_1 > P_2$$

Perché X è direttamente proporzionale ad h mentre Y è inversamente proporzionale a P . I punti della curva direzionale scelti sono tali che il coefficiente angolare della retta passante per essi sia minore di u :

$$\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} < u$$

altrimenti la coppia di punti scelta non appartiene alla curva direzionale.

Per quanto riguarda la scelta dei punti è necessario considerare che interessa estrapolare la linea di tendenza nel campo dei più piccoli valori di P (quindi dei più grandi valori di Y), ma i dati corrispondenti ai più grandi valori di Y sono affetti sia dalle incertezze statistiche più grandi sia da imprecisioni nella stima della direzione dominante delle onde in uno stato di mare pertanto risultano meno significativi. Conviene quindi assumere, per i mari italiani:

$$Y = [150 - 200]$$

Attraverso due variabili adimensionali \tilde{x} , \tilde{y} così definite:

$$\tilde{x} \equiv \frac{1}{(w_\alpha)^u}$$

$$\tilde{y} \equiv \frac{1}{(w_\beta)^u}$$

e due funzioni:

$$f_1(x) \equiv \exp\left[-(h_1)^u \cdot x\right] \quad \text{per } x \geq 0$$

$$f_2(x) \equiv P_1 + \left\{ \exp\left[-(h_2)^u \cdot x\right] - P_2 \right\} \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^u \quad \text{per } 0 \leq x \leq x_{\text{sup}}$$

Dove x_{sup} è il valore di x per cui il termine all'interno della parentesi graffa risulta uguale a zero:

$$x_{\text{sup}} = \frac{1}{(h_2)^u} \cdot \ln\left(\frac{1}{P_2}\right)$$

il valore di \tilde{x} cercato, se esiste, è quello per cui:

$$f_1(\tilde{x}) = f_2(\tilde{x})$$

Deve valere, inoltre, la proprietà:

$$f_2(0) \geq f_1(0)$$

Noto \tilde{x} è possibile calcolare w_α e w_β attraverso le seguenti espressioni:

$$w_\alpha = \left(\frac{1}{\tilde{x}}\right)^{\frac{1}{u}}$$

$$w_\beta = h_1 \cdot \left\{ \ln \left[\exp\left(-\frac{h_1^u}{w_\alpha^u}\right) - P_1 \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{u}}$$

Per i singoli settori si sono ricavati i rispettivi valori di w_α e w_β che consentono di individuare il settore di traversia principale:

Tab. 5.2 Tabella parametri w_α e w_β relativi ai dati UKMO relativi al punto di coordinate [38.3 °N; 16.7 °E]

Settore	w_α [m]	w_β [m]
95-105	0.6461	0.6419
105-115	0.7402	0.7345
115-125	0.661	0.6574
125-135	0.5573	0.5545
135-145	0.4352	0.4332
145-155	0.4863	0.4836
155-165	0.4594	0.4566
165-175	0.4594	0.4495
175-185	0.4594	0.4566
185-195	0.4594	0.4572
195-205	0.4594	0.4576
205-215	0.4594	0.4583

Tab. 5.3 Tabella parametri w_α e w_β relativi ai dati MWM, relativi al punto [38.29°N-16.45°E]

Settore	w_α [m]	w_β [m]
75-90°	0.454	0.434
90-105°	0.473	0.452
105-120°	0.597	0.565
120-135°	0.605	0.568
135-150°	0.547	0.512
150-165°	0.458	0.421
165-180°	0.416	0.377
180-195°	0.418	0.377

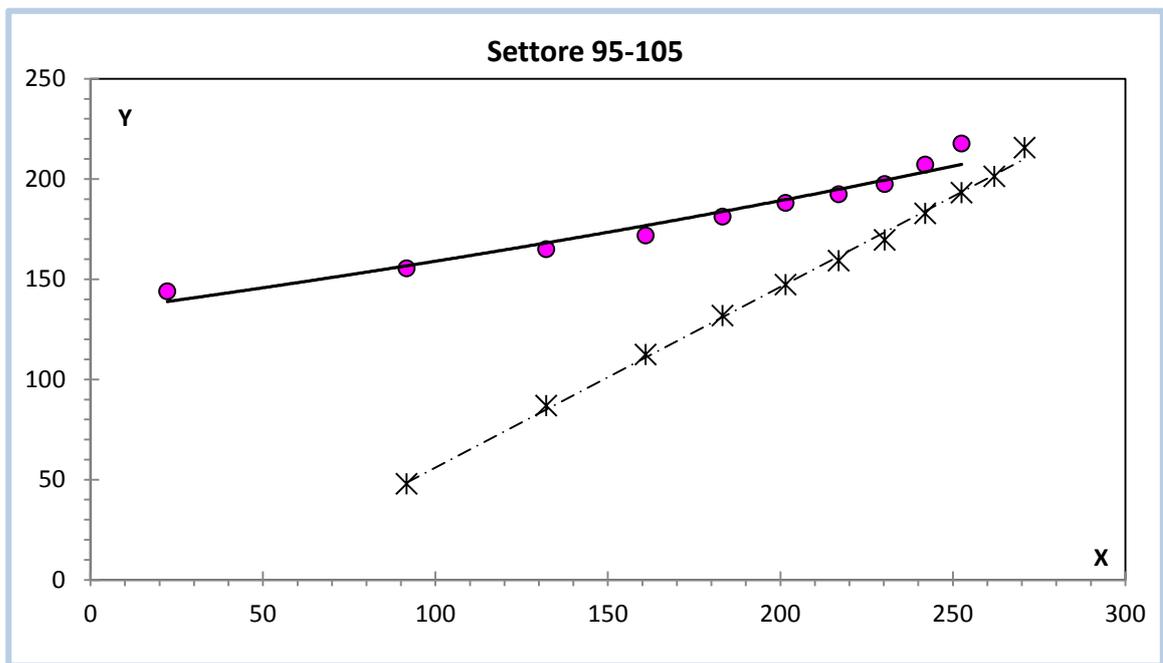


Fig. 5.3 Distribuzione della probabilità direzionale $P(H_s > h; \Delta\theta)$ nella località di Roccella Jonica, ottenuta mediante i dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della probabilità direzionale, quella tratteggiata la probabilità omnidirezionale

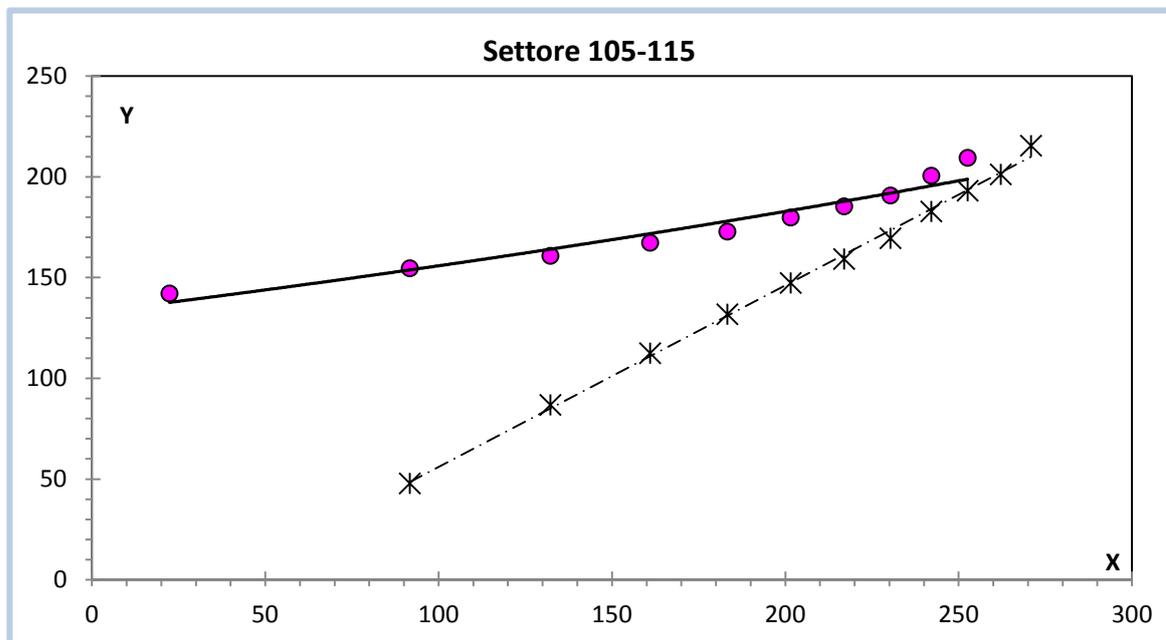


Fig. 5.4 Distribuzione della probabilità direzionale $P(H_s > h; \Delta\theta)$ nella località di Roccella Jonica, ottenuta mediante i dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della probabilità direzionale, quella tratteggiata la probabilità omnidirezionale

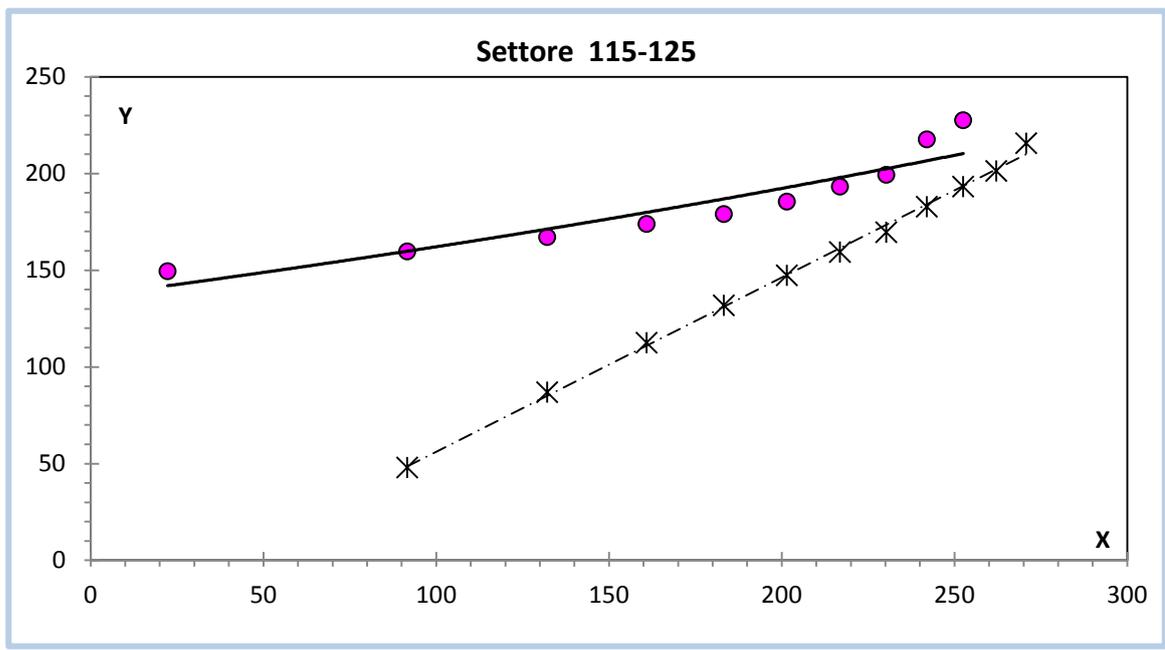


Fig. 5.5 Distribuzione della probabilità direzionale $P(H_s > h; \Delta\theta)$ nella località di Roccella Jonica, ottenuta mediante i dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della probabilità direzionale, quella tratteggiata la probabilità omnidirezionale

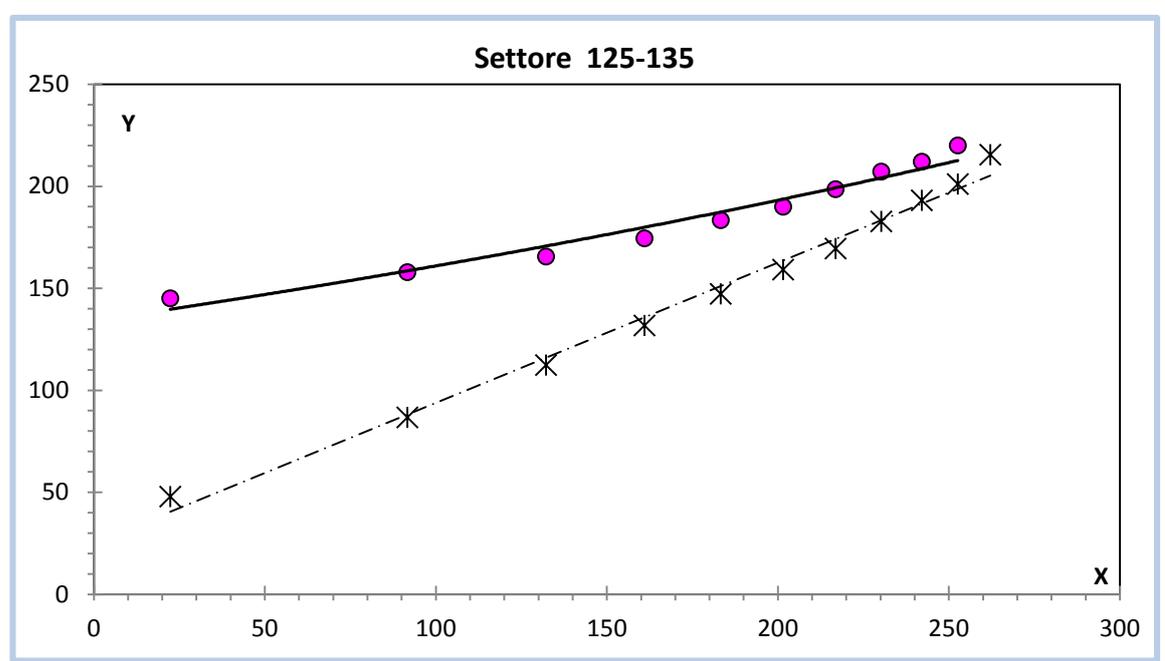


Fig. 5.6 Distribuzione della probabilità direzionale $P(H_s > h; \Delta\theta)$ nella località di Roccella Jonica, ottenuta mediante i dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della probabilità direzionale, quella tratteggiata la probabilità omnidirezionale

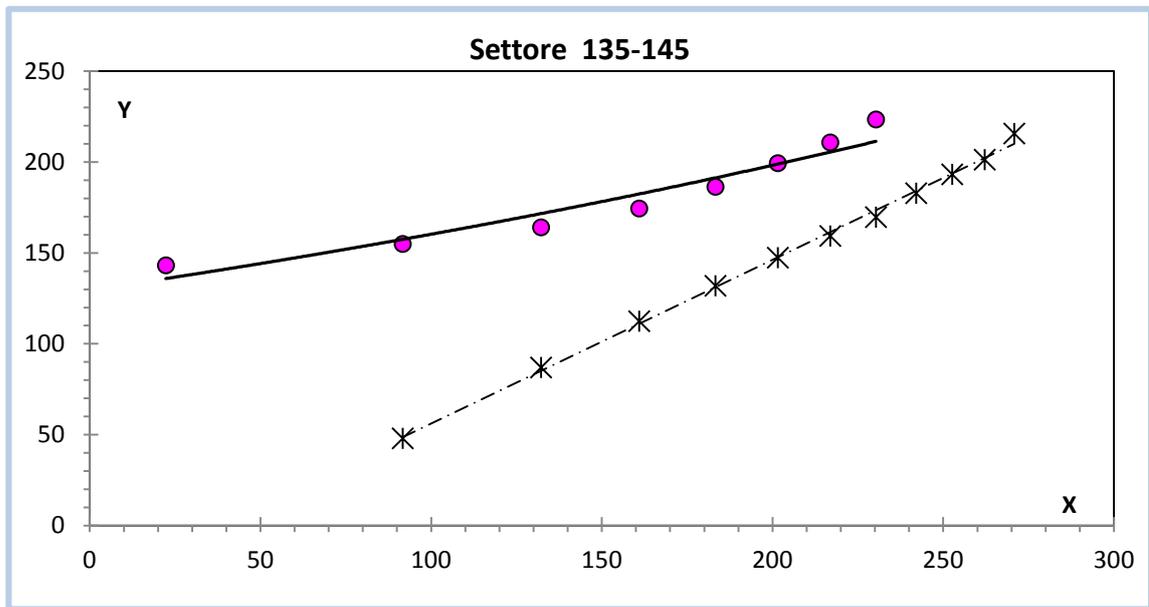


Fig. 5.7 Distribuzione della probabilità direzionale $P(H_s > h; \Delta\theta)$ nella località di Roccella Jonica, ottenuta mediante i dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della probabilità direzionale, quella tratteggiata la probabilità omnidirezionale

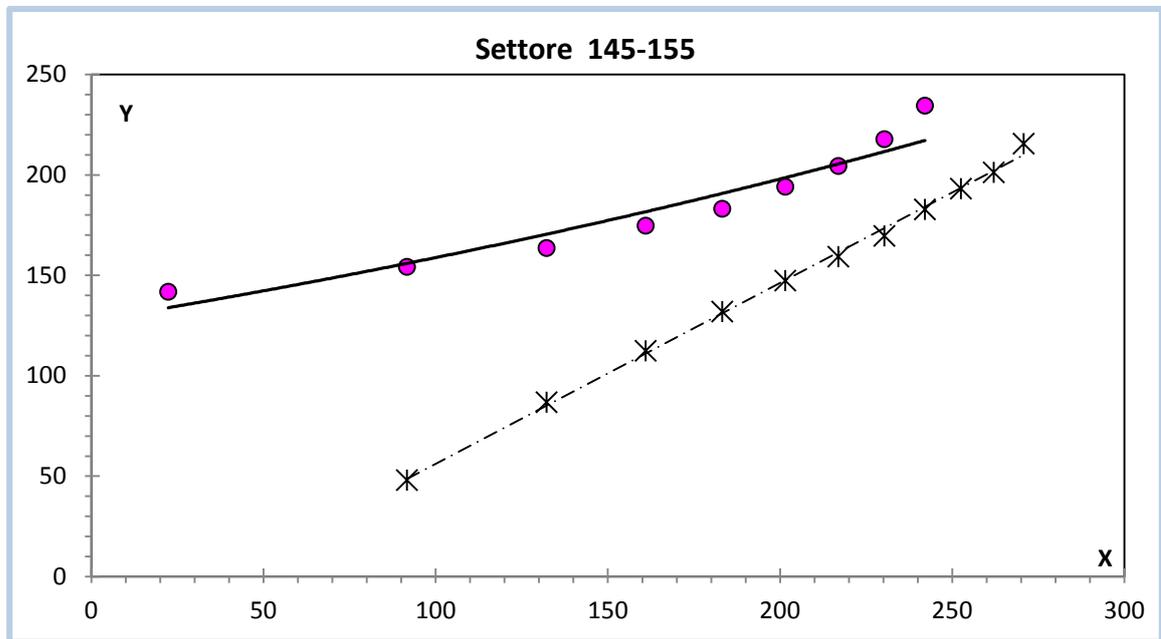


Fig. 5.8 Distribuzione della probabilità direzionale $P(H_s > h; \Delta\theta)$ nella località di Roccella Jonica, ottenuta mediante i dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della probabilità direzionale, quella tratteggiata la probabilità omnidirezionale

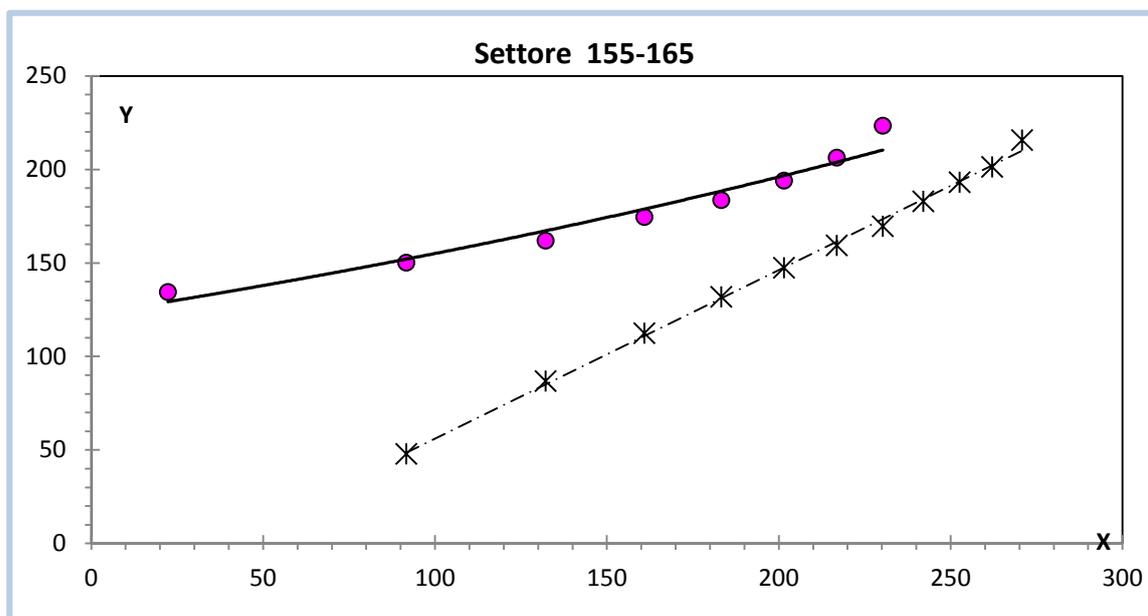


Fig. 5.9 Distribuzione della probabilità direzionale $P(H_s > h; \Delta\theta)$ nella località di Roccella Jonica, ottenuta mediante i dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della probabilità direzionale, quella tratteggiata la probabilità omnidirezionale

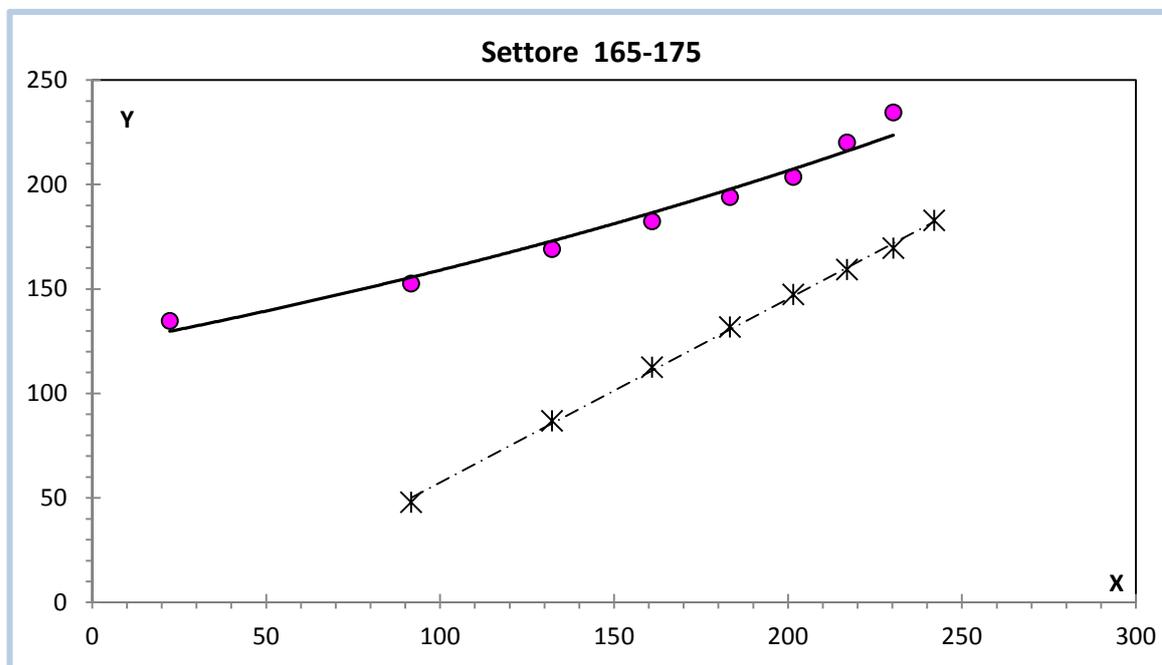


Fig. 5.10 Distribuzione della probabilità direzionale $P(H_s > h; \Delta\theta)$ nella località di Roccella Jonica, ottenuta mediante i dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della probabilità direzionale, quella tratteggiata la probabilità omnidirezionale

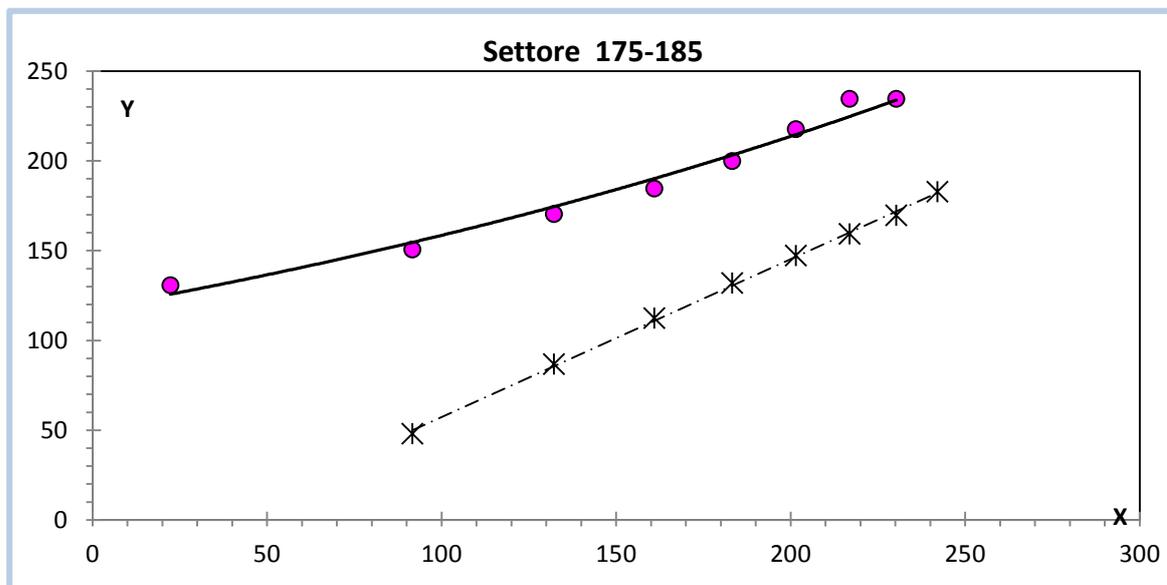


Fig. 5.21 Distribuzione della probabilità direzionale $P(H_s > h; \Delta\theta)$ nella località di Roccella Jonica, ottenuta mediante i dati UKMO, relativi al punto $[38.3^\circ\text{N}; 16.7^\circ\text{E}]$. La linea continua indica l'andamento della probabilità direzionale, quella tratteggiata la probabilità omnidirezionale

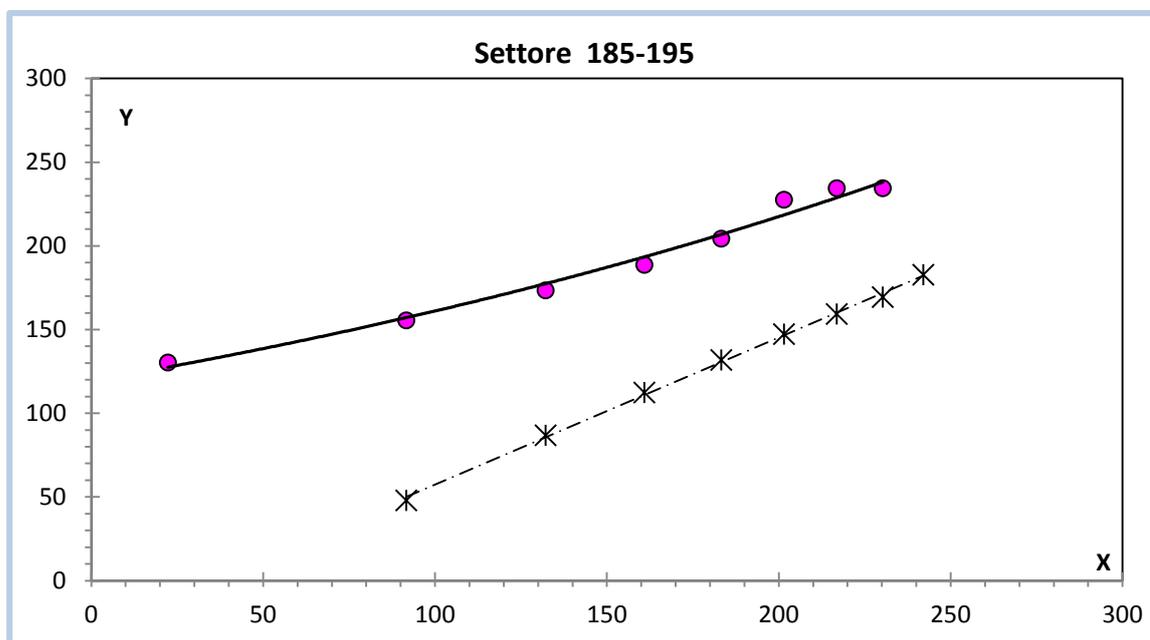


Fig. 5.32 Distribuzione della probabilità direzionale $P(H_s > h; \Delta\theta)$ nella località di Roccella Jonica, ottenuta mediante i dati UKMO, relativi al punto $[38.3^\circ\text{N}; 16.7^\circ\text{E}]$. La linea continua indica l'andamento della probabilità direzionale, quella tratteggiata la probabilità omnidirezionale

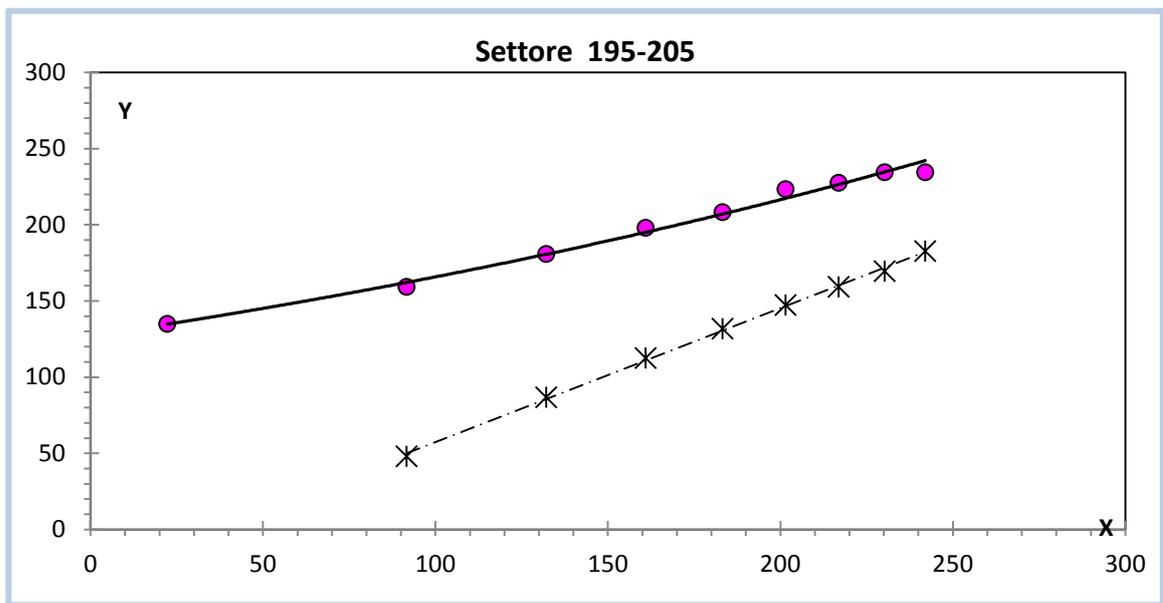


Fig. 5.43 Distribuzione della probabilità direzionale $P(H_s > h; \Delta\theta)$ nella località di Roccella Jonica, ottenuta mediante i dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della probabilità direzionale, quella tratteggiata la probabilità omnidirezionale

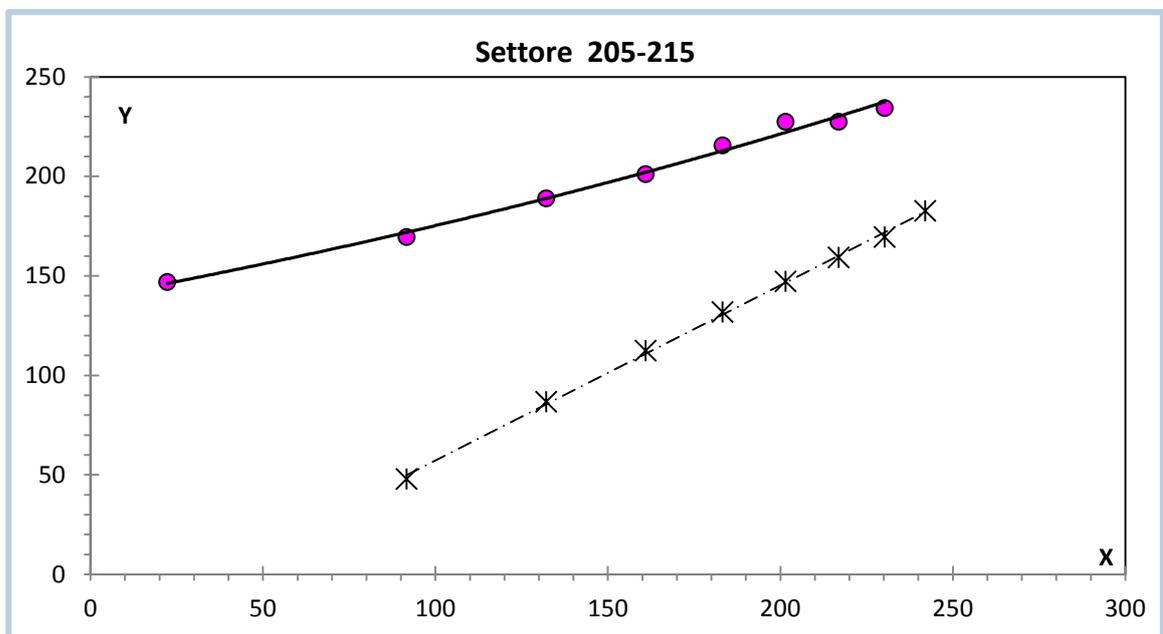


Fig. 5.54 Distribuzione della probabilità direzionale $P(H_s > h; \Delta\theta)$ nella località di Roccella Jonica, ottenuta mediante i dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della probabilità direzionale, quella tratteggiata la probabilità omnidirezionale

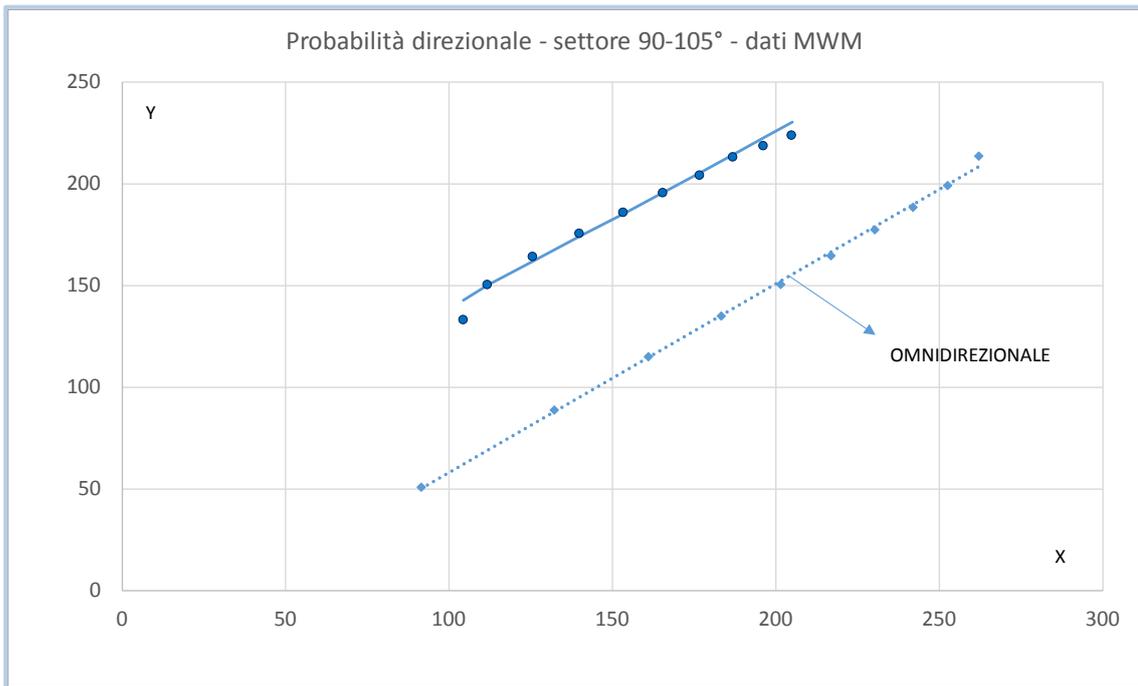


Fig. 5.65 Distribuzione della probabilità direzionale $P(H_s > h; \Delta\theta)$ al largo di Roccella Jonica, ottenuta mediante i dati MWM, relativi al punto $[38.29^\circ\text{N}-16.45^\circ\text{E}]$, per un settore di 15° . La linea continua indica l'andamento della probabilità direzionale, quella tratteggiata la probabilità omnidirezionale

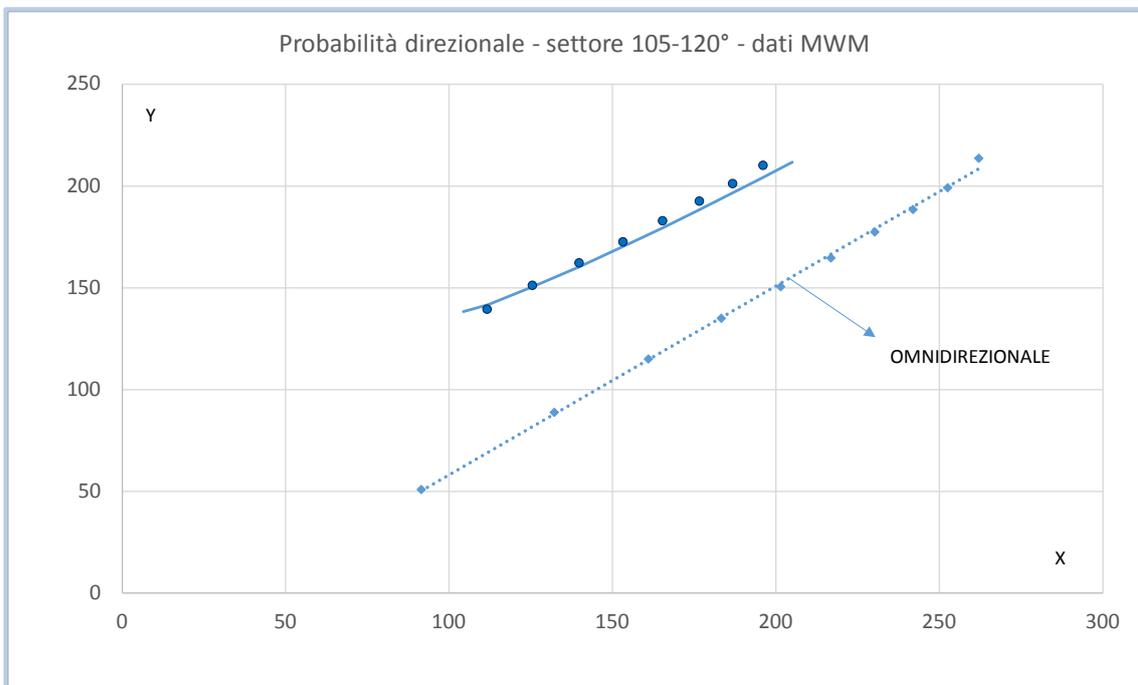


Fig. 5.76 Distribuzione della probabilità direzionale $P(H_s > h; \Delta\theta)$ al largo di Roccella Jonica, ottenuta mediante i dati MWM, relativi al punto $[38.29^\circ\text{N}-16.45^\circ\text{E}]$, per un settore di 15° . La linea continua indica l'andamento della probabilità direzionale, quella tratteggiata la probabilità omnidirezionale

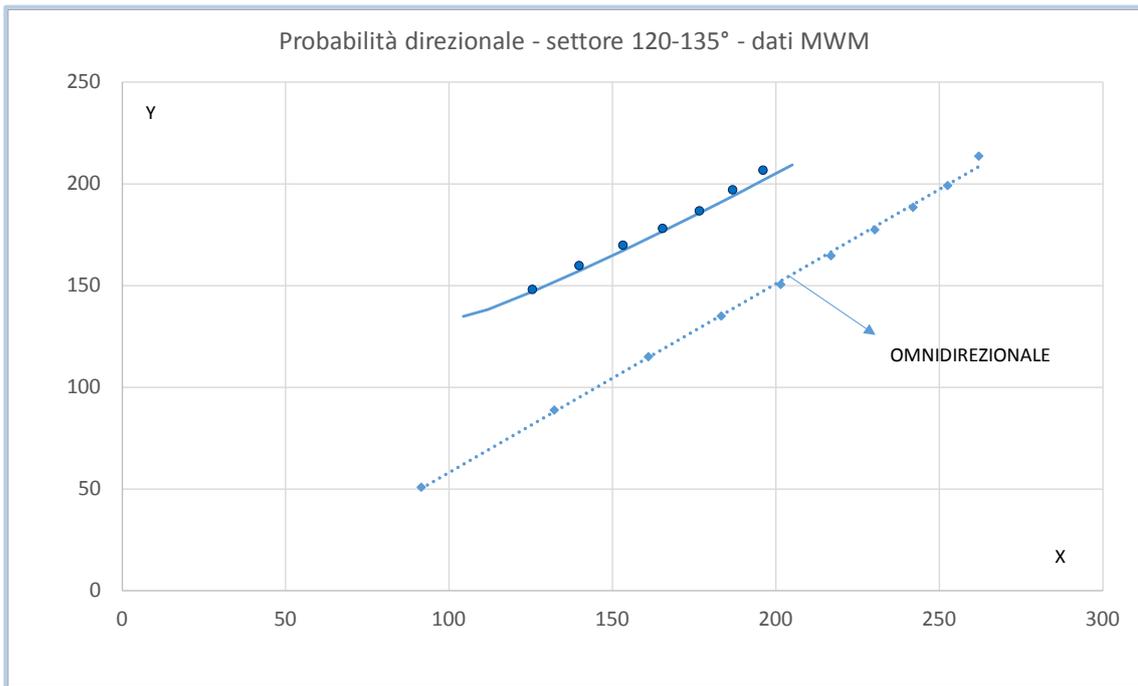


Fig. 5.87 Distribuzione della probabilità direzionale $P(H_s > h; \Delta\theta)$ al largo di Roccella Jonica, ottenuta mediante i dati MWM, relativi al punto $[38.29^\circ\text{N}-16.45^\circ\text{E}]$, per un settore di 15° . La linea continua indica l'andamento della probabilità direzionale, quella tratteggiata la probabilità omnidirezionale

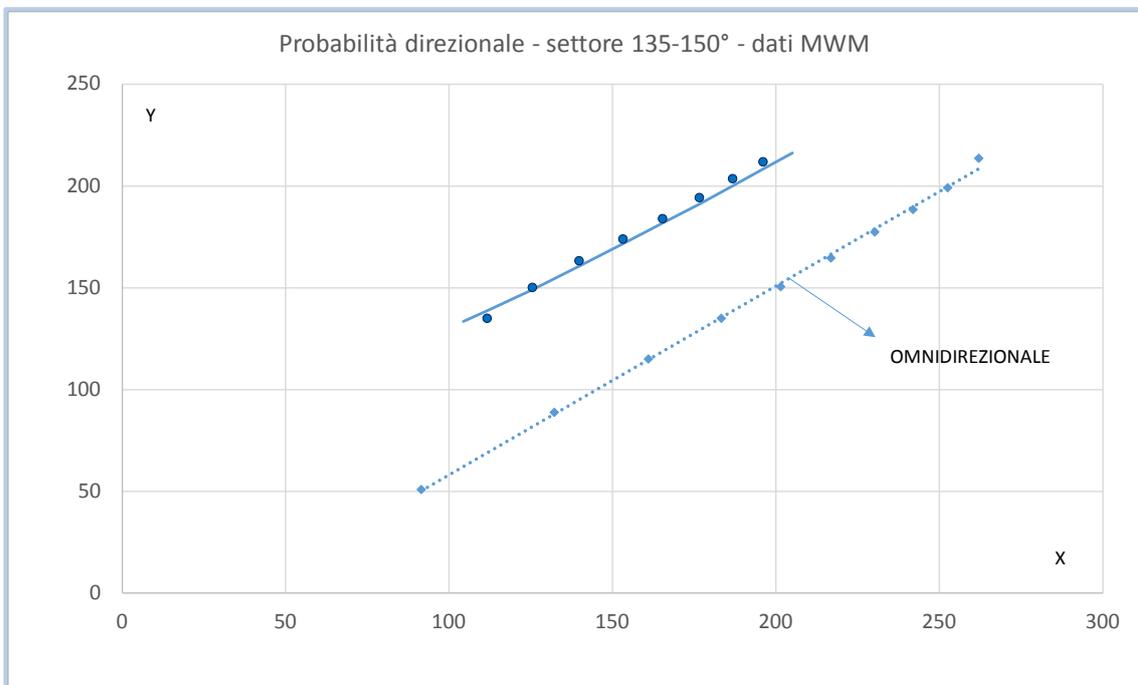


Fig. 5.18 Distribuzione della probabilità direzionale $P(H_s > h; \Delta\theta)$ al largo di Roccella Jonica, ottenuta mediante i dati MWM, relativi al punto $[38.29^\circ\text{N}-16.45^\circ\text{E}]$, per un settore di 15° . La linea continua indica l'andamento della probabilità direzionale, quella tratteggiata la probabilità omnidirezionale

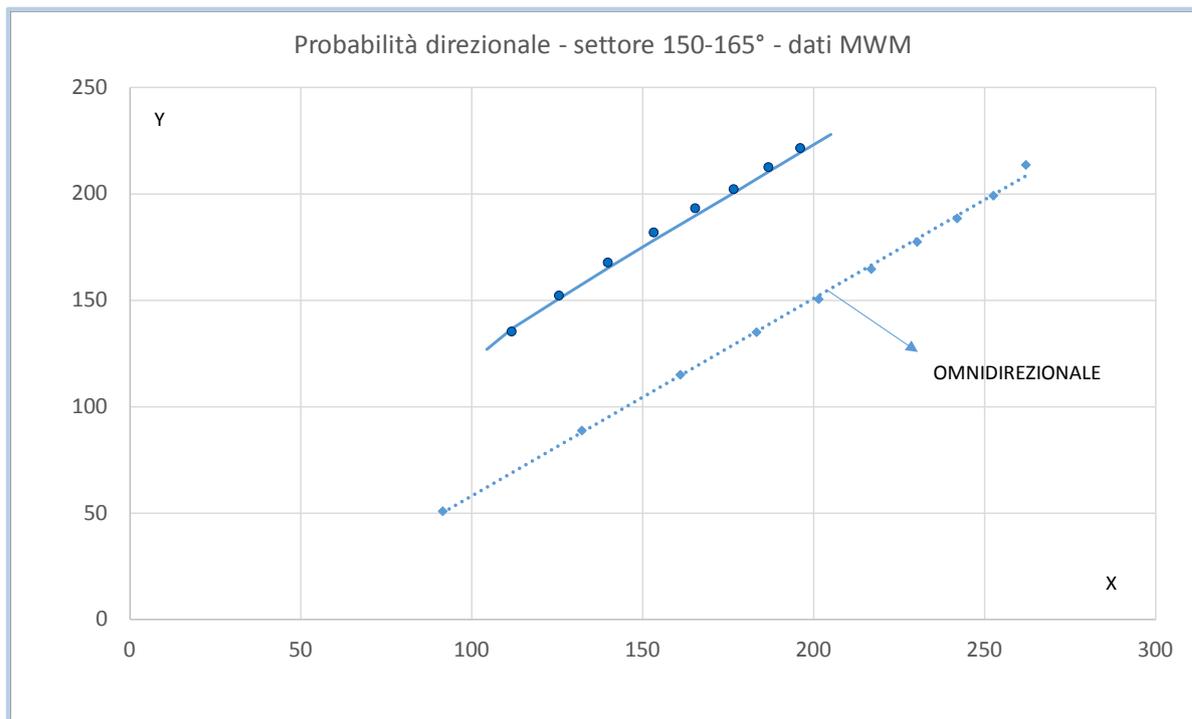


Fig. 5.19 Distribuzione della probabilità direzionale $P(H_s > h; \Delta\theta)$ al largo di Roccella Jonica, ottenuta mediante i dati MWM, relativi al punto $[38.29^\circ\text{N}-16.45^\circ\text{E}]$, per un settore di 15° . La linea continua indica l'andamento della probabilità direzionale, quella tratteggiata la probabilità omnidirezionale

5.4 Gli eventi estremi associati a tempi di ritorno assegnati

La valutazione degli eventi estremi di altezza d'onda significativa (mareggiate), per un valore assegnato del tempo di ritorno, è necessaria per la determinazione dell'onda di progetto (v., ad esempio, Istruzioni Tecniche per la Progettazione delle Dighe Frangiflutti emanate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nel 1993).

Per definire una mareggiata è necessario introdurre il concetto di stato di mare.

Si definisce stato di mare un campo di onde irregolari che rimane pressoché stazionario ed omogeneo.

Qualsiasi agitazione ondosa in mare aperto può ritenersi tale (stazionaria ed omogenea) per durate di tempo equivalenti a circa 200-300 onde consecutive.

In pratica, nel suddetto intervallo si può assumere che la variazione percentuale del contenuto energetico prodotta dal vento e le differenze di energia media, da un punto all'altro del campo visuale, siano così piccole da consentire di definire il campo rispettivamente stazionario ed omogeneo.

Una mareggiata può essere definita come "una successione di stati di mare durante la quale l'altezza d'onda significativa $H_s(t)$ supera una soglia critica h_{crit} , e non scende al di sotto di

tale soglia per durate di tempo superiori ad un valore prefissato" Δt_{crit} . Il valore Δt_{crit} può essere fissato di 12 ore e la soglia h_{crit} , nel Mediterraneo, uguale a 1.5 m (Boccotti, 1997, 2000; Arena e Barbaro, 1999).

Boccotti consiglia di utilizzare il valore

$$h_{crit} = 1,5 \bar{H}_s$$

che dipende dall'altezza significativa media H_s calcolata a partire dalla serie temporale.

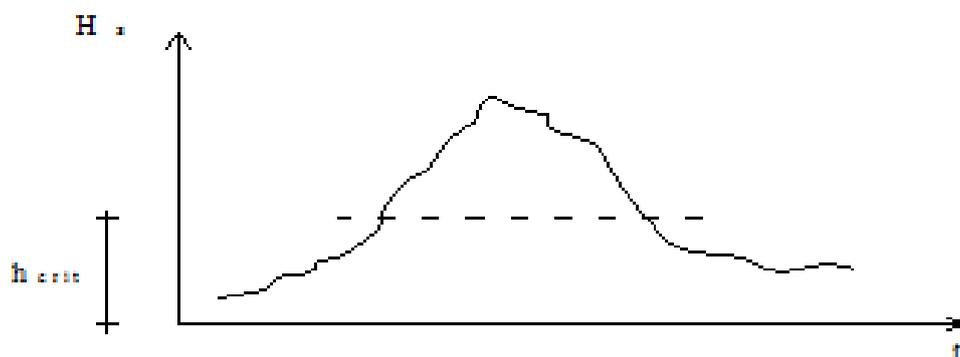


Fig. 5.209 Andamento del tempo di una mareggiata

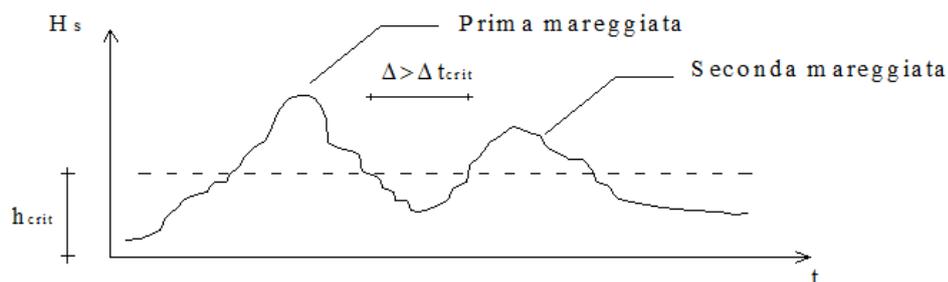


Fig. 5.210 Andamento del tempo di due mareggiate

Ad oggi mareggiata reale può essere associata una mareggiata triangolare , ovvero un triangolo avente come altezza il valore dell'altezza significativa massima nel corso della mareggiata reale e come base un valore tale da soddisfare l'uguaglianza tra le altezze d'onda massima attesa della mareggiata vera e di quella triangolare.

- essendo l'altezza a del triangolo uguale al valor massimo dell'altezza significativa della mareggiata vera, essa può essere facilmente determinata a partire dai dati di H_s durante che definiscono la mareggiata reale;
- la base b del triangolo (cioè la durata della mareggiata del triangolare) richiede invece che venga seguita una procedura iterativa.

La mareggiata triangolare e la mareggiata vera sono equivalenti in termini di rischio ondoso; in quanto presentano la stessa altezza significativa massima ed è stato dimostrato sperimentalmente che risultano avere anche la stessa probabilità $P(H_{\max} > H)$ che l'onda massima superi una soglia assegnata H . Il vantaggio nell'utilizzo della mareggiata triangolare è giustificato dal fatto che consente una notevole semplificazione analitica, mantenendo invariato il rischio ondoso.

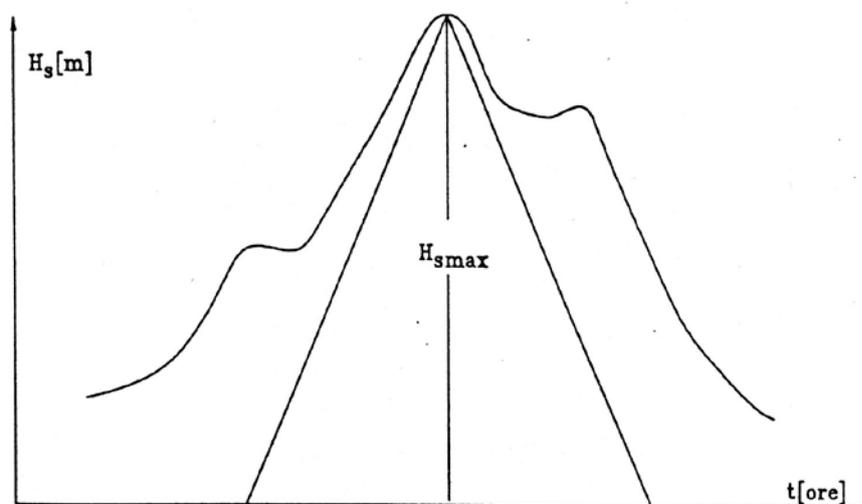


Fig. 5.22 Mareggiata triangolare equivalente

La regressione basi-altezze $\bar{b}(a)$ fornisce il valor medio delle basi (durate) delle mareggiate triangolari equivalenti di assegnata altezza a .

Ai fini della definizione di $\bar{b}(a)$ è necessario stimare i parametri a_{10} e b_{10} che rappresentano rispettivamente il valor medio delle altezze a e il valor medio delle basi b delle 10n mareggiate triangolari equivalenti più forti in n anni di registrazioni.

Con i dati UKMO si è ricavato:

$$a_{10} = 3.13m$$

Si noti che il valore di a_{10} a partire dai dati UKMO è ricavato utilizzando la procedura descritta da Arena (2004).

Il valore di b_{10} è stato preso pari al valore medio tra quelli validi per le località di Catania ($b_{10} = 83ore$) e Crotona ($b_{10} = 82ore$), ottenuti dal trattamento dei dati storici 1989 – 1997 della rete ondometrica nazionale (Arena e Barbaro 1999; Arena, 2004):

$$b_{10} = 82.5ore$$

La regressione basi-altezze è stata interpretata (minimi scarti quadratici) con l'espressione (Arena et al, 2005; v. anche Boccotti, 1997, 2000; Arena e Barbaro, 1999)

$$\bar{b}(a) = b_{10} 1.31 \exp\left(-0.27 \frac{a}{a_{10}}\right)$$

5.5 Il periodo di ritorno $R(H_s > h)$ omnidirezionale

$R(H_s > h)$ rappresenta il periodo di ritorno di una mareggiata la cui altezza significativa massima sia maggiore di una assegnata soglia h . Tale periodo di ritorno definisce l'intervallo di tempo medio tra due mareggiate consecutive nelle quali l'altezza significativa massima supera una soglia assegnata h . Facendo riferimento al concetto di mareggiata triangolare equivalente Boccotti (1997) ha derivato un'espressione analitica per il calcolo di tale periodo di ritorno, la cui espressione generale è la seguente:

$$R(H_s > h) = \frac{\bar{b}(h)}{hp(H_s = h) + P(H_s > h)}$$

Considerando che l'espressione della $P(H_s > h)$, assuma la forma di una distribuzione Weibull a due parametri, si ha:

$$R(H_s > h) = \frac{\bar{b}(h)}{\left(1 + u \cdot \left(\frac{h}{w}\right)^u\right)} \cdot \exp\left[\left(\frac{h}{w}\right)^u\right]$$

I risultati ottenuti sono di seguito riportati nelle Fig. 23 e Fig. 24.

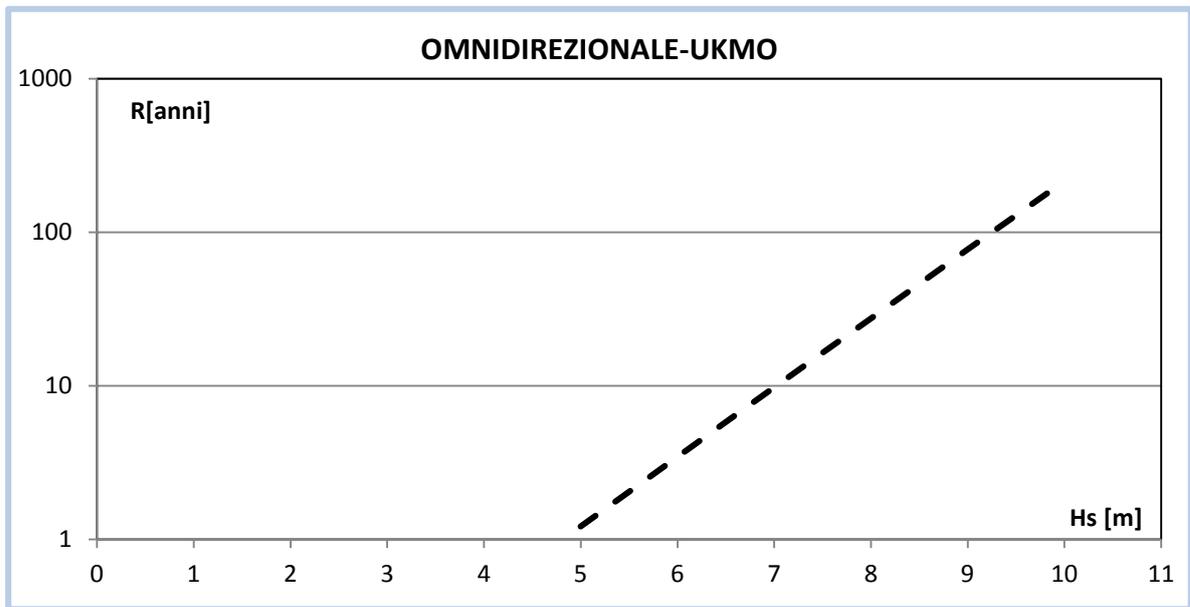


Fig. 5.23 Il periodo di ritorno omnidirezionale relativo ai dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]

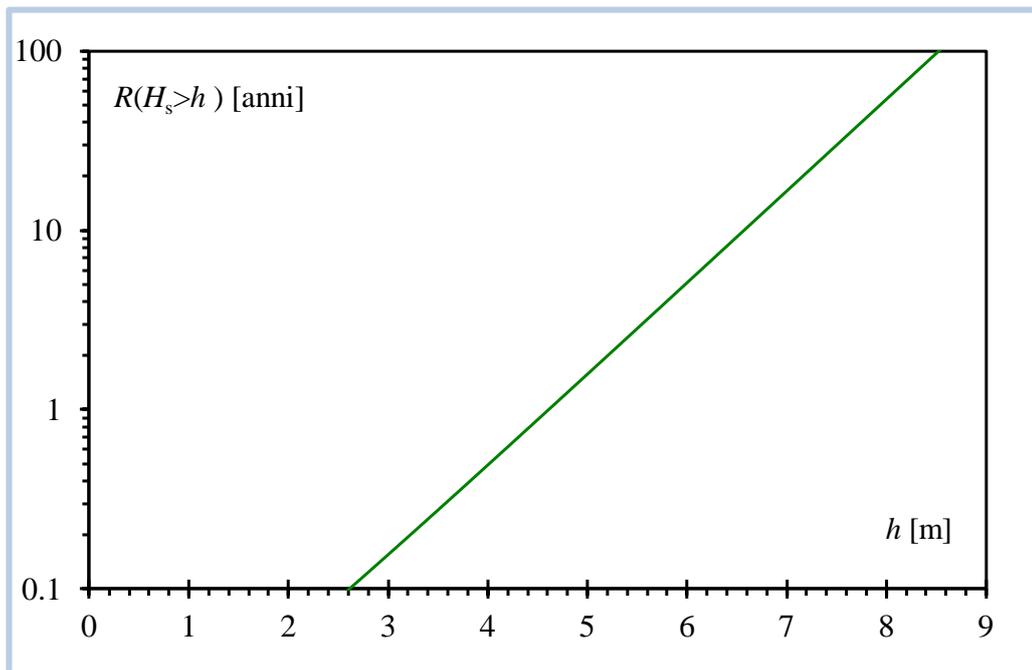


Fig. 5.24 Il periodo di ritorno omnidirezionale relativo ai dati MWM, relativi al punto [38.29°N-16.45°E]

5.6 Il periodo di ritorno $R(H_s > h, \Delta\theta)$ direzionale

Il periodo di ritorno di una mareggiata avente altezza significativa massima maggiore della soglia h per un fissato settore di provenienza $\Delta\theta$ viene indicato con $R(H_s > h; \Delta\theta)$.

L'espressione di tale periodo di ritorno si ricava sostituendo alla espressione generale del periodo di ritorno omnidirezionale l'espressione della distribuzione dell'altezza significativa $P(H_s > h, \Delta\theta)$ direzionale:

$$R(H_s > h; \Delta\theta) = \frac{\bar{b}(h)}{\exp\left[-\left(\frac{h}{w_\alpha}\right)^u\right] \left[1 + u\left(\frac{h}{w_\alpha}\right)^u\right] - \exp\left[-\left(\frac{h}{w_\beta}\right)^u\right] \left[1 + u\left(\frac{h}{w_\beta}\right)^u\right]}$$

Tale espressione si basa sull'assunto che la direzione dominante delle onde sia costante per ogni mareggiata e che la regressione $\bar{b}(h)$ prescindia dalla direzione di propagazione (v. Arena, 1997).

Le figure seguenti riportano i periodi di ritorno direzionali $R(H_s > h; \Delta\theta)$, per assegnati settori direzionali di ampiezza pari a 10° .

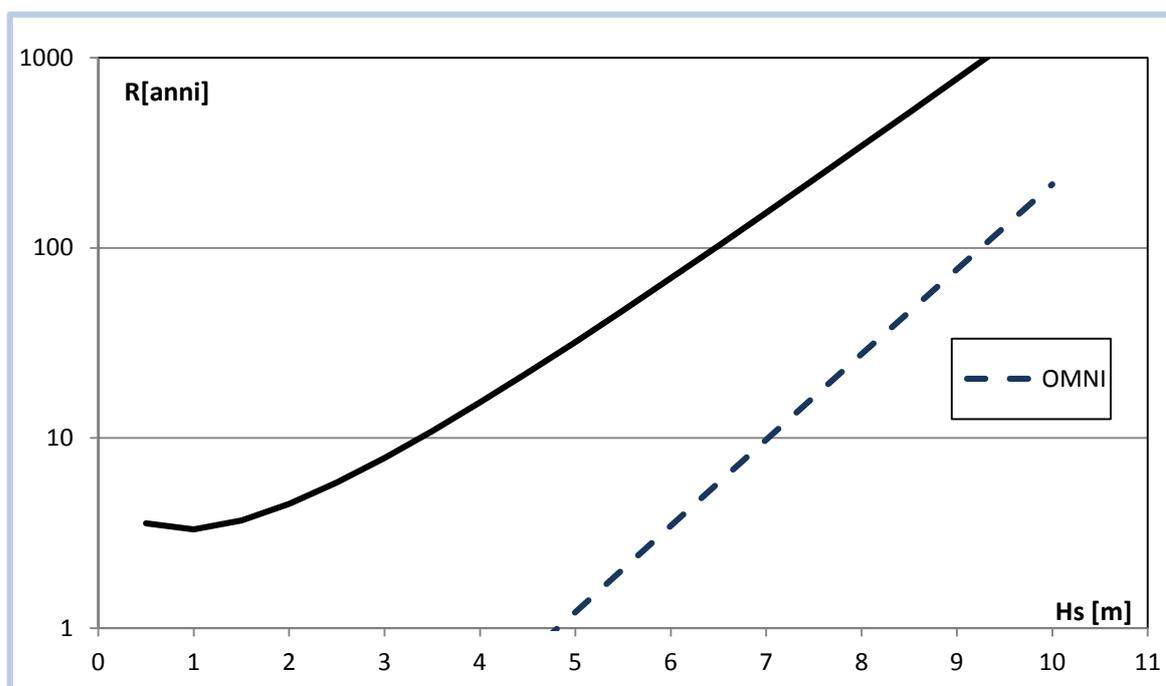


Fig. 5.25 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati UKMO, relativi al punto $[38.3^\circ\text{N}; 16.7^\circ\text{E}]$. La linea continua indica l'andamento della funzione direzionale per il settore in esame, la linea tratteggiata indica il periodo di ritorno omnidirezionale. SETTORE $95\text{-}105^\circ$

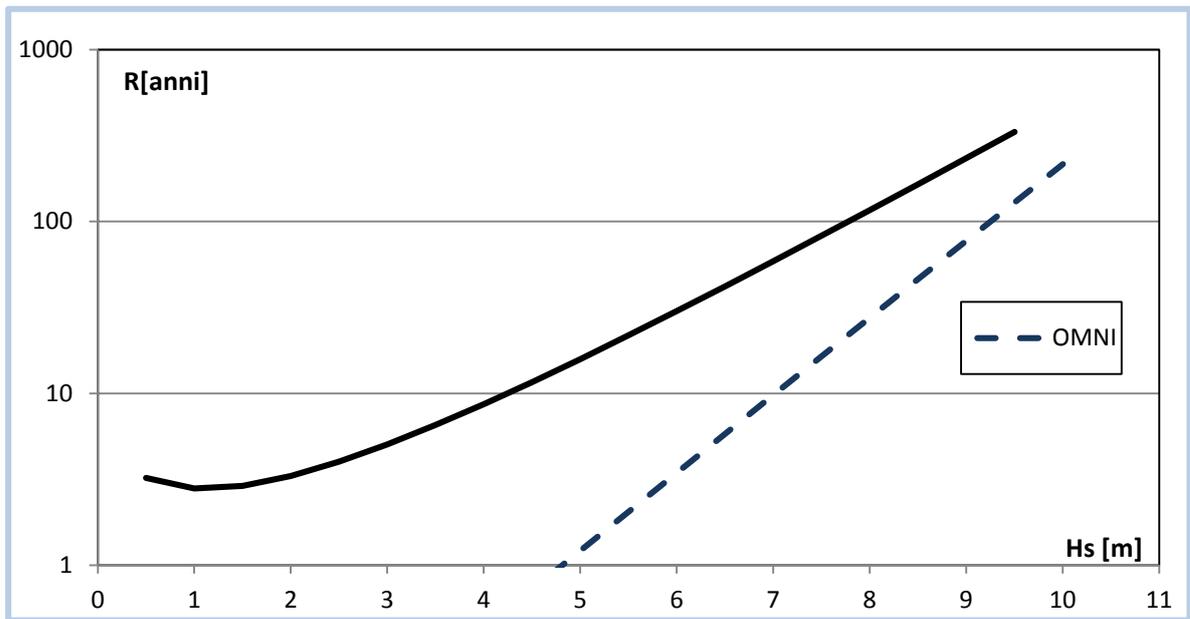


Fig. 5.26 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della funzione direzionale per il settore in esame, la linea tratteggiata indica il periodo di ritorno omnidirezionale. SETTORE 105-115°

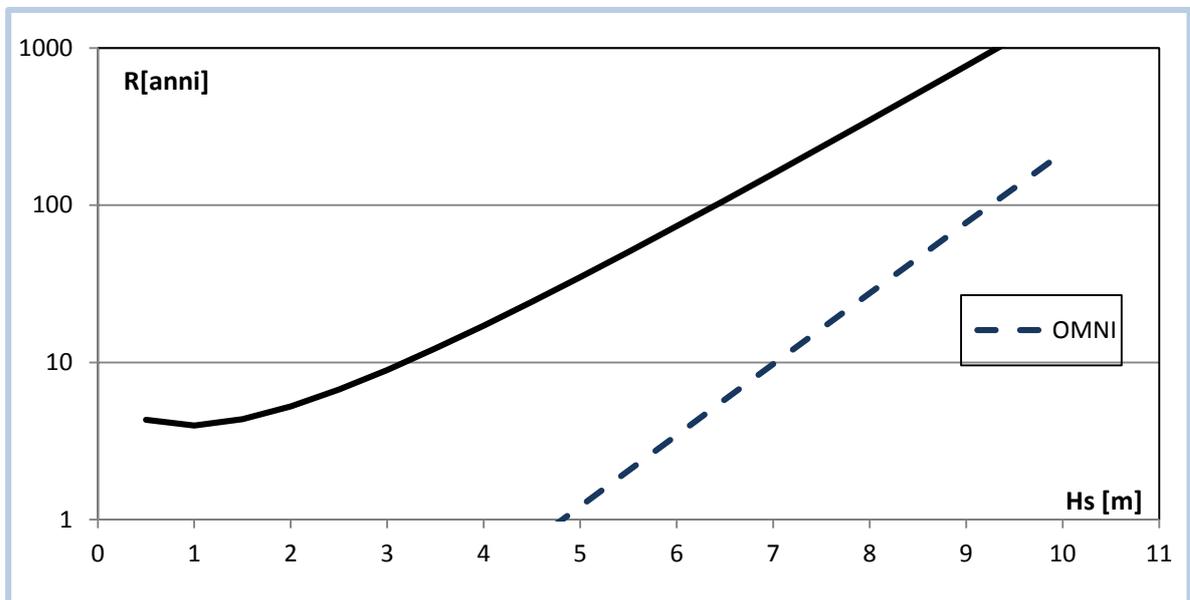


Fig. 5.117 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della funzione direzionale per il settore in esame, la linea tratteggiata indica il periodo di ritorno omnidirezionale. SETTORE 115-125°

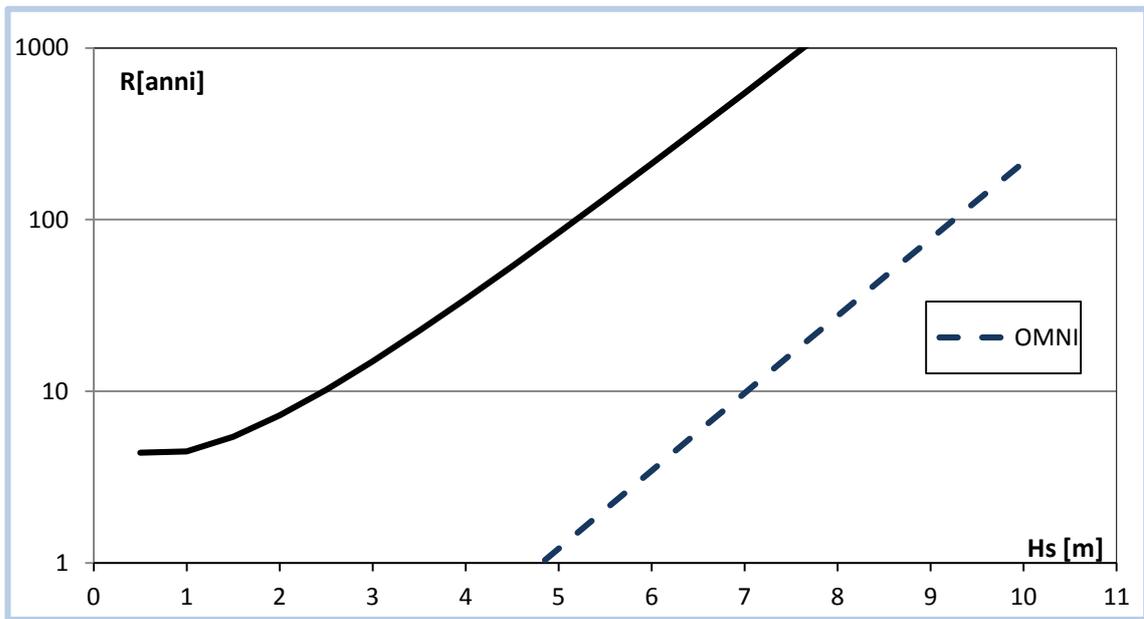


Fig. 5.128 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della funzione direzionale per il settore in esame, la linea tratteggiata indica il periodo di ritorno omnidirezionale. SETTORE 125-135°

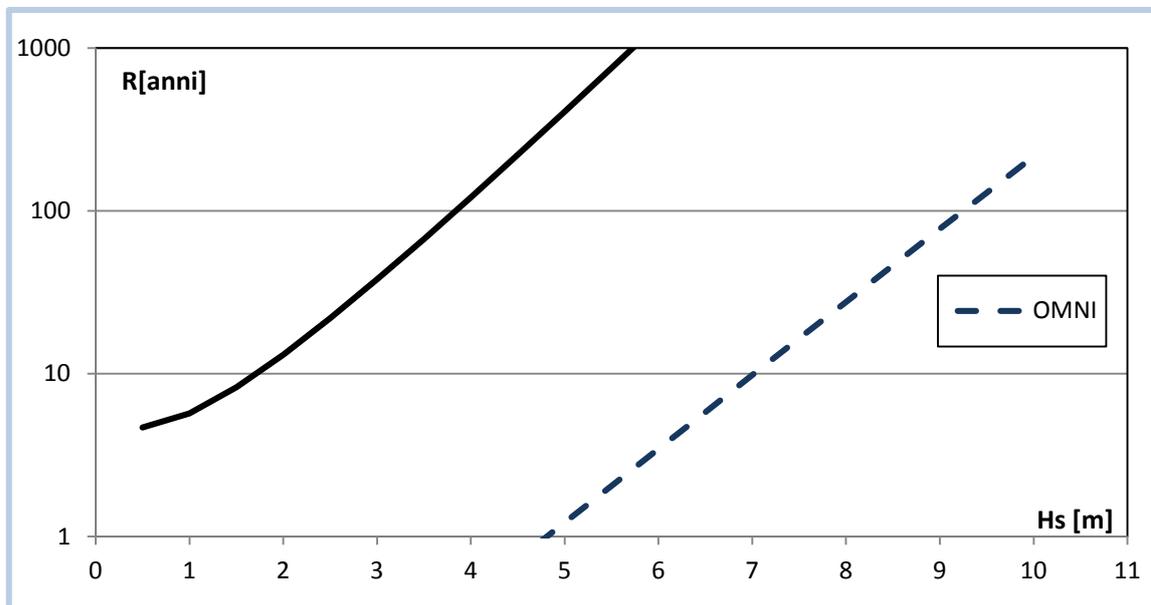


Fig. 5.139 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della funzione direzionale per il settore in esame, la linea tratteggiata indica il periodo di ritorno omnidirezionale. SETTORE 135-145°

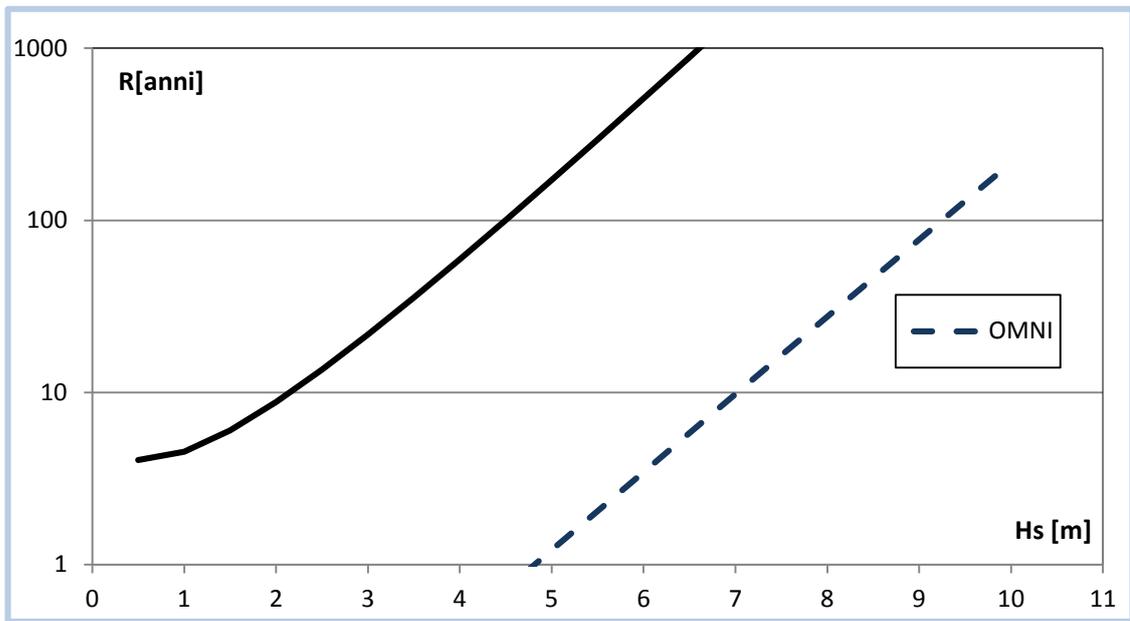


Fig. 5.30 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della funzione direzionale per il settore in esame, la linea tratteggiata indica il periodo di ritorno omnidirezionale. SETTORE 145-155°

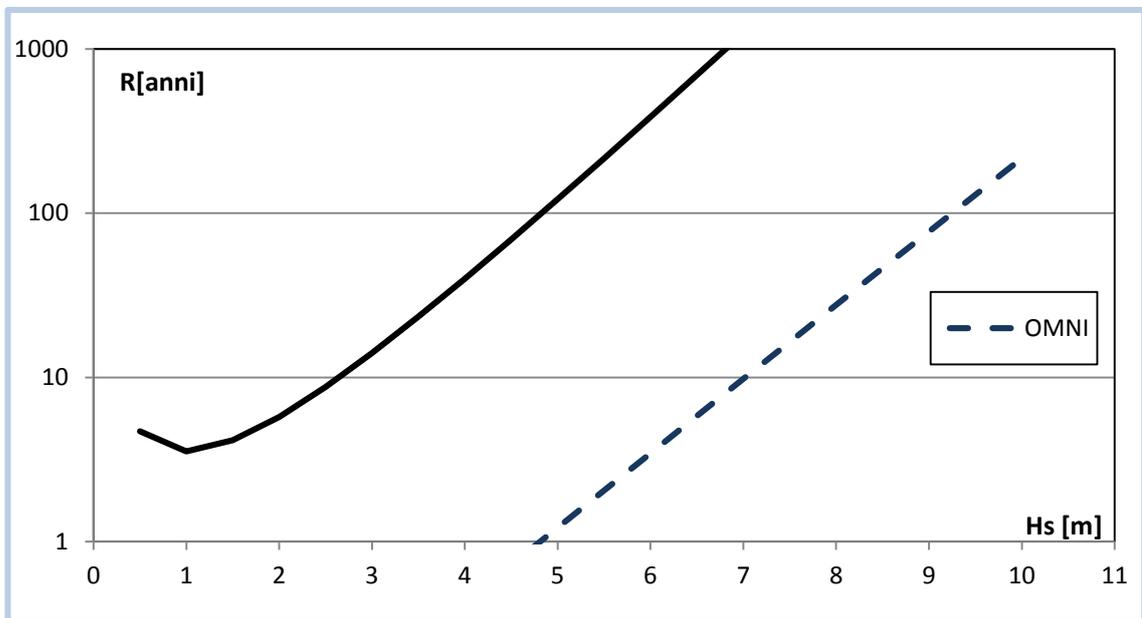


Fig. 5.31 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della funzione direzionale per il settore in esame, la linea tratteggiata indica il periodo di ritorno omnidirezionale. SETTORE 155-165°

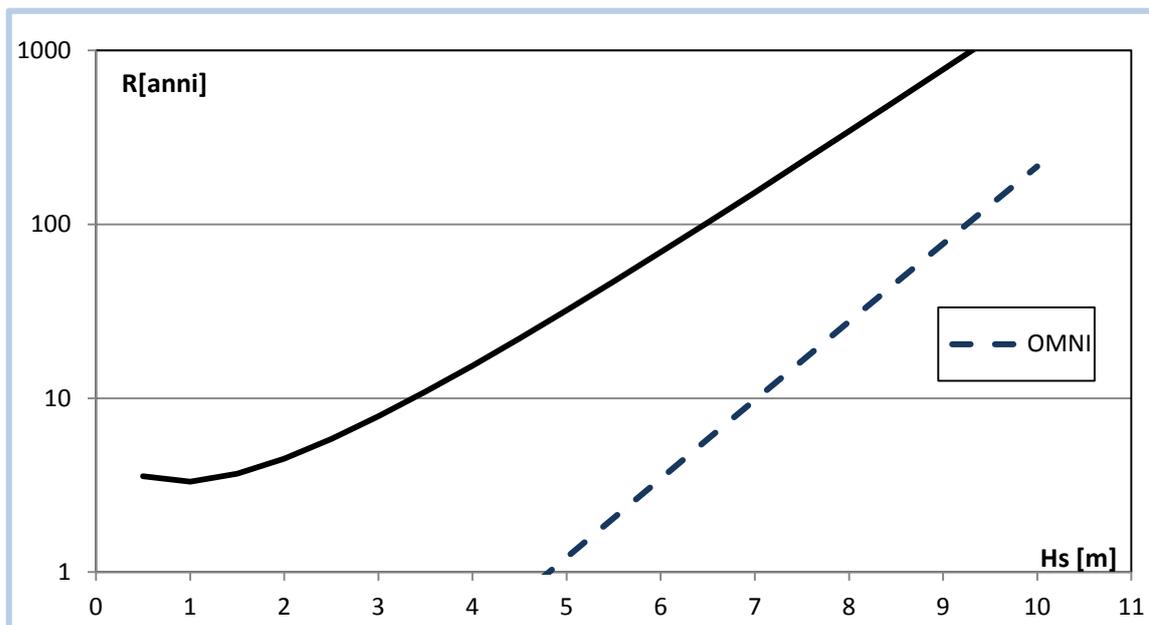


Fig. 5.32 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della funzione direzionale per il settore in esame, la linea tratteggiata indica il periodo di ritorno omnidirezionale. SETTORE 165-175°

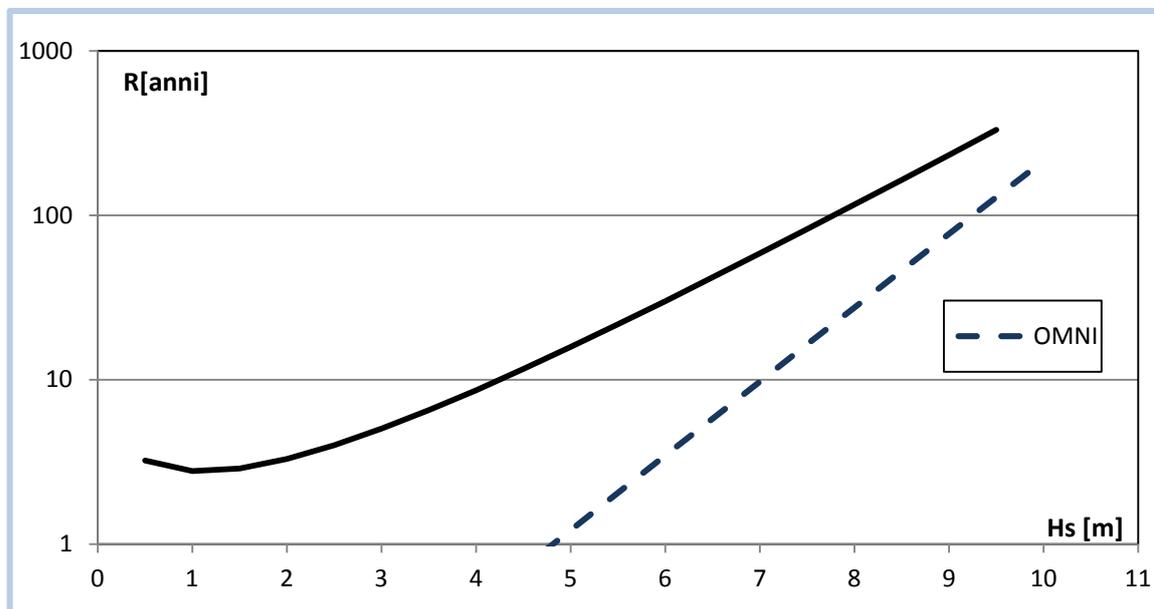


Fig. 5.33 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della funzione direzionale per il settore in esame, la linea tratteggiata indica il periodo di ritorno omnidirezionale. SETTORE 175-185°

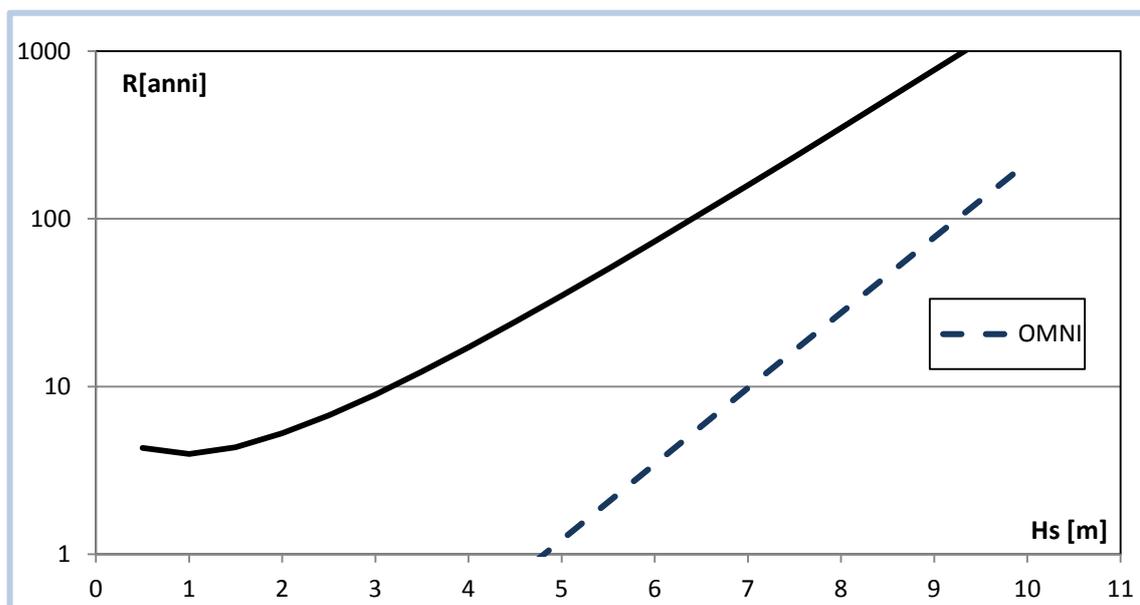


Fig. 5.34 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della funzione direzionale per il settore in esame, la linea tratteggiata indica il periodo di ritorno omnidirezionale. SETTORE 185-195°

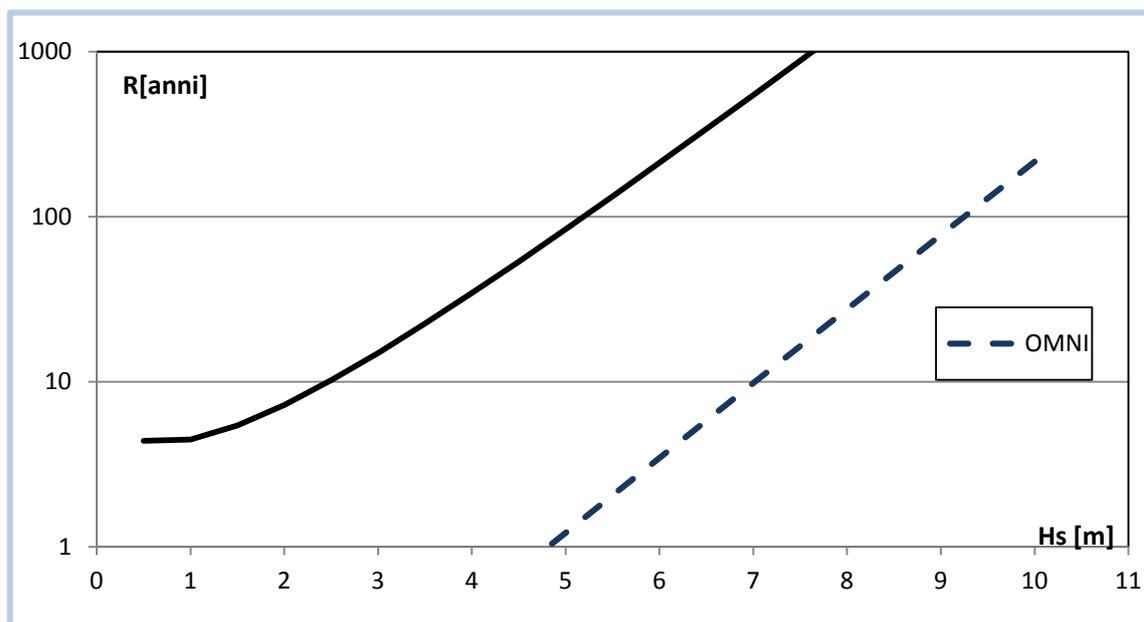


Fig. 5.35 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della funzione direzionale per il settore in esame, la linea tratteggiata indica il periodo di ritorno omnidirezionale. SETTORE 195-205°

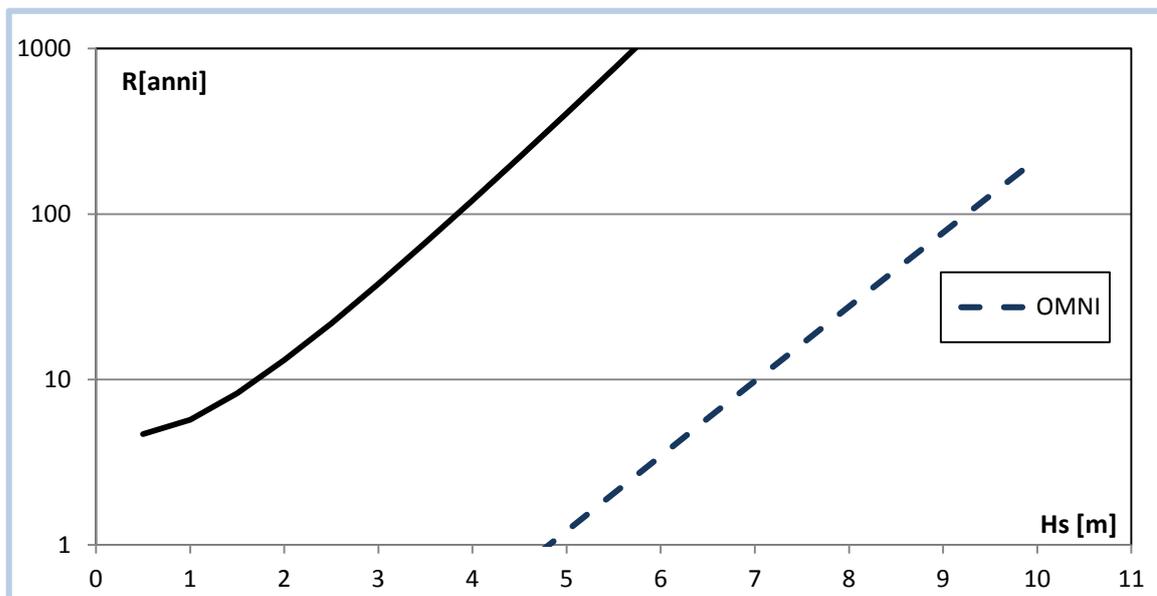


Fig. 5.36 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. La linea continua indica l'andamento della funzione direzionale per il settore in esame, la linea tratteggiata indica il periodo di ritorno omnidirezionale. SETTORE 205-215°

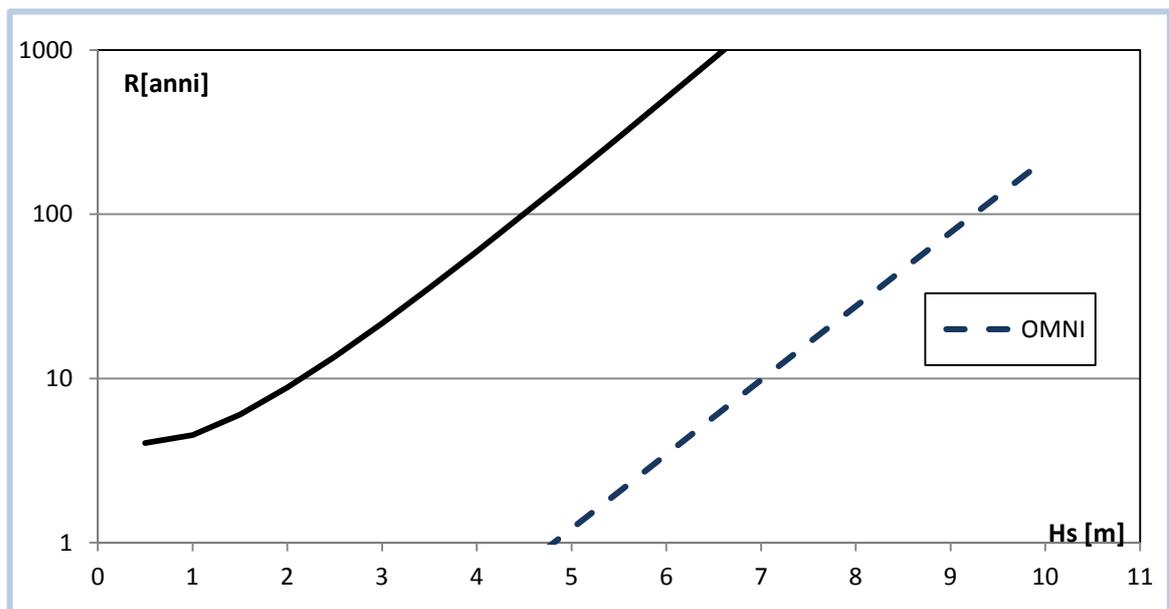


Fig. 5.147 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati UKMO, relativi al punto [38.3 °N; 16.7 °E]. la linea continua indica l'andamento della funzione direzionale per il settore in esame, la linea tratteggiata indica il periodo di ritorno omnidirezionale. SETTORE 215-225°

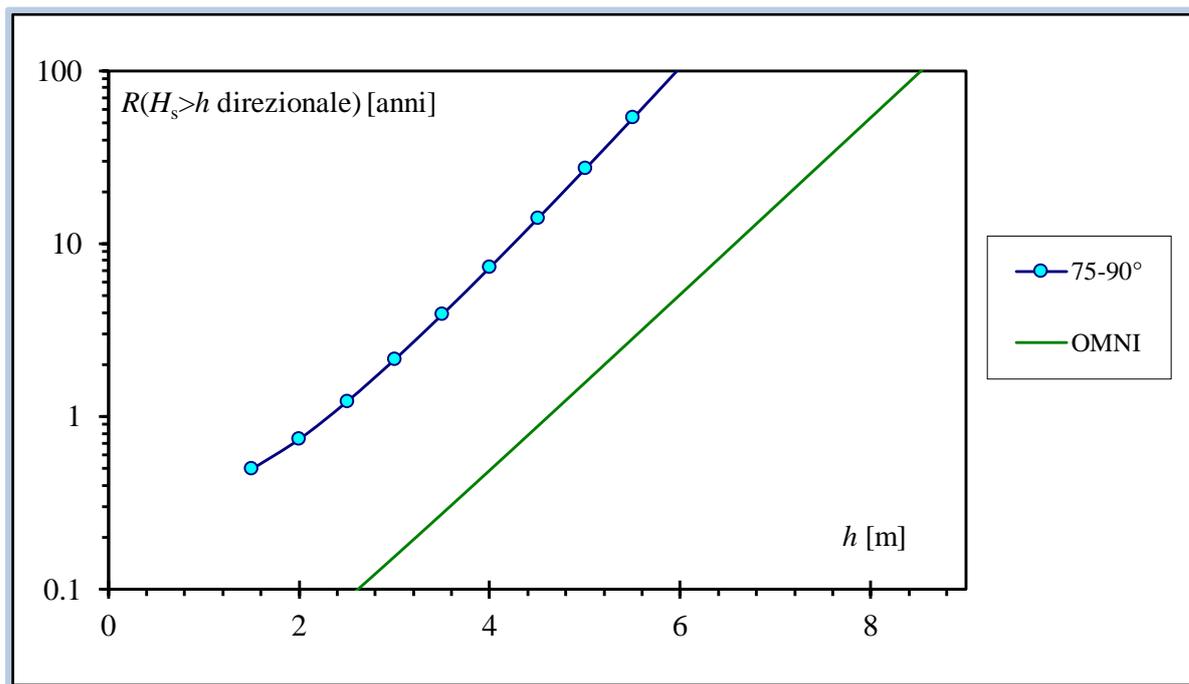


Fig. 5.38 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati MWM, relativi al punto [38.29°N-16.45°E], per un settore di 15°. La linea verde continua indica l'andamento della funzione omnidirezionale. La linea blu con gli indicatori indica i valori direzionali, per il settore in esame.

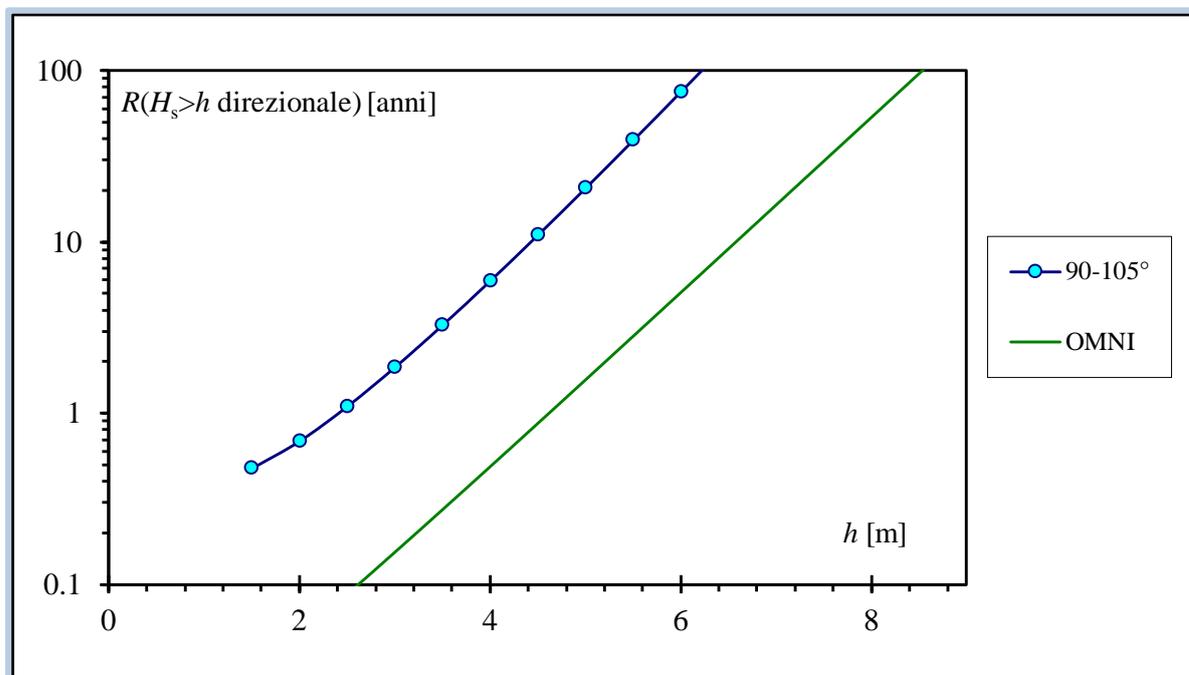


Fig. 5.39 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati MWM, relativi al punto [38.29°N-16.45°E], per un settore di 15°. La linea verde continua indica l'andamento della funzione omnidirezionale. La linea blu con gli indicatori indica i valori direzionali, per il settore in esame.

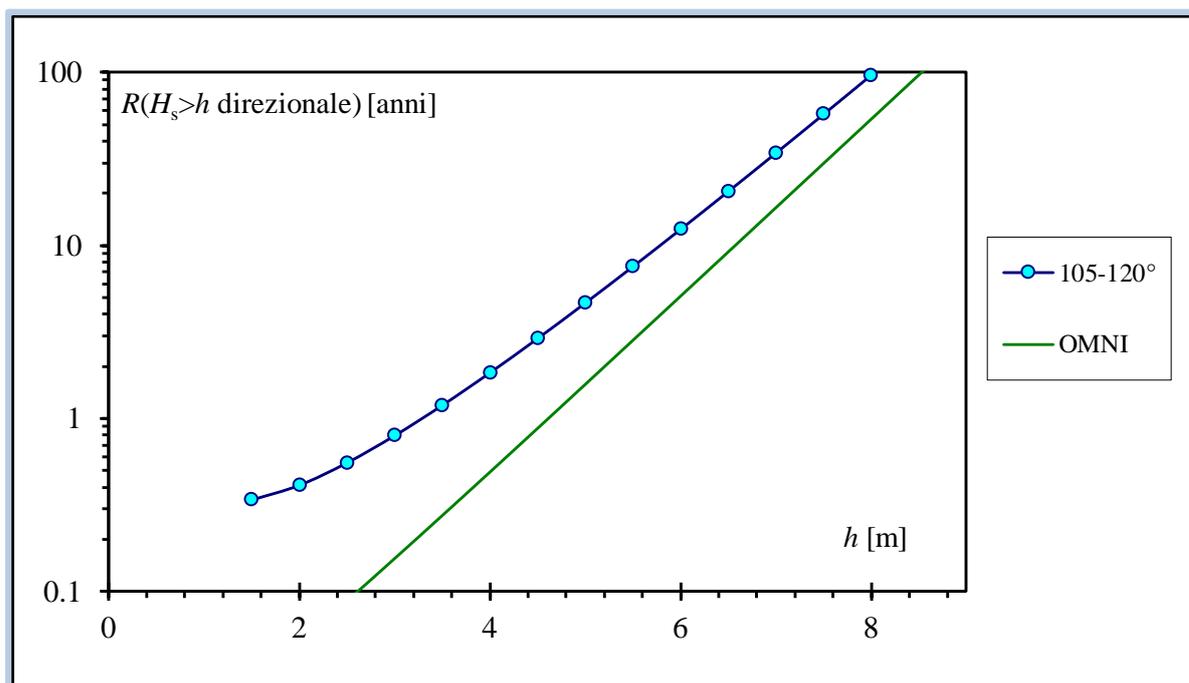


Fig. 5.40 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati MWM, relativi al punto [38.29°N-16.45°E], per un settore di 15°. La linea verde continua indica l'andamento della funzione omnidirezionale. La linea blu con gli indicatori indica i valori direzionali, per il settore in esame.

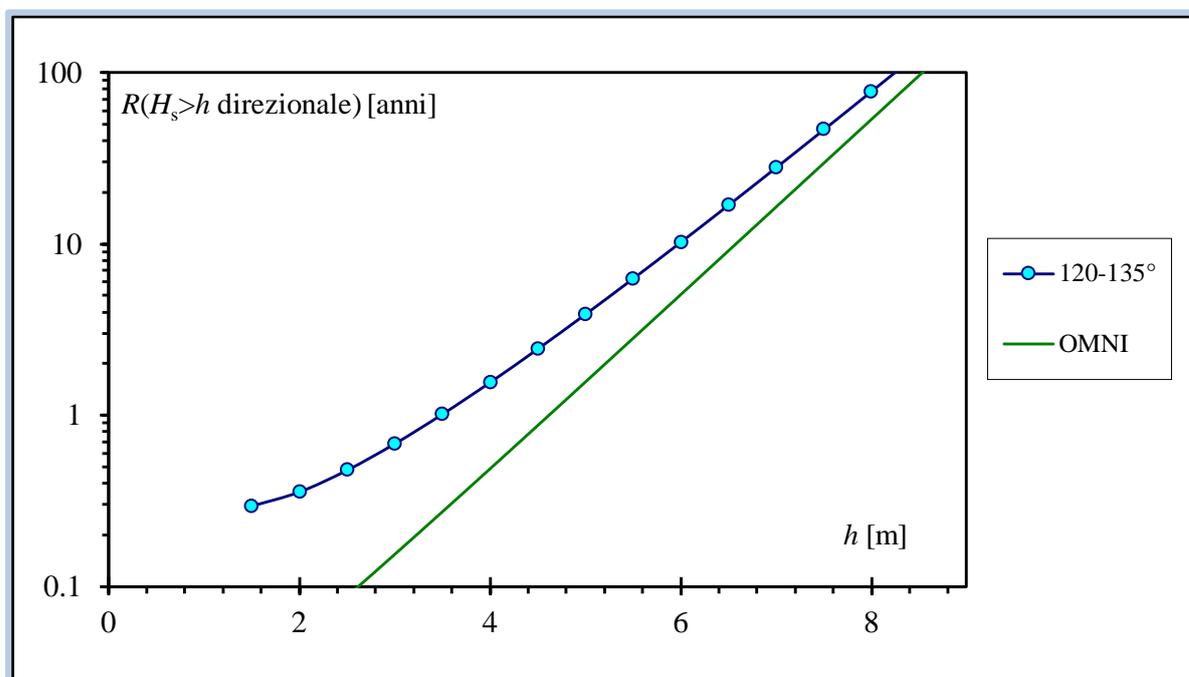


Fig. 5.41 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati MWM, relativi al punto [38.29°N-16.45°E], per un settore di 15°. La linea verde continua indica l'andamento della funzione omnidirezionale. La linea blu con gli indicatori indica i valori direzionali, per il settore in esame.

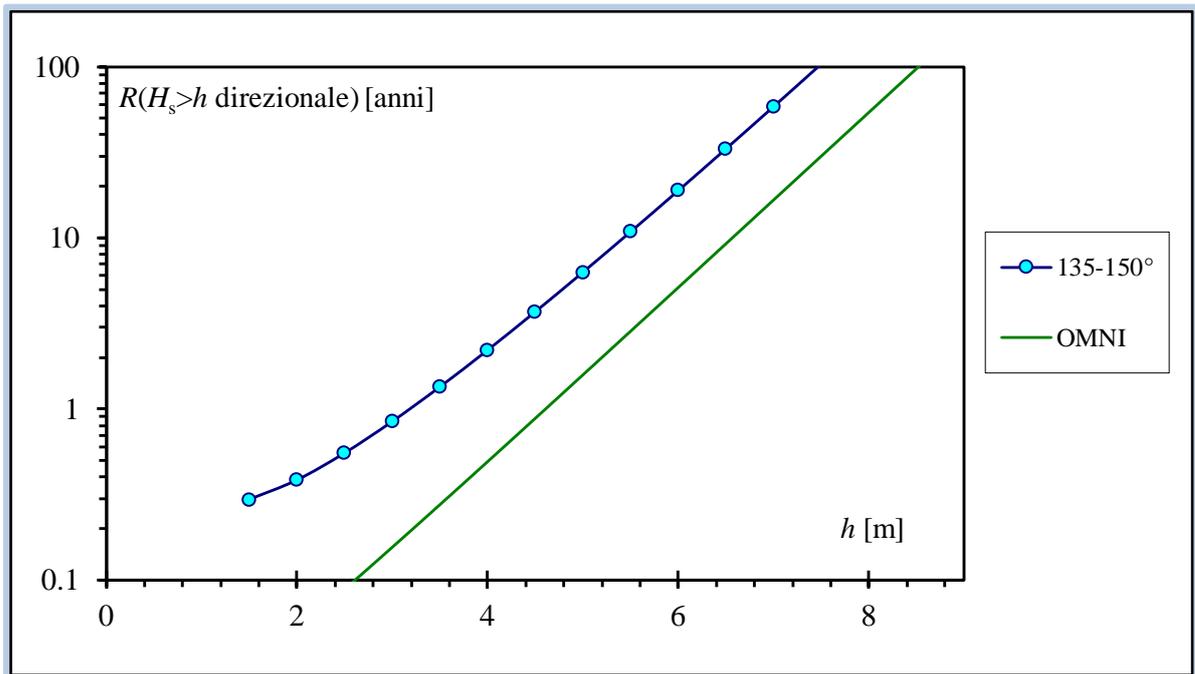


Fig. 5.42 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati MWM, relativi al punto [38.29°N-16.45°E], per un settore di 15°. La linea verde continua indica l'andamento della funzione omnidirezionale. La linea blu con gli indicatori indica i valori direzionali, per il settore in esame.

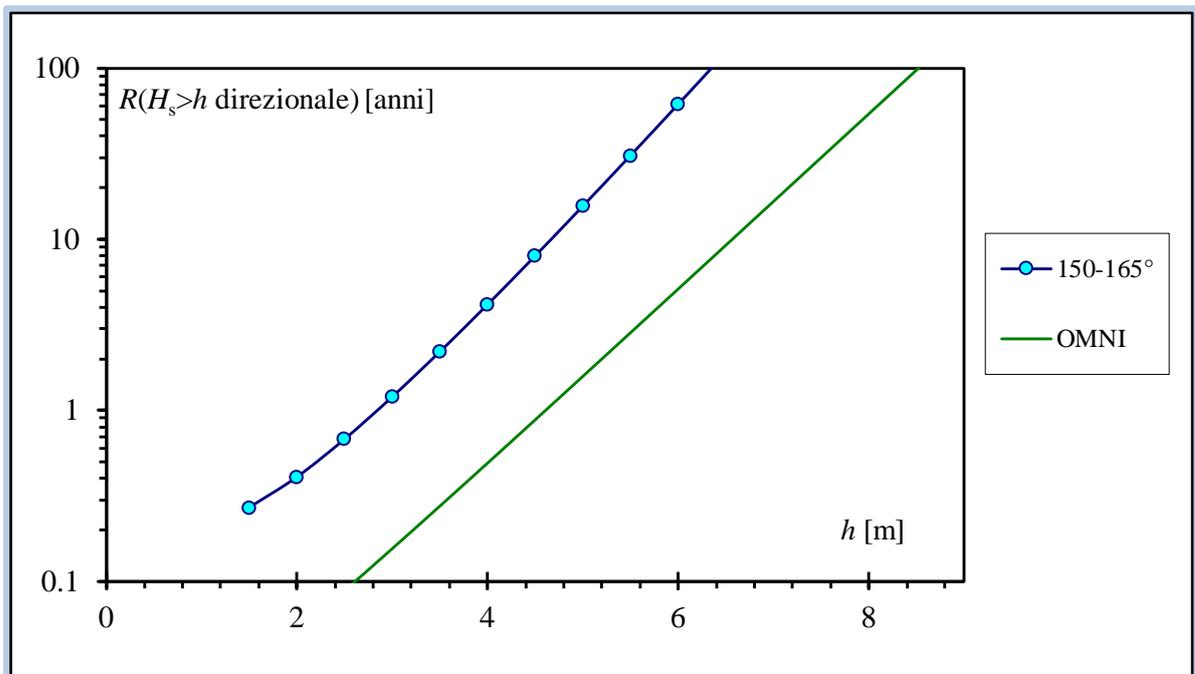


Fig. 5.43 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati MWM, relativi al punto [38.29°N-16.45°E], per un settore di 15°. La linea verde continua indica l'andamento della funzione omnidirezionale. La linea blu con gli indicatori indica i valori direzionali, per il settore in esame.

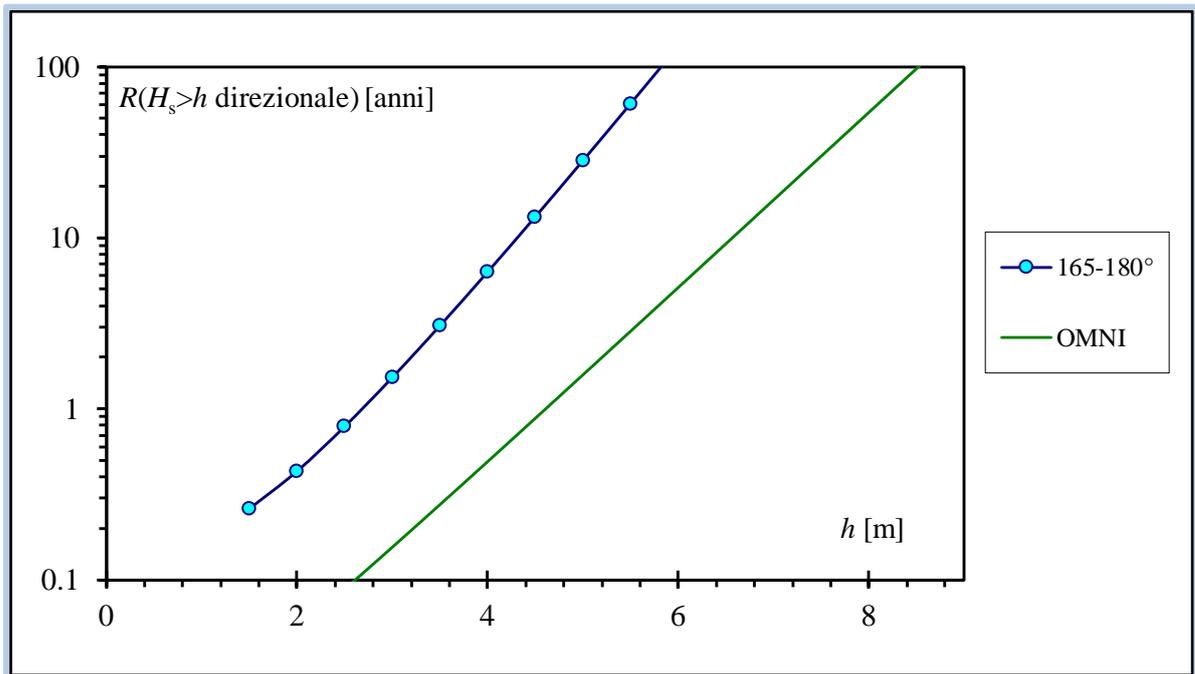


Fig. 5.44 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati MWM, relativi al punto [38.29°N-16.45°E], per un settore di 15°. La linea verde continua indica l'andamento della funzione omnidirezionale. La linea blu con gli indicatori indica i valori direzionali, per il settore in esame.

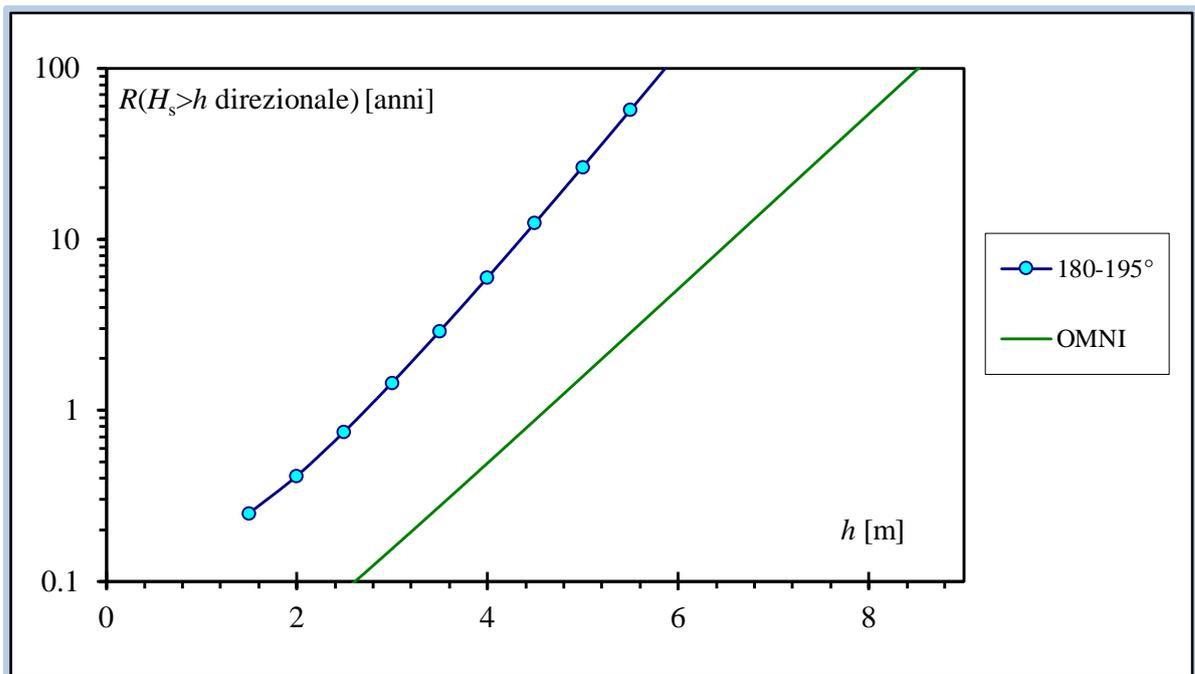


Fig. 5.155 Il periodo di ritorno direzionale ottenuto a partire dai dati MWM, relativi al punto [38.29°N-16.45°E], per un settore di 15°. La linea verde continua indica l'andamento della funzione omnidirezionale. La linea blu con gli indicatori indica i valori direzionali, per il settore in esame.

Si riportano di seguito i valori delle altezze significative ottenute con i dati UKMO e per i dati MWM per cinque soglie assegnate di periodo di ritorno $R(H_s > h; \Delta\theta)$ (10 anni – 20 anni – 50 anni – 100 anni – 200 anni), per settori direzionali di ampiezza pari a 10° (dati UKMO) e 15° (dati MWM).

Tab. 5.4 Valori delle altezze significative ottenute con i dati UKMO per cinque soglie assegnate di periodo di ritorno (10 anni – 20 anni – 50 anni – 100 anni – 200 anni), per settori direzionali di ampiezza pari a 10°

SETTORE 95-105°	UKMO
R(Hs>h,Δθ)	h [m]
10	3.9
20	4.9
50	6.1
100	7.0
200	7.8

SETTORE 155-165°	UKMO
R(Hs>h,Δθ)	h [m]
10	2.6
20	3.4
50	4.2
100	4.8
200	5.4

SETTORE 105-115°	UKMO
R(Hs>h,Δθ)	h [m]
10	4.7
20	5.9
50	7.3
100	8.3
200	9.3

SETTORE 165-175°	UKMO
R(Hs>h,Δθ)	h [m]
10	3.9
20	4.5
50	5.3
100	5.9
200	6.5

SETTORE 115-125°	UKMO
R(Hs>h,Δθ)	h [m]
10	3.7
20	4.7
50	6.0
100	6.9
200	7.8

SETTORE 175-185°	UKMO
R(Hs>h,Δθ)	h [m]
10	2.6
20	3.3
50	4.2
100	4.8
200	5.4

SETTORE 125-135°	UKMO
R(Hs>h,Δθ)	h [m]
10	3.0
20	3.9
50	4.9
100	5.7
200	6.4

SETTORE 185-195°	UKMO
R(Hs>h,Δθ)	h [m]
10	2.4
20	3.1
50	4.0
100	4.6
200	5.2

SETTORE 135-145°	UKMO
R(Hs>h,Δθ)	h [m]
10	2.2
20	2.9
50	3.7
100	4.3
200	4.9

SETTORE 195-205°	UKMO
R(Hs>h,Δθ)	h [m]
10	2.2
20	2.9
50	3.8
100	4.5
200	5.1

SETTORE 145-155°	UKMO
R(Hs>h,Δθ)	h [m]
10	2.7
20	3.4
50	4.3
100	5.0
200	5.6

SETTORE 205-215°	UKMO
R(Hs>h,Δθ)	h [m]
10	1.3
20	2.4
50	3.3
100	4.0
200	4.6

Tab. 5.5 Valori delle altezze significative ottenute con i dati MWM per cinque soglie assegnate di periodo di ritorno (10 anni – 20 anni – 50 anni – 100 anni – 200 anni), per settori direzionali di ampiezza pari a 15°

Settore 75-90°			Settore 90-105°	
$R(H_s > h; \Delta\theta)$ [m]	H_s [m]		$R(H_s > h; \Delta\theta)$ [m]	H_s [m]
10	4.3		10	4.5
20	4.8		20	5
50	5.5		50	5.7
100	6		100	6.2
200	6.5		200	6.7

Settore 105-120°			Settore 120-135°	
$R(H_s > h; \Delta\theta)$ [m]	H_s [m]		$R(H_s > h; \Delta\theta)$ [m]	H_s [m]
10	5.8		10	6
20	6.5		20	6.7
50	7.5		50	7.6
100	8		100	8.3
200	8.7		200	8.9

Tab. 5.6 Valori delle altezze significative ottenute con i dati MWM per cinque soglie assegnate di periodo di ritorno (10 anni – 20 anni – 50 anni – 100 anni – 200 anni), per settori direzionali di ampiezza pari a 15°

Settore 135-150°			Settore 150-165°	
$R(H_s > h; \Delta\theta)$ [m]	H_s [m]		$R(H_s > h; \Delta\theta)$ [m]	H_s [m]
10	5.5		10	4.7
20	6.1		20	5.2
50	6.9		50	5.9
100	7.5		100	6.4
200	8.1		200	6.9

Settore 165-180°			Settore 180-195°	
$R(H_s > h; \Delta\theta)$ [m]	H_s [m]		$R(H_s > h; \Delta\theta)$ [m]	H_s [m]
10	4.4		10	4.3
20	4.9		20	4.8
50	5.4		50	5.4
100	5.9		100	5.9
200	6.3		200	6.3

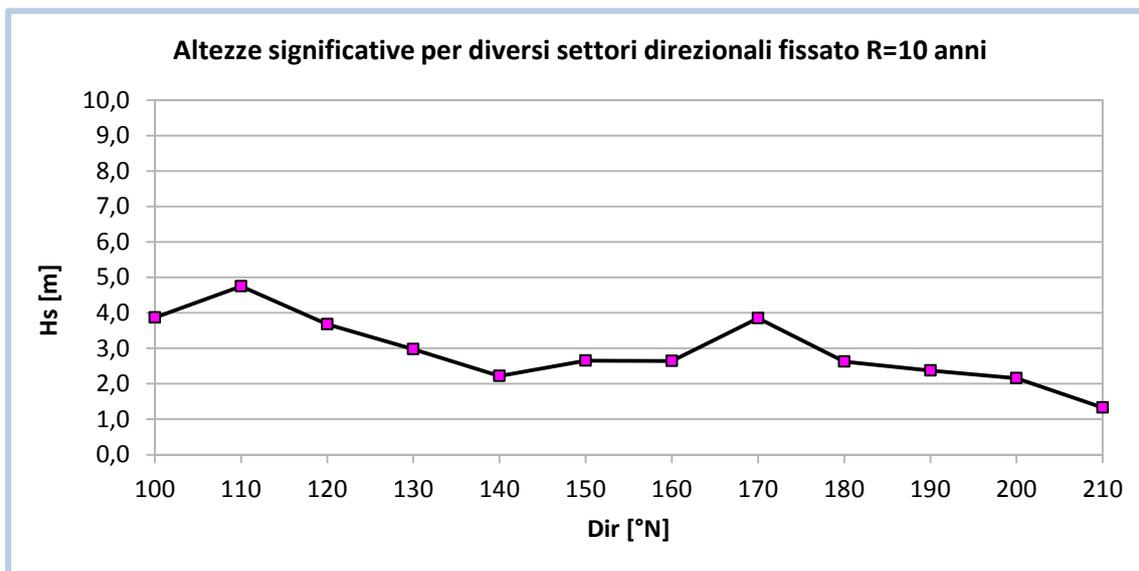


Fig. 5.46 Le altezze significative per diversi settori direzionali (aventi ciascuno ampiezza di 10°, centrati sull'angolo riportato in ascissa) calcolate per un valore assegnato del periodo di ritorno, pari a 10 anni. Dati UKMO.

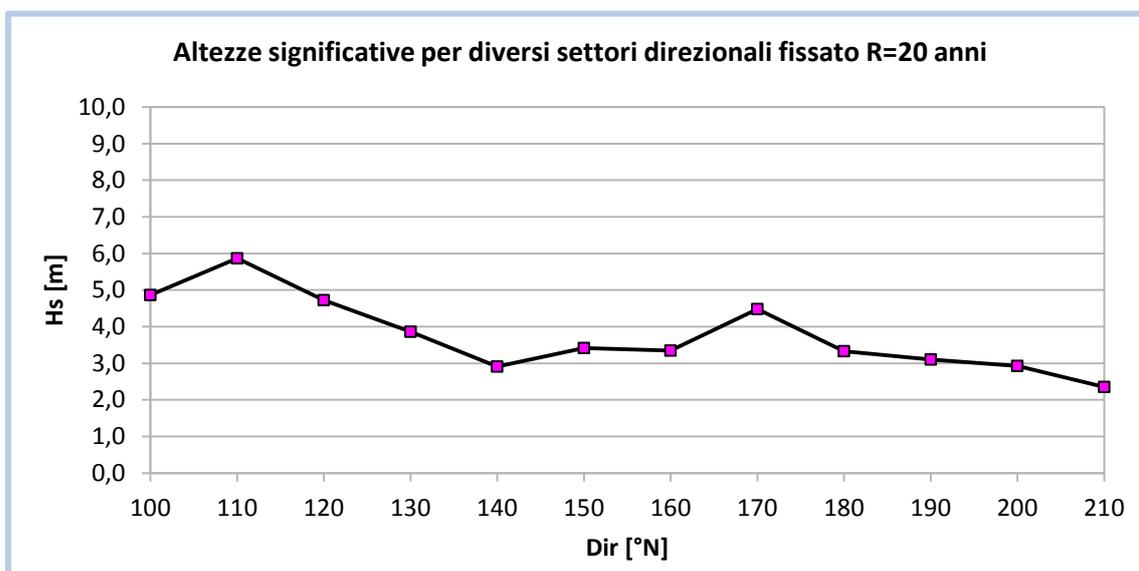


Fig. 5.47 Le altezze significative per diversi settori direzionali (aventi ciascuno ampiezza di 10°, centrati sull'angolo riportato in ascissa) calcolate per un valore assegnato del periodo di ritorno, pari a 20 anni. Dati UKMO.

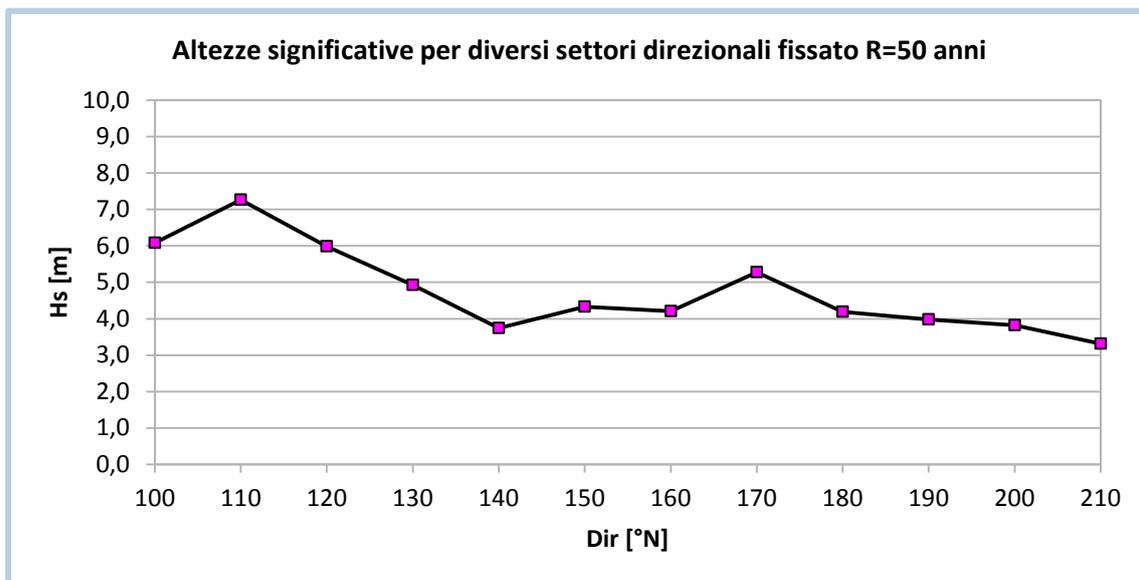


Fig. 5.48 Le altezze significative per diversi settori direzionali (aventi ciascuno ampiezza di 10°, centrati sull'angolo riportato in ascissa) calcolate per un valore assegnato del periodo di ritorno, pari a 50 anni. Dati UKMO.

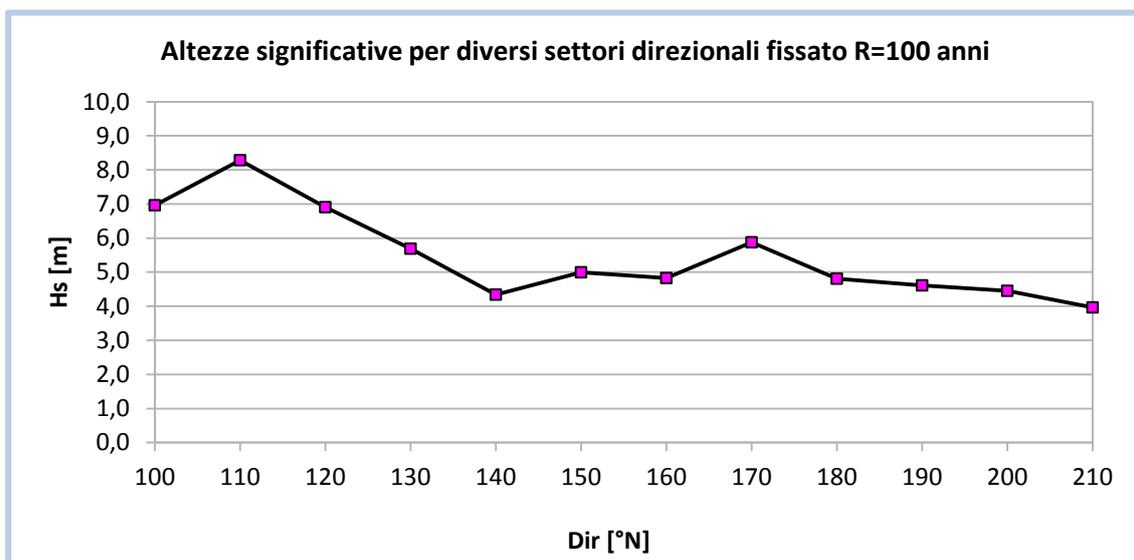


Fig. 5.49 Le altezze significative per diversi settori direzionali (aventi ciascuno ampiezza di 10°, centrati sull'angolo riportato in ascissa) calcolate per un valore assegnato del periodo di ritorno, pari a 100 anni. Dati UKMO.

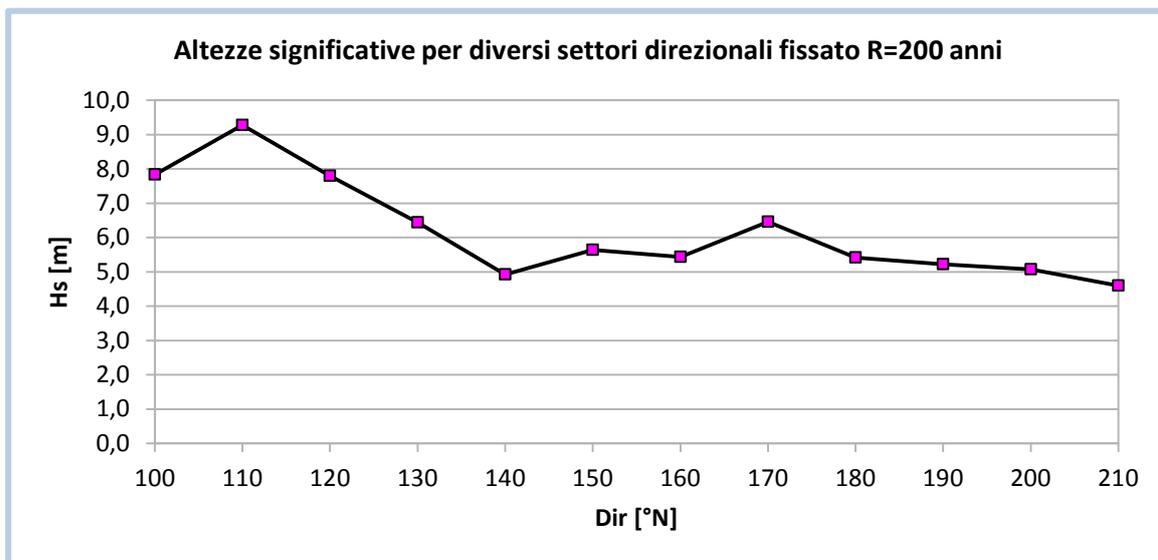


Fig. 5.50 Le altezze significative per diversi settori direzionali (aventi ciascuno ampiezza di 10°, centrati sull'angolo riportato in ascissa) calcolate per un valore assegnato del periodo di ritorno, pari a 200 anni. Dati UKMO.

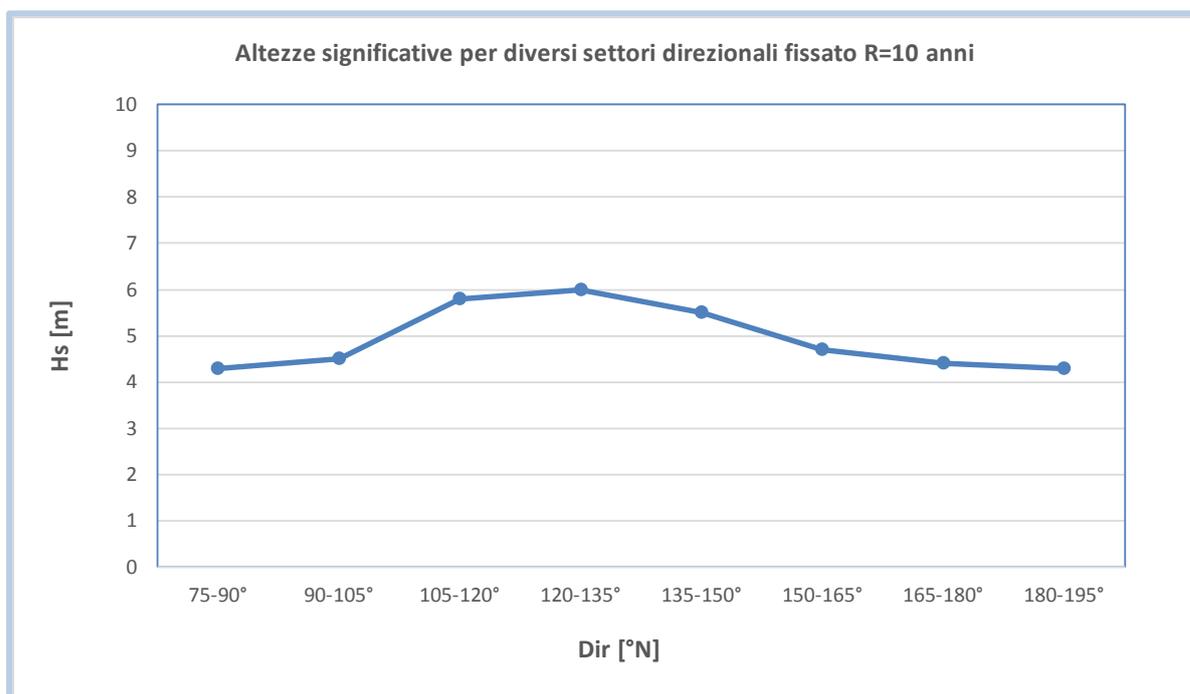


Fig. 5.51 Le altezze significative per diversi settori direzionali (aventi ciascuno ampiezza di 15°) calcolate per un valore assegnato del periodo di ritorno, pari a 10 anni. Dati MWM.

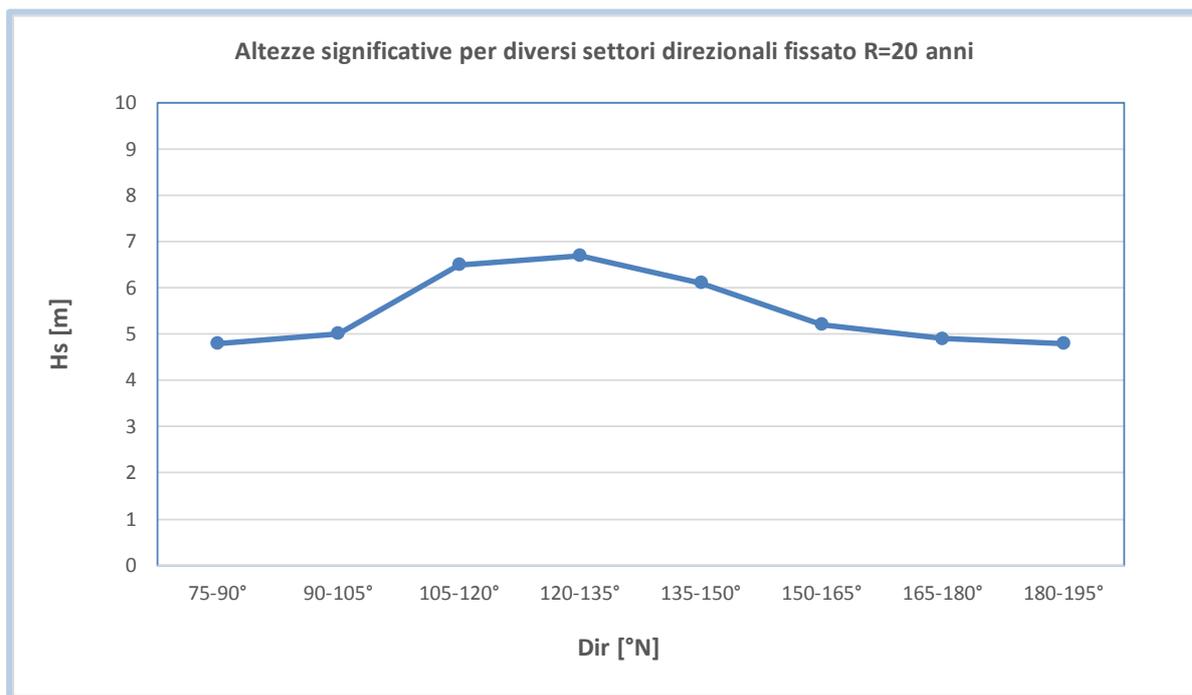


Fig. 5.52 Le altezze significative per diversi settori direzionali (aventi ciascuno ampiezza di 15°) calcolate per un valore assegnato del periodo di ritorno, pari a 20 anni. Dati MWM.

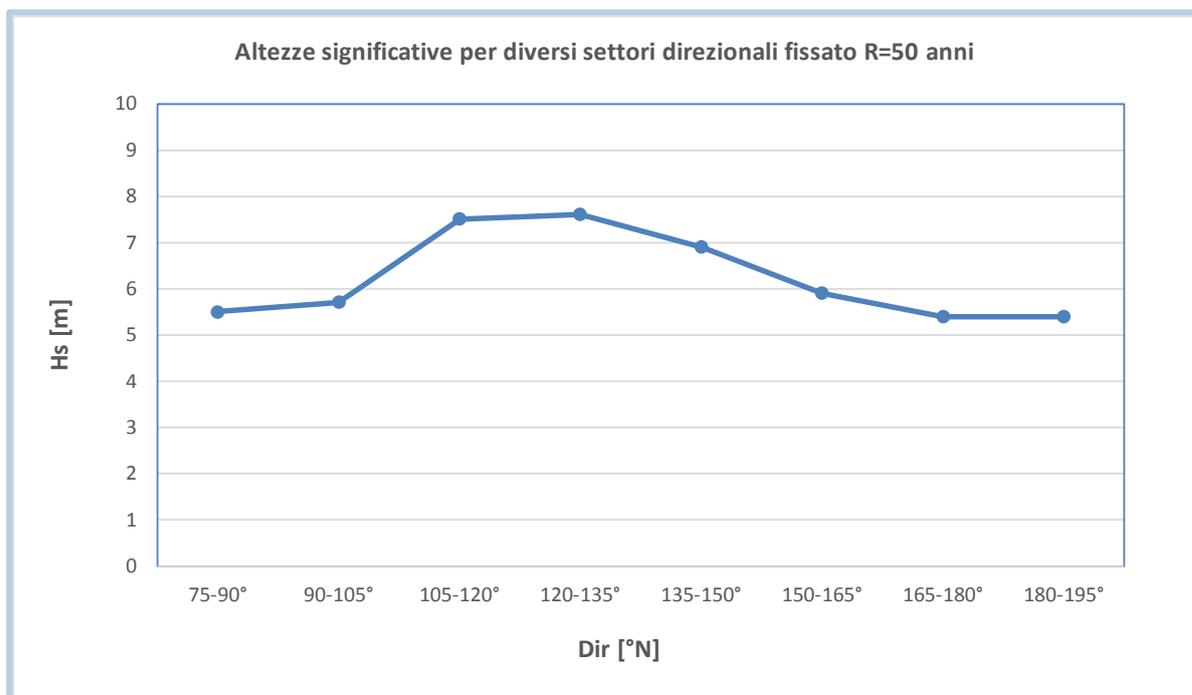


Fig. 5.53 Le altezze significative per diversi settori direzionali (aventi ciascuno ampiezza di 15°) calcolate per un valore assegnato del periodo di ritorno, pari a 50 anni. Dati MWM.

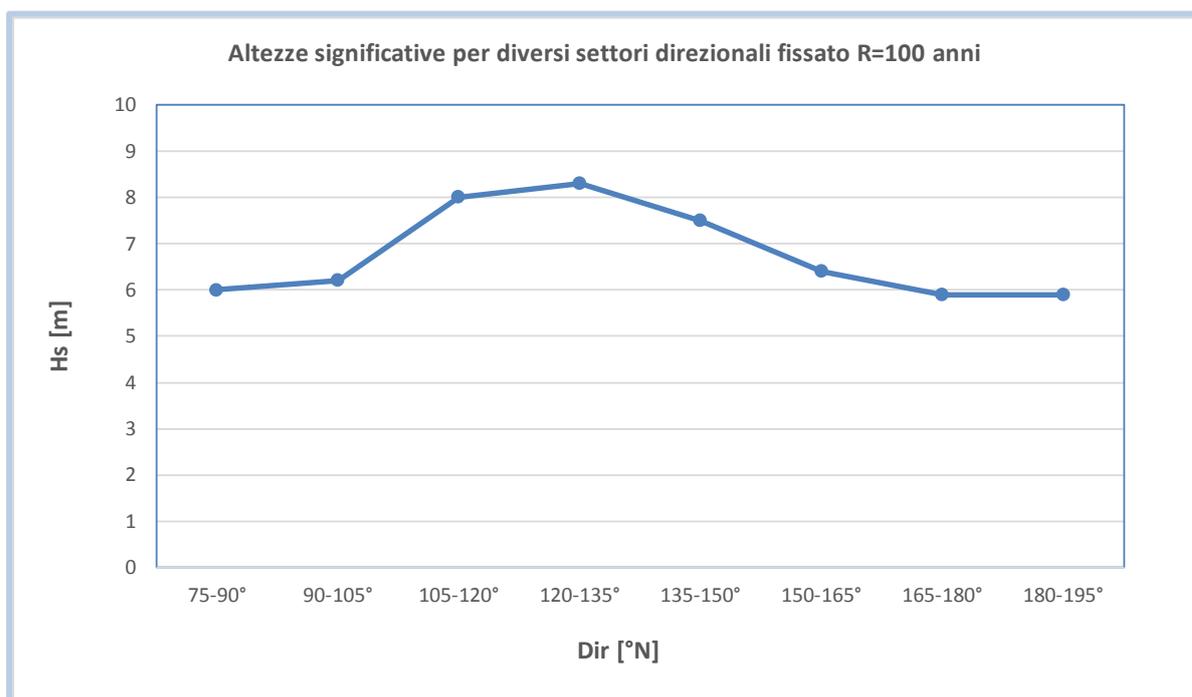


Fig. 5.54 Le altezze significative per diversi settori direzionali (aventi ciascuno ampiezza di 15°) calcolate per un valore assegnato del periodo di ritorno, pari a 100 anni. Dati MWM.

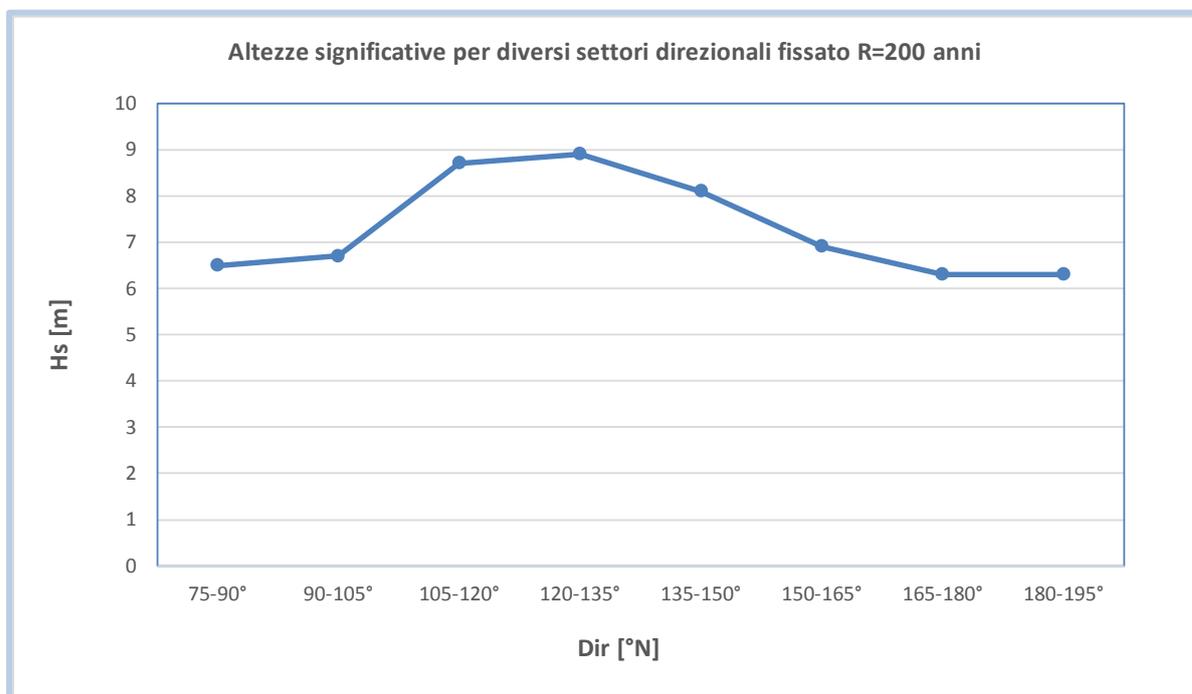


Fig. 5.55 Le altezze significative per diversi settori direzionali (aventi ciascuno ampiezza di 15°) calcolate per un valore assegnato del periodo di ritorno, pari a 200 anni. Dati MWM.



Comune di
Roccella Jonica



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
'MEDITERRANEA'
DI REGGIO CALABRIA

NATURAL OCEAN ENGINEERING LABORATORY **NOEL**

DIP. DICEAM

STUDIO MORFODINAMICO PER IL PORTO DI ROCCELLA JONICA

MAGGIO 2019

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	LOCALIZZAZIONE DEL SITO	4
3.	DATI DI INPUT	5
3.1	Dati batimetrici e topografici	5
3.2	Dati di riferimento	7
4.	PROPAGAZIONE DEL CLIMA ONDOSO SOTTOCOSTA: DATI DI INPUT	7
5.	PROPAGAZIONE DEL CLIMA ONDOSO SOTTOCOSTA	9
6.	ANALISI DEL TRASPORTO SOLIDO COSTIERO	13
6.1	Bilancio annuale.....	13
7.	DETERMINAZIONE DI EVENTI RAPPRESENTATIVI DEL TRASPORTO	15
8.	CONFIGURAZIONI DI STUDIO.....	17
9.	GRIGLIE DI CALCOLO.....	20
10.	PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO E CORRENTI LITORANEE	21
10.1	Risultati del modello di propagazione del moto ondoso.....	21
10.2	Risultati del modello di circolazione idraulica	31
11.	MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE DEL TRASPORTO DI SEDIMENTI.....	41
12.	CONCLUSIONI	51
13.	APPENDICE A.....	53
	DESCRIZIONE GENERALE DEL DATABASE HINDCAST MWM	53
14.	APPENDICE B:.....	75
	BREVE DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO MIKE 21	75

1. PREMESSA

Il presente elaborato fornisce la caratterizzazione del clima sottocosta in corrispondenza del paraggio di Roccella Jonica a partire dai dati di onda a largo, fondamentale per la progettazione delle opere di difesa costiera.

L'analisi è stata condotta applicando il modulo di calcolo SW (Spectral waves) del modello numerico MIKE 21 del DHI.

Dopo aver definito il paraggio di riferimento ed aver individuato il settore di traversia principale, sono stati individuati 314 eventi di mare ordinari, associati a diversi periodi di ritorno, da propagare con il modulo MIKE 21 SW da largo a sotto costa. Sono quindi stati estratti, dall'output del modello, i valori dei parametri caratteristici dell'onda (H_s , T_p e M.W.D.) in un punto di riferimento del dominio sottocosta.

Per lo studio si è fatto riferimento ai dati del database Mediterranean Wind Wave Model (MWM) relativi al punto [38.29°N-16.45°E], rappresentato in figura 1. Tale database (la cui descrizione è riportata in appendice A) è composto da dati orari del vento e delle onde su tutto il bacino del Mediterraneo, con una risoluzione di circa 10 km per il vento e una risoluzione variabile per le onde, che vanno da circa 10 km in mare aperto fino a circa 3 km in zone poco profonde, vicino alla costa e attorno alle isole.

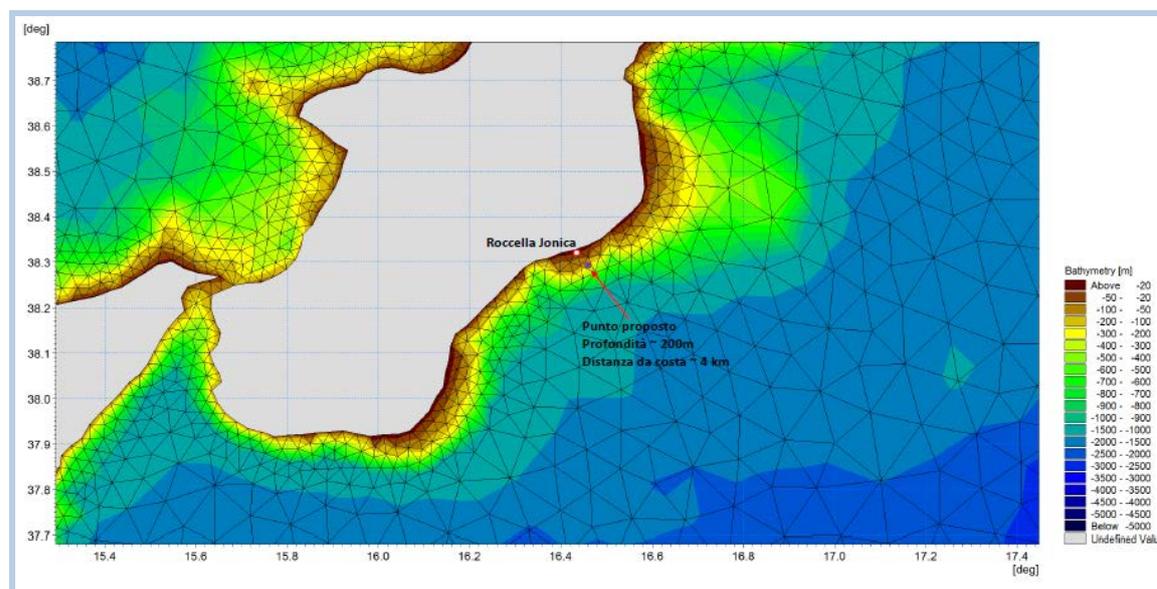


Fig. 1 Collocazione del punto di estrazione del database MWM

Infine, si procede all'analisi dei campi di correnti e del trasporto dei sedimenti, per diversi valori assegnati di onde caratteristiche, comparando lo stato attuale del litorale oggetto di studio con lo stato di progetto.

Gli studi saranno rielaborati in fase di progettazione esecutiva, utilizzando in input i dati di progetto finali.

2. LOCALIZZAZIONE DEL SITO

L'area oggetto di studio (Figure 2.1), localizzata nell'intorno del punto di coordinate [38.19°N-16.24°N], è situata nella parte meridionale della Calabria e si affaccia sul Mar Ionio. La costa è caratterizzata da spiagge sabbiose, che in alcuni tratti presentano basse dune retrostanti. La sabbia naturale presenta una granulometria variabile tra media e grossolana.

L'erosione a cui è soggetto in condizioni naturali il tratto di costa è dovuta alla diminuzione dell'apporto di sedimenti dai corsi d'acqua successiva alla realizzazione di arginature di questi ultimi.

A seguito poi della costruzione del Porto di Roccella Jonica (Figure 2.2), nel tratto di costa a Sud Ovest del Porto stesso, il fenomeno erosivo si è incrementato a causa dell'interruzione del trasporto litoraneo dovuta alla presenza dei moli del Porto. L'accumulo di sedimenti ha invece determinato a Nord Est dei moli portuali lo sviluppo di un'ampia spiaggia.

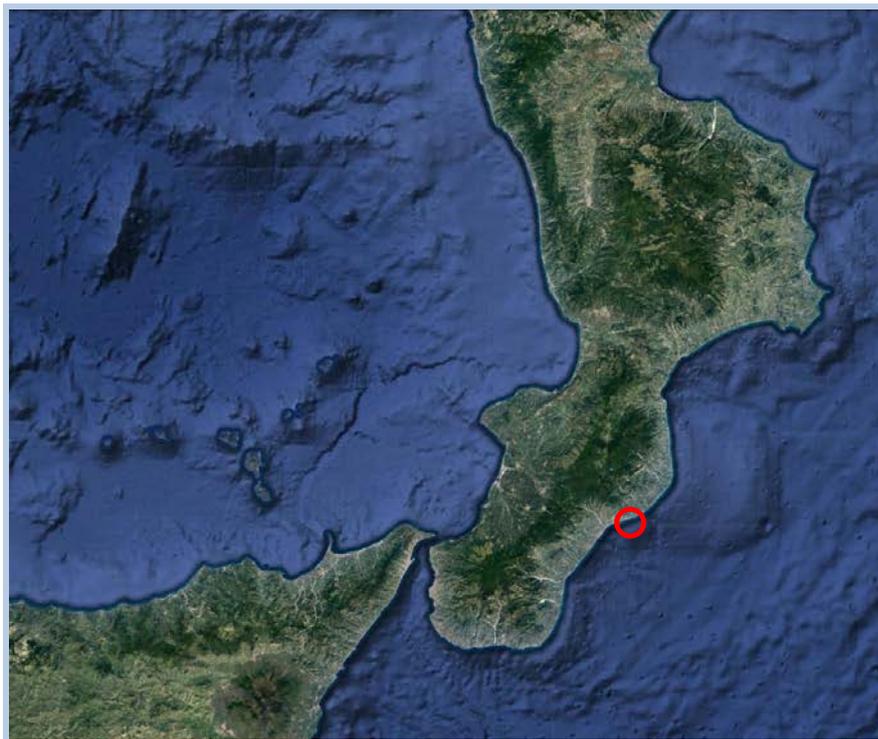


Fig. 2.1 Localizzazione dell'area oggetto di studio (Fonte: Google Earth)



Fig. 2.2 Litorale di Roccella Jonica

3. DATI DI INPUT

3.1 Dati batimetrici e topografici

I dati batimetrici utilizzati per il presente studio fanno riferimento a tre fonti:

1. Rilievo batimetrico;
2. Rilievo topografico della spiaggia e della linea di riva;
3. Dati C-MAP

La batimetria è stata prevalentemente utilizzata per la costruzione del modello numerico per il calcolo delle trasformazioni del moto ondoso. In particolare sono stati considerati i dati del rilievo della linea di riva fino alla profondità dei 30 m, mentre per le maggiori profondità sono stati utilizzati i dati forniti mediante l'utilizzo del software C-MAP (Figura 3.1).

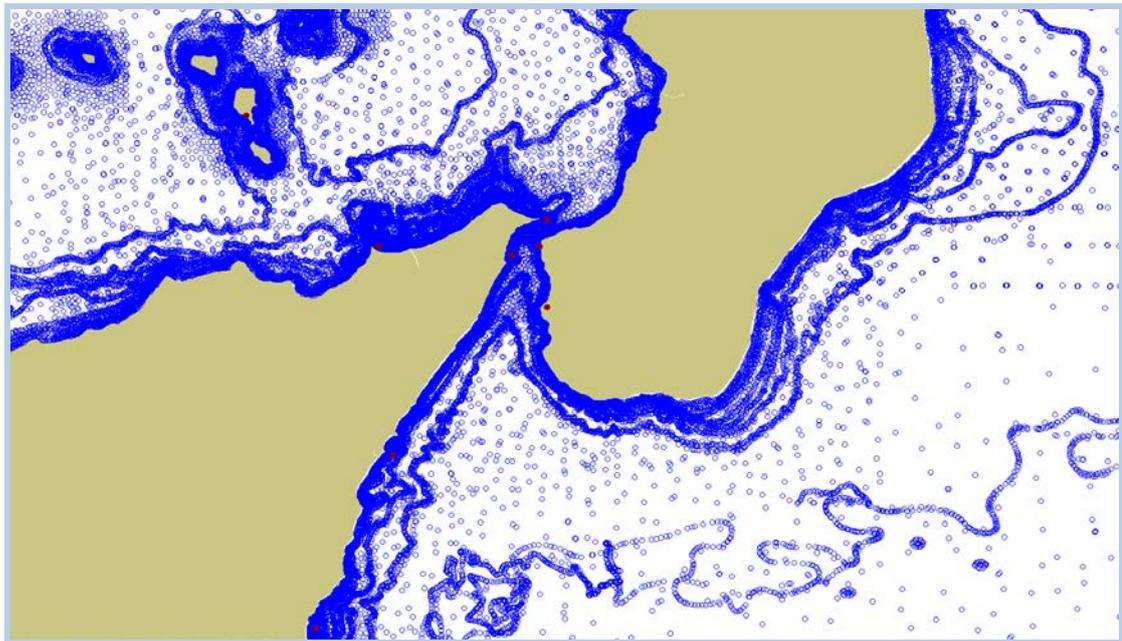
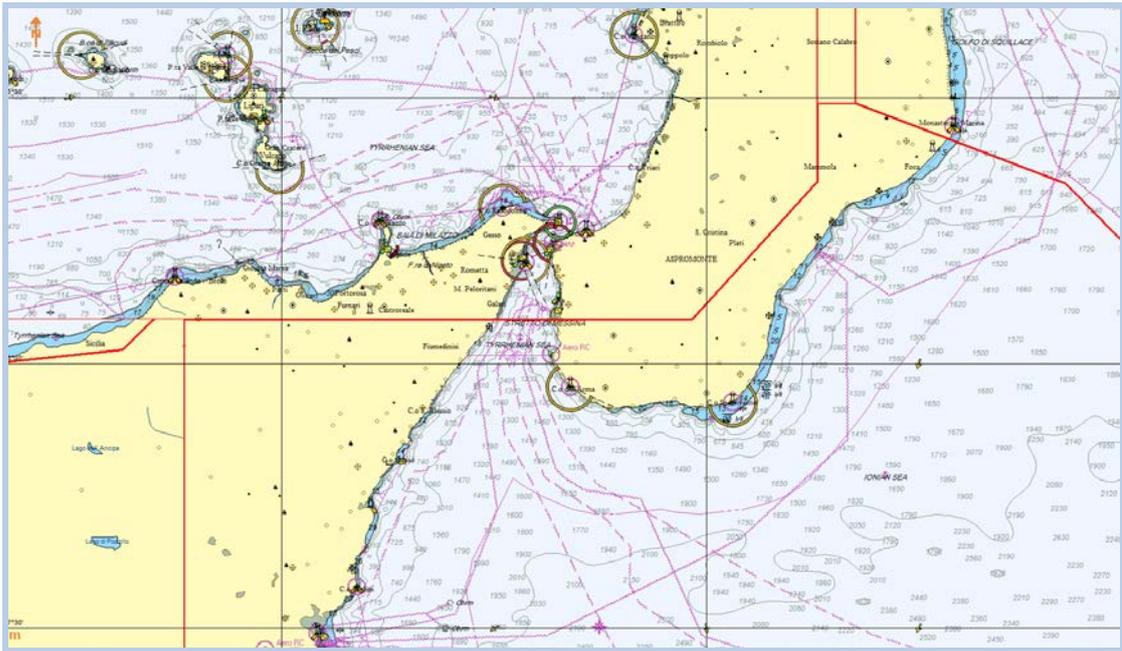


Fig. 3.1 Esportazione dati batimetrici mediante C-MAP

3.2 Dati di riferimento

I dati utilizzati sono stati ottenuti del database Mediterranean Wind Wave Model (MWM).

Tali dati sono relativi al grid point avente coordinate geografiche sono [38.29°N-16.45°E]. Tale database è composto da dati orari del vento e delle onde su tutto il bacino del Mediterraneo, con una risoluzione di circa 10 km per il vento e una risoluzione variabile per le onde, che vanno da circa 10 km in mare aperto fino a circa 3 km in zone poco profonde, vicino alla costa e attorno alle isole.

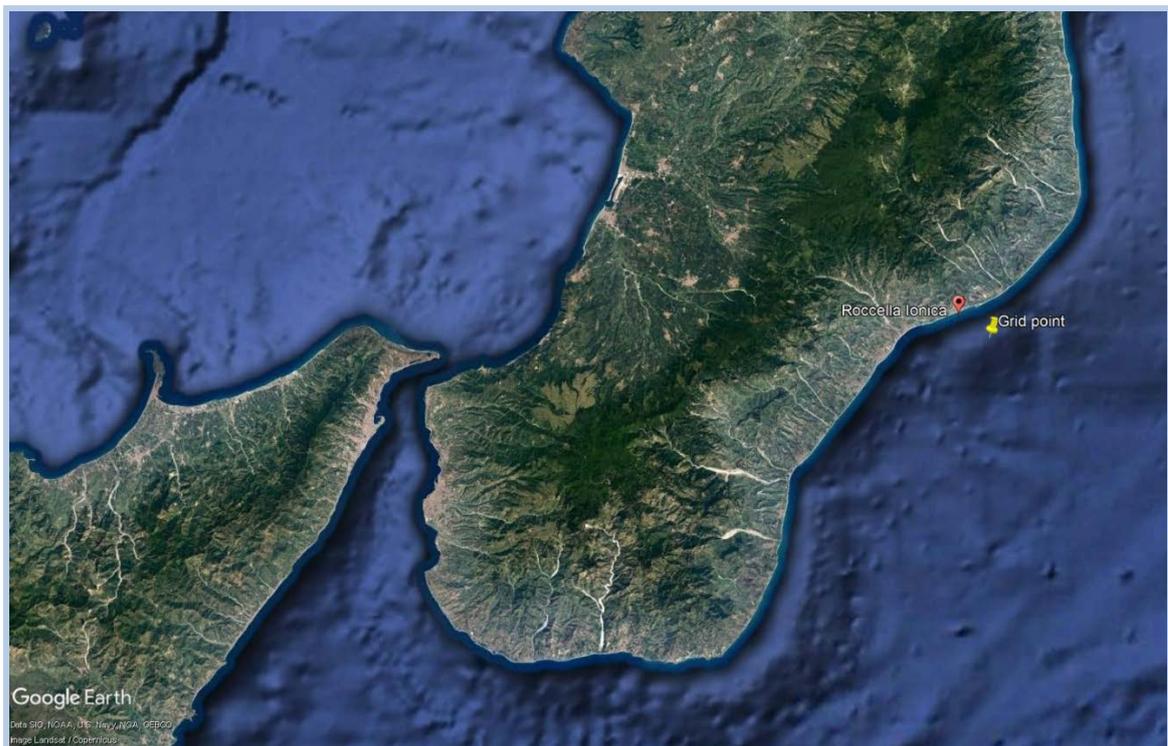


Fig. 3.2 Posizione del grid point [38.29°N-16.45°E] rispetto al paraggio di Roccella Jonica Ionica

4. PROPAGAZIONE DEL CLIMA ONDOSO SOTTOCOSTA: DATI DI INPUT

Lo studio del moto ondoso sottocosta (evoluzione del clima ondoso dal largo fino a riva) viene eseguito mediante l'applicazione di un modello bidimensionale di trasformazione del moto ondoso su fondali acclivi.

Sulla base dei dati caratteristici del clima ondoso al largo (H_s , direzione, periodo), viene utilizzato il modulo MIKE 21 SW al fine di determinare, attraverso l'approccio spettrale, la variazione dell'onda nella sua propagazione verso riva per effetto dell'attrito con il fondo,

dello shoaling, della rifrazione, della diffrazione, della riflessione semplice e del frangimento.

I dati ondametrici di input, a largo, sono riportati in Figura 6.1. Tale figura riporta le frequenze delle altezze d'onda in termini di grafico a settore, da cui si trae l'indicazione immediata delle direzione di provenienza delle altezze d'onda più frequenti e intense.

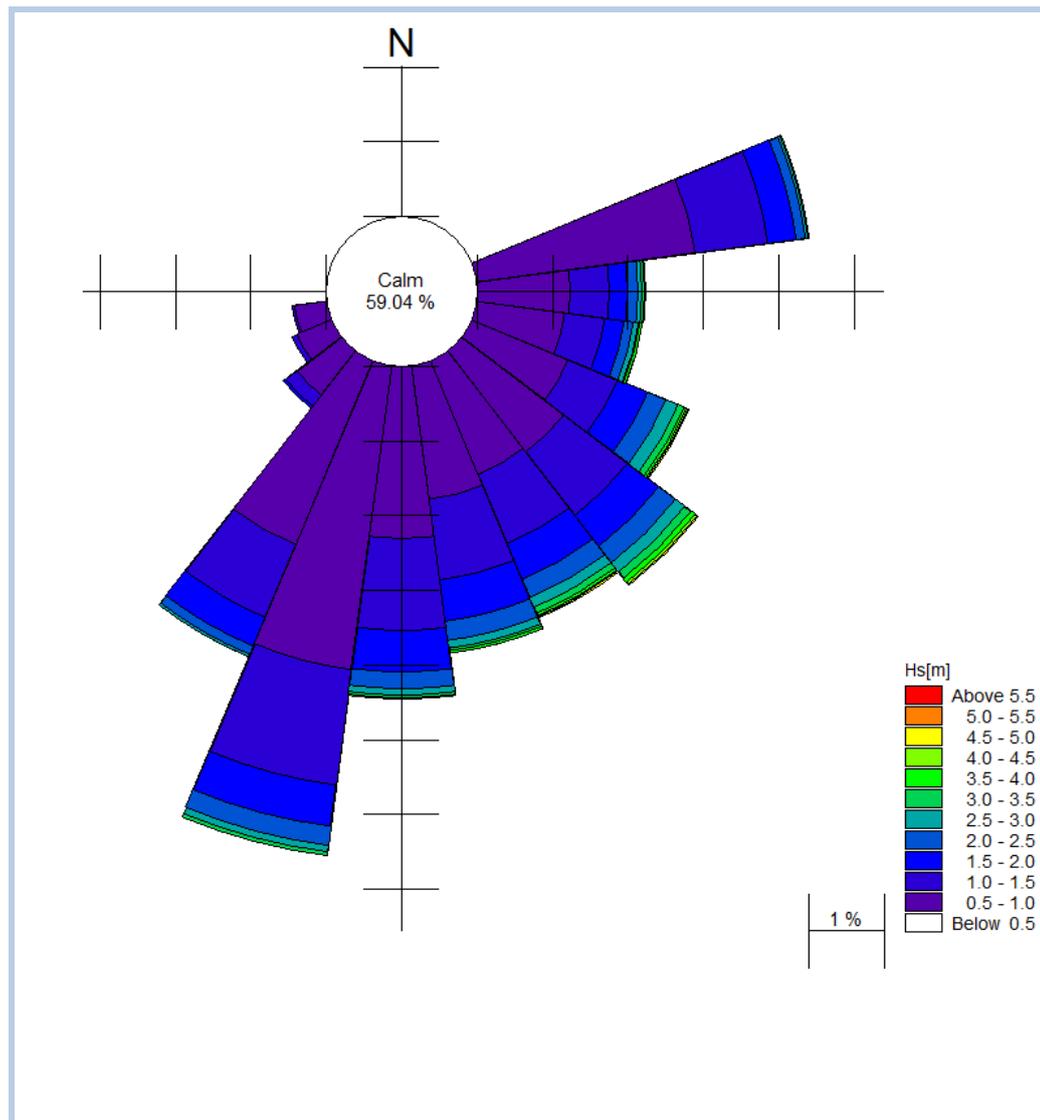


Fig. 4.1 Frequenze assolute del moto ondoso a largo in corrispondenza del paraggio in esame

5. PROPAGAZIONE DEL CLIMA ONDOSO SOTTOCOSTA

Il codice di calcolo adoperato (MIKE 21 SW) è un modello di tipo spettrale per vento ed onde basato su una griglia non strutturata. Il modello simula la trasformazione di onde generate dal vento ed onde di swell sia offshore, sia in aree costiere. Tale modello include la formulazione "Directional decoupled parametric". Essa è basata su una parametrizzazione dell'equazione di conservazione dell'energia del moto ondoso. La parametrizzazione è effettuata nel dominio della frequenza mediante l'introduzione come variabili dipendenti del momento di ordine zero e del momento di primo ordine dello spettro (Holthuijsen et al., 1989).

Per l'applicazione del codice di calcolo MIKE 21 DHI è stata costruita una griglia di calcolo, a maglia non strutturata, rappresentata in Fig. 5.1 che descrive l'andamento batimetrico dell'area in esame.

Le dimensioni della griglia sono state scelte in modo tale da avere il contorno offshore posizionato sufficientemente al largo, dove cioè l'onda non risente ancora in maniera importante dell'influenza del fondale, ed i contorni laterali sufficientemente lontani dal sito di interesse, cosicché i risultati non risentano degli effetti di bordo del modello.

La maglia della griglia è stata costruita con elementi più grandi nelle zone più lontane dal sito di interesse, e gradualmente più piccoli avvicinandosi al tratto di costa studiato.

La simulazione è stata effettuata utilizzando i dati trasposti a largo, in corrispondenza del paragio in esame, relativi ad uno spread direzionale di 180° .

Tali dati sono stati trasposti sottocosta su tutta l'area e infine estratti, mediante un tool dedicato di MIKE21, in corrispondenza del punto di interesse. L'estrazione del clima ondoso sottocosta è eseguita in corrispondenza di due punti, antistante il litorale di Roccella Jonica, di coordinate UTM33 (625538 E; 4242777 N) e (624969 E; 4242573 N) come mostrato in Figura 5.3. La profondità nel punto di estrazione è di circa -10.00 m rispetto al livello medio del mare e il relativo clima ondoso nella classica rappresentazione a rosa viene riportato nelle figure 5.4 e 5.5.

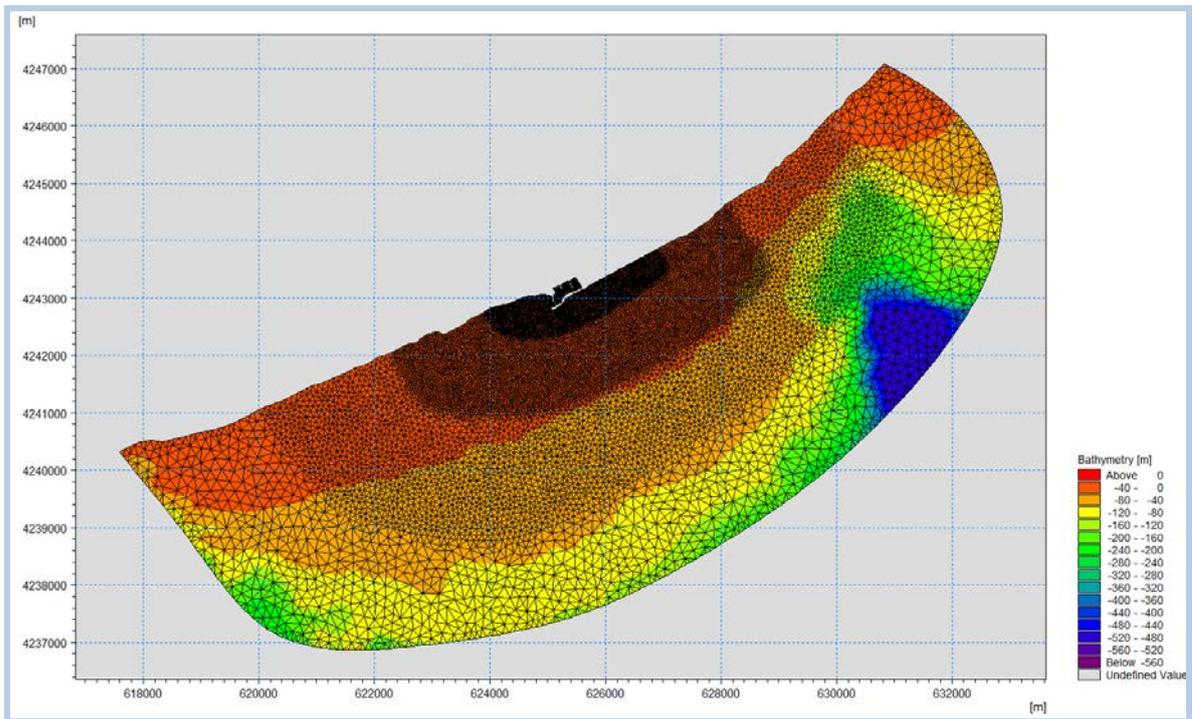


Fig. 5.1 Griglia a maglia triangolare adoperata per il modello di propagazione delle onde MIKE 21 SW

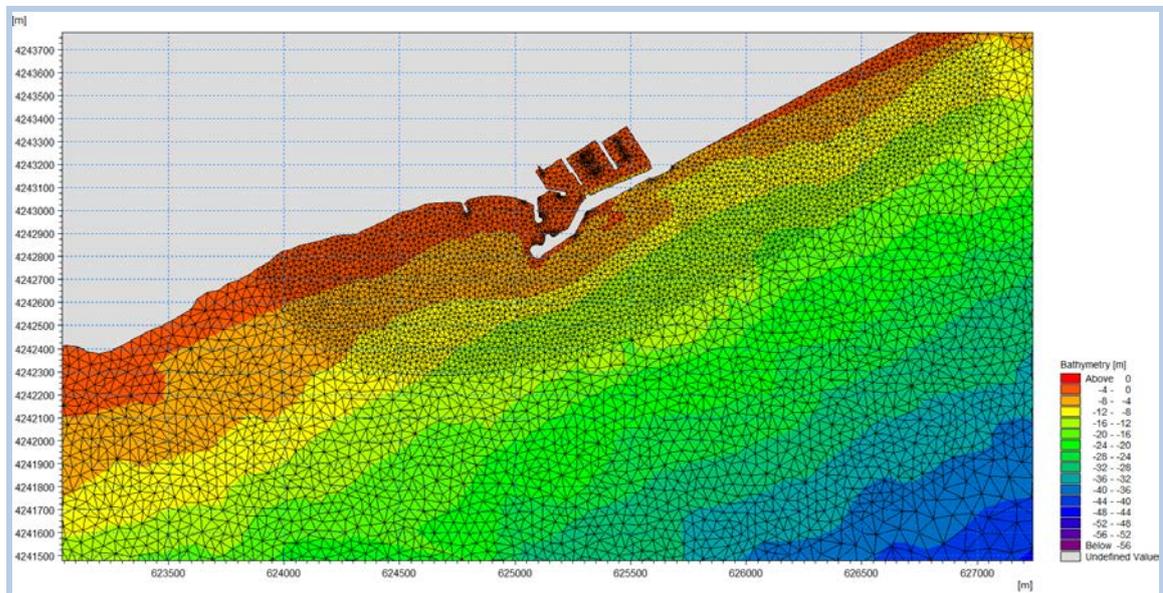


Fig. 5.2 Dettaglio della griglia a maglia triangolare adoperata nei pressi della linea di riva

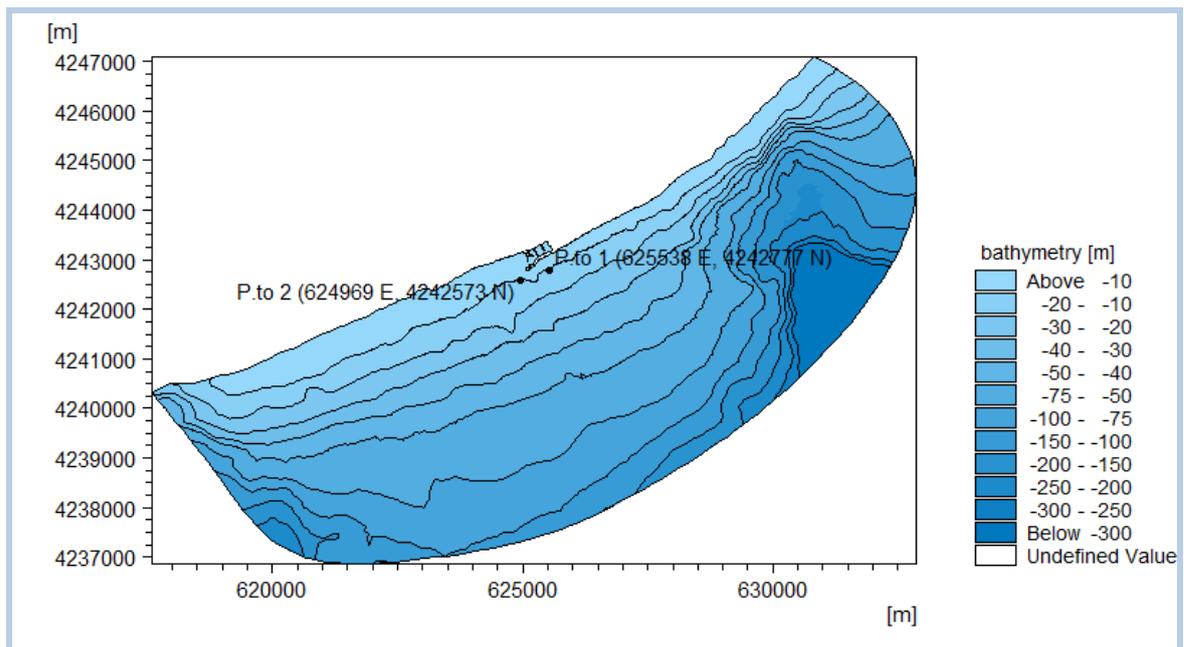


Fig. 5.3 Individuazione di un punto di estrazione del clima ondoso sottocosta, antistante il litorale di Roccella Jonica, su fondali di -10.00 m

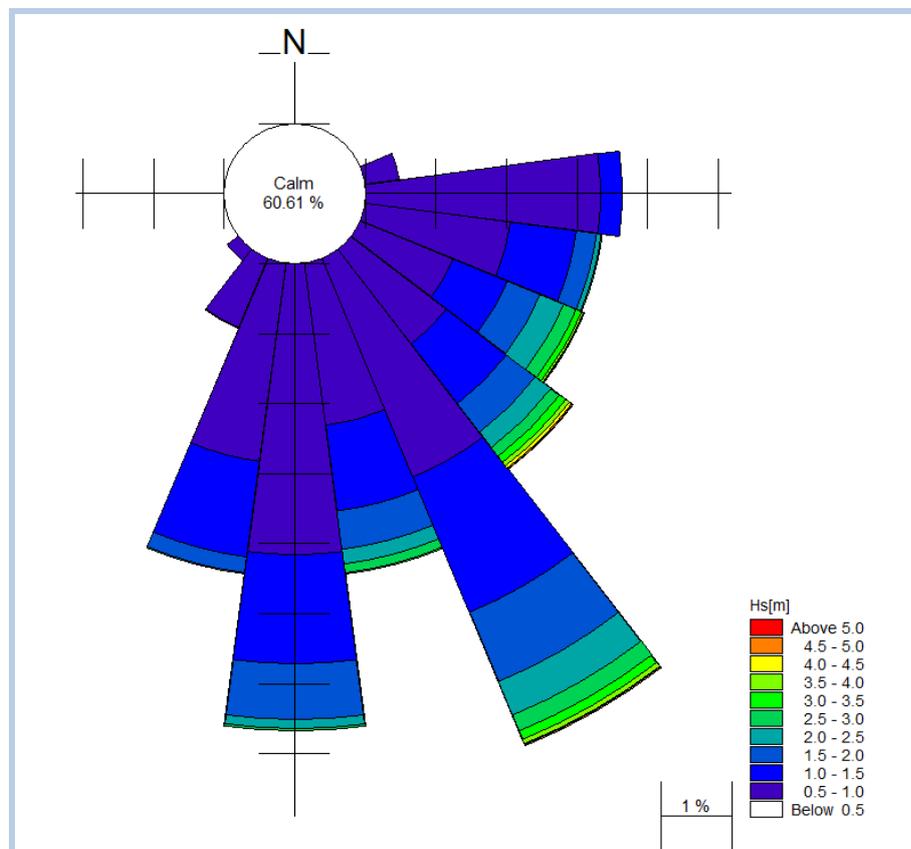


Fig. 5.4 Clima ondoso sottocosta relativo al punto 1, su profondità di -10.00 m

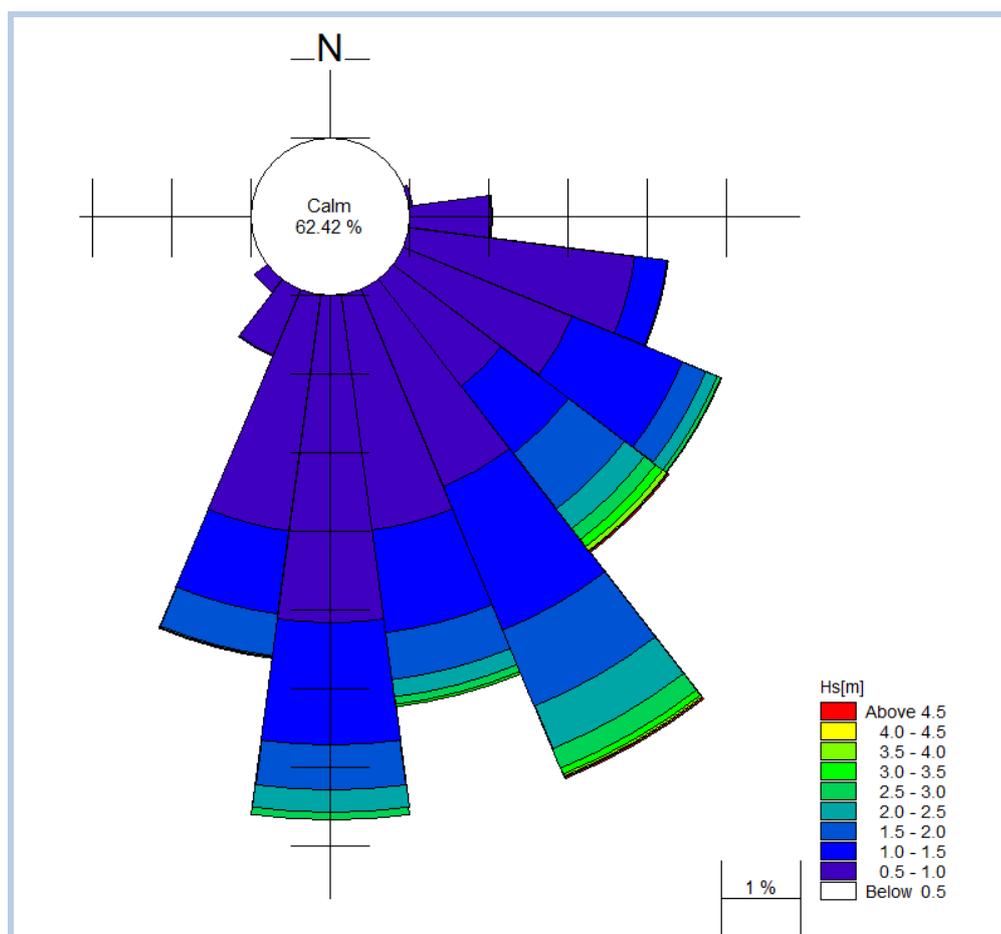


Fig. 5.5 Clima ondoso sottocosta relativo al punto 2, su profondità di -10.00 m

5.1 Propagazione sotto costa dei livelli di moto ondoso estremi (v. Studio Meteomarina)

Considerando la planimetria dell'intervento in esame, sono stati estratti dal software MIKE21 i dati relativi al moto ondoso estremo, nell'area di intervento.

Si è proceduto a identificare le condizioni ondose locali più gravose (su un fondale di circa 8.5m), identificando i dati di altezza significativa H_s [m], periodo T [s] e direzione [°N], corrispondenti a valori dei periodi di ritorno di 50 anni e 112 anni.

I valori più gravosi risultano:

1. Tempo di ritorno 50 anni: $H_s=5.1\text{m}$; periodo di picco 11s; direzione 153°
2. Tempo di ritorno 112 anni: $H_s=5.6\text{m}$; periodo di picco 12s; direzione 154°

Alla profondità di 8.5m, per la condizione ondosa relativa ad un tempo di ritorno di 50 anni la lunghezza d'onda L_p , associata al periodo di picco, risulta pari 95.7m; per $R=112$ anni la lunghezza d'onda associata al periodo di picco risulta pari a $L_p= 105.2\text{m}$.

6. ANALISI DEL TRASPORTO SOLIDO COSTIERO

Il trasporto di sedimenti è usualmente suddiviso in trasporto solido trasversale alla linea di battigia (o trasporto cross-shore) e trasporto solido longitudinale e quindi parallelo alla linea di battigia (trasporto longshore). Esso risulta causato, nel primo caso, dalla velocità orbitale delle particelle idriche indotta dalle onde di oscillazione e dalla presenza di eventuali correnti di ritorno; mentre nel secondo caso, è dovuto principalmente alle correnti generate dalle onde frangenti.

Il trasporto solido trasversale, producendo prevalentemente variazioni locali dei fondali, è la principale causa dei fenomeni evolutivi a breve termine (ore o giorni); il trasporto solido longitudinale influisce, invece, in modo rilevante sull'evoluzione a lungo termine (anni) della morfologia di un litorale ed è per tale ragione analizzato del presente studio mediante un modello ad una linea per la stima dell'effetto del clima ondoso sul trasporto di sedimenti.

Vengono escluse dalla presente analisi le correnti generate dalla marea e dal vento che spira sulla superficie marina, non essendo esse di intensità tale da riuscire a mettere in sospensione e movimentare i sedimenti presenti nella zona in esame.

Il flusso costiero indotto dal moto ondoso e la distribuzione di trasporto solido lungo una sezione trasversale alla linea di costa sono stati ricavati mediante il codice di calcolo LITDRIFT (Deigaard et al., 1988), afferente la piattaforma LITPACK del DHI. Il trasporto annuo in una data sezione trasversale alla costa è calcolato come somma di un elevato numero di eventi che coprono un intero anno. Utilizzando questo modulo in più sezioni si può effettuare un bilancio di sedimenti per un intero tratto di costa.

La quantificazione del trasporto è stata quindi calcolata a partire dai risultati di trasposizione del moto ondoso estratto sottocosta, mediante l'utilizzo del pacchetto software di modellazione numerica LITPACK.

Per la sezione di riferimento, estesa perpendicolarmente alla costa a partire dal punto di estrazione fino alla spiaggia emersa è stato possibile calcolare la distribuzione del trasporto litoraneo potenziale netto e lordo lungo il profilo trasversale alla costa.

I risultati dell'applicazione del codice di calcolo LITDRIFT vengono mostrati nei paragrafi successivi.

6.1 Bilancio annuale

Per il sito in esame è stato estratto un profilo trasversale rappresentativo della batimetria compresa tra la isobata -15 m e la parte emergente della spiaggia. Queste informazioni, unitamente alle caratteristiche locali dei sedimenti lungo il profilo individuato e alla caratterizzazione del clima ondoso locale sottocosta, hanno permesso la determinazione in tale sito del trasporto potenziale annuo, lordo e netto.

Per trasporto potenziale annuo si intende la quantità di materiale che si movimenterebbe nel caso essa non venisse bloccata da strutture posizionate lungo il litorale.

Nella Tabella 6.1 si riportano i valori di trasporto potenziale netto annuo per il sito in esame, mentre la Figura 6.1 rappresenta l'andamento lungo il profilo trasversale del trasporto potenziale netto e lordo.

L'analisi dell'andamento del trasporto lungo il profilo trasversale preso in esame ha permesso anche una valutazione relativa alla profondità attiva dei processi di trasporto di materiale (vedi tabella 6.3). Tale profondità, per il tratto di costa preso in considerazione, risulta generalmente compresa tra i (-10.00) m ed i (-6.30) m.

Sono inoltre visualizzate le componenti del trasporto nelle due differenti direzioni.

Tab. 6.1 Valutazione del trasporto netto annuo potenziale nei siti esaminati

Sito	Trasporto di sedimenti potenziale annuo [m ³ /yr]
PE1	12116

Tab. 6.2 Individuazione dell'orientazione di trasporto netto

Sito	Direzione trasporto
PE1	N→S

Tab. 6.3 Individuazione della profondità di chiusura

Sito	Profondità di chiusura (95%)	Profondità di chiusura (99%)
PE1	-6.30	-10.00

Si riporta infine nella Figura 6.1 la rappresentazione del clima ondoso nel sito non più in funzione della frequenza di accadimento delle singole classi di onda ma dell'effettivo contributo che le singole classi forniscono al trasporto solido complessivo annuo.

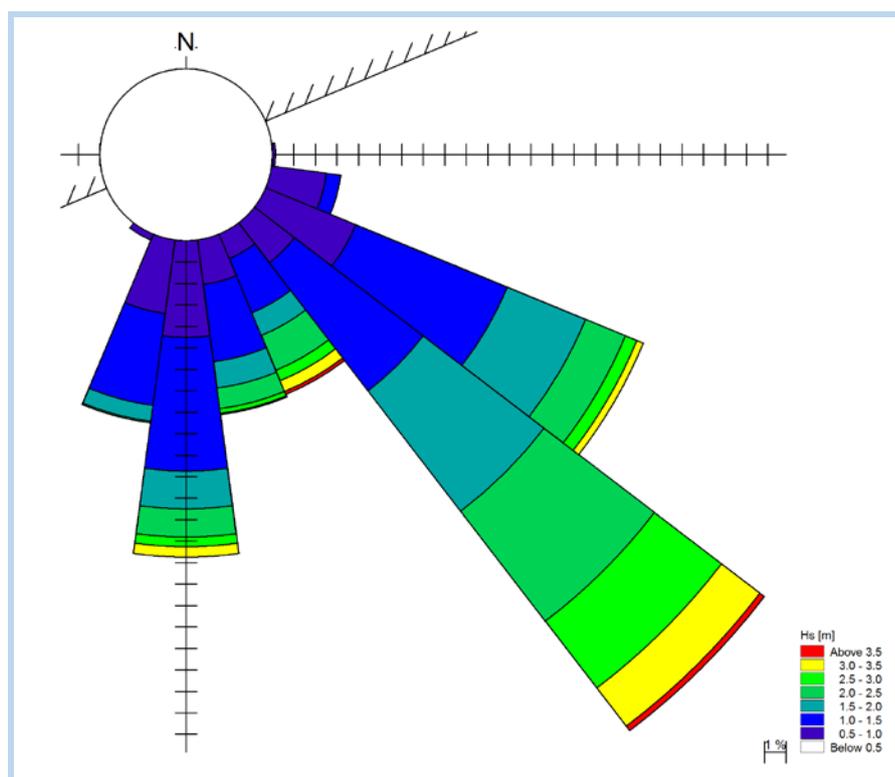


Fig. 6.1 Rosa del clima ondoso locale per il sito PE 1 in funzione del contributo al trasporto solido.

7. DETERMINAZIONE DI EVENTI RAPPRESENTATIVI DEL TRASPORTO

L'aspetto primario correlato all'azione delle onde che viene analizzato è il trasporto di sedimenti nell'area in esame, sia per la situazione attuale, sia a seguito della realizzazione delle opere per la difesa del litorale dall'erosione.

La scelta di un set di condizioni d'onda che possano essere rappresentative del trasporto litoraneo annuale non è semplice. Il trasporto litoraneo non varia linearmente con parametri quali l'altezza d'onda, il periodo e la direzione ed è proporzionale alla frequenza di accadimento dell'onda stessa. Ciò significa che le condizioni d'onda più rappresentative per il trasporto litoraneo annuo generalmente non corrispondono alle onde più alte, a causa della limitata frequenza di accadimento di queste ultime. Nella presente applicazione la scelta di eventi (onde) rappresentativi per il trasporto litoraneo è stimata secondo valori pesati di altezza d'onda, periodo e direzione. Sono stati individuati due intervalli principali in termini di direzione. Per ciascun settore direzionale considerato, si procede al calcolo del periodo medio, della altezza d'onda e della direzione rappresentativa. Questa procedura porta alla definizione di 6 condizioni ondose, ciascuna delle quali è in grado di rappresentare un gruppo di eventi con un intervallo predefinito in termini di direzione, altezza e periodo.

Per ognuna delle classi preselezionate l'altezza d'onda è calcolata attraverso il cubo dell'altezza d'onda significativa H_s :

$$H_{s,repr.} = \sqrt[3]{\frac{\sum_1^{N_{int}} p_i H_{s,i}^3}{\sum_1^{N_{int}} p_i}}$$

Dove con $H_{s,repr.}$ si intende l'altezza d'onda rappresentativa per il trasporto litoraneo, con N_{int} il numero totale di eventi nell'intervallo predefinito, con p_i la probabilità di accadimento e con $H_{s,i}$ l'altezza d'onda significativa nell'intervallo in e altezza significativa H_s .

Analogamente si procede al calcolo del periodo medio rappresentativo, come quel periodo che corrisponde all'altezza d'onda rappresentativa.

$$T_{m,repr.} = \frac{\sum_1^{N_{int}} p_i H_{s,i}^3 T_{m,i}}{\sum_1^{N_{int}} p_i H_{s,i}^3}$$

Una simile procedura è adottata per la stima della direzione d'onda:

$$Dir_{repr.} = \frac{\sum_1^{N_{int}} p_i H_{s,i}^3 Dir_i}{\sum_1^{N_{int}} p_i H_{s,i}^3}$$

I parametri ottenuti dalla procedura sopra descritta sono riportati nella Tabella 7.1.

Tab. 7.1 Condizioni d'onda rappresentative per il trasporto litoraneo selezionate a circa 10 metri di profondità.

No.	Hs[m]	Dir [°N]	Tp [s]	Peso	Freq [%]
1	1.21	185	5.88	0.24	18.67
2	3.06	133	9.48	0.34	0.86
3	2.62	177	10.89	0.12	0.68
4	1.33	125	6.62	0.30	17.74
5	2.95	126	11.97	0.17	0.31
6	3.18	141	12.75	0.17	0.54
Totale					38.80

La percentuale totale di occorrenza risulta pari a circa 39%. Durante la rimanente parte di tempo le onde o sono dirette verso il largo (vento di terra) o sono inferiori a 0,5 m, valore che è stato utilizzato come criterio per identificare le condizioni di calma sottocosta. La colonna della tabella indicata con “Peso” fornisce una indicazione dell’importanza di ciascuna onda caratteristica sul trasporto lordo annuo. Il valore è stato ottenuto come:

$$Peso = \frac{\sum_1^{N_{int}} p_i H_{s,i}^3}{\sum_1^{N_{tot}} p_j H_{s,j}^3}$$

dove il numeratore rappresenta la somma dei contributi al trasporto di un intervallo ed il denominatore rappresenta la somma dei trasporti di tutti gli intervalli. Appare evidente che il valore della colonna “Peso” rappresenta solo un’indicazione approssimativa e che il reale contributo di ciascun evento ondoso caratteristico verrà calcolato come il prodotto dei risultati di MIKE 21 ST, in termini di capacità di trasporto istantanea e della frequenza di accadimento Occ. [%] ottenuta dall’analisi statistica.

8. CONFIGURAZIONI DI STUDIO

Nel presente studio sono prese in considerazione, per la modellazione di dettaglio, due configurazioni rappresentative dello scenario attuale e di due ipotesi di intervento.

Nel dettaglio, il progetto prevede l’ampliamento del molo sopraflutto del porto di Roccella Jonica tramite l’installazione di due cassoni REWEC3 collegati all’attuale molo di sopraflutto tramite una struttura di collegamento in massi naturali e artificiali.

I due cassoni affiancati compongono una diga di 30 m di lunghezza, sulla quale è prevista l’installazione della soluzione innovativa di cassoni REWEC3.

Il singolo cassone avrà una lunghezza di 15 m ed un’altezza di 14 m, mentre la larghezza sarà variabile in funzione della profondità:

- alla base (quota -8.00 m) sarà pari a 23.40, tale larghezza include due mensolotti laterali aventi ciascuno lunghezza di 1 m ed altezza di 0.8 m, realizzati per allargare la soletta di base in c.a. in modo da garantire ulteriore stabilità al manufatto e distribuire i carichi su una maggiore superficie del fondale.
- dalla quota -7.20 m fino a -2.00 m, corrispondente alla sommità del condotto verticale, la larghezza del cassone si riduce a 21.40 m;
- dalla quota -2.00 m fino a +3.00, corrispondente al piano di calpestio, la larghezza del cassone è pari a 18.90 m;
- dalla quota +3.00 m alla quota +6.00, la larghezza del cassone si riduce ulteriormente fino ad arrivare a 9.10 m (comprensiva della pensilina).

La parte lato mare del cassone contiene la parte attiva per lo sfruttamento del moto ondoso, in cui si individuano:

- il condotto verticale (sommerso) che si sviluppa dal fondo fino alla quota -2 m

-
- rispetto al livello di medio mare, con una larghezza di 2 m;
- la camera di assorbimento, che è collegata al condotto verticale da una luce verticale di 2.5m, e si sviluppa dal fondo fino a 6m sopra il l.m.m. e ha una larghezza di 4m.

Le parti attive (camera di assorbimento e condotto verticale) hanno lunghezza longitudinale di 3.2 m.

La parte interna del cassone, lato porto, contiene invece tre celle riempite con materiale proveniente dagli scavi ed una sovrastruttura in c.a., fino alla quota +3 m.

Preliminarmente alla collocazione dei cassoni verrà effettuato un dragaggio del fondale fino alla quota -9.50. Successivamente verrà costituito lo scanno di imbasamento dei cassoni in pietrame scapolo 5-50 kg, dello spessore pari a 1.50 m (fino alla quota -8.00 m).

I cassoni saranno protetti al piede, lato mare, da massi naturali di II categoria per una larghezza di 6 m e pendenza 1 (V) : 2 (H). Lato porto invece la protezione al piede sarà effettuata con massi di pezzatura di I categoria con berma orizzontale a quota -6.30 m.

Il collegamento tra la diga in cassoni e l'attuale testata del molo di sopraflutto avverrà tramite la realizzazione di una struttura di connessione in massi naturali e artificiali.

Con il presente studio è stata effettuata una analisi locale del campo di corrente generato dal moto ondoso per la configurazione di intervento illustrata in precedenza e per la soluzione che prevede un ulteriore prolungamento del molo sopraflutto del porto di Roccella Jonica tramite l'installazione di ulteriori tre cassoni REWEC3, comparando i risultati con la condizione di stato attuale, ovvero in assenza di interventi. A partire da tale risultato, conoscendo inoltre le caratteristiche sedimentologiche dell'area in esame, è stimato anche il trasporto solido, sempre per le configurazioni di progetto e per lo stato attuale.

Lo studio è affrontato mediante l'accoppiamento di tre moduli "Flexible Mesh" del DHI (2005): il già citato MIKE 21 SW per quanto riguarda la determinazione dei campi di radiation stress generati dalle onde, il MIKE 21 HD FM per la simulazione dei campi di corrente generati dai radiation stress ed il MIKE 21 ST FM per la individuazione del trasporto solido a partire dalla distribuzione di velocità delle correnti. Tali codici di calcolo possono effettuare la simulazione in modalità accoppiata, influenzandosi pertanto vicendevolmente. L'analisi è effettuata per sei scenari di moto ondoso rappresentativi del clima medio annuo e caratterizzati da diverse direzioni di provenienza.

Per ciascuna configurazione descritta (stato attuale ed ipotesi di intervento) sono state effettuate sei simulazioni relative alle onde rappresentative individuate al paragrafo precedente.

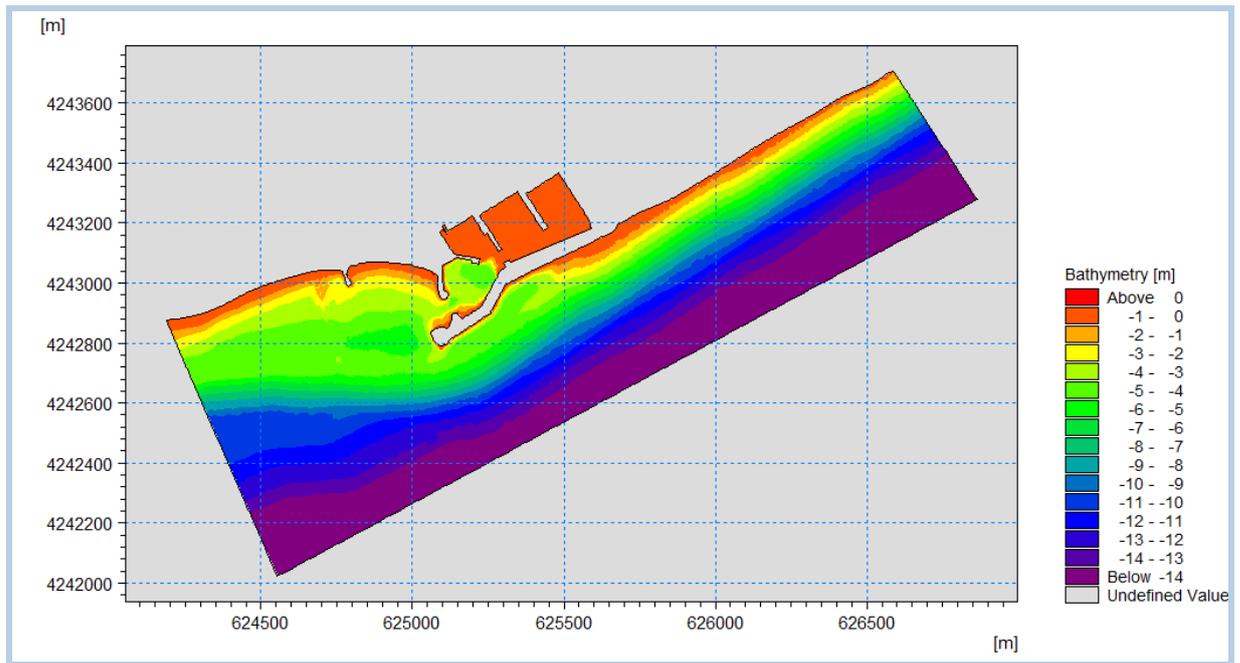


Fig. 8.1 Rappresentazione dello scenario attuale

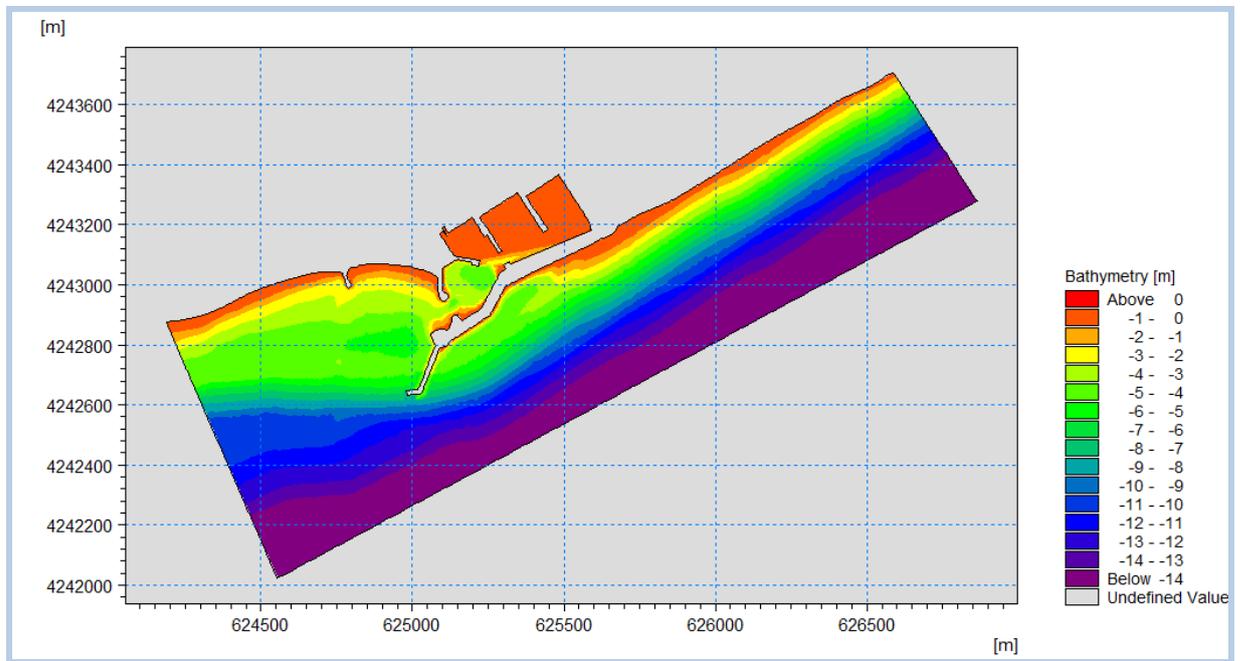


Fig. 8.2 Rappresentazione dell'ipotesi di intervento 1 (prolungamento mediante 2 cassoni REWEC3)

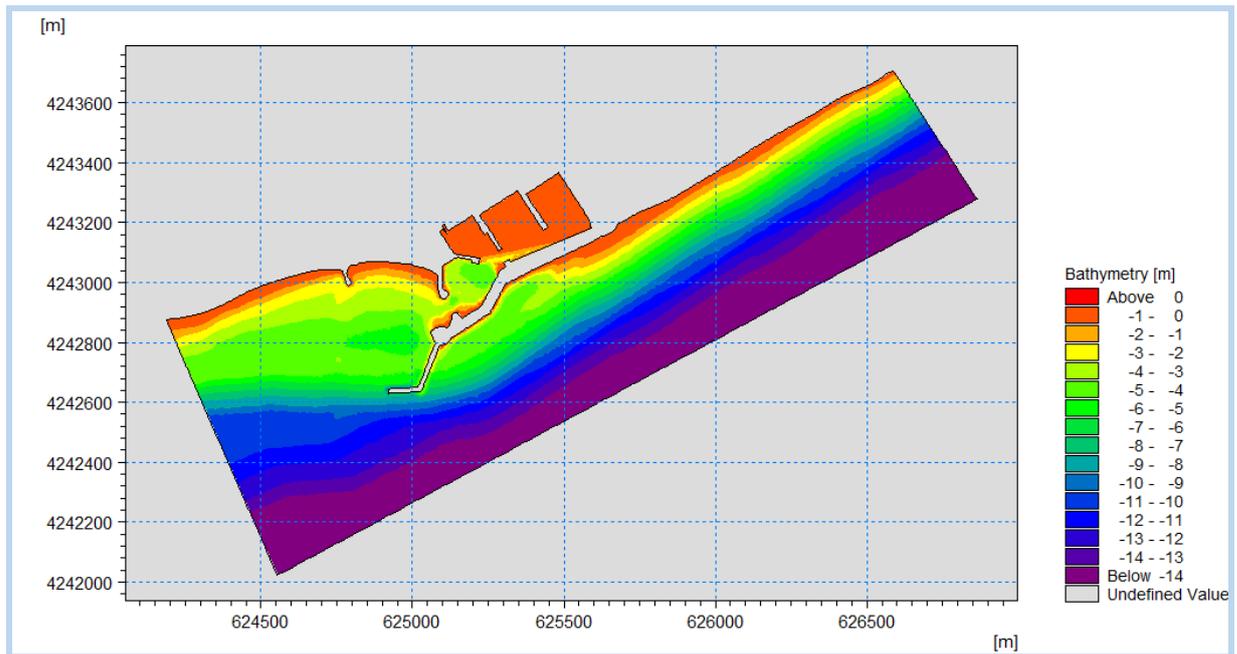


Fig. 8.3 Rappresentazione dell'ipotesi di intervento 2 (prolungamento mediante 5 cassoni REWEC3)

9. GRIGLIE DI CALCOLO

Per fissata configurazione di studio, i tre modelli bidimensionali a maglia flessibile MIKE 21 SW, HD ed ST, vengono utilizzati sulla stessa griglia di calcolo per le quattro onde considerate, indipendentemente dalla direzione di attacco. Dato che gli effetti del trasporto solido sono più significativi nei pressi della costa, sia per la configurazione attuale che per i layout di progetto, vengono scelti in prossimità di tale zona dei triangoli di lunghezza massima dei lati pari a 5 m. Inoltre l'angolo minimo interno ai triangoli è pari a 28° ed il contorno al largo del dominio di calcolo è posto ad una profondità media di circa 15.0 m rispetto al livello medio del mare. Tale dominio si estende lungo la costa per circa 2500 m, comprendendo in tal modo anche zone non direttamente interessate dalle ipotesi di intervento ma che potrebbero essere influenzate da esse, soprattutto in termini di variazione del trasporto litoraneo di sedimenti. La maglia triangolare utilizzata per la configurazione di stato attuale. Analogamente la griglia di calcolo relativa all'ipotesi di intervento risulta avere la medesima estensione planimetrica, ed infittimento dei triangoli, della maglia utilizzata per lo stato attuale. Al fine di fornire una evidenza del maggior grado di dettaglio dell'infittimento della maglia in vicinanza della zona di interesse, la Figura 9.1 mostra la distribuzione dei triangoli della griglia di calcolo.

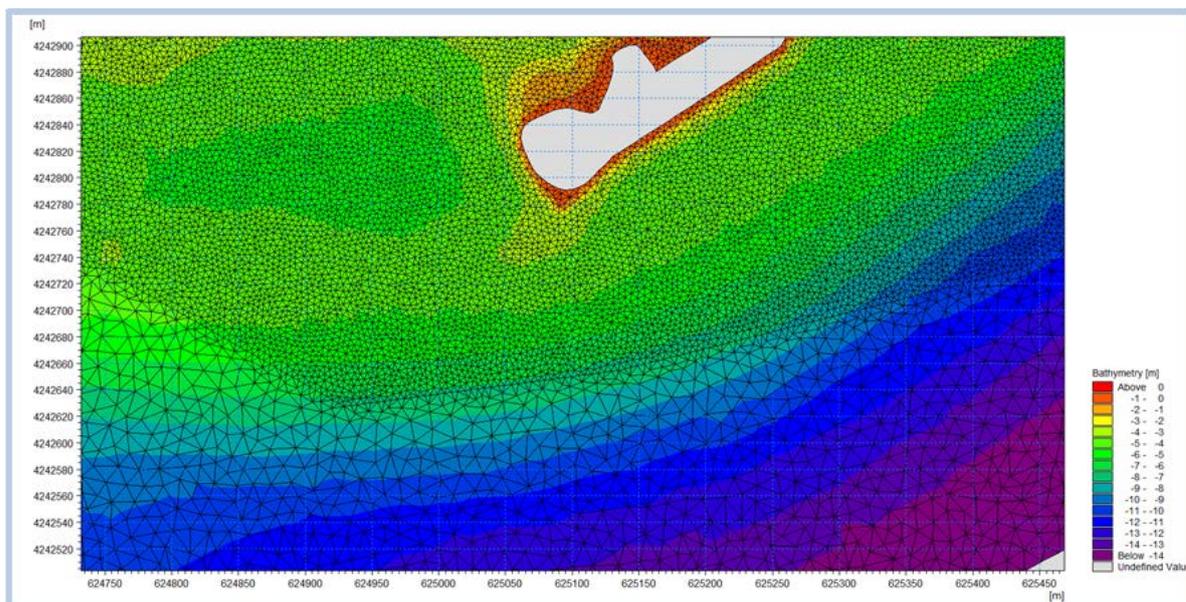


Fig. 9.1 Dettaglio della maglia ad elementi triangolari usata per lo stato attuale, in corrispondenza della zona di interesse.

10. PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO E CORRENTI LITORANEE

Il modello locale di propagazione del moto ondoso è costruito mediante il codice MIKE 21 SW a maglia flessibile. Tale modello viene settato in modo da effettuare le simulazioni in modalità accoppiata con il modulo idrodinamico (MIKE 21 HD) che, a partire dalle forzanti meteomarine, consente di determinare il campo di correnti e l'elevazione media di superficie.

10.1 Risultati del modello di propagazione del moto ondoso

I risultati dell'applicazione del modulo SW di MIKE 21 per gli scenari considerati (stato attuale ed ipotesi di intervento) consentono di ottenere per le quattro onde in ingresso le distribuzioni planimetriche di altezza d'onda significativa e direzione di provenienza, nonché i Radiation Stresses che risultano essere la principale causa delle correnti litoranee. Al fine di dare una rappresentazione completa di tali risultati per le configurazioni di studio vengono di seguito riportati i campi di altezza d'onda corrispondenti alle sei azioni ondose considerate.

La sostanziale uniformità del fondale nel tratto a cavallo del porto di Roccella si riflette in un andamento generalmente regolare della distribuzione delle altezze d'onda che si propagano verso il litorale. In tutti i casi simulati è possibile osservare la progressiva dissipazione di energia avvicinandosi a riva, con la localizzazione della fascia dei frangenti più o meno spostata verso la battigia in funzione dell'altezza d'onda significativa di volta in volta simulata.

Da sottolineare anche il significativo effetto di protezione che esercita il molo di sopraflutto nella zona immediatamente ad ovest di esso soprattutto per le ondate provenienti da Sud-Est.

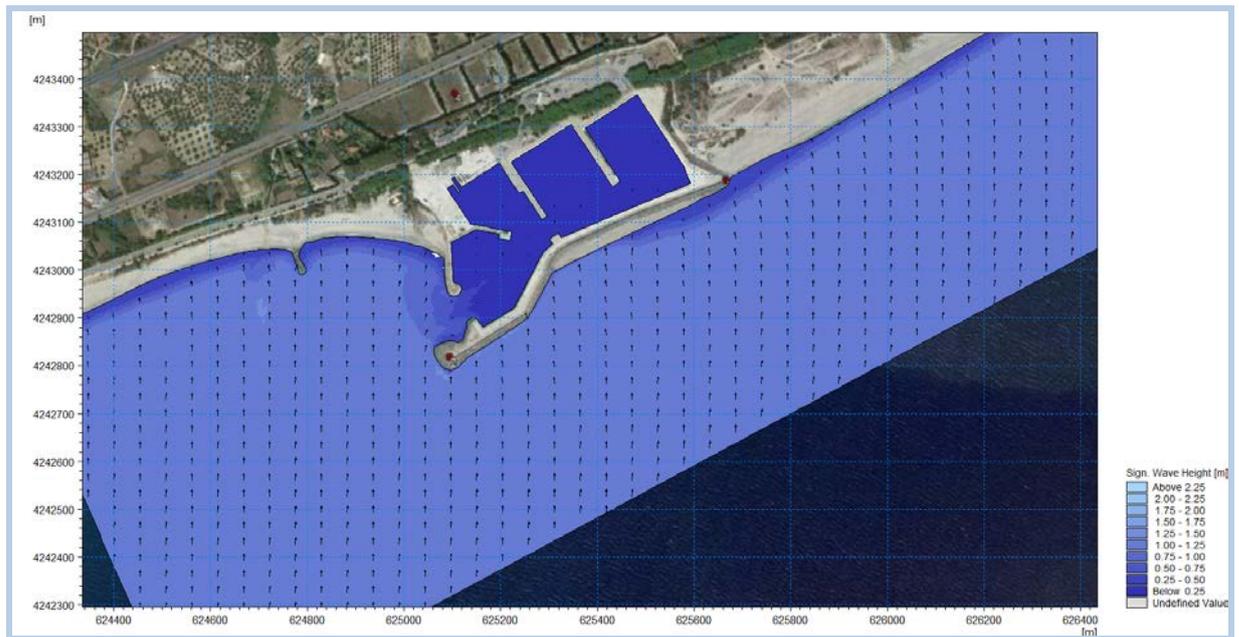


Fig. 10.1 Distribuzione dell'altezza d'onda per lo scenario attuale; condizione ondosa in ingresso n.1 avente $H_s=1,21\text{m}$, direzione di provenienza 185°N , $T_p=5,88\text{s}$

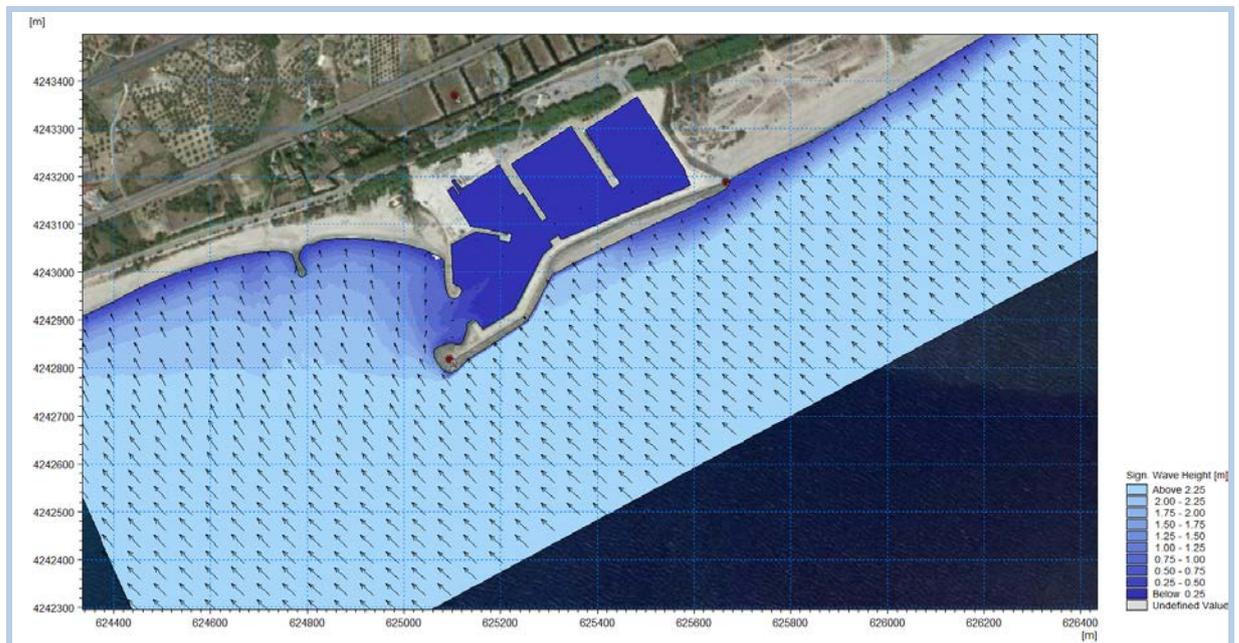


Fig. 10.2 Distribuzione dell'altezza d'onda per lo scenario attuale; condizione ondosa in ingresso n.2 avente $H_s=3,06\text{m}$, direzione di provenienza 133°N , $T_p=9,48\text{s}$

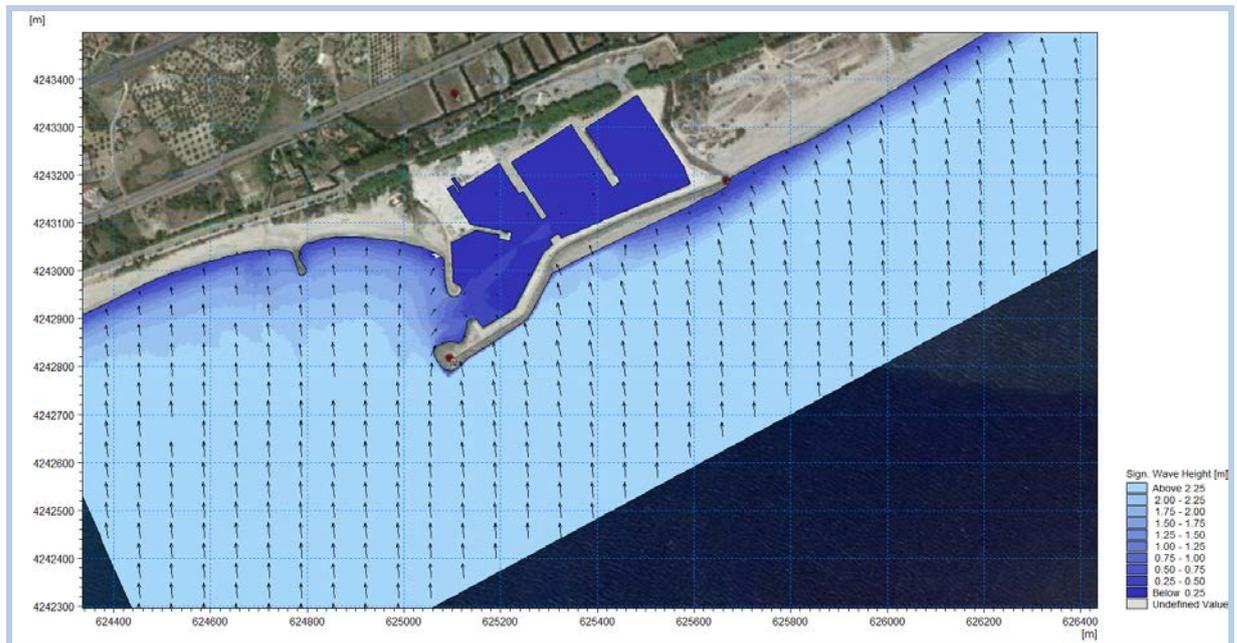


Fig. 10.3. Distribuzione dell'altezza d'onda per lo scenario attuale; condizione ondosa in ingresso n.3 avente $H_s=2,62\text{m}$, direzione di provenienza 177°N , $T_p=10,89\text{ s}$

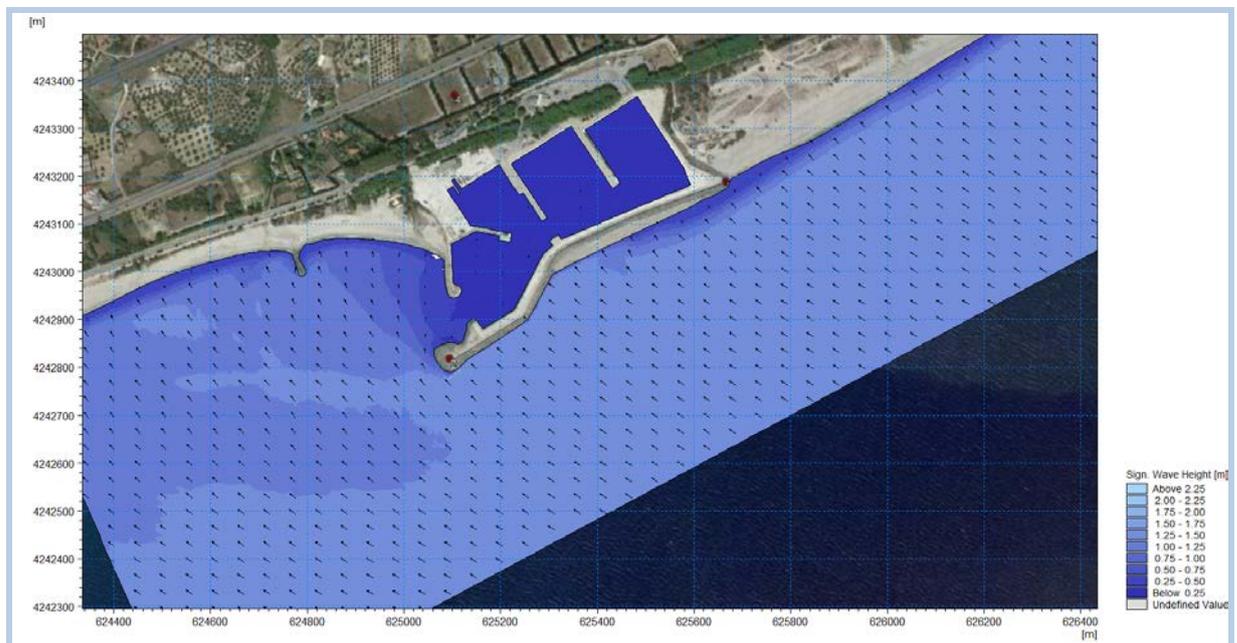


Fig. 10.4 Distribuzione dell'altezza d'onda per lo scenario attuale; condizione ondosa in ingresso n.4 avente $H_s=1,33\text{ m}$, direzione di provenienza 125°N , $T_p=6,62\text{ s}$

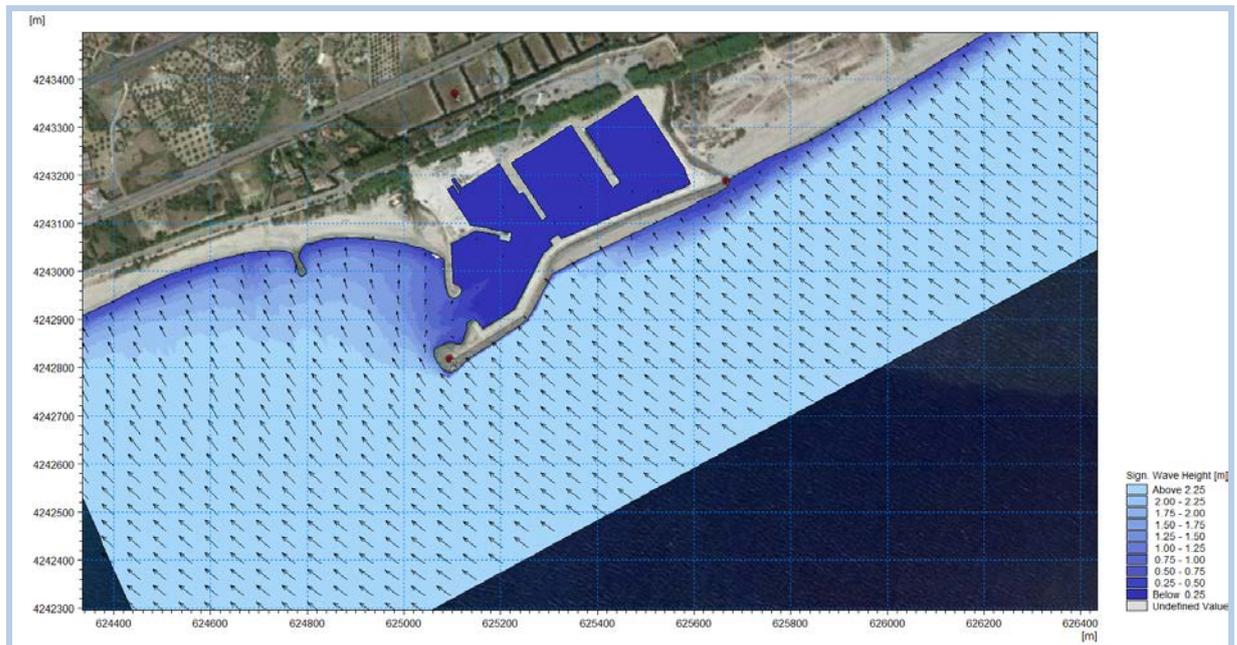


Fig. 10.5 Distribuzione dell'altezza d'onda per lo scenario attuale; condizione ondosa in ingresso n.5 avente $H_s=2,95$ m, direzione di provenienza $126^\circ N$, $T_p=11,97$ s

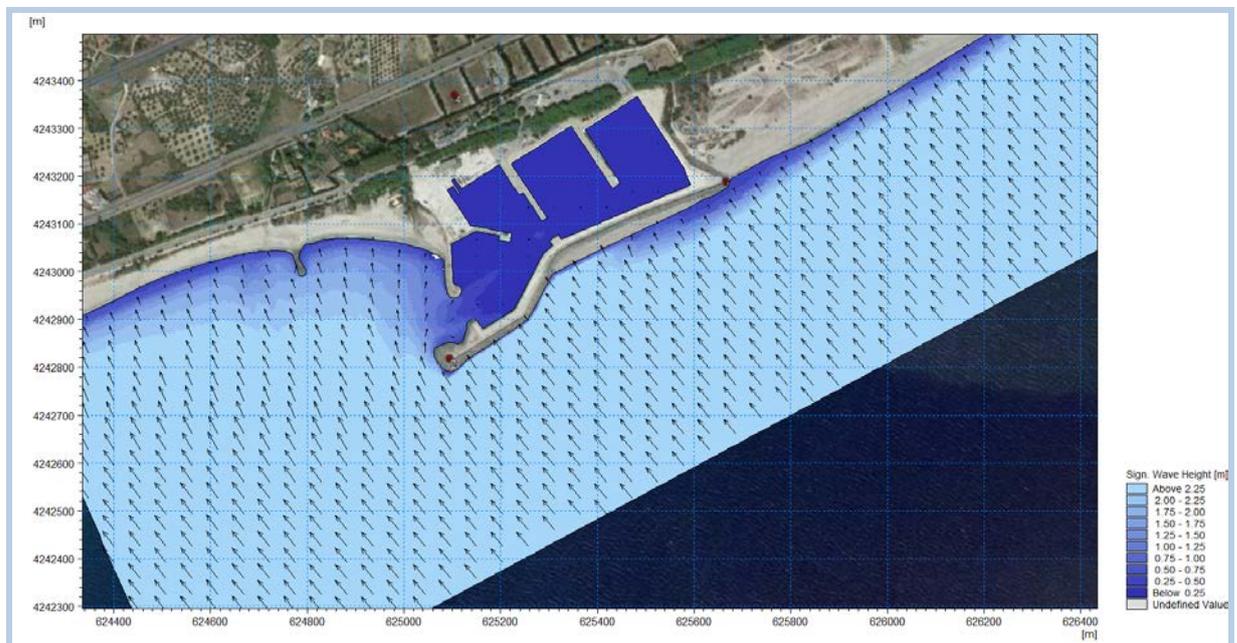


Fig. 10.6 Distribuzione dell'altezza d'onda per lo scenario attuale; condizione ondosa in ingresso n.6 avente $H_s=3,18$ m, direzione di provenienza $141^\circ N$, $T_p=12,75$ s



Fig. 10.7 Distribuzione dell'altezza d'onda per l'ipotesi di intervento 1 (2 cassoni REWEC3); condizione ondata in ingresso n.1 avente $H_s=1,21m$, direzione di provenienza $185^\circ N$, $T_p=5,88s$

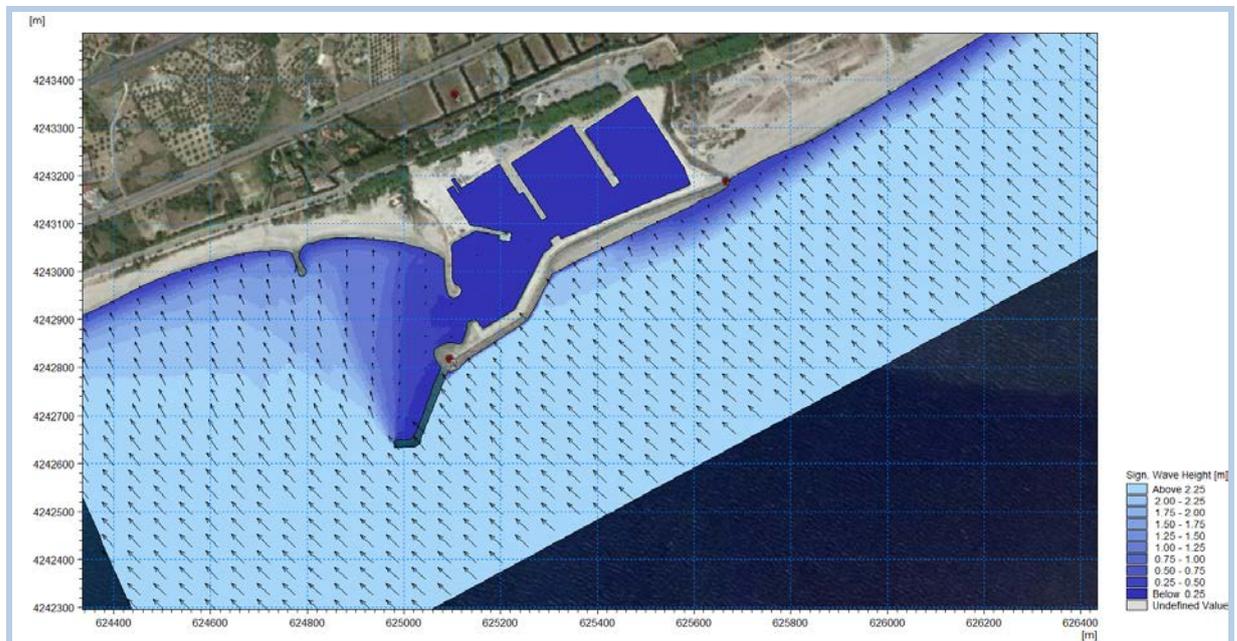


Fig. 10.8 Distribuzione dell'altezza d'onda per l'ipotesi di intervento 1 (2 cassoni REWEC3); condizione ondata in ingresso n.2 avente $H_s=3,06m$, direzione di provenienza $133^\circ N$, $T_p=9,48s$

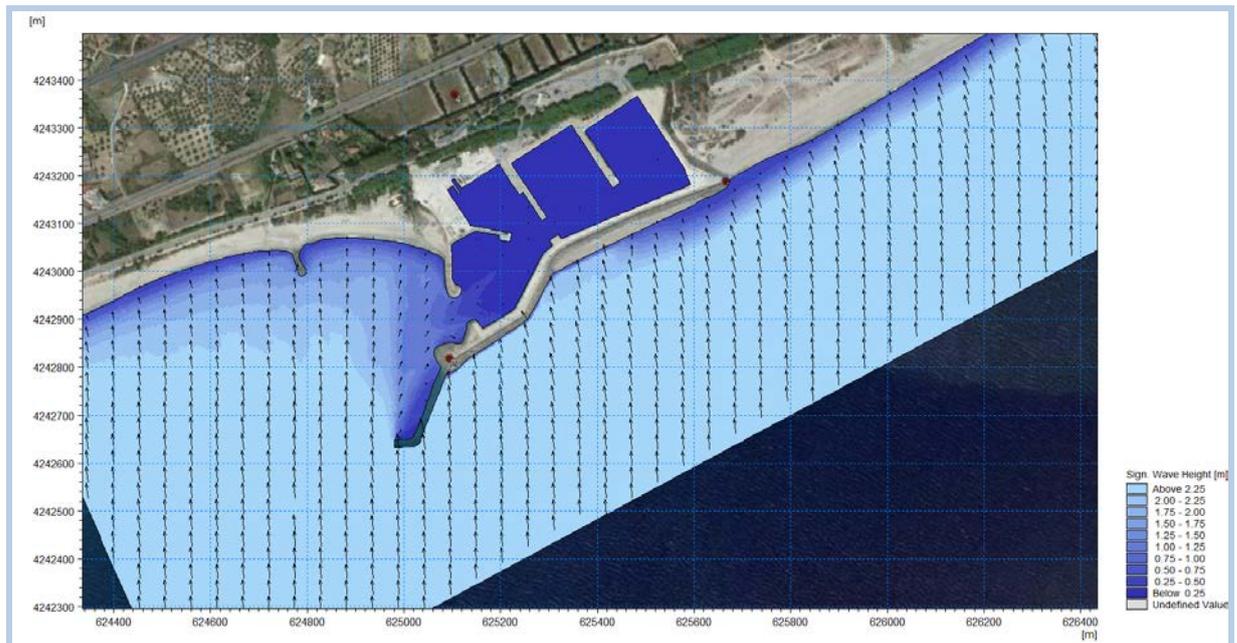


Fig. 10.9 Distribuzione dell'altezza d'onda per l'ipotesi di intervento 1 (2 cassoni REWEC3); condizione ondosa in ingresso n.3 $H_s=2,62$ m, direzione di provenienza $177^\circ N$, $T_p=10,89$ s

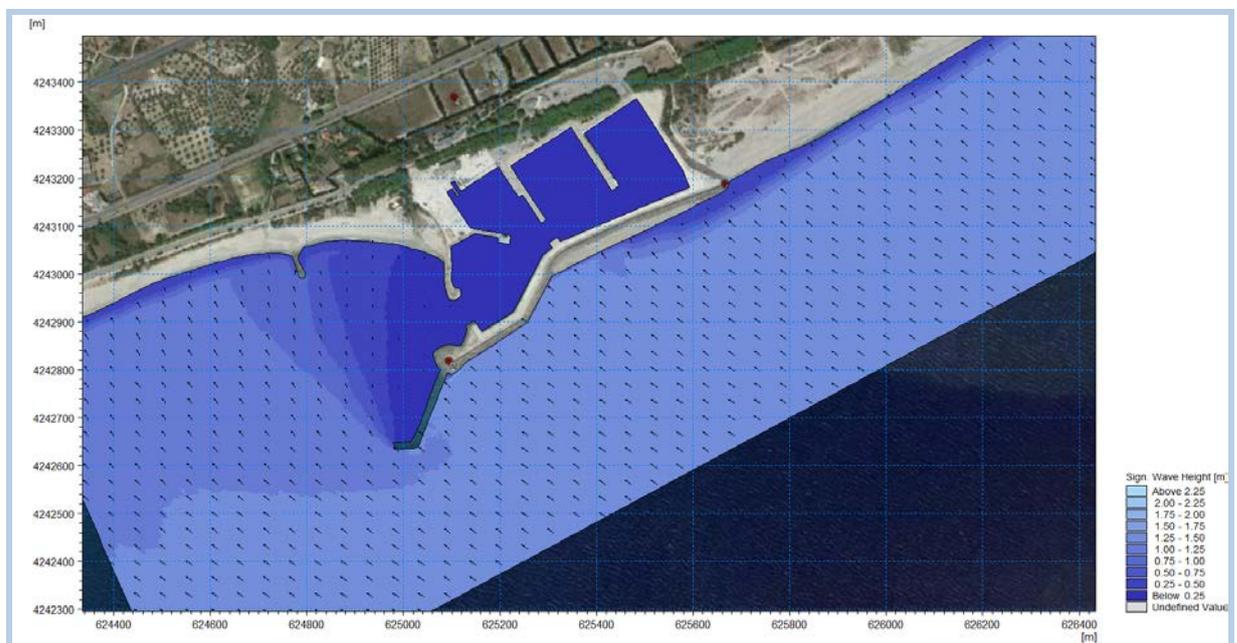


Fig. 10.10 Distribuzione dell'altezza d'onda per l'ipotesi di intervento 1 (2 cassoni REWEC3); condizione ondosa in ingresso n.4 avente $H_s=1,33$ m, direzione di provenienza $125^\circ N$, $T_p=6,62$ s

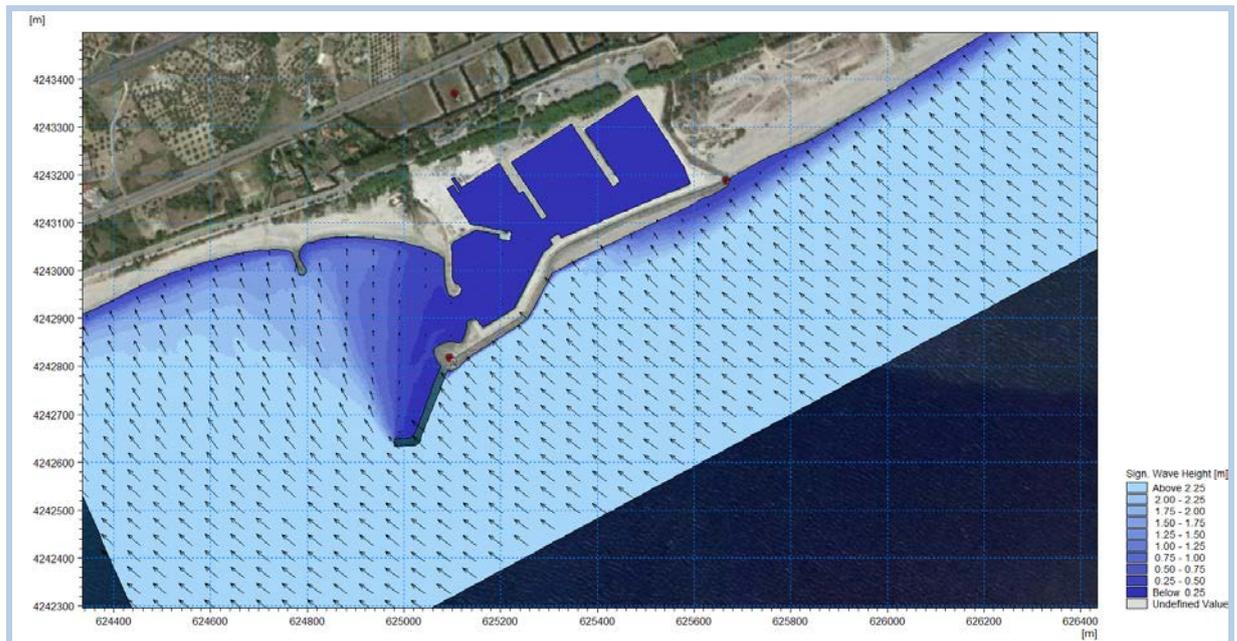


Fig. 10.11 Distribuzione dell'altezza d'onda per l'ipotesi di intervento 1 (2 cassoni REWEC3); condizione ondosa in ingresso n.5 avente $H_s=2,95$ m, direzione di provenienza $126^\circ N$, $T_p=11,97$ s

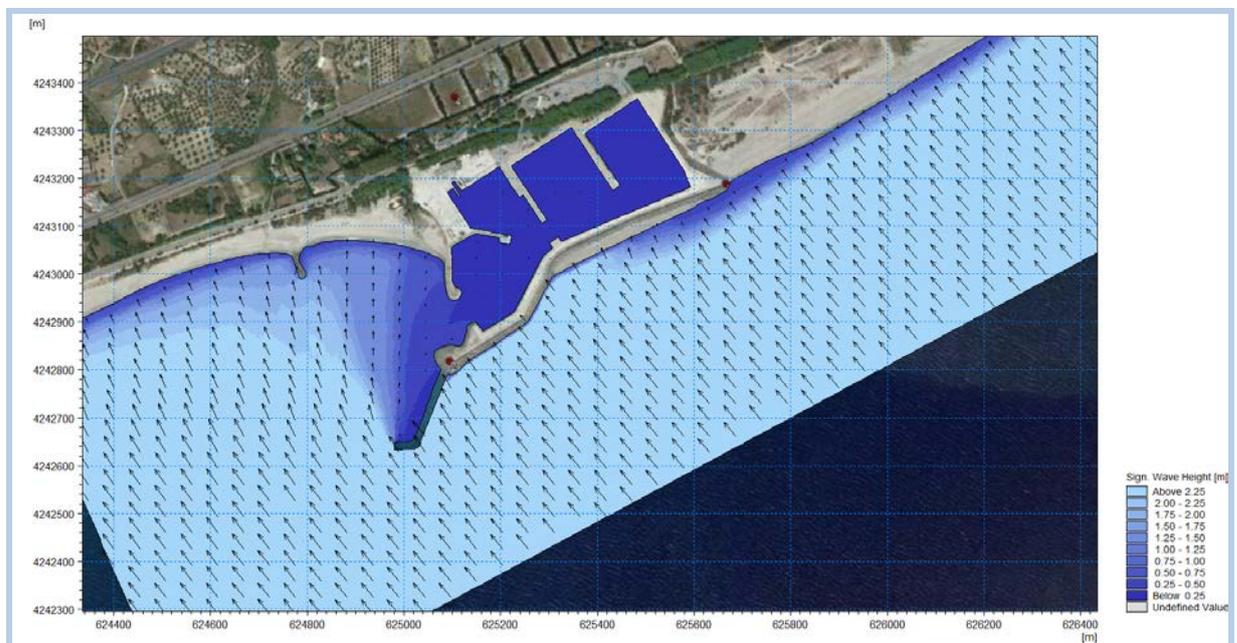


Fig. 10.12 Distribuzione dell'altezza d'onda per l'ipotesi di intervento 1 (2 cassoni REWEC3); condizione ondosa in ingresso n.6 avente $H_s=3,18$ m, direzione di provenienza $141^\circ N$, $T_p=12,75$ s

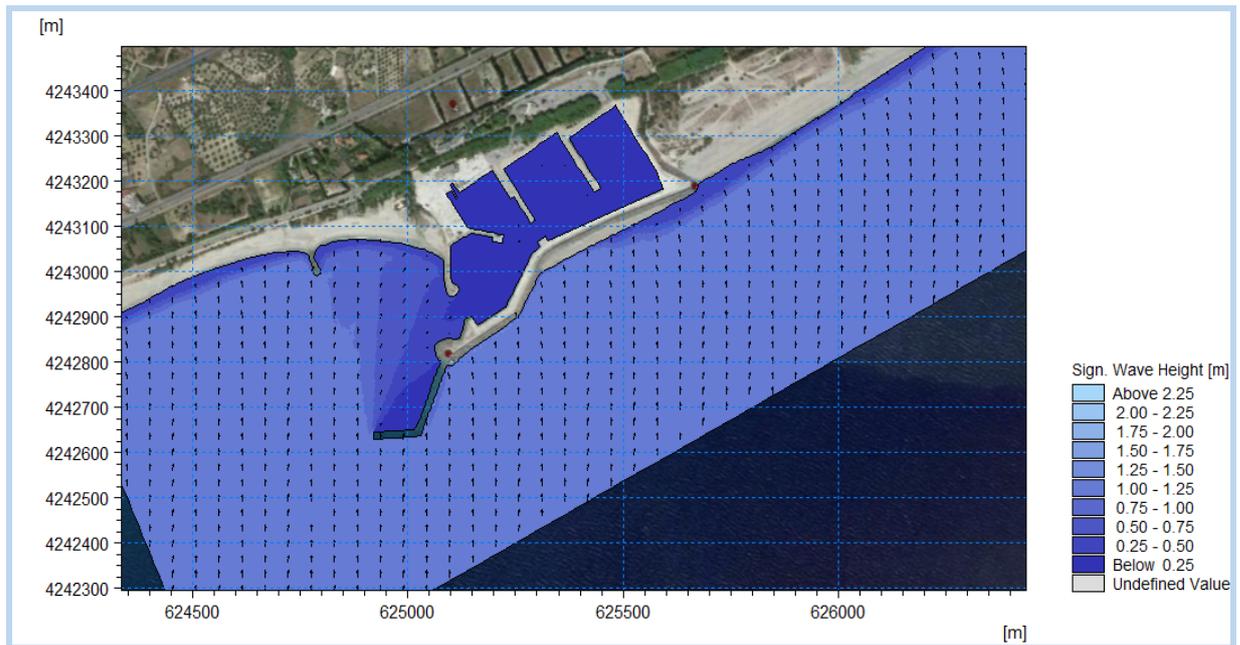


Fig. 10.13 Distribuzione dell'altezza d'onda per l'ipotesi di intervento 2 (5 cassoni REWEC3); condizione ondata in ingresso n.1 avente $H_s=1,21m$, direzione di provenienza $185^\circ N$, $T_p=5,88s$

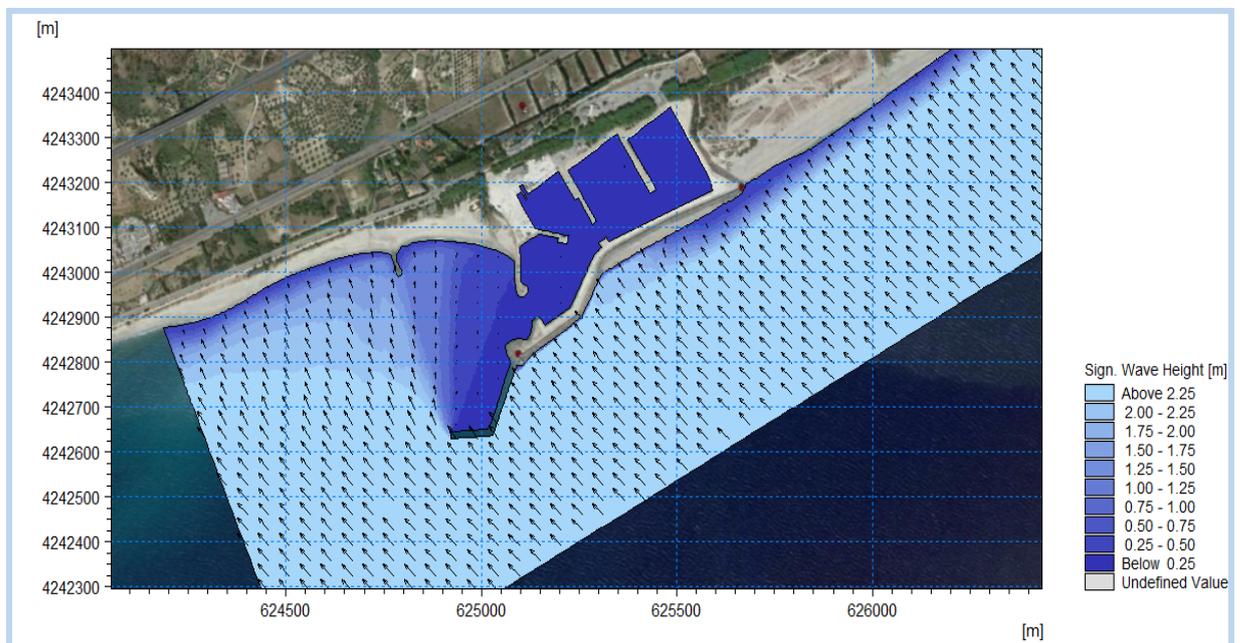


Fig. 10.14 Distribuzione dell'altezza d'onda per l'ipotesi di intervento 2 (5 cassoni REWEC3); condizione ondata in ingresso n.2 avente $H_s=3,06m$, direzione di provenienza $133^\circ N$, $T_p=9,48s$

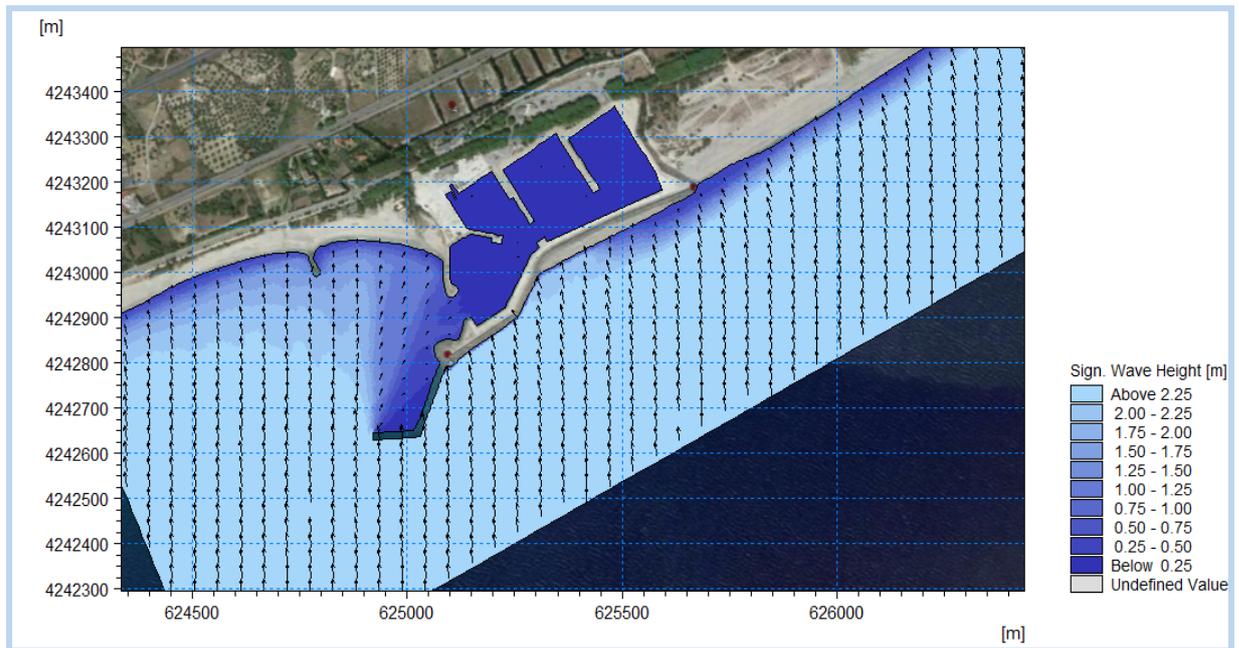


Fig. 10.15 Distribuzione dell'altezza d'onda per l'ipotesi di intervento 2 (5 cassoni REWEC3); condizione ondata in ingresso n.3 $H_s=2,62$ m, direzione di provenienza $177^\circ N$, $T_p=10,89$ s

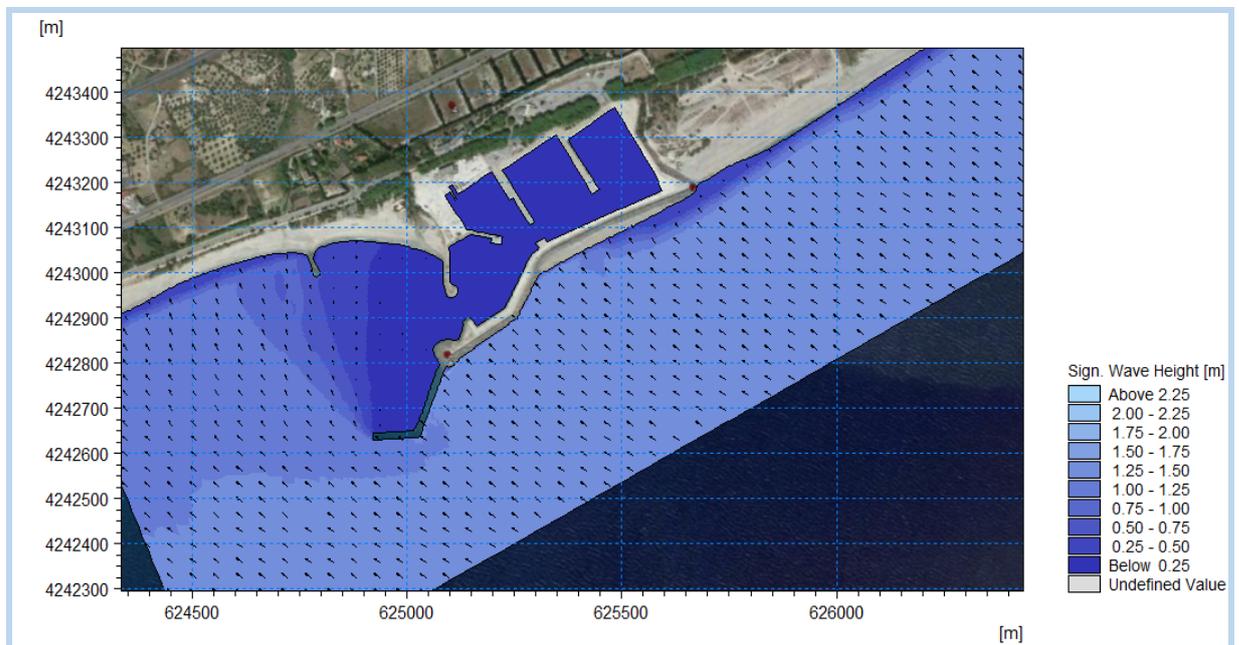


Fig. 10.16 Distribuzione dell'altezza d'onda per l'ipotesi di intervento 2 (5 cassoni REWEC3); condizione ondata in ingresso n.4 avente $H_s=1,33$ m, direzione di provenienza $125^\circ N$, $T_p=6,62$ s

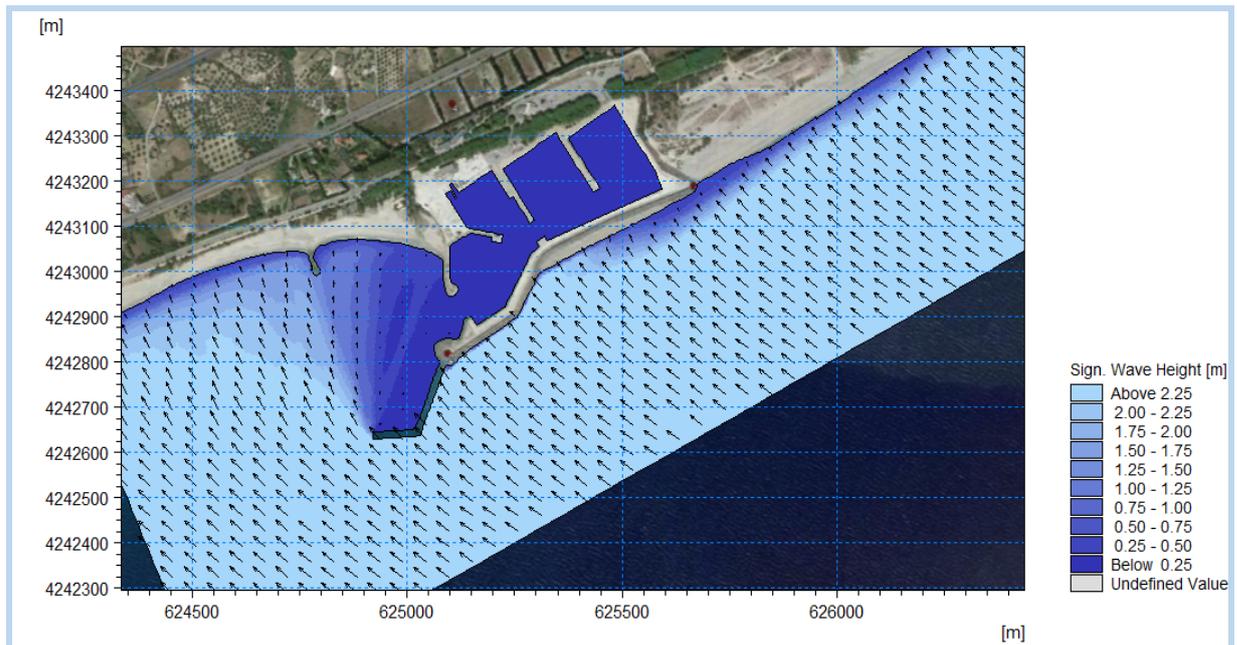


Fig. 10.17 Distribuzione dell'altezza d'onda per l'ipotesi di intervento 2 (5 cassoni REWEC3); condizione ondosa in ingresso n.5 avenue $H_s=2,95$ m, direzione di provenienza $126^\circ N$, $T_p=11,97$ s

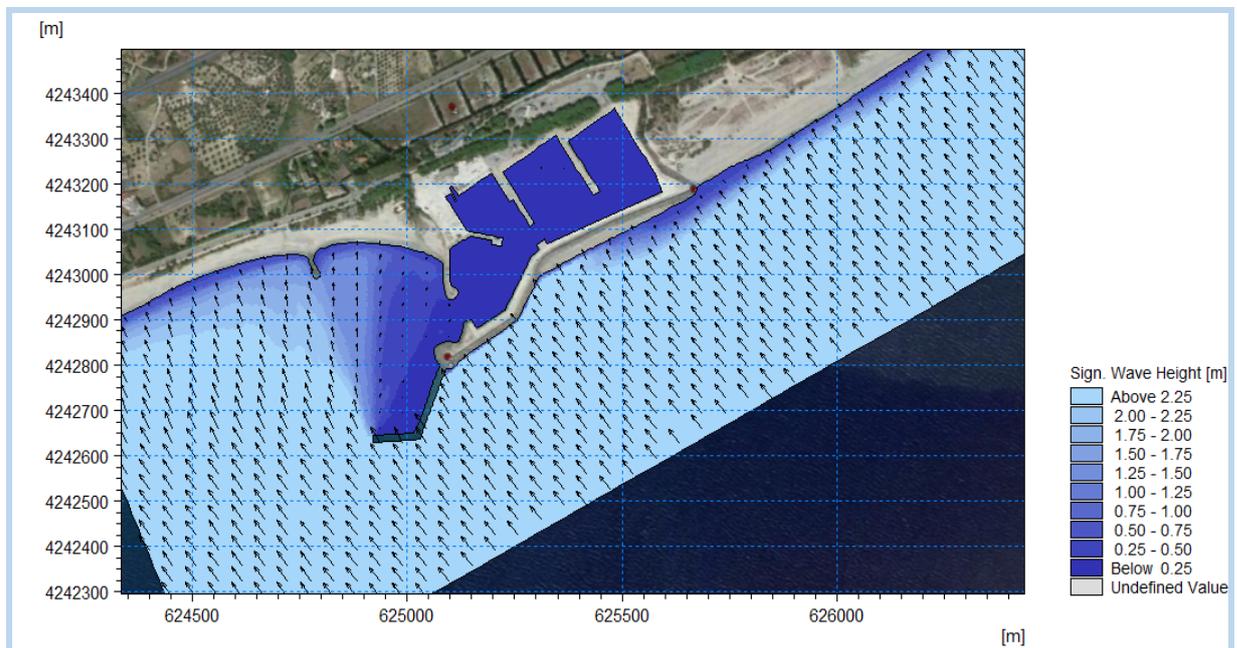


Fig. 10.18 Distribuzione dell'altezza d'onda per l'ipotesi di intervento 2 (5 cassoni REWEC3); condizione ondosa in ingresso n.6 avenue $H_s=3,18$ m, direzione di provenienza $141^\circ N$, $T_p=12,75$ s

10.2 Risultati del modello di circolazione idraulica

L'applicazione del modulo HD di MIKE 21 per gli scenari considerati e per le sei onde simulate, consente di ottenere i risultati in termini di velocità della corrente e direzione della stessa. Le correnti litoranee sono generate per effetto dei gradienti dei radiation stress, massimi in corrispondenza del frangimento. Di conseguenza, le condizioni di moto ondoso, a seconda della loro intensità e direzione, e quindi della localizzazione della fascia di frangenti più o meno spostata verso largo, sono in grado di generare correnti in una fascia più o meno ampia e più o meno prossima alla costa. La direzione prevalente della corrente risulta invece influenzata dall'angolo formato dalla direzione di propagazione delle onde e la perpendicolare alle batimetriche.

Analizzando nel dettaglio i risultati del modello di circolazione idraulica, si evidenzia che per lo stato attuale e per le due ipotesi di intervento le correnti generate dalle onde sono per lo più limitate entro la zona di fascia "attiva" ed arrivano a valori massimi di 1.65 m/s in vicinanza della linea di riva per poi decrescere allontanandosi dalla costa. Osservando l'andamento delle correnti litoranee prodotte dalle onde di altezza minore si può osservare una sostanziale uniformità di comportamento tra lo scenario attuale e quello rappresentativo della soluzione progettuale. L'analisi delle figure 10.20,10.21,10.23,10.24, 10.26,10.27,10.29,10.30,10.32,10.33,10.35 e 10.36 mette bene in evidenza l'effetto che hanno le onde di altezza più elevata sulle correnti litoranee. Come si può notare da tali figure, la fascia interessata dal flusso di corrente risulta ben più ampia rispetto a quella relativa alle onde di altezza minore con una maggiore estensione cross-shore e con correnti che arrivano ai valori più elevati di velocità riscontrati. Dalle simulazioni emerge che per le onde con direzione proveniente da Sud-Est il flusso di corrente presenta una direzione Est-Ovest. Viceversa, per le onde con direzione di provenienza Sud-Ovest, il flusso di corrente risulta diretto da verso Est. Da segnalare, soprattutto negli scenari di progetto, la formazione di vortici nella zona dell'imboccatura del porto, soprattutto in corrispondenza delle onde più alte (Figure 10.26,10.27,10.29,10.30,10.32,10.33,10.35 e 10.36). Tale situazione potrebbe essere indicativa di una propensione all'insabbiamento di tale area.



Fig. 10.19 Campo di correnti per lo scenario attuale; condizione ondosa in ingresso n.1 avente $H_s=1,21$ m, direzione di provenienza $185^\circ N$, $T_p=5,88s$

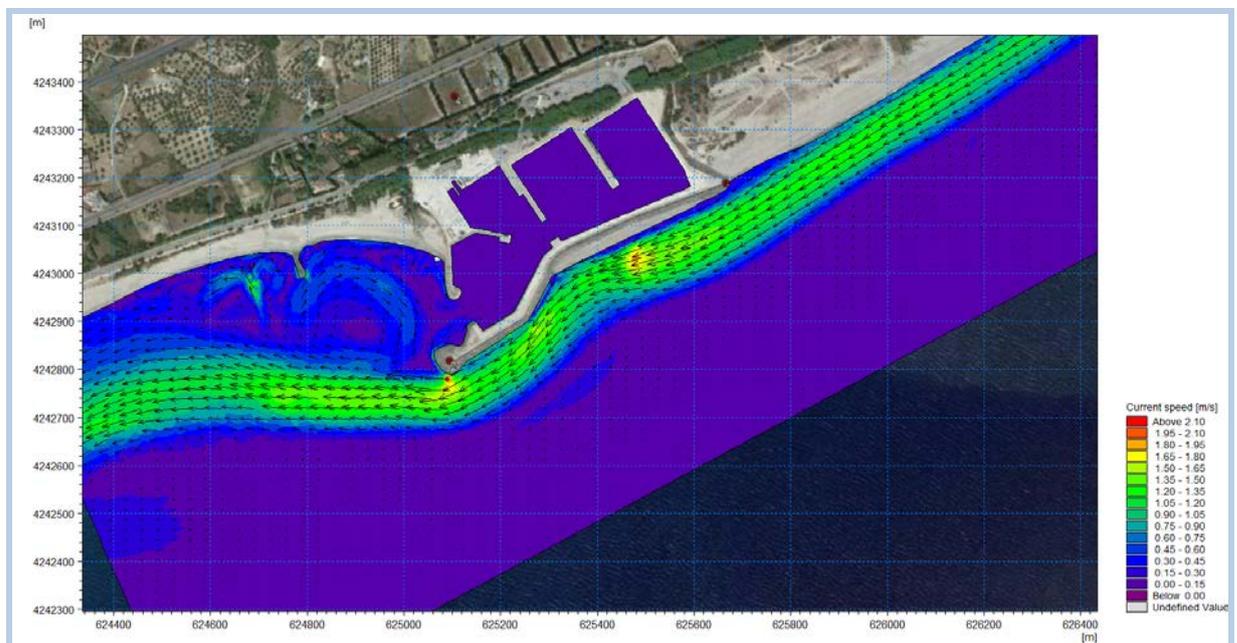


Fig. 10.20 Campo di correnti per lo scenario attuale; condizione ondosa in ingresso n.2 avente $H_s=3,06$ m, direzione di provenienza $133^\circ N$, $T_p=9,48s$

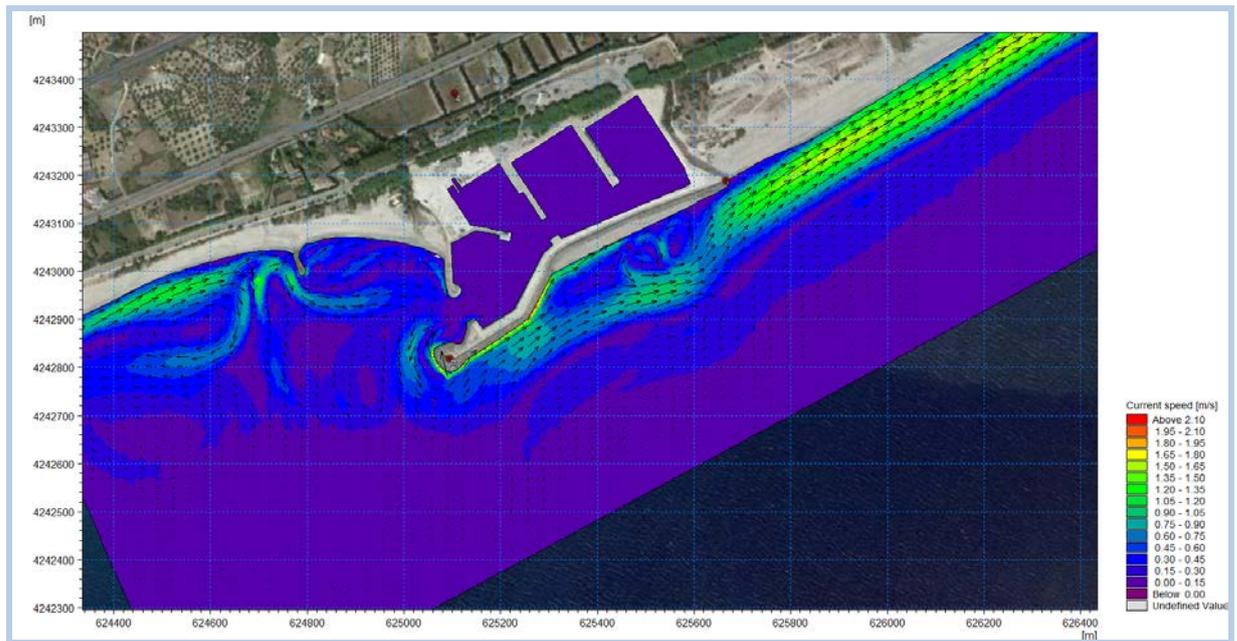


Fig. 10.21 Campo di correnti per lo scenario attuale; condizione ondosa in ingresso n.3 avente $H_s=2,62$ m, direzione di provenienza $177^\circ N$, $T_p=10,89s$

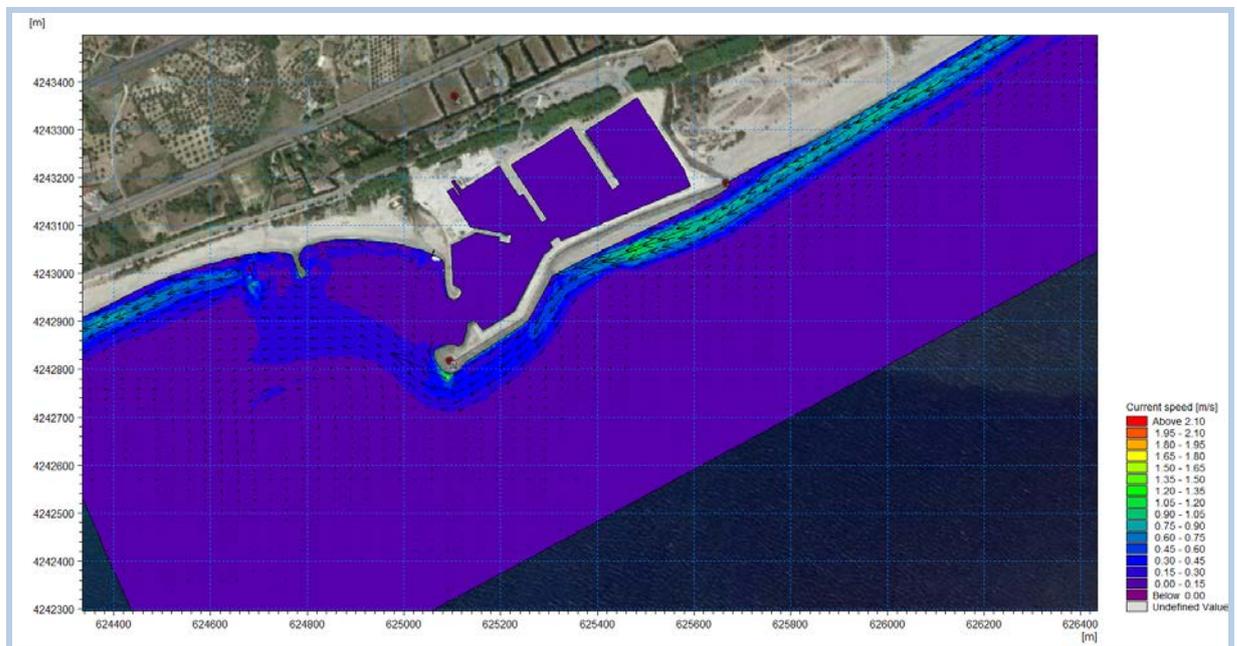


Fig. 10.22 Campo di correnti per lo scenario attuale; condizione ondosa in ingresso n.4 avente $H_s=1,33$ m, direzione di provenienza $125^\circ N$, $T_p=6,62s$

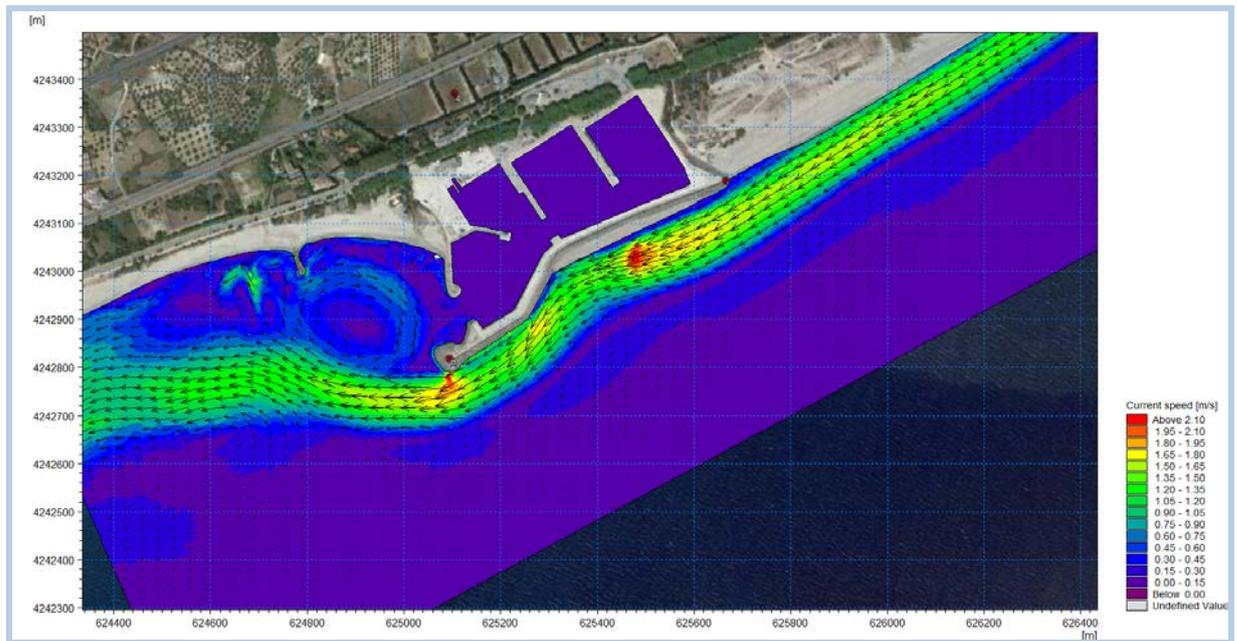


Fig. 10.23 Campo di correnti per lo scenario attuale; condizione ondosa in ingresso n.5 avente $H_s=2,95$ m, direzione di provenienza $126^\circ N$, $T_p=11,97$ s

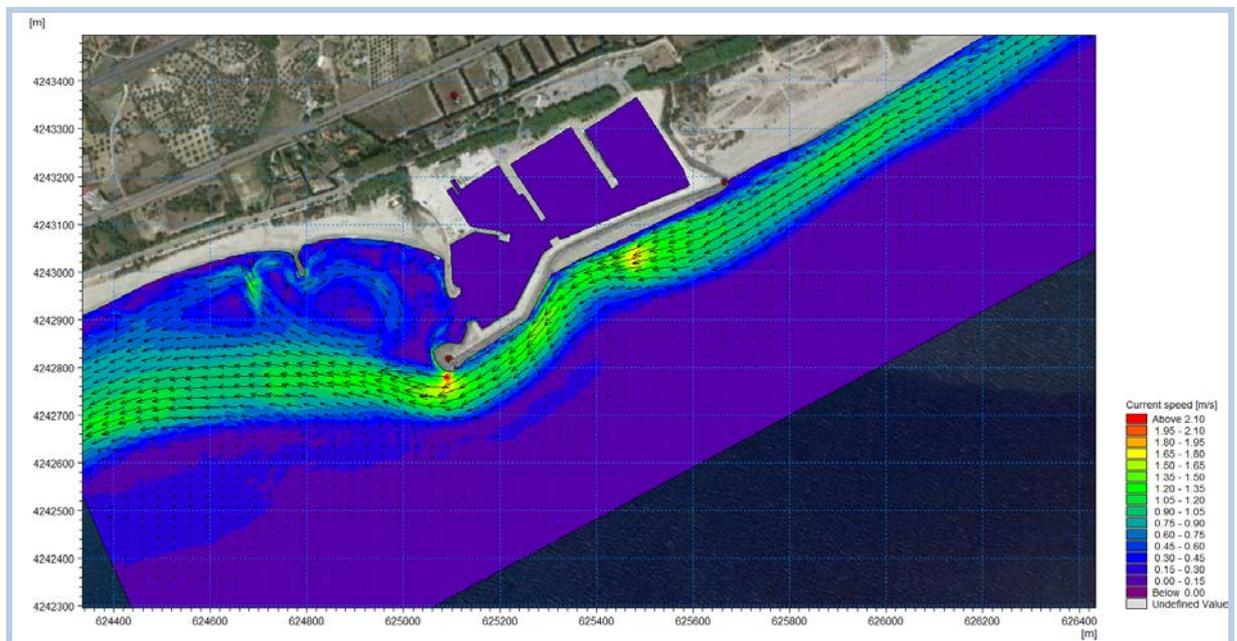


Fig. 10.24 Campo di correnti per lo scenario attuale; condizione ondosa in ingresso n.6 avente $H_s=3,18$ m, direzione di provenienza $141^\circ N$, $T_p=12,75$ s

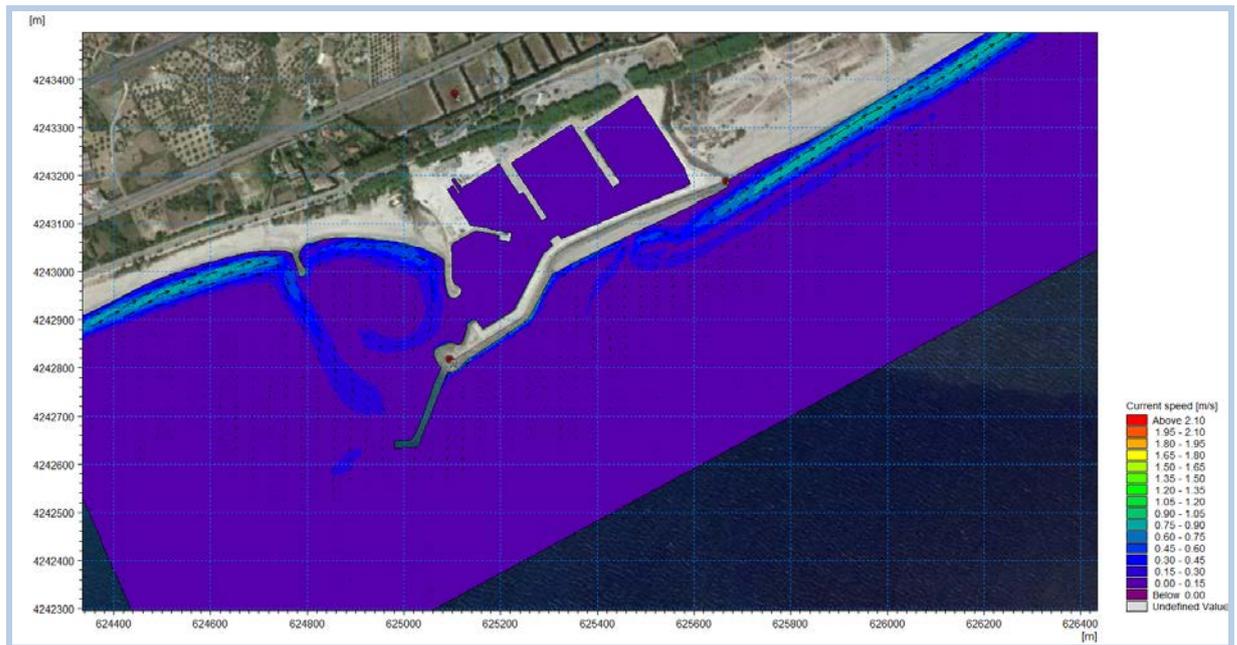


Fig. 10.25 Campo di correnti per l'ipotesi di progetto 1 (2 cassoni REWEC3); condizione ondosa in ingresso n.1 avente $H_s=1,21$ m, direzione di provenienza $185^\circ N$, $T_p=5,88$ s

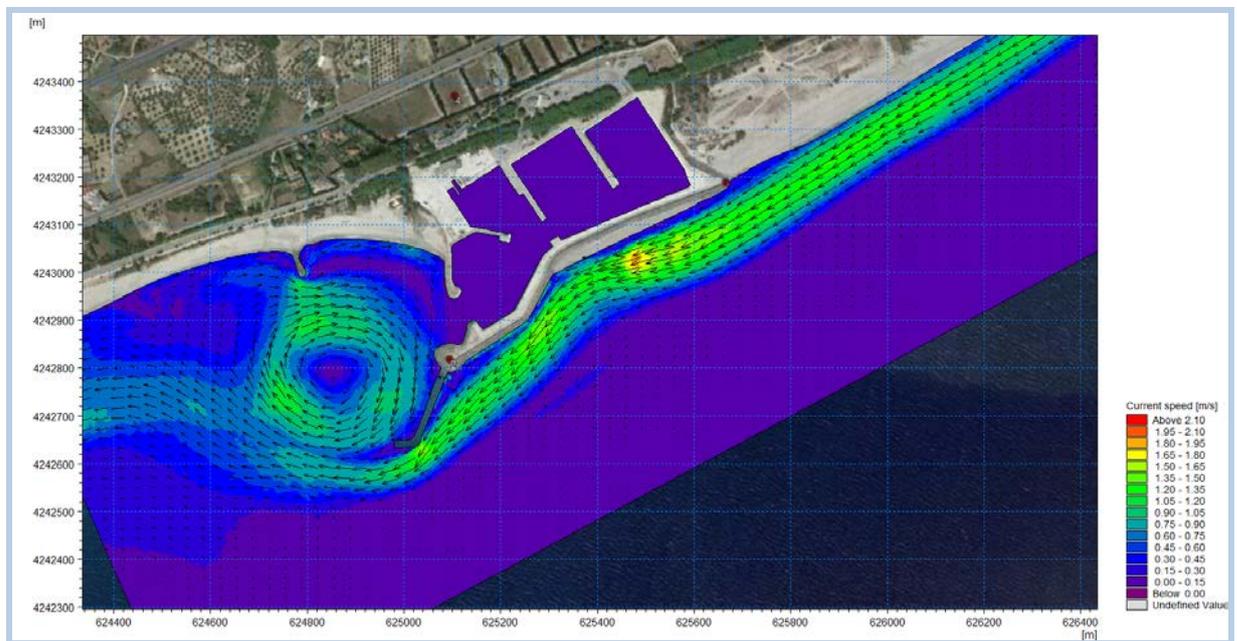


Fig. 10.26 Campo di correnti l'ipotesi di progetto 1 (2 cassoni REWEC3); condizione ondosa in ingresso n.2 avente $H_s=3,06$ m, direzione di provenienza $133^\circ N$, $T_p=9,48$ s

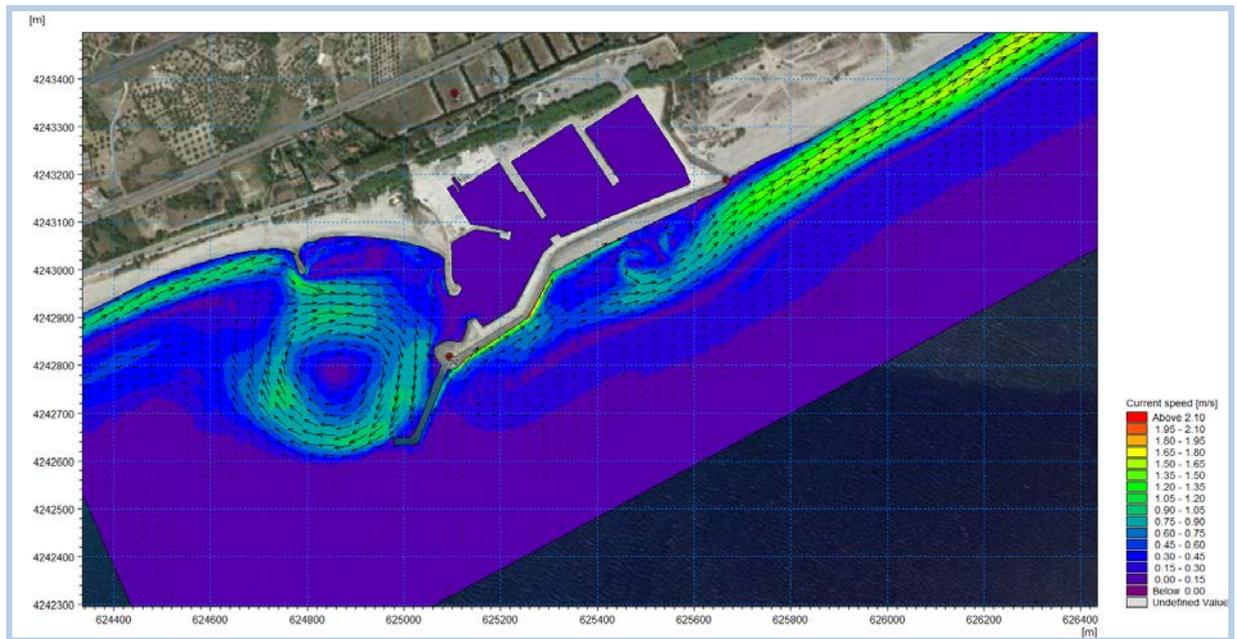


Fig. 10.27 Campo di correnti per l'ipotesi di progetto 1 (2 cassoni REWEC3); condizione ondosa in ingresso n.3 avente $H_s=2,62$ m, direzione di provenienza $177^\circ N$, $T_p=10,89s$



Fig. 10.28 Campo di correnti per l'ipotesi di progetto 1 (2 cassoni REWEC3); condizione ondosa in ingresso n.4 avente $H_s=1,33$ m, direzione di provenienza $125^\circ N$, $T_p=6,62s$

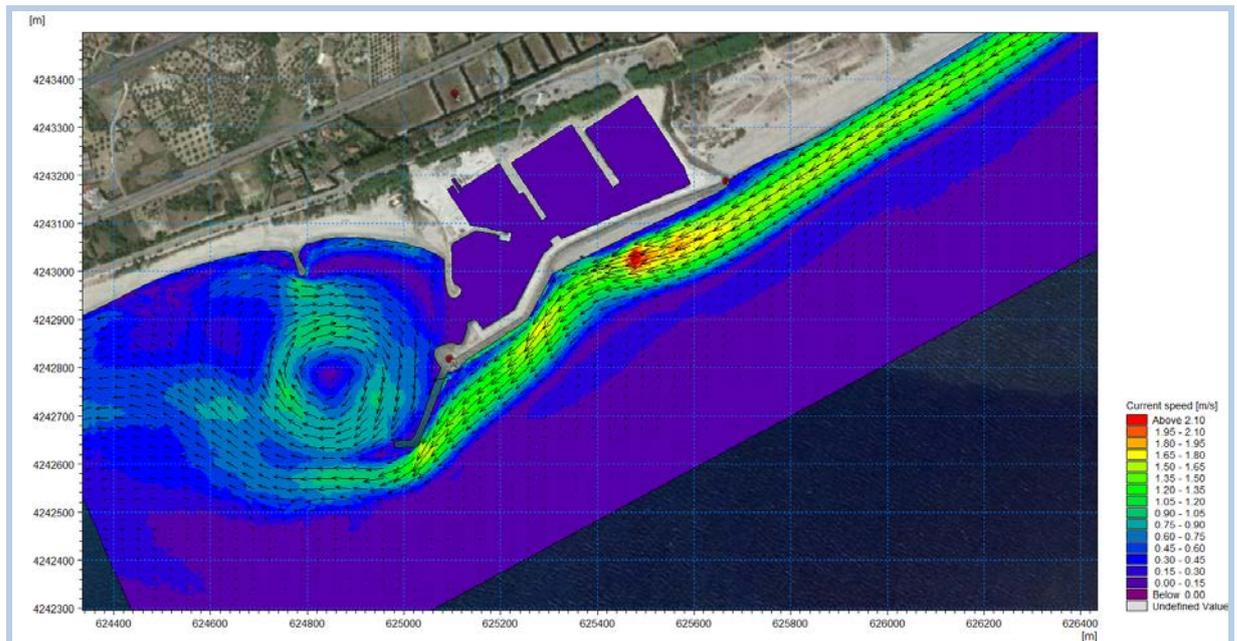


Fig. 10.29 Campo di correnti per l'ipotesi di progetto 1 (2 cassoni REWEC3); condizione ondosa in ingresso n.5 avente $H_s=2,95$ m, direzione di provenienza $126^\circ N$, $T_p=11,97$ s

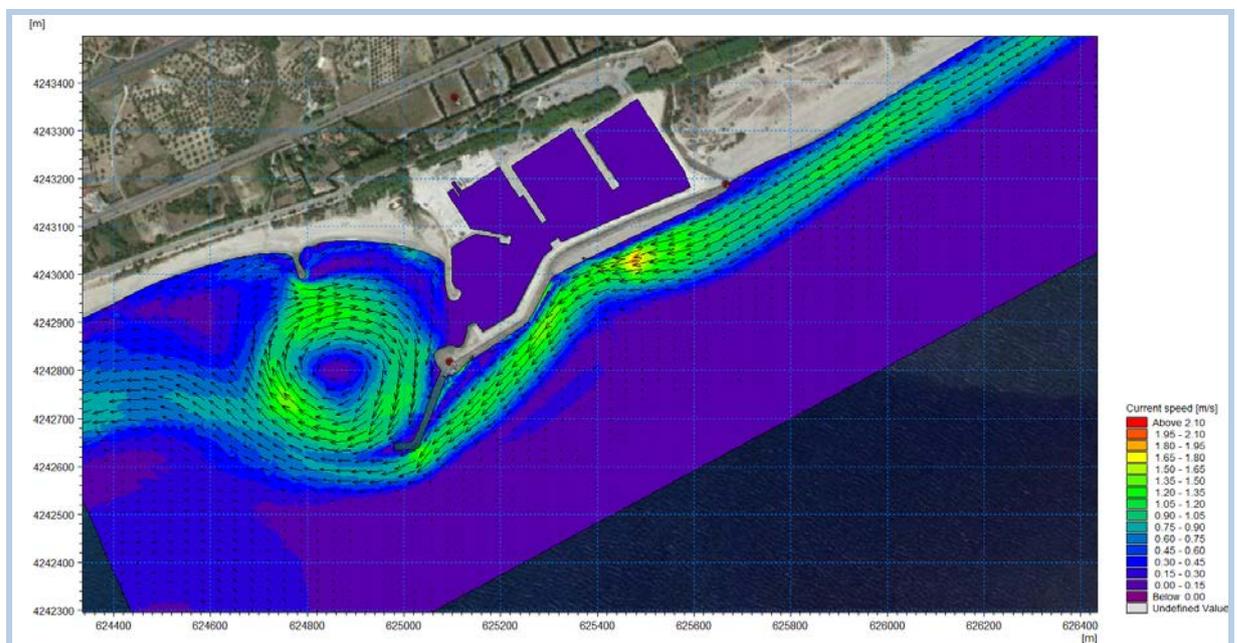


Fig. 10.30 Campo di correnti per l'ipotesi di progetto 1 (2 cassoni REWEC3); condizione ondosa in ingresso n.6 avente $H_s=3,18$ m, direzione di provenienza $141^\circ N$, $T_p=12,75$ s

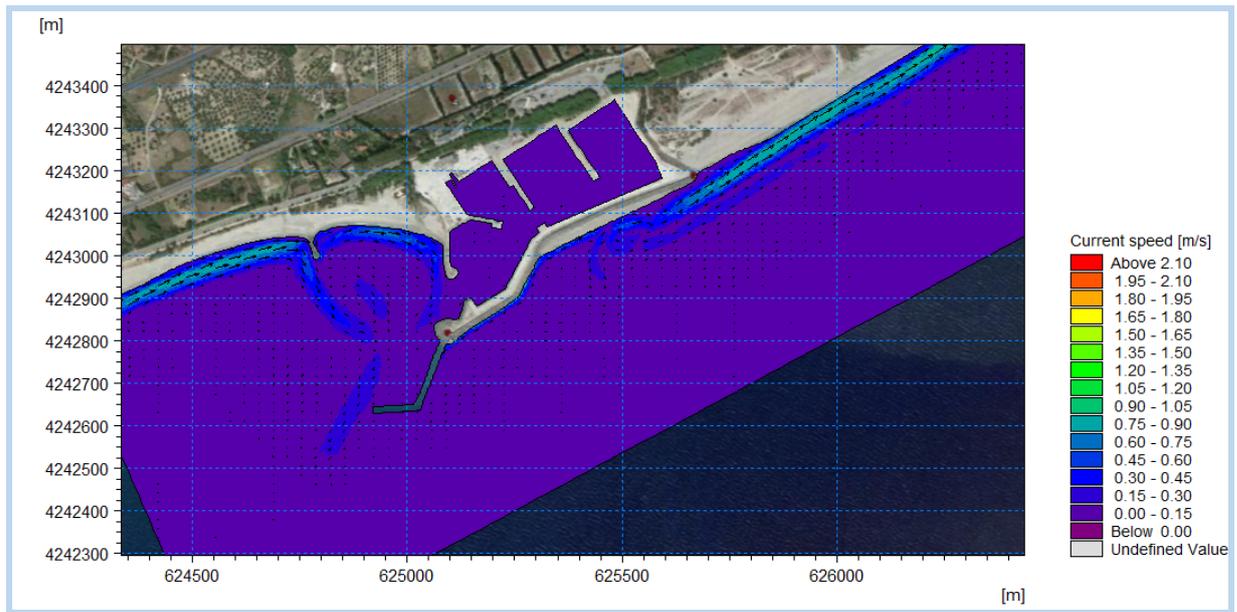


Fig. 10.31 Campo di correnti per l'ipotesi di progetto 2 (5 cassoni REWEC3); condizione ondosa in ingresso n.1 avente $H_s=1,21$ m, direzione di provenienza $185^\circ N$, $T_p=5,88s$

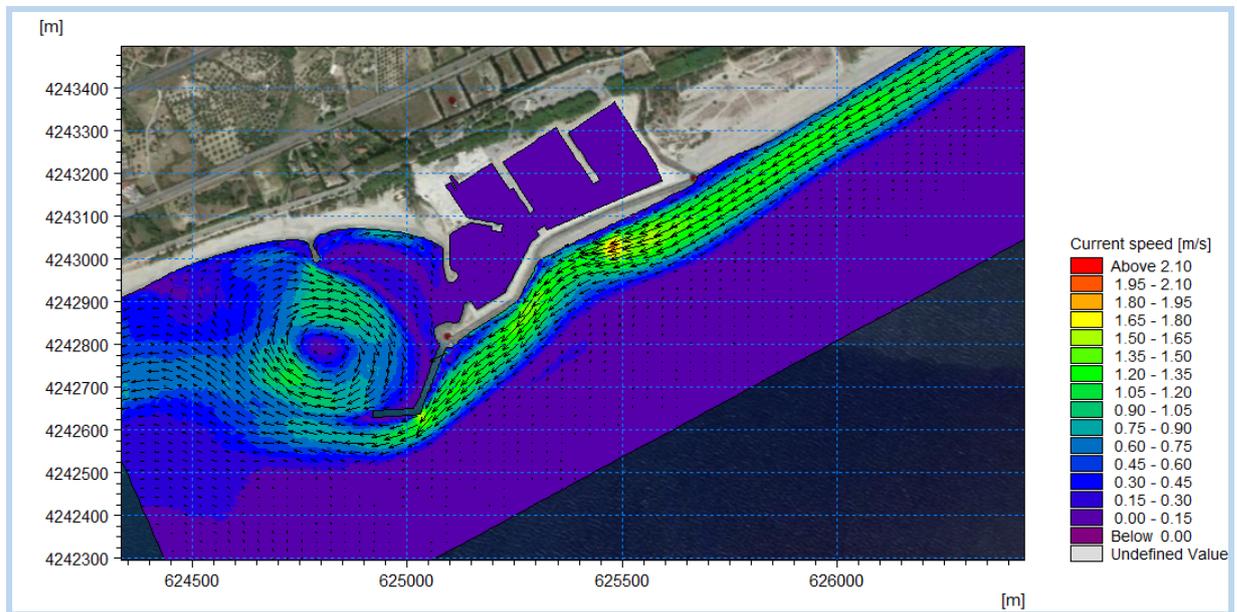


Fig. 10.32 Campo di correnti l'ipotesi di progetto 2 (5 cassoni REWEC3); condizione ondosa in ingresso n.2 avente $H_s=3,06$ m, direzione di provenienza $133^\circ N$, $T_p=9,48s$

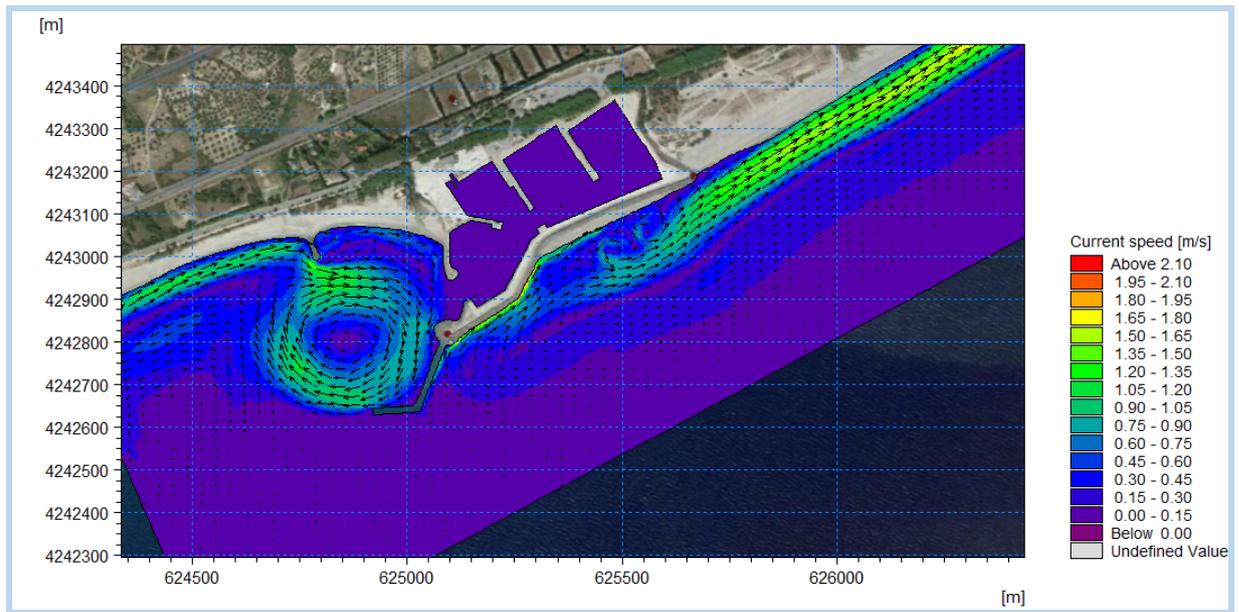


Fig. 10.33 Campo di correnti per l'ipotesi di progetto 2 (5 cassoni REWEC3); condizione ondosa in ingresso n.3 avente $H_s=2,62$ m, direzione di provenienza $177^\circ N$, $T_p=10,89s$

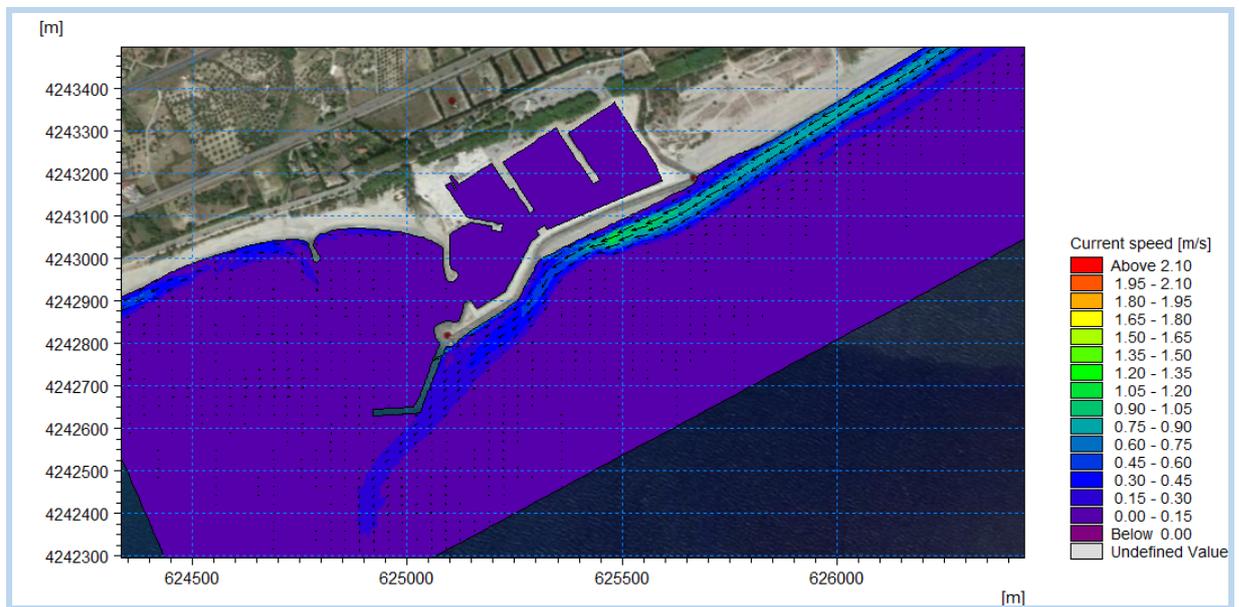


Fig. 10.34 Campo di correnti per l'ipotesi di progetto 2 (5 cassoni REWEC3); condizione ondosa in ingresso n.4 avente $H_s=1,33$ m, direzione di provenienza $125^\circ N$, $T_p=6,62s$

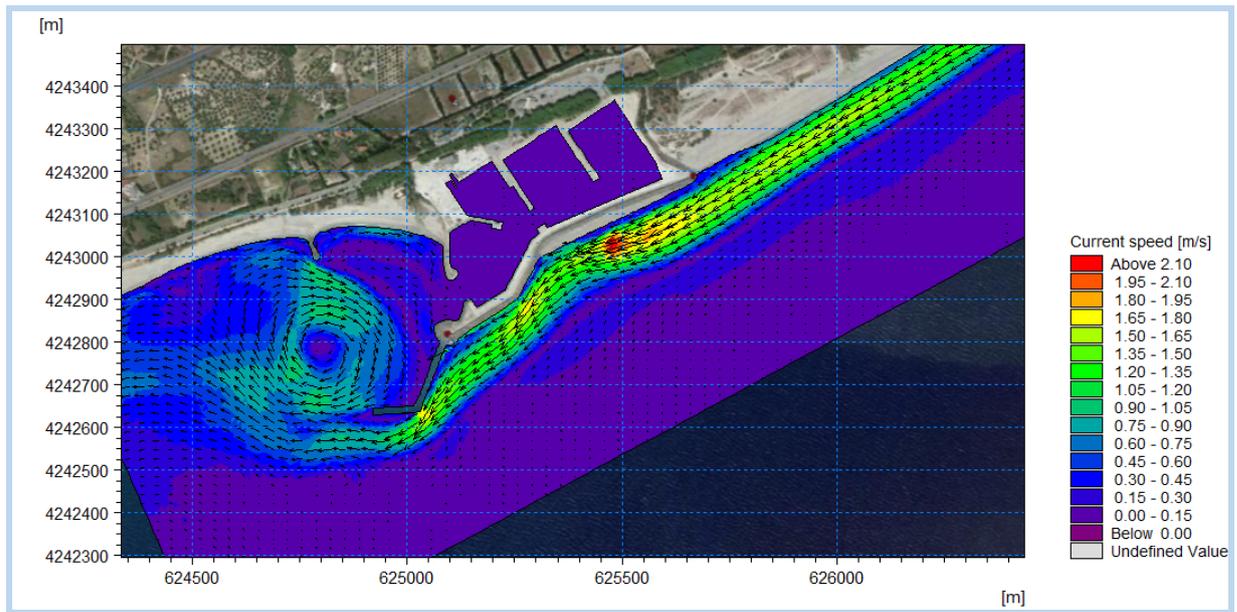


Fig. 10.35 Campo di correnti per l'ipotesi di progetto 2 (5 cassoni REWEC3); condizione ondosa in ingresso n.5 avente $H_s=2,95$ m, direzione di provenienza $126^\circ N$, $T_p=11,97$ s

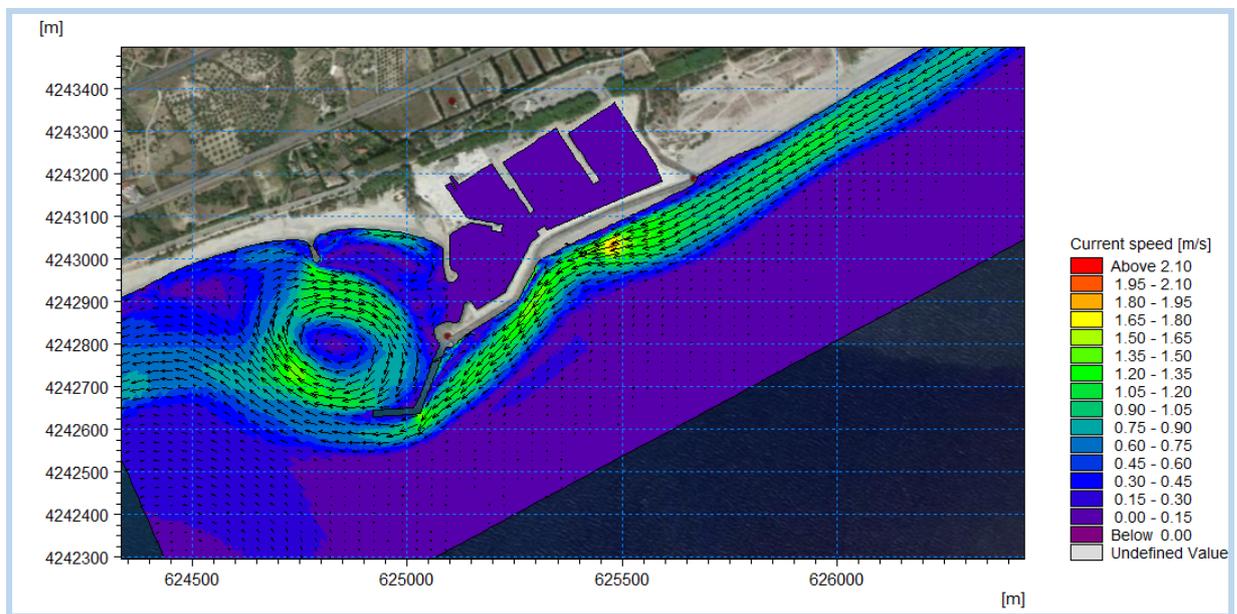


Fig. 10.36 Campo di correnti per l'ipotesi di progetto 2 (5 cassoni REWEC3); condizione ondosa in ingresso n.6 avente $H_s=3,18$ m, direzione di provenienza $141^\circ N$, $T_p=12,75$ s

11. MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE DEL TRASPORTO DI SEDIMENTI

Mediante il modello di trasporto solido ST (Sediment Transport) del codice di calcolo MIKE 21 è possibile definire la capacità di trasporto solido dei materiali non coesivi basata sulle correnti litoranee indotte dalle onde e sulla sospensione dei materiali causata dalle stesse onde.

L'applicazione del modulo ST di MIKE 21 è rivolta alla definizione delle caratteristiche di dettaglio del trasporto solido nel paraggio di mare antistante il litorale di Roccella Jonica, soggetto ad erosione costiera. Il modello integrato a maglia flessibile utilizzato, consente di ottenere direttamente oltre che il campo di velocità, anche l'andamento del trasporto solido litoraneo nell'area in esame, previa caratterizzazione dei sedimenti.

La distribuzione dei sedimenti è funzione della profondità ed è ottenuta sulla base dei risultati dei rilievi batimetrici e morfologici eseguiti in tale zona. Partendo pertanto dai risultati dei moduli HD e SW di ciascuna delle sei onde rappresentative, il modello MIKE 21 ST ha permesso di ricavare la distribuzione della capacità di trasporto nell'intero dominio di calcolo (in $m^3/g/m$) per ogni evento simulato.

Tali simulazioni risultano pertanto significative ciascuna della capacità di trasporto istantanea relativa alla sola onda presa di volta in volta in considerazione. Le capacità di trasporto così ottenute vengono mostrate, per tutte le configurazioni studiate, dalla Figura 11.1 alla Figura 11.18.

Le mappe di capacità di trasporto confermano quanto già detto evidenziato nel paragrafo precedente relativo ai risultati del modello idrodinamico. Come atteso, il flusso di trasporto sedimentario mantiene una direzione prevalente da ovest verso est per le onde provenienti da Sud-Ovest. Viceversa, per le onde provenienti da Sud-Est presenta una direzione prevalente da est verso Ovest.

Le immagini mostrano chiaramente (colorazioni in rosso) quale è la fascia attiva, ovvero quella interessata dal trasporto litoraneo. Tale fascia risulta più o meno ampia in funzione dell'intensità della condizione di mareggiata considerata. Risulta utile evidenziare che, laddove si osserva una diminuzione della capacità di trasporto nella direzione del flusso il fondale tende all'accumulo. Viceversa, laddove si osserva un'accelerazione della capacità di trasporto nella direzione del flusso il fondale tende all'erosione.

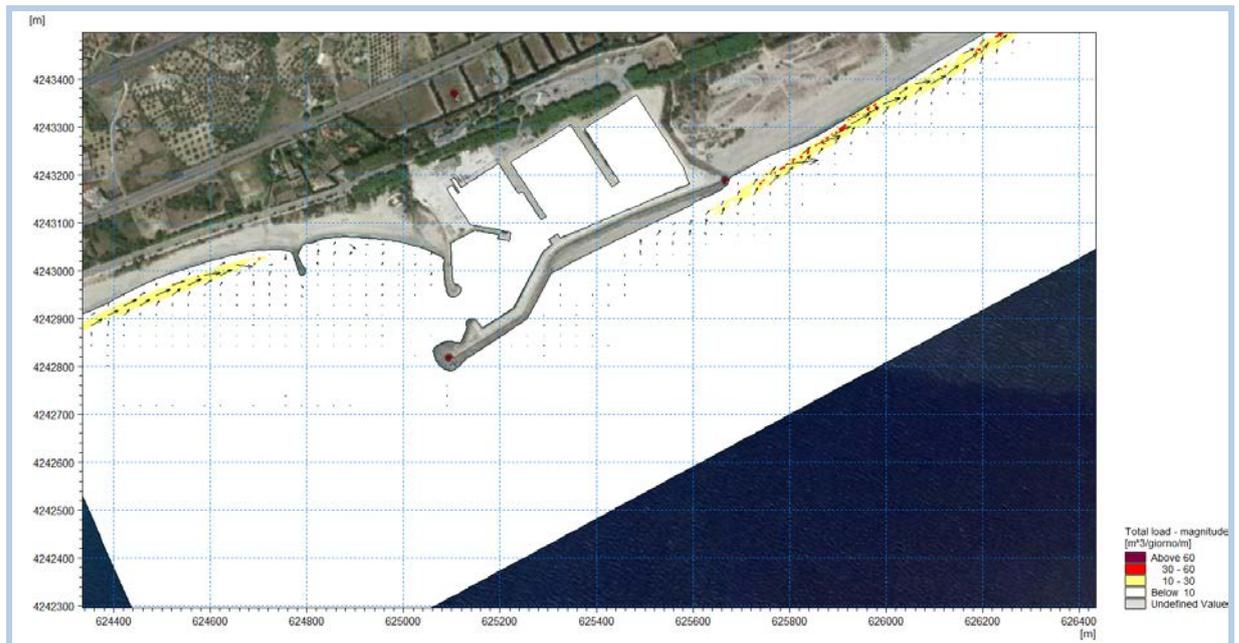


Fig. 11.1 Rappresentazione del campo di trasporto per effetto della condizione ondosa in ingresso n.1 avente $H_s=1,21$ m, direzione di provenienza $185^\circ N$, $T_p=5,88s$ (stato attuale)

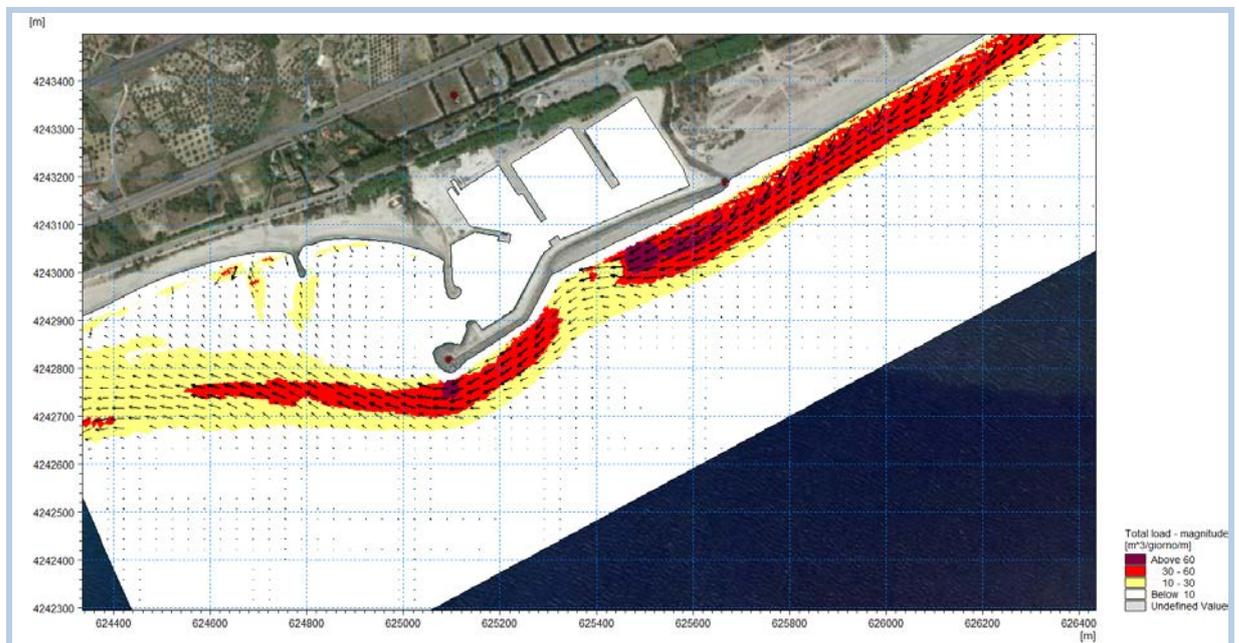


Fig. 11.2 Rappresentazione del campo di trasporto per effetto della condizione ondosa in ingresso n.2 avente $H_s=3,06$ m, direzione di provenienza $133^\circ N$, $T_p=9,48s$ (stato attuale)

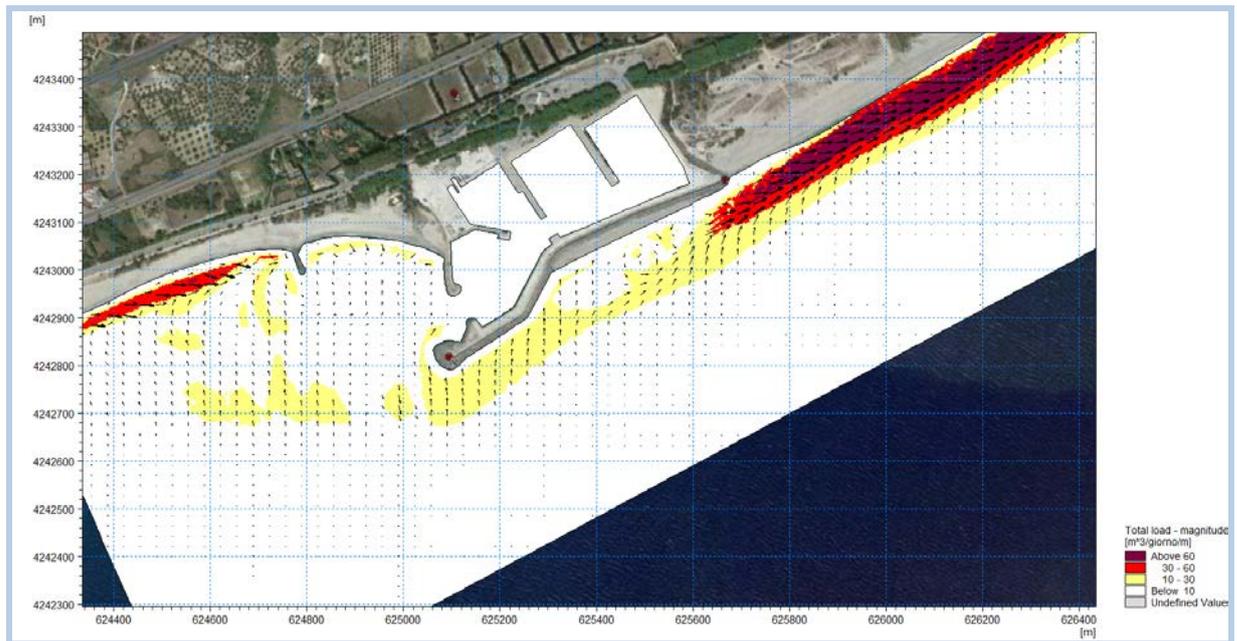


Fig. 11.3 Rappresentazione del campo di trasporto per effetto della condizione ondosa in ingresso n.3 avente $H_s=2,62$ m, direzione di provenienza $177^\circ N$, $T_p=10,89s$ (stato attuale)

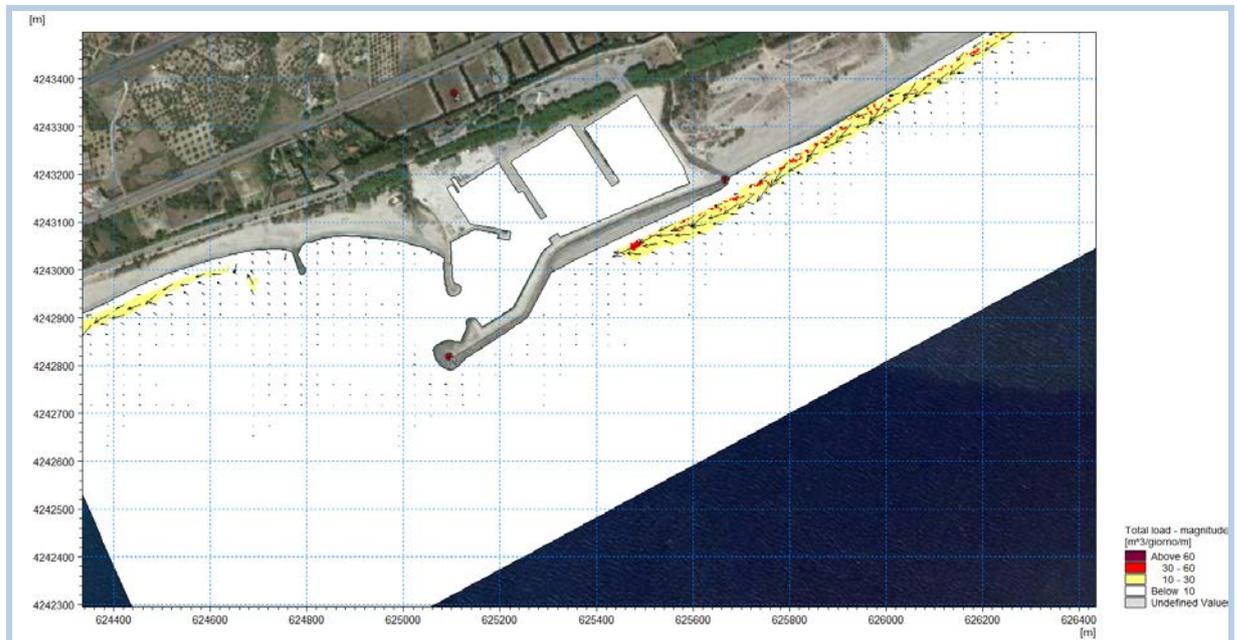


Fig. 11.4 Rappresentazione del campo di trasporto per effetto della condizione ondosa in ingresso n.4 avente $H_s=1,33$ m, direzione di provenienza $125^\circ N$, $T_p=6,62s$ (stato attuale)

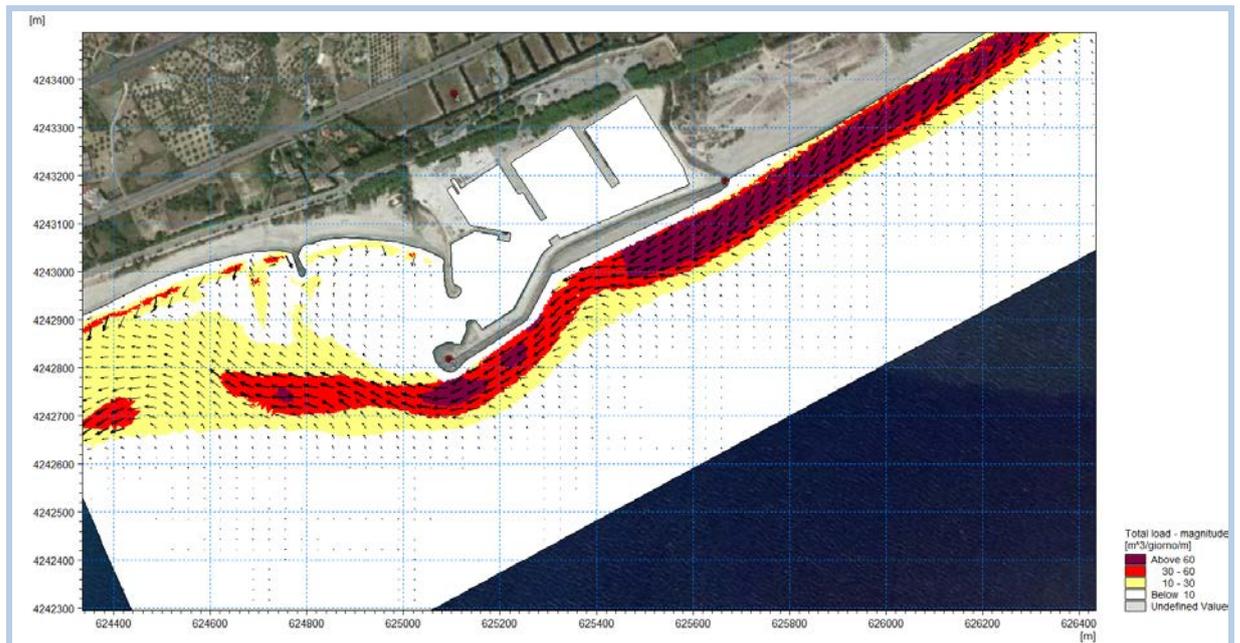


Fig. 11.5 Rappresentazione del campo di trasporto per effetto della condizione ondosa in ingresso n.5 avente $H_s=2,95$ m, direzione di provenienza $126^\circ N$, $T_p=11,97s$ (stato attuale)

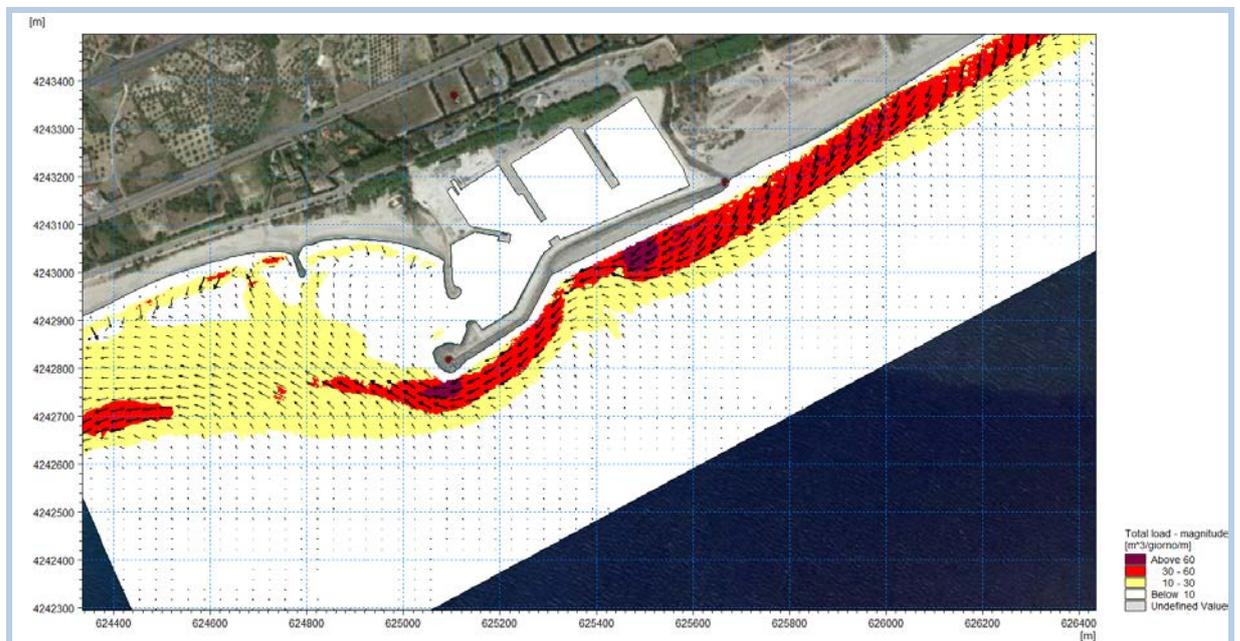


Fig. 11.6 Rappresentazione del campo di trasporto per effetto della condizione ondosa in ingresso n.6 avente $H_s=3,18$ m, direzione di provenienza $141^\circ N$, $T_p=12,75s$ (stato attuale)

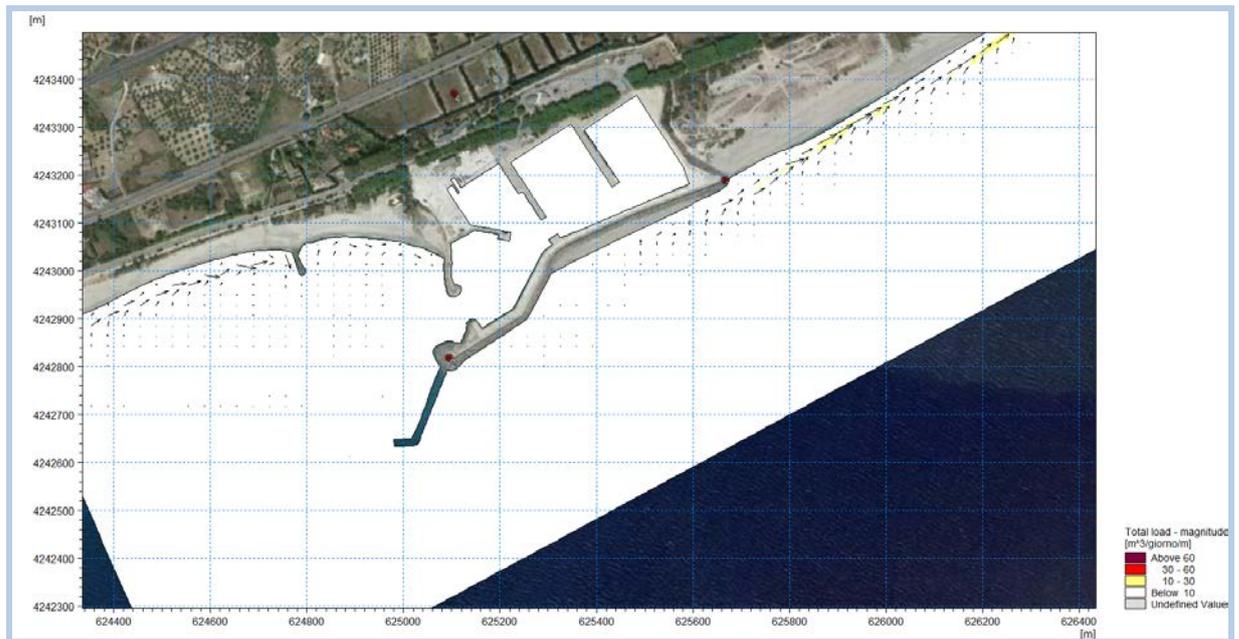


Fig. 11.7 Rappresentazione del campo di trasporto per effetto della condizione ondosa in ingresso n.1 avente $H_s=1,21$ m, direzione di provenienza $185^\circ N$, $T_p=5,88s$ (soluzione progettuale 1 – 2 cassoni REWEC3)

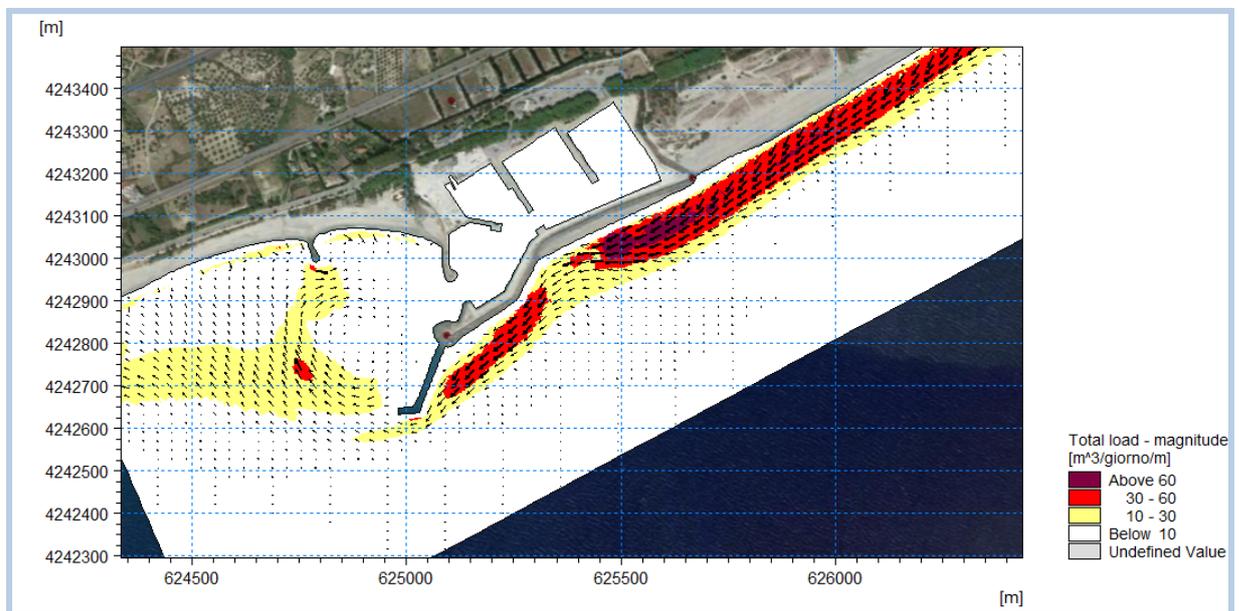


Fig. 11.8 Rappresentazione del campo di trasporto per effetto della condizione ondosa in ingresso n.2 avente $H_s=3,06$ m, direzione di provenienza $133^\circ N$, $T_p=9,48s$ (soluzione progettuale 1– 2 cassoni REWEC3)

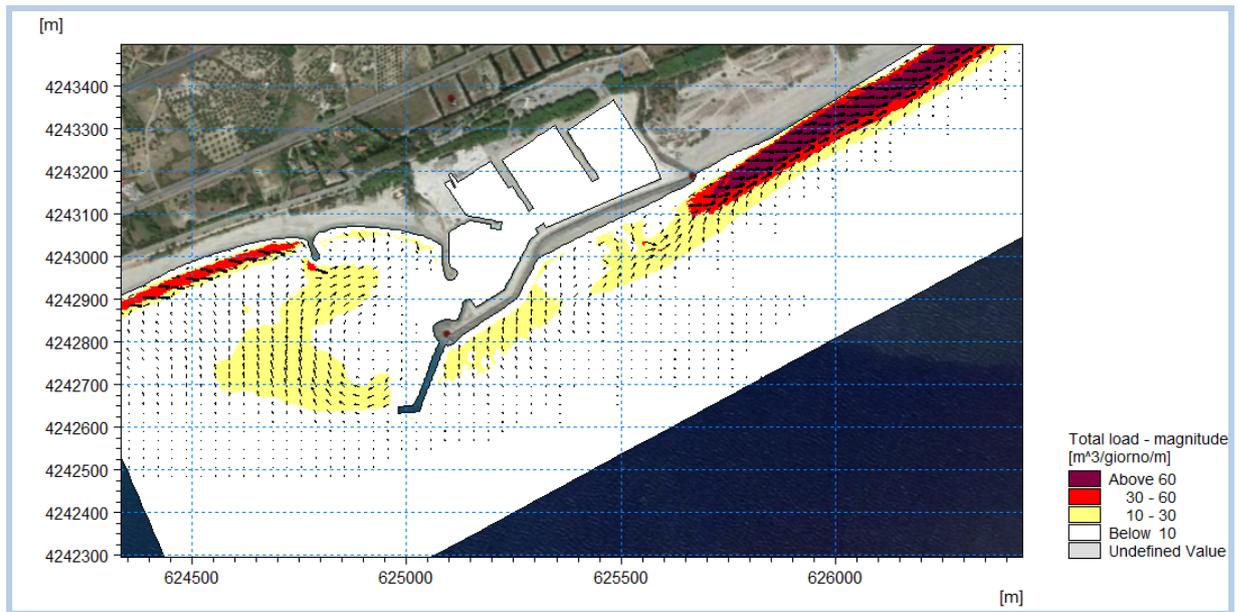


Fig. 11.9 Rappresentazione del campo di trasporto per effetto della condizione ondosa in ingresso n.3 avente $H_s=2,62$ m, direzione di provenienza $177^\circ N$, $T_p=10,89s$ (soluzione progettuale 1- 2 cassoni REWEC3)

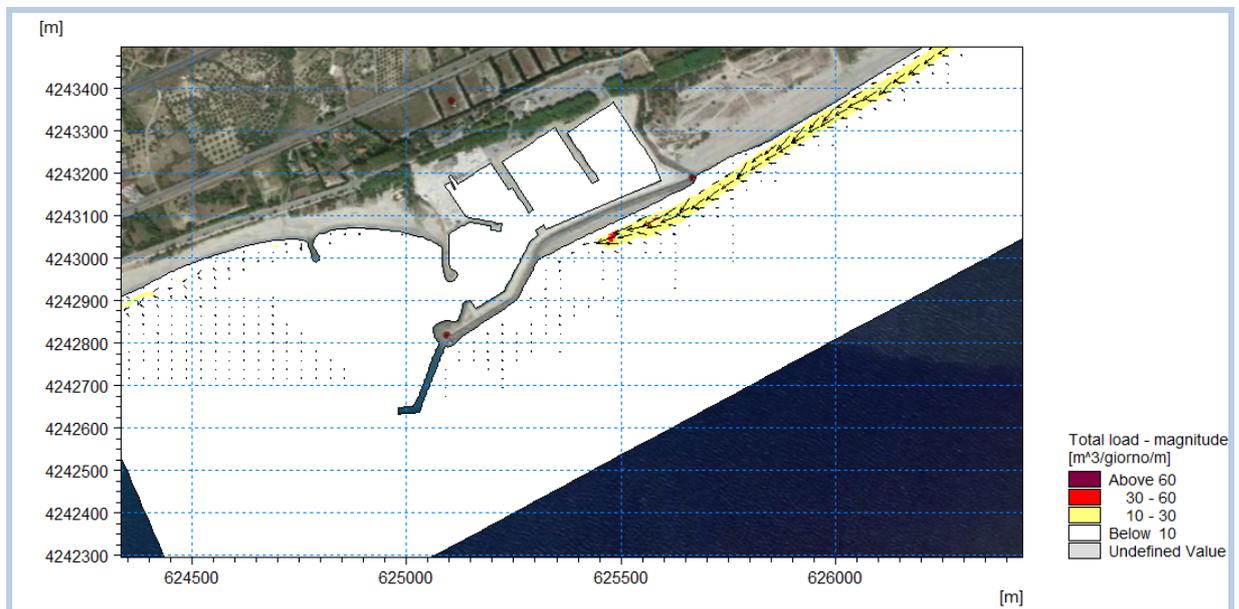


Fig. 11.10 Rappresentazione del campo di trasporto per effetto della condizione ondosa in ingresso n.4 avente $H_s=1,33$ m, direzione di provenienza $125^\circ N$, $T_p=6,62s$ (soluzione progettuale 1- 2 cassoni REWEC3)

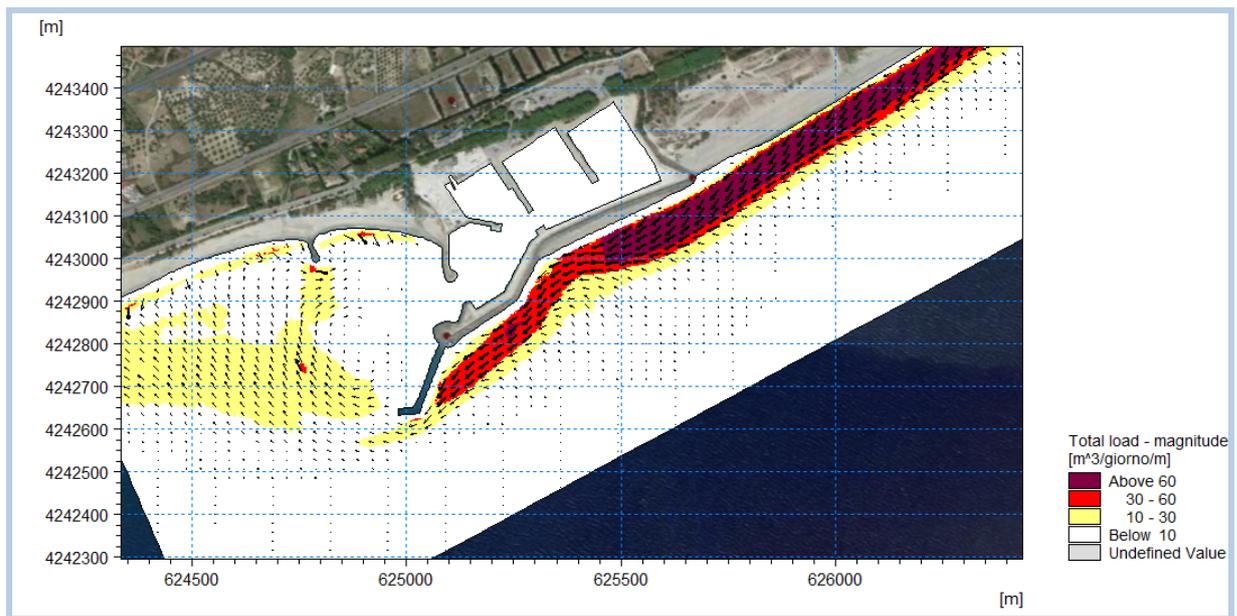


Fig. 11.11 Rappresentazione del campo di trasporto per effetto della condizione ondosa in ingresso n.5 avente $H_s=2,95$ m, direzione di provenienza $126^\circ N$, $T_p=11,97s$ (soluzione progettuale 1- 2 cassoni REWEC3)

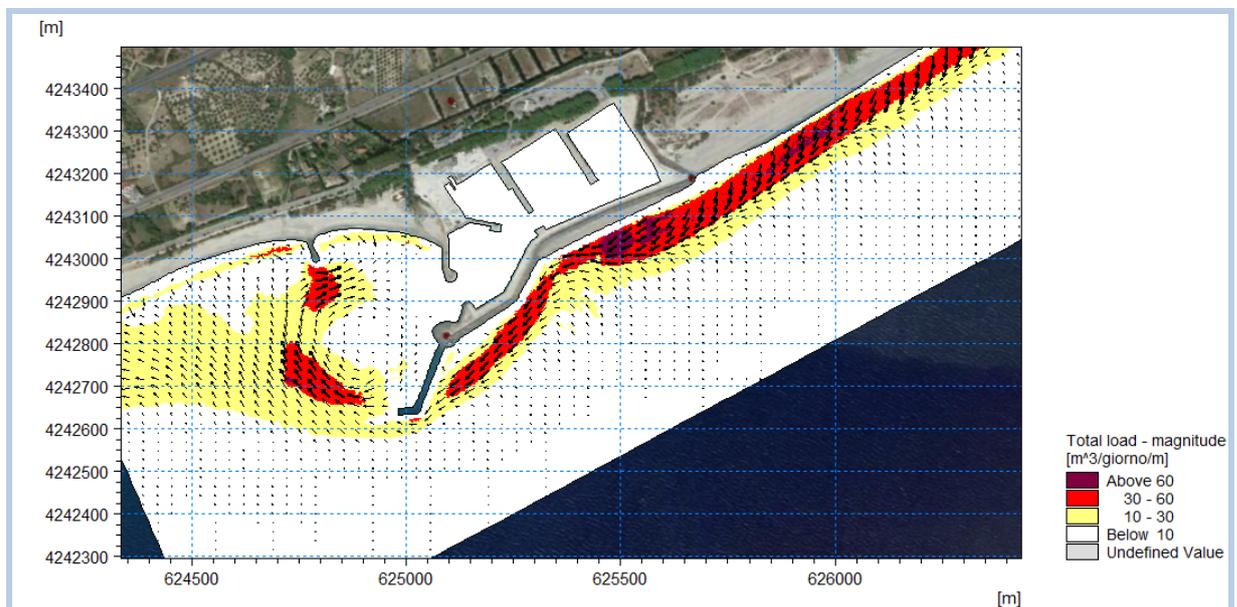


Fig. 11.12 Rappresentazione del campo di trasporto per effetto della condizione ondosa in ingresso n.6 avente $H_s=3,18$ m, direzione di provenienza $141^\circ N$, $T_p=12,75s$ (soluzione progettuale 1- 2 cassoni REWEC3)

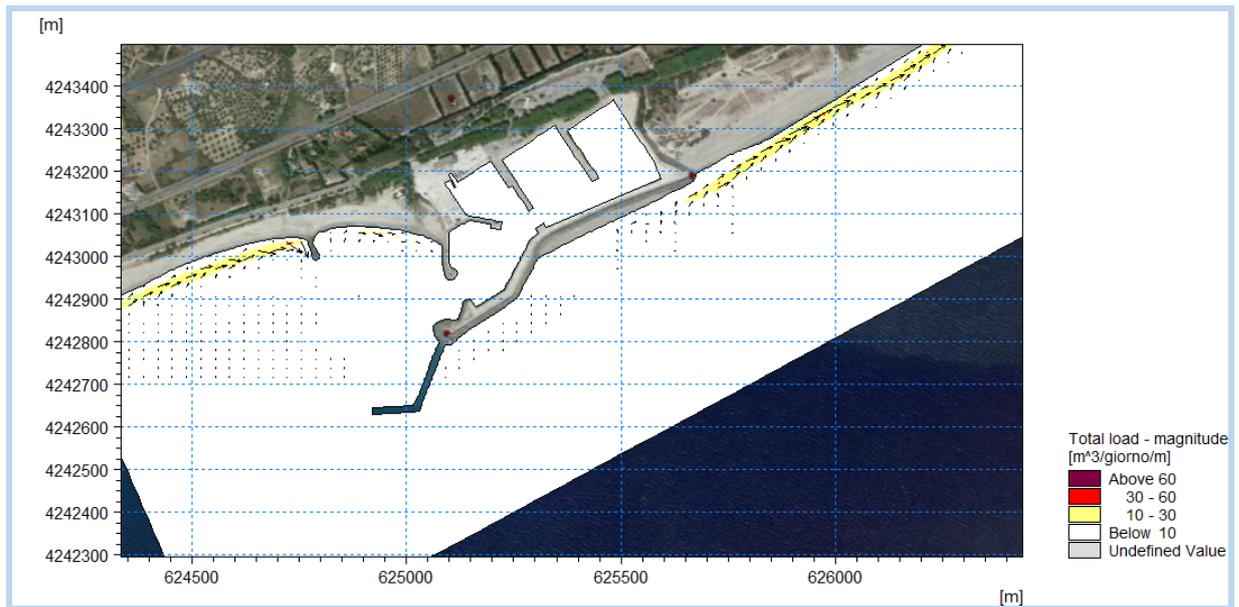


Fig. 11.13 Rappresentazione del campo di trasporto per effetto della condizione ondosa in ingresso n.1 avente $H_s=1,21$ m, direzione di provenienza $185^\circ N$, $T_p=5,88s$ (soluzione progettuale 2 – 5 cassoni REWEC3)

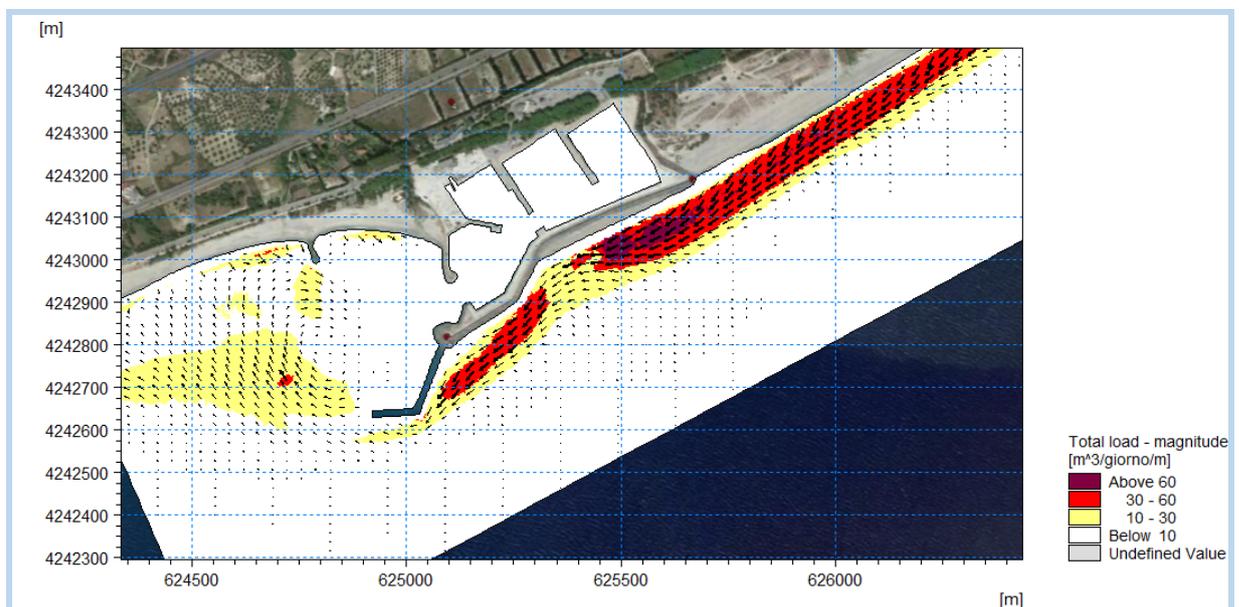


Fig. 11.14 Rappresentazione del campo di trasporto per effetto della condizione ondosa in ingresso n.2 avente $H_s=3,06$ m, direzione di provenienza $133^\circ N$, $T_p=9,48s$ (soluzione progettuale 2– 5 cassoni REWEC3)

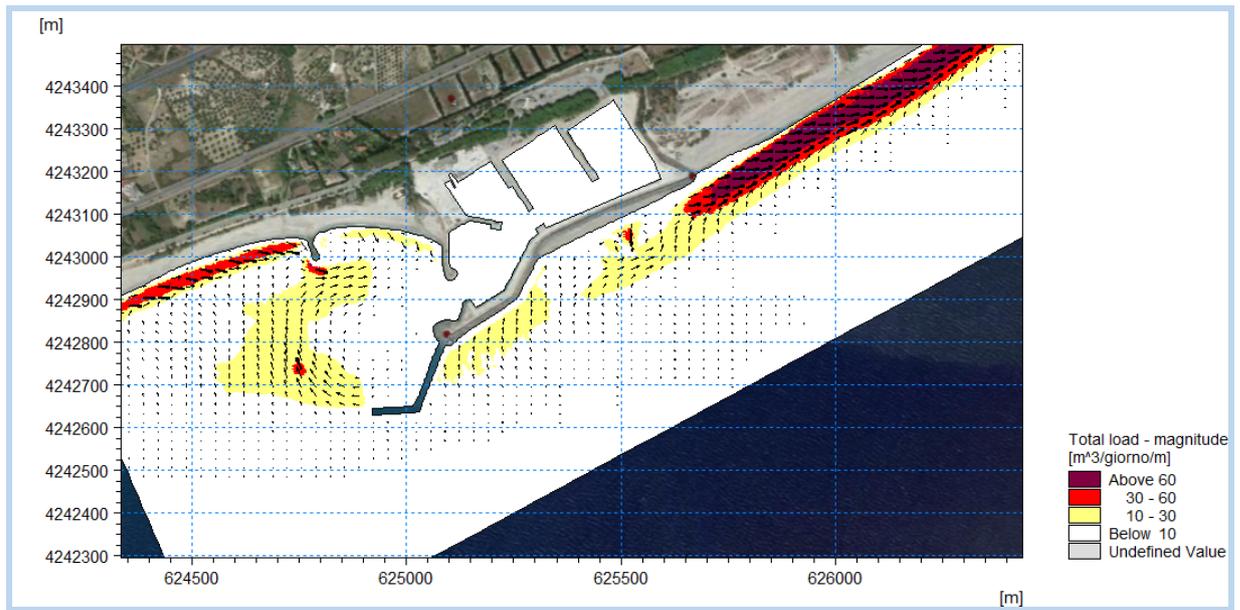


Fig. 11.15 Rappresentazione del campo di trasporto per effetto della condizione ondosa in ingresso n.3 avente $H_s=2,62$ m, direzione di provenienza $177^\circ N$, $T_p=10,89s$ (soluzione progettuale 2- 5 cassoni REWEC3)

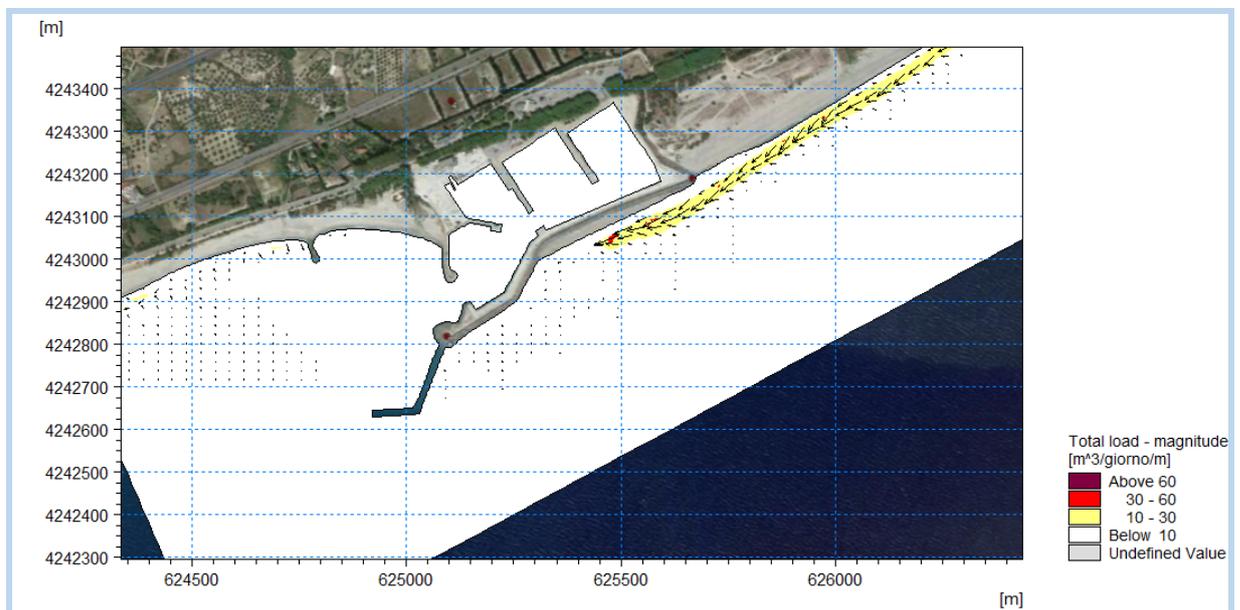


Fig. 11.16 Rappresentazione del campo di trasporto per effetto della condizione ondosa in ingresso n.4 avente $H_s=1,33$ m, direzione di provenienza $125^\circ N$, $T_p=6,62s$ (soluzione progettuale 2- 5 cassoni REWEC3)

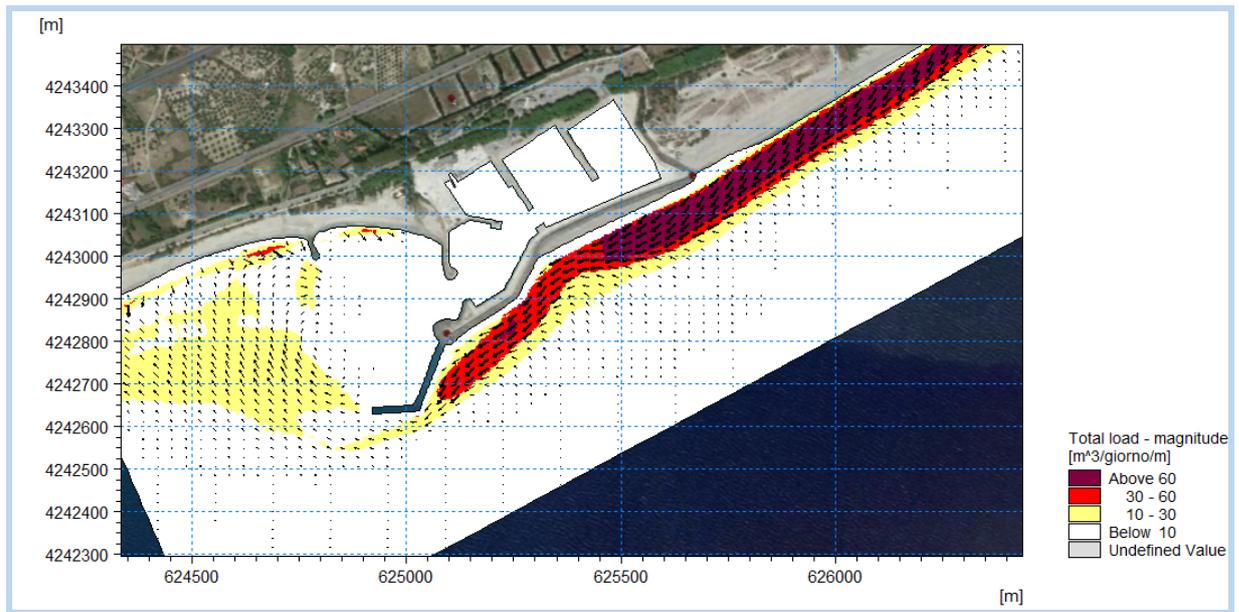


Fig. 11.17 Rappresentazione del campo di trasporto per effetto della condizione ondosa in ingresso n.5 avente $H_s=2,95$ m, direzione di provenienza $126^\circ N$, $T_p=11,97s$ (soluzione progettuale 2– 5 cassoni REWEC3)

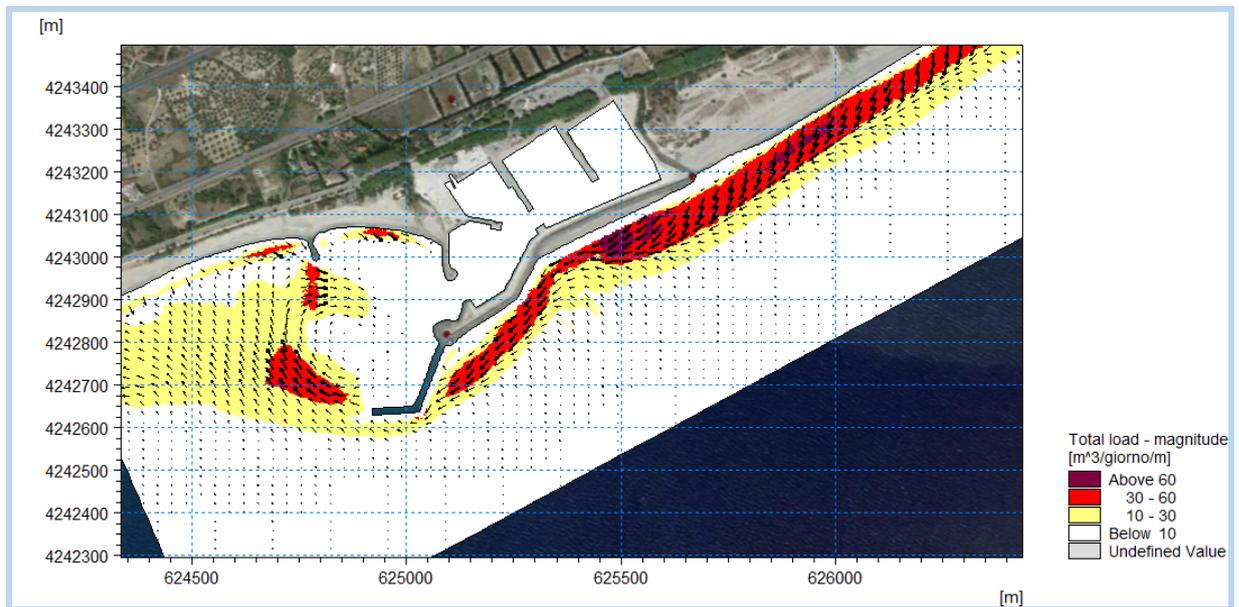


Fig. 11.18 Rappresentazione del campo di trasporto per effetto della condizione ondosa in ingresso n.6 avente $H_s=3,18$ m, direzione di provenienza $141^\circ N$, $T_p=12,75s$ (soluzione progettuale 2– 5 cassoni REWEC3)

12. CONCLUSIONI

Il presente elaborato ha inquadrato, inizialmente, il clima sottocosta in corrispondenza del Porto di Roccella Jonica a partire dai dati di onda a largo, al fine di progettare opere strutturali di ampliamento del Porto. Per tale obiettivo è stato applicato il modulo di calcolo SW (Spectral waves) del modello numerico MIKE 21 del DHI.

Dopo aver definito il paraggo di riferimento ed aver individuato il settore di traversia principale, sono stati individuati 1242 eventi di mare ordinari, associati a diversi periodi di ritorno, da propagare con il modulo MIKE 21 SW da largo a sotto costa. Sono quindi stati estratti, dall'output del modello, i valori dei parametri caratteristici dell'onda (H_s , T_p e M.W.D.) in un punto di riferimento del dominio sottocosta.

Infine, si è proceduto all'analisi dei campi di correnti e del trasporto dei sedimenti, per diversi valori assegnati di onde caratteristiche, comparando lo stato attuale del porto con lo stato di progetto.

L'analisi dei risultati, ottenuti dall'applicazione del modulo SW di MIKE 21 per i due scenari considerati, ha mostrato che la sostanziale uniformità del fondale nel tratto a cavallo del porto di Roccella si riflette in un andamento generalmente regolare della distribuzione delle altezze d'onda che si propagano verso il litorale. In tutti i casi simulati è possibile osservare la progressiva dissipazione di energia avvicinandosi a riva, con la localizzazione della fascia dei frangenti più o meno spostata verso la battigia in funzione dell'altezza d'onda significativa di volta in volta simulata. Significato anche il significativo effetto di protezione che esercita il molo di sopraflutto nella zona immediatamente ad ovest di esso soprattutto per le ondazioni provenienti da Sud-Est

I risultati ottenuti dal modello di circolazione idraulica, modulo HD di MIKE 21, hanno permesso di riscontrare che per lo stato attuale e per l'ipotesi di progetto, le correnti generate dalle onde sono per lo più limitate entro la zona di fascia "attiva" ed arrivano a valori massimi di 1.65 m/s in vicinanza della linea di riva per poi decrescere allontanandosi dalla costa. Osservando l'andamento delle correnti litoranee prodotte dalle onde di altezza minore si può osservare una sostanziale uniformità di comportamento tra lo scenario attuale e quello rappresentativo della soluzione progettuale. L'effetto che hanno le onde di altezza più elevata sulle correnti litoranee fa sì che la fascia interessata dal flusso di corrente risulta ben più ampia rispetto a quella relativa alle onde di altezza minore con una maggiore estensione cross-shore e con correnti che arrivano ai valori più elevati di velocità riscontrati. Dalle simulazioni emerge che per le onde con direzione proveniente da Sud-Est il flusso di corrente presenta una direzione Est-Ovest. Viceversa, per le onde con direzione di provenienza Sud-Ovest, il flusso di corrente risulta diretto da verso Est. Nello scenario di progetto, si riscontra nella zona dell'imboccatura del porto la formazione di vortici leggermente più accentuati rispetto allo stato attuale, soprattutto in corrispondenza delle onde più alte. Tale situazione potrebbe essere indicativa di una propensione all'insabbiamento di tale area.

A partire dai risultati dei moduli HD e SW, attraverso le simulazioni effettuate con il modulo ST di Mike 21 è stato determinato l'andamento del trasporto solido litoraneo nell'area in esame, ricavando così la distribuzione della capacità di trasporto nell'intero dominio di calcolo (in $m^3/g/m$) per ogni evento simulato.

Le mappe di capacità di trasporto ottenute dalla modellazione confermano che, come atteso dai risultati ottenuti dal modello idrodinamico, il flusso di trasporto sedimentario mantiene una direzione prevalente da ovest verso est per le onde provenienti da Sud-Ovest. Viceversa, per le onde provenienti da Sud-Est presenta una direzione prevalente da est verso Ovest.

La fascia attiva, ovvero quella interessata dal trasporto litoraneo risulta più o meno ampia in funzione dell'intensità della condizione di mareggiata considerata.

In conclusione, alla luce dei risultati ottenuti si evince che per le onde simulate con i valori di altezza minore vi è una sostanziale uniformità di comportamento tra lo scenario attuale e quello rappresentativo della soluzione progettuale.

Tale uniformità di comportamento non viene riscontrata invece andando a considerare le onde che presentano valori maggiori di altezza significativa. In tal caso si evidenzia infatti un minore by-pass naturale di sedimenti rispetto alla configurazione attuale.

Ciò rende necessaria la gestione dei sedimenti da parte del Porto di Roccella Jonica, attraverso un sistema di by-pass con dragaggio di sedimenti dal molo di sopraflutto, fino al lungomare di Roccella Jonica, a ovest del Porto, verso il lungomare.

13. APPENDICE A: DESCRIZIONE GENERALE DEL DATABASE HINDCAST MWM

General description of the models' chain

The models and datasets used for the development of the MWM database are:

- the CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) global re-analysis dataset, produced and freely published by NCEP (National Centers for Environmental Prediction) (Saha et al, 2010; <http://rda.ucar.edu/datasets/ds093.0/index.html#description>), hourly (re-forecast) data with a space resolution of 0.5°; these data are used as initial (IC) and boundary conditions (BC) of the WRF-ARW model (below);
- the atmospheric model WRF-ARW – version 3.4.1 (Weather Research and Forecast - Advanced Research WRF), model developed by NCAR (National Center for Atmospheric Research) (Skamarock and Klemp, 2007; Michalakes et al, 2001; Michalakes et al, 2005); WRF-ARW is presently considered among the best state-of-the-art non-hydrostatic meteorological models; it is supported by a massive worldwide community that contributes to its local use and development (<http://www.mmm.ucar.edu/wrf/OnLineTutorial/index.htm>; <http://www.wrf-model.org/index.php>);
- the wave model MIKE 21 Spectral Waves (SW) developed by DHI (former Danish Hydraulic Institute) (Sorensen, O.R., Kofoed-Hansen, H., Rugbjerg, M. and Sorensen, L.S., 2004). MIKE 21 SW is among the state of the art wave models, widely used in thousands of offshore and coastal applications worldwide.

In the following a description of the CFSR dataset, the WRF-ARW and the MIKE 21 SW model is given, with specific interest to the implementation adopted in MWM.

CFSR Dataset

The CFSR dataset (Fig. A.1) is the result of a long and complex process performed by NCEP, an ensemble of nine weather prediction centers in the United States belonging to the NWS (National Weather Service) of the NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). The simulation, completed in 2011, is based on a global atmospheric numerical model including atmosphere-ocean and sea-ice couplings, with a systematic ingestion of both conventional (point) and satellite observations with data assimilation procedures.

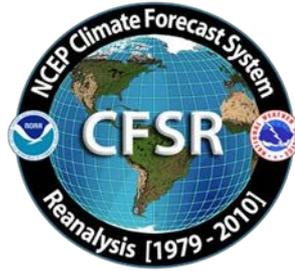


Figure A.1 CFSR logo.

The CFSR now covers a 35-year period from 1979 to 2013 (included) and is continuously updated with new recent data. The simulations were performed as 9 hours forecast simulations, initialized 4 times a day (at 00:00, 06:00, 12:00 and 18:00) between the 6-hourly re-analysis frames. The results of these simulations, gathered in the CFSR dataset, consist in complete atmospheric data over ocean and lands with a one hour time resolution and a 0.5° horizontal resolution, while the vertical resolution changes greatly amongst the atmospheric variables, spanning from the single surface value up to values at 64 different isobaric levels.

MWM dataset ingest the 6-hourly CFSR data, specifically the ds093.0 dataset

Chawla et al (2013) presented a thorough analysis of the CFSR dataset against satellite and oceanic buoys data. The final goal of that study is the use of the U10 wind data from the CFSR dataset as the forcing term of WWIII to generate wave fields at global scale, without any assimilation of wave data. The analysis of the CFSR dataset shown in that paper includes the intrinsic performance of the model in terms of the seasonal and annual variability of the percentiles. A moving average is applied to smooth the altimeter data from the satellites and from the buoys. The normalized percentiles ("...normalized with the wind speeds at corresponding percentiles from the altimeters") computed over the satellite tracks exhibit an oscillatory behavior, never below 0.93 or 0.90 in the Northern and Southern hemisphere respectively. From that analysis, the wind and wave CFSR and WWIII data compare very well with satellite data in terms of normalized percentiles. The Q-Q plots at selected offshore buoys are generally good or very good, with some unexpected variations from case to case for some buoys close to the coast, with even a contradictory behavior between U10 and Hs in some locations.

The analysis of the wind field of the CFSR dataset is far beyond the scope of the present work but still some checks have been done in specific cases, like the event of November 1999 in Trieste (Italy). The performance of a local area model is directly related to the information contained in the global model used as boundary and initial conditions; Fig. A.2 after Contento et al (2014) shows the wind speed for the case of November 1999 in Trieste (Northern Adriatic Sea - Italy); the red dots are experimental data by NOAA (<http://gis.ncdc.noaa.gov/map/viewer/#app=cdo&cfg=cdo&theme=hourly&layers=1&node=gis>); the yellow line corresponds to the re-analysis data CFSR d093.0 (Saha et al, 2010;

<http://rda.ucar.edu/datasets/ds093.0/index.html#description>) interpolated at the same position of the station; the blue dots are related to a fully certified and verified measurement station of the Regional Agency for the Environment Protection (ARPA FVG-OSMER, <http://www.osmer.fvg.it/home.php>) located few meters far from the station used by NOAA (<http://gis.ncdc.noaa.gov/map/viewer/#app=cdo&cfg=cdo&theme=hourly&layers=1&node=gis>); the cyan line corresponds to the present hindcast dataset (model WRF-ARW). It is rather evident that the CFSR dataset ingests the experimental data from NOAA but there are some non-negligible discrepancies between the two experimental datasets (private communication with ARPA FVG-OSMER - Regional Agency for the Environment Protection – Friuli Venezia Giulia Region, Italy). In this case the local model WRF-ARW is able to develop the local wind field and matches correctly the measurement by ARPA, irrespective of the wrong assimilated data as BC and IC; this, however, cannot be always guaranteed.

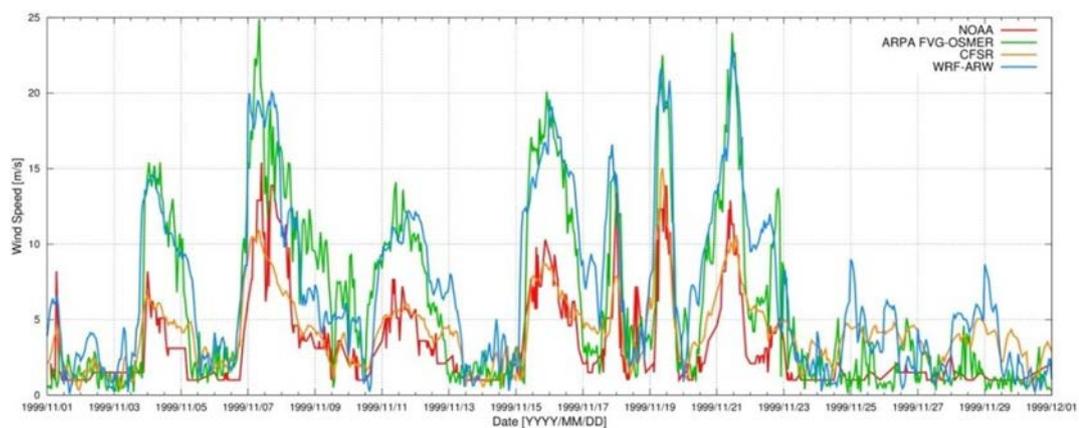


Figure A.2 Comparison between measured wind speed at two ground neighbor (few meters from each other) stations in Trieste (Italy - Northern Adriatic Sea) from the database of NOAA (<http://gis.ncdc.noaa.gov/map/viewer/#app=cdo&cfg=cdo&theme=hourly&layers=1&node=gis>) (red line) and from ARPA-FVG OSMER (<http://www.osmer.fvg.it/home.php>) (blue line). Model data from CFSR (Saha et al, 2010) (yellow line) and the present simulations with WRF-ARW (cyan line) are overlapped.

The scope of these checks was solely to verify the sensitivity of the CFSR wind pattern to a complex steep geographic area facing the sea. The eastern coast of the Adriatic Sea is just an example among many others. The availability of certified wind data from the local Regional Agency for the Environment Protection – Friuli Venezia Giulia (ARPA FVG-OSMER, <http://www.osmer.fvg.it/home.php>) related to ground stations and to a fixed station in the middle of the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea <http://www.ts.ismar.cnr.it/node/84>), helped a lot in defining the set-up of the local area meteorological model. The aim of the set-up process was to let the model WRF-ARW develop mesoscale and local weather structures, thus using a domain large enough to develop these structures, but at the same time avoiding the use of too large a domain that may lead to a model drift from the experimental data. These undesired effects were observed along the entire Adriatic Sea, specifically on the eastern side (Contento et al, 2011; Contento et al, 2014).

WRF-ARW meteorological model

The WRF model is an open source mesoscale to microscale atmospheric model developed by the American atmospheric research center NCAR in cooperation with many other meteorological institutions. It is largely used worldwide for both atmospheric research and forecast or hindcast purposes due to its ability to perform atmospheric simulations over a wide range of length scales spanning from less than 1 kilometer to thousands of kilometers. This flexibility is further increased by its capability of performing two way coupled nested runs.

The WRF modelling system includes a pre-processor system (WPS), a data assimilation system (WRF-DA) and the dynamic solver. During this work the ARW dynamic solver, developed and maintained by the Mesoscale and Microscale Meteorology Division of NCAR, has been used. The ARW dynamic core is a fully compressible and non-hydrostatic model, based on a terrain-following hydrostatic pressure vertical coordinate system and on an Arakawa C-grid staggered evaluation of the vector quantities. The solver uses high order time integration and 3-D advection schemes.

The WRF model works internally with NetCDF files, a self-describing and machine-independent data format particularly suitable for the manipulation of long arrays of scientific data.

A WRF-ARW model run is a quite complex process, since it involves several different steps to be run in a precise order. First of all, WRF requires boundary and initial conditions; these conditions can be supplied by the GRIB files obtained from the CFSR dataset files described in CISL RDA: NCEP Climate Forecast System Re-analysis (CFSR) 6-hourly Products, January 1979 to December 2010." [Online] Available at <http://rda.ucar.edu/datasets/ds093.0/index.html#description>

GRIB files needed to cover completely the whole simulated period must be fed to the model to complete the simulation process successfully.

Moreover, since the atmosphere behavior is strongly dependent on the soil characteristics, detailed data about these characteristics must be fed to the model too in order to let it develop the local weather phenomena correctly. However, there is no need to produce this type of data since suitable 30" resolved geographic data are included in the default WRF pre-processing (WPS). Since these data are time-independent they need to be downloaded only once, and they remain valid for every simulation unlike the GRIB files. Actually, some of the parameters contained in the geographic data cannot be considered as completely time-independent; in fact, some of the parameters show a time dependence which, however, is limited to seasonal changes, e.g. the reduced vegetation cover in winter. The possible seasonal variability of the geographical parameters is included in the geographical data archive of WPS.

A complete WRF-ARW simulation needs the WPS (WRF Pre-processor System) to be run before the numerical solver (`wrf.exe`). The WPS pre-processor system deals with both the domain set-up and the preliminary input manipulations; it is composed by three main executables carrying out different tasks:

- `geogrid.exe` is responsible for the definition of the horizontal grid as well as for the interpolation of the geographic data on the user-defined grid. When performing nested runs, the `geogrid.exe` run produces a NetCDF file `geo_em.dxx.nc` containing the grid and geographic data for each domain, where `xx` stands for the code of the domain (01, 02, ...).
- `ungrib.exe` is responsible for the decoding of the input GRIB files used as initial and boundary conditions. The GRIB files, which need to be linked to the work directory of WPS by means of the script `link_grib.csh`, are “ungribbed” and rewritten in an intermediate format suitable for further manipulations, excluding all the fields not needed for the following model run.
- `metgrid.exe` is responsible for the horizontal interpolation of the intermediate input files produced by `ungrib.exe` on the grid defined by `geogrid.exe`. Moreover, the geographic data contained in the `geo_em` files are ingested by `metgrid` and written on its output files. The output of `metgrid.exe` is in fact composed by the NetCDF files `met_em.dxx.YYYY-MM-DD_HH:00:00.nc`, each containing the interpolated boundary conditions and geographic data for the `xx` domain and for every timestep of the supplied GRIB files. In the case considered, as the CFSR dataset is composed of hourly data, the produced `met_em` files are hourly spaced too.

The whole WPS process is controlled by a single external configuration file: `namelist.wps`, which contains the user specified parameters defining the time length and the domain of the simulation as well as the time and space resolutions.

An additional manipulation is needed before launching the actual solver: the NetCDF data produced by `metgrid.exe` must be vertically interpolated onto the user-defined vertical levels of the WRF simulation. This task is performed by the `real.exe` executable, which, despite actually being a pre-processing routine, is not included in the WPS system. The `real.exe` run finally produces the NetCDF files needed by the bare solver: `wrfinput_dxx` and `wrfbdy_dxx`, containing respectively, for each of the nested domains under simulation, the initial condition inclusive of the domain geographic data and the boundary conditions forcing the domain over time.

The last step of a WRF-ARW model simulation is the `wrf.exe` solver run which performs the numerical integration and produces the final output files `wrfout_dxx.YYYY-MM-DD_HH:MN:SS`, one for each simulated domain and for every temporal frame in the total simulated period. Each `wrfout` file contains therefore the complete atmospheric variables set calculated by the ARW solver for every point of the user defined simulation 3-D grid at a single temporal frame.

Both `real.exe` and `wrf.exe` are controlled by `namelist.input`, an external configuration file gathering the user defined parameters regarding the vertical resolution of the simulation, the atmosphere microphysical parameters and, again, the time / length scales and resolutions of the simulation.

A script that makes all steps involved automatic in a WRF-ARW simulation procedure, from the set-up of the configuration files to the archiving of output files, was developed and tested extensively.

The above depicted working scheme is summarized in Figure A.3:

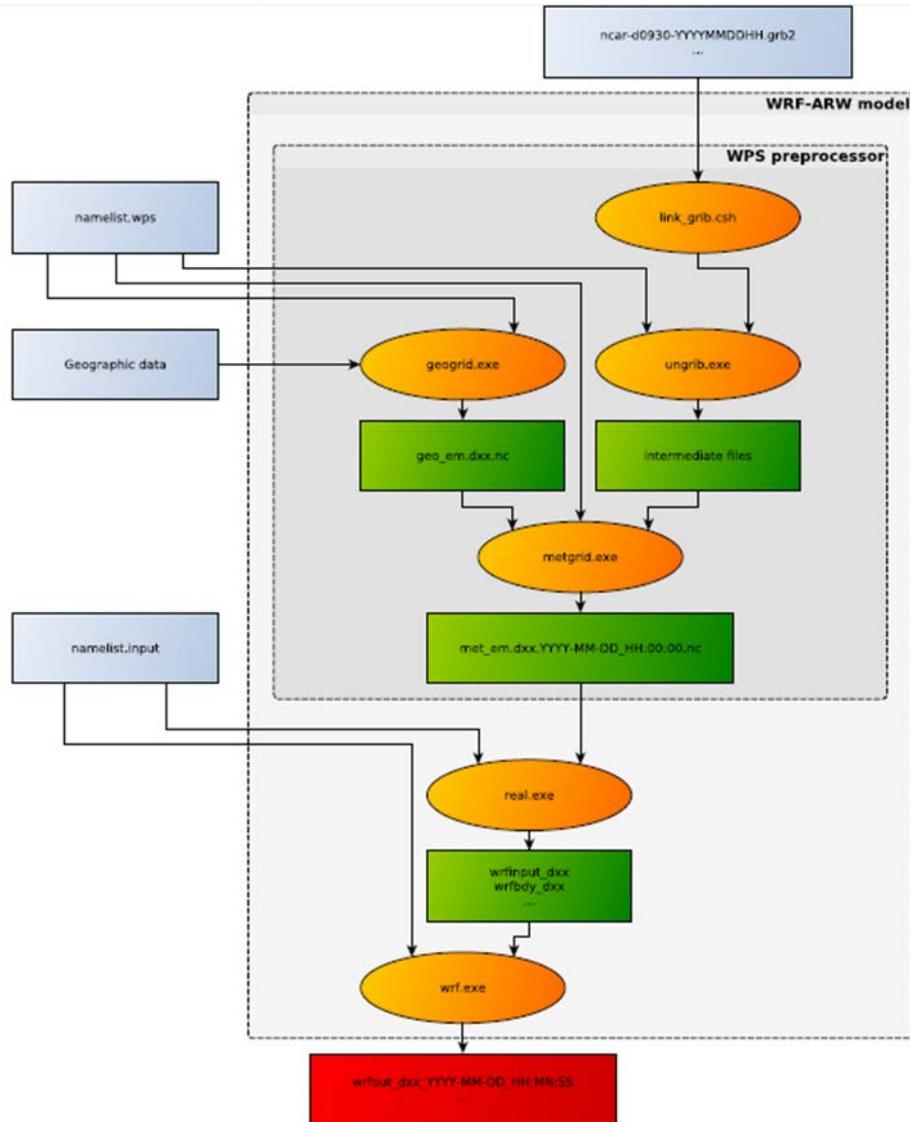


Figure A.3 Working scheme of the WRF-ARW model

WRF-ARW domains, resolution, set-up in MWM

The preliminary set-up and tuning of the met-ocean models chain was performed simulating the month of November 1999, chosen for the remarkable number of very intense storms occurred over the Mediterranean Sea. The second step, before running the entire period 1979-2013, was done simulating one complete year, from November 1999 to October 2000, relying on 41 ground stations along the Mediterranean coast and 25 wave buoys for comparison. The results obtained in these steps are summarized in Contento et al. (2014), Contento et al. (2012-2014) and Donatini (2013).

The two-steps set-up started with the meteorological model WRF-ARW, adopting different configurations (domain size, resolution, run length, spin-up time) and comparing the wind speed and direction with observational data from ground stations. Since the CFSR (Saha et al, 2010) re- analysis dataset reproduces large scale events correctly, after several tests the final decision was to adopt three relatively small, overlapping domains, which cover respectively the Western, Eastern and Central Mediterranean Sea (Fig. A.4). Hereafter these domains will be referred as MEW, MEE and MEC respectively. The wind field obtained from the 3 domains was merged in a single dataset by a bi-linear interpolation on a Lat-Lon grid and by a linear blending of the results inside the two overlapping zones (Fig. A.4).

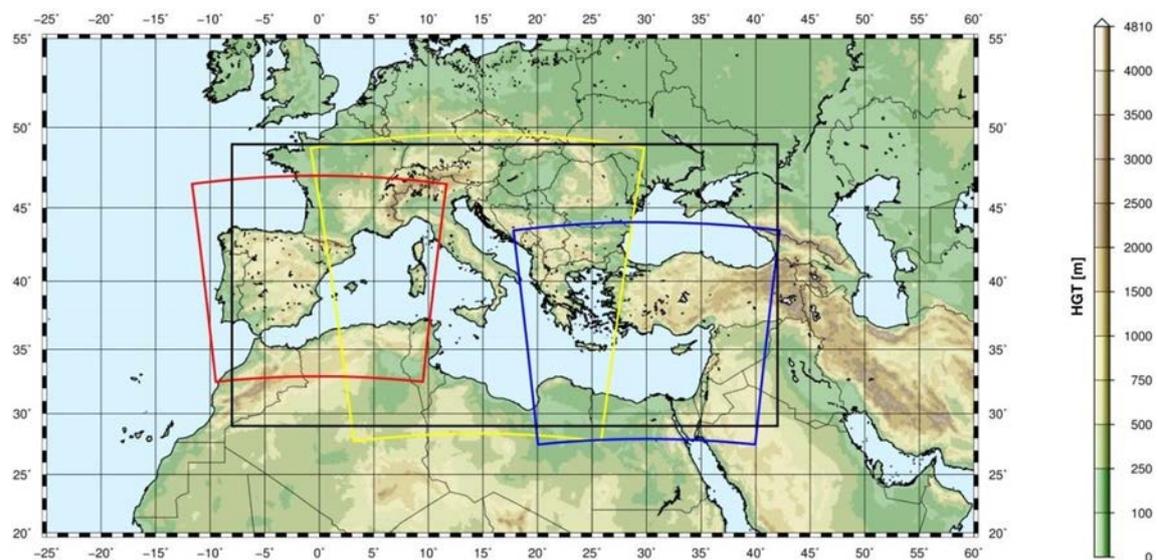


Figure A.4 WRF-ARW domains (red=domain MEW, yellow=domain MEC, blue=domain MEE) and interpolation/blending domain (black line)

The horizontal resolution of WRF-ARW was set to 10.53 km, with a grid ratio to the CFSR re- analysis data of 1:5 approximately. An additional domain (ITN) with a resolution of 3.51 km was run over Northern Italy as a nested domain of MEC.

The time length of the model run, in terms of hours simulated continuously between two consecutive model initializations with CFSR frames, proved to be among the most important parameters that influence the quality of the results. Keeping a small run length

reduces the risk of model drift. On the other hand, shortening it excessively may lead to a too constrained behavior of the model, which prevents the correct development of the mesoscale weather structures. The problem of the model drift proved to be particularly tough over the Adriatic Sea where the orography is rather complex and the North-Eastern wind (Bora) can occasionally reach the speed of 150 km/h or more in very narrow zones.

A spin-up time window was used in order to let the model WRF-ARW ingest and process the coarser initial conditions from CFSR, thus letting it evolve and develop local weather structures. This spin-up window was overlapped with the tail of the previous run so that the data of the simulation during the spin-up window were discarded. The time length of this overlapping window is typically of few hours.

The Mediterranean Sea is a very complex basin from the meteorological point of view, with violent storms usually characterized by a short duration. The two examples given below show the importance of resolving the large space and time gradients of the variables.

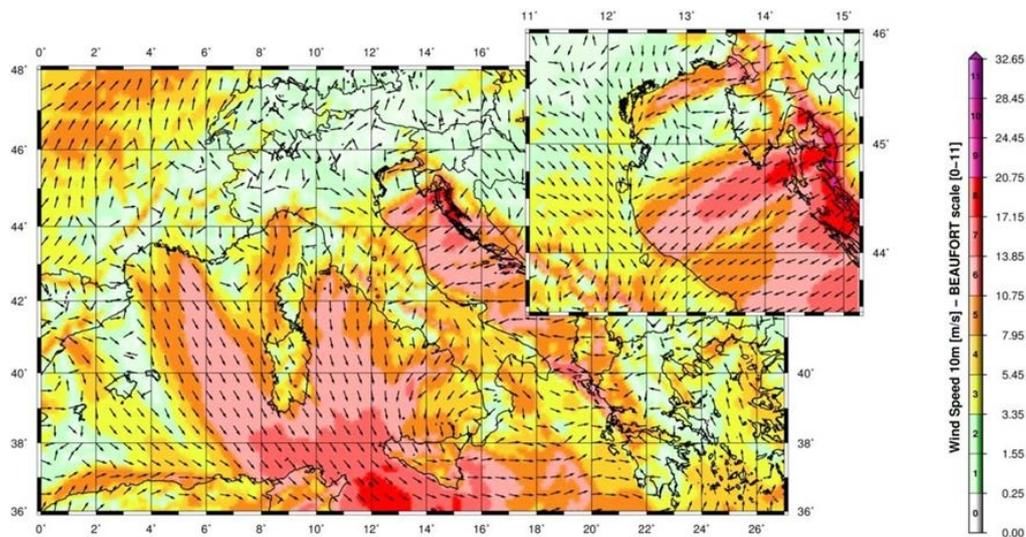


Fig. A.5 A typical winter wind pattern over the Mediterranean Sea (from the present simulations, 5 December 2009). The well-known 3 major narrow gates of the “Bora” wind over the Adriatic Sea are well captured by the model, i.e. Trieste (Italy), Rijeka and Sibenik (Croatia). The upper-right figure shows a zoom over the Northern part of the Adriatic Sea (Istria peninsula).

Fig. A.6 (Contento et al., 2011) shows the time series of the wind speed during a squall event occurred on August 2008 in the Gulf of Trieste that caused the loss of two human lives and damages in the main harbor. The squall lasted about 10 min reaching more than 20 m/s from an almost calm situation. The red line corresponds to the results of the operational forecast meteorological model WRF-ARW run at that time by some of the authors of this work for ARPA FVG-OSMER, <http://www.osmer.fvg.it/home.php>. The black

line corresponds to the measurement at the station PALOMA (45° 37' 06" N, 13° 33' 55" E) [<http://www.ts.ismar.cnr.it/node/84>]. The station is a fixed pole in the middle of the Gulf of Trieste. The measured wind speed is 5 min averaged with 5 min samples. The time step of the model is approximately 13 s. This situation is not uncommon in the Adriatic zone, mostly during the summer, with violent fronts from North and North-West then rotating to North-East.

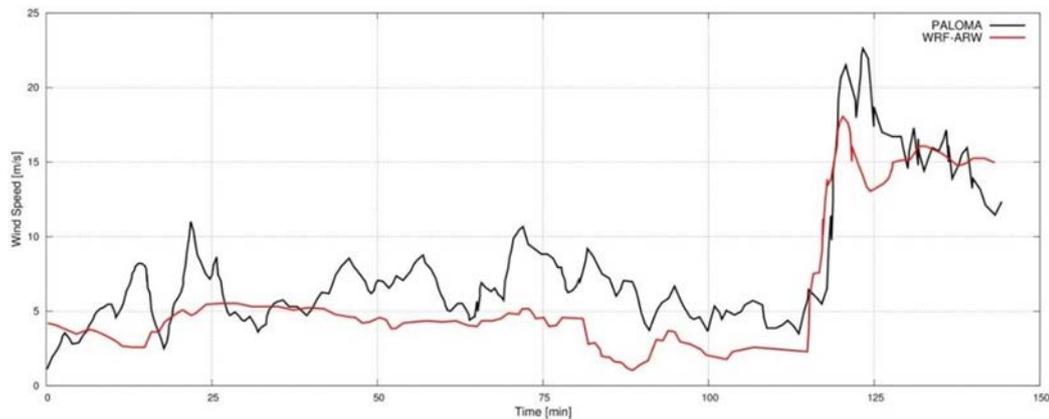


Figure A.6 Time series of the wind speed during a squall event occurred on August 2008 in the Gulf of Trieste. The squall lasts about 10 min reaching over 20 m/s from an almost calm situation. The red line corresponds to the results of the operational forecast meteorological model WRF-ARW. The black line corresponds to the measurements at the measurements station PALOMA (45° 37' 06" N, 13° 33' 55" E) [<http://www.ts.ismar.cnr.it/node/84>]. The measured wind speed is 5 min averaged with 5 min samples. The time step of the model is approximately 13 s.

MIKE 21 SW wave model

The wave modeling system includes the state of the art third generation spectral wind-wave model MIKE 21 SW, developed by DHI. MIKE 21 SW simulates the growth, decay and transformation of wind-generated waves and swell in offshore and coastal areas.

MIKE 21 SW includes two different formulations:

- Directional decoupled parametric formulation
- Fully spectral formulation

and includes the following physical phenomena:

- Wave growth by action of wind
- Non-linear wave-wave interaction
- Dissipation due to white-capping
- Dissipation due to bottom friction
- Dissipation due to depth-induced wave breaking
- Refraction and shoaling due to depth variations
- Wave-current interaction
- Effect of time-varying water depth

The discretization of the governing equation in geographical and spectral space is performed using cell-centered finite volume method. In the geographical domain, an unstructured mesh technique is used. The time integration is performed using a fractional step approach where a multisequence explicit method is applied for the propagation of wave action.

For the production of the MWM database, the fully spectral formulation has been adopted, based on the wave action conservation equation, as described in e.g. Komen et al. and Young where the directional-frequency wave action spectrum is the dependent variable.

The time integration of the governing equations is done by using a dynamically determined time step. The time step is determined in order to verify the stability criteria (CFL number).

The only driving force is represented by the two components of wind fields U10 and V10, (x and y component of wind at the elevation of 10m). The process by which the wind transfers energy into the water body for generating waves is controlled by a uncoupled air-sea interaction.

The spectral discretization adopted in the wave model has been deeply investigated and the final configuration is able to guarantee at the same time a high level of accuracy of the results and a reasonable computational effort.

The model domain covers the whole Mediterranean Sea but the spatial resolution is not the same everywhere: while in the offshore areas the spatial resolution is around 0.1°, when approaching the coast the spatial resolution increases up to around 0.03°.

The wave model is forced by the wind fields coming from the WRF Atmospheric models, illustrated above. The wave model generated results in terms of wave parameters (Significant Wave Height, Wave Periods, Wave Directions, etc.) over the whole domain and, in addition, spectral parameters in predefined output locations have been stored, too.

MIKE 21 SW domain, resolution, set-up in MWM

The model domain, covering the entire Mediterranean Sea, is illustrated in Figure A.7.

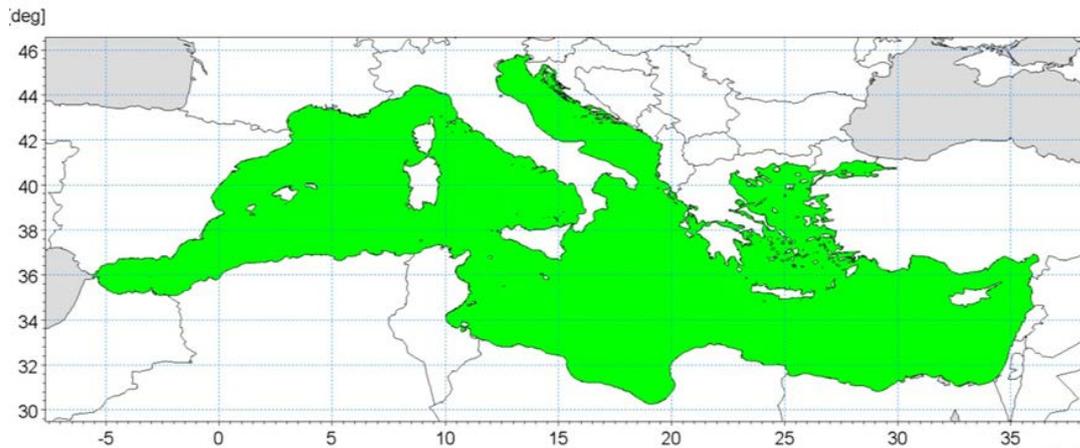


Figure A.7 Wave model domain filled in green

The unstructured mesh, generated over the entire domain by means of a specific tool included in MIKE 21 package, is characterized by different resolutions (in terms of mean length of triangle sides) over the domain. In particular the following criteria have been adopted:

- a coarser resolution of 0.1° (about 10 Km) is used for offshore areas;
- a finer resolution of 0.03° (about 3 Km) has been adopted in shallow water areas, where bathymetry is less than 100m depth or, in coastal areas characterized by very steep profiles, where the distance from the coastline is less than 5÷10 Km.

Figure A.8 illustrates the computational mesh of the Mediterranean wave model.

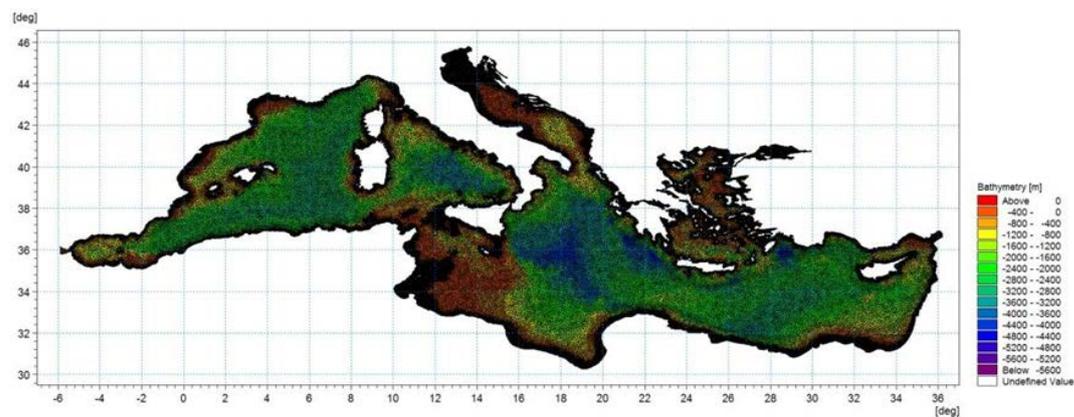


Figure A.8 - Mediterranean wave model computational mesh

Figure A.9 illustrates a detail of the above computational mesh, with special focus on the Adriatic Sea.

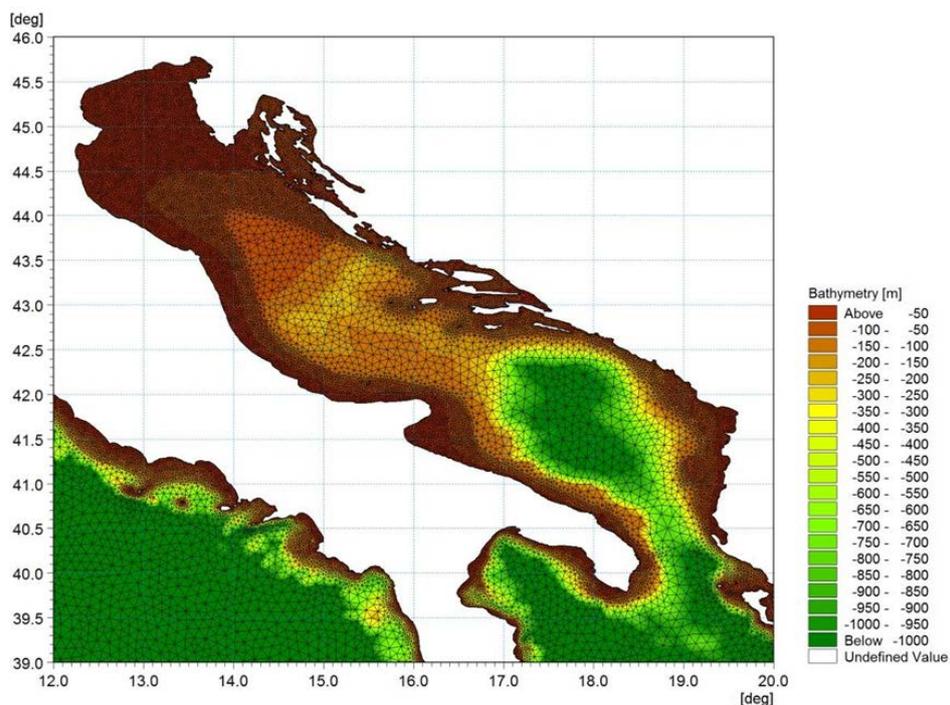


Figure A.9 - Detail of the mesh – Adriatic Sea

Scatter bathymetry data have been derived from GEBCO_08 database. The GEBCO_08 Grid is a 30 arc-second grid of global elevations and it is a continuous terrain model for ocean and land. The grid was generated by combining quality-controlled ship depth soundings with interpolation between sounding points guided by satellite-derived gravity data.

The gridded data are stored in a netCDF data file. Grids are stored as one dimensional arrays of 2-byte signed integer values. The complete data sets provide global coverage. Each data set consists of 21,600 rows x 43,200 columns, resulting in a total of 933,120,000 data points. The data start at the Northwest corner of the file, i.e. for the global file, position 89°59'45"N, 179°59'45"W, and are arranged in latitudinal bands of 360 degrees x 120 points/degree = 43,200 values. The data range eastward from 179°59'45"W to 179°59'45"E. Thus, the first band contains 43,200 values for 89°59'45"N, then followed by a band of 43,200 values at 89°59'15"N and so on at 30 arc-second latitude intervals down to 89°59'45"S. Data values are pixel centred registered, they refer to elevations at the centre of grid cells.

Figure A.10 illustrates GEBCO_08 scatter data for the entire area of the Mediterranean Sea.

GEBCO scatter data have not been used in the whole domain of the Mediterranean Sea. Following a detailed check of agreement and discrepancies between GEBCO database and nautical charts, it has been assumed to limit the use of GEBCO database for offshore areas (up to 500 m water depth) and to use nautical charts for shallower water areas (mainly coastal areas).

The nautical charts database which has been used is the CM93/3 database from CMAP.

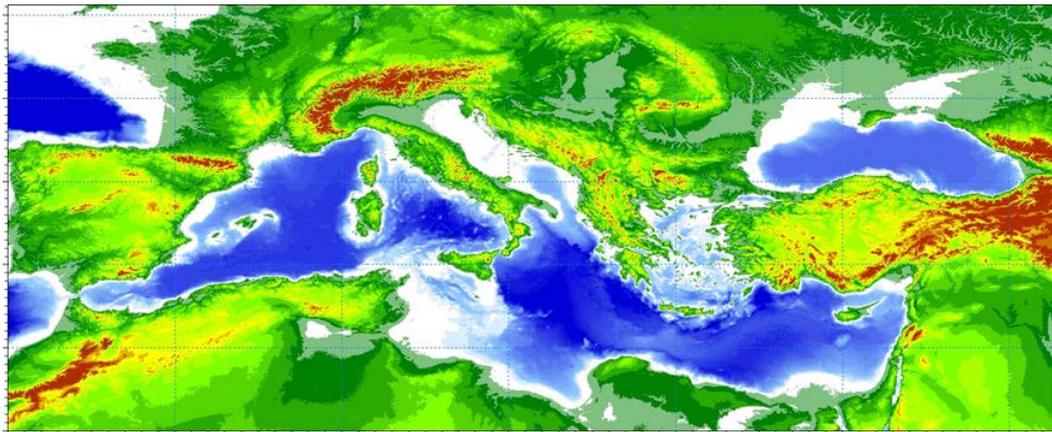


Figure A.10 - Scatter bathymetry data derived from GEBCO_08 database

The number of discrete frequencies and directions form the so called “spectral resolution”, which is a key parameter for wave models in general. The number of discrete frequencies and directions should in fact be high enough to properly represent the “real shape” of the wave spectrum and, on the other hand, it can’t be too high, since it would lead to unacceptable computational times and memory consumption.

In terms of frequency range, the minimum frequency f_{min} (which corresponds to the maximum wave period T_{max} , according to the common relation $f = 1/T$) should be able to capture the longest wave periods that can occur in the Mediterranean Sea.

The analysis of ordinary and extreme waves in the Mediterranean Sea (from available data of wave buoys) has highlighted that almost all the wave energy associated to waves in the Mediterranean Sea are associated to wave periods between 1.5 seconds and 20 seconds.

In addition, a logarithmic distribution for the discrete frequencies acts better than a simple linear distribution, since most of the wave periods are concentrated below 8-10 seconds. A number of frequencies around 30 is widely considered as adequate for a proper discretization of wave energy spectra in the Mediterranean Sea. The following formulation has therefore been adopted:

$$f_n = 0.04 \cdot 1.1^n,$$

where n goes from 0 to 29 (30 frequencies in total). The discrete frequencies range from 0.04 Hz to 0.63 Hz (from 1.6s to 25.0s of Mean Wave Period T_m).

Also the choice of the number of discrete directions (directional discretization) is the result of detailed investigations and tests. In particular, a high number of wave model tests, each one characterized by a different spectral resolution (directional), i.e. by a different number of discrete directions have been setup and run.

Few examples of the results of the above model tests are illustrated from Figure A.11 to Figure

A.13 in terms of short time series of wave heights extracted at 3 different locations where also measurements were available (La Spezia wave buoy, Ponza wave buoy, Cetraro wave buoy).

In all the below test cases, it appears that the two time series of wave height characterized by 24 and 36 discrete directions are almost coincident. Higher discrepancies can be found for a much limited number of discrete directions (12). After a high number of tests, the 24 directions solution has been assumed as a very good compromise between accuracy of results and computational time (the computational time of the wave model is linearly dependent on the number of discrete directions).

Provided that wave directions can vary within the 360° rose, the directional resolution of the wave model is $360^\circ/24 = 15^\circ$

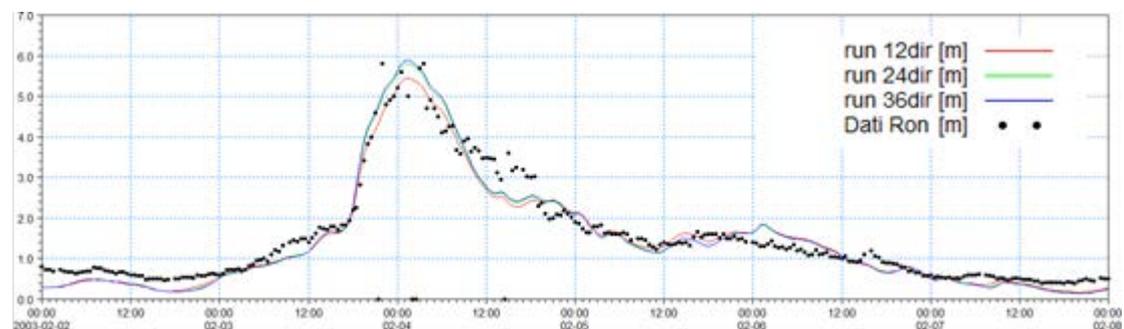


Figure A.11 - Time series of wave height at La Spezia buoy location for 3 different numbers of discrete directions

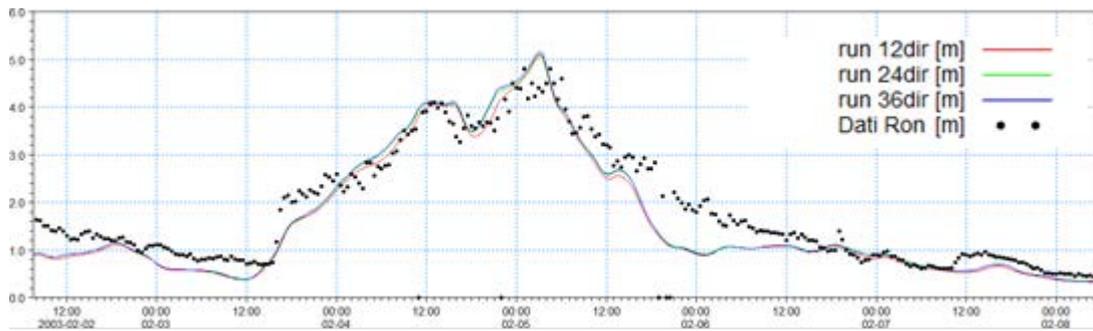


Figure A.12 - Time series of wave height at Ponza buoy location for 3 different numbers of discrete directions

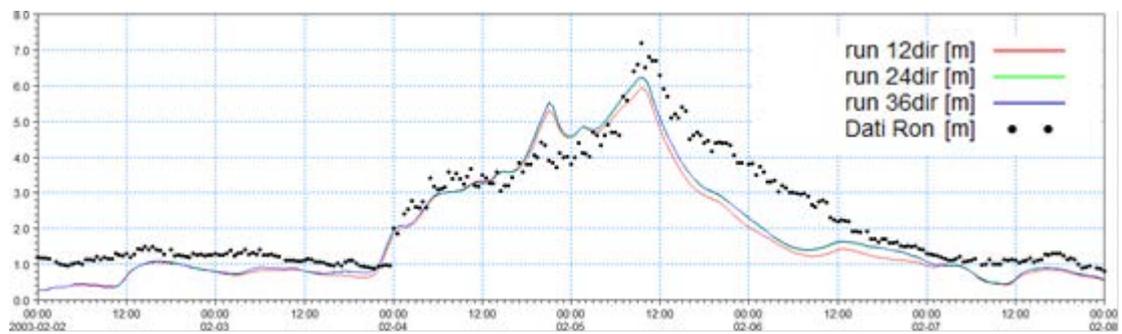


Figure A.13 - Time series of wave height at Cetraro buoy location for 3 different numbers of discrete directions

Available products of the MWM database

The results of the wind and wave model are stored, in the whole domain, in terms of wind parameters and wave parameters averaged over the wave period (“phase averaged results”). In particular, the following hourly time series are available:

- Wind speed, WS [m/s]
- Wind direction, WD [deg]
- Significant Wave height, Hs [m]
- Mean wave period, Tm [s]
- Peak wave period, Tp [s]
- Zero crossing period, Tz [s]
- Mean wave direction, MWD [deg]
- Peak wave direction, PWD [deg]
- Directional standard deviation, DSD [deg]

In addition, hourly spectral results (in terms of wave energy associated to the frequency-direction bins) are saved on a regular grid with an equidistant spatial resolution of 0.1°.

Figure A.14 and Figure A-15 illustrate respectively an example of phase averaged results over a portion of Mediterranean Sea (Hs) and an local example of spectral results.

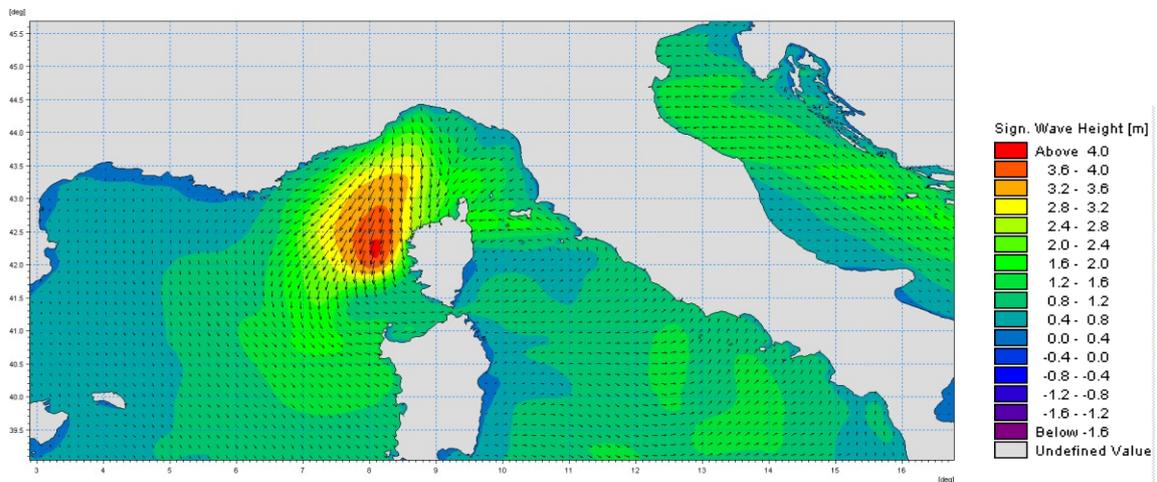


Figure A.14 Phase averaged results: Field of significant wave height and direction

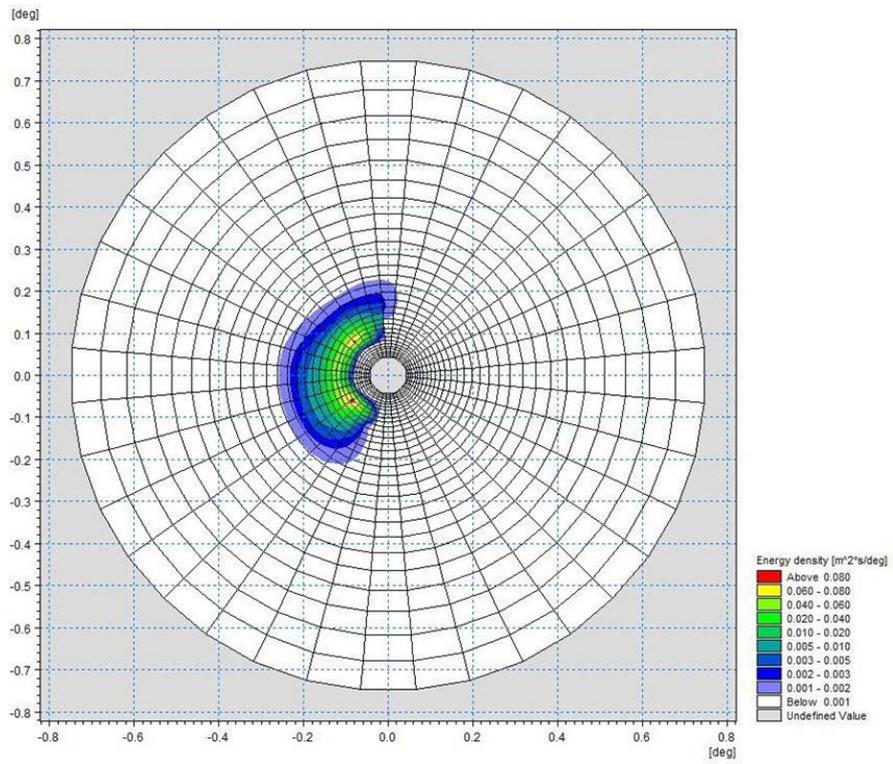


Figure A.15 Polar plot of spectral results. Wave energy density (coloured contours) as a function of directions (angular coordinate) and frequencies (radial coordinate)

References

- Ardhuin, F., Bertotti, L., Bidlot, J.R., Cavaleri, L., Filipetto, V., Lefevre, J.M., Wittmann, P., 2007, Comparison of wind and wave measurements and models in the Western Mediterranean Sea. *Ocean Engineering*, Vol. 34, pp. 526-541.
- Athanassoulis, G., Stefanakos, Ch., Cavaleri, L., Ramieri, E., NoEL, C., Lefevre, J.M., Gaillard, P., 2004, RTP 10.10 / WW_MEDATLAS Scientific Report.
- Battjes, J.A., Janssen, J.P.F.M., 1978, Energy loss and set-up due to breaking of random waves, *Proceedings, 16th Int. Conf. Coastal Eng., ASCE*, pp.569-587.
- Bolaños-Sanchez, R., Sanchez-Arcilla, A., Cateura, J., 2007, Evaluation of two atmospheric models for wind-wave modeling in the NW Mediterranean. *Journal of Marine Systems* 65:336- 353.
- Cavaleri, L., Bertotti, L., 2004, Accuracy of the modelled wind and wave fields in enclosed seas. *Tellus*, Vol. 56, pp. 167-175.
- Cavaleri, L., 2005, The wind and wave atlas of the Mediterranean Sea – the calibration phase. *Advances in Geosciences*, Vol. 2, pp. 255-257.
- Cavaleri, L., Sclavo., M., 2006, The calibration of wind and wave model data in the Mediterranean Sea. *Coastal Engineering*, Vol.53, pp. 613-627.
- Chawla, A., Spindler, D.M., Tolman, H.L., 2013, Validation of a thirty year wave hindcast using the Climate Forecast System Reanalysis winds, *Ocean Modelling*, Vol. 70, pp. 189-206.
- Contento, G., Lupieri, G., Venturi, M. Ciuffardi, T., 2011, A medium-resolution wave hindcast study over the Central and Western Mediterranean Sea, *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 16(2), pp. 181–201.
- Contento, G., Lupieri, G., Donatini, L, Feudale, L, Pedroncini, A., Cusati, L.A., 2014, A state-of- the-art met-ocean model chain for wind&wave hindcast over the Mediterranean and Black Seas: implementation, tuning and validation against field data, accepted for presentation at the 21th Symposium Theory and Practice of Shipbuilding SORTA 2014, Oct. 2-4, 2014, Baška, Island of Krk, Croatia.
- Contento, G., Lupieri, G., Donatini, L, 2012-2014, Project SEAPOL - Sistema modellistico ad Elevata risoluzione per l'Analisi storica e la Previsione del moto Ondoso nel mar Ligure, Department of Engineering and Architecture, University of Trieste, Technical Reports codes SEAPOL_UT_1.1.0 to SEAPOL_UT_5.1.0.

Donatini, L., 2013, Implementation of a state-of-art met-ocean model chain for hindcast wave simulations over the Mediterranean Sea and comparison of results with field data, Master Degree Thesis, Department of Engineering and Architecture, University of Trieste, Italy.

Donatini, L., Lupieri, G., Contento, G., 2014, A medium resolution wind&wave hindcast study for the Mediterranean Sea, Journal Paper, under review.

Hasselmann, K., Barnett, T.P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D.E., Enke, K., Ewing, J.A., Gienapp, H., Hasselmann, D.E., Krusemann, P., Meerburg, A., Mueller, P., Olbers, D.J., Richter, K., Sell, W., Walden, H., 1973, Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Ergaenzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift, Reihe, A(8)*, 12, 95 pp.

Hasselmann, S., Hasselmann, K., Allender, J.H., Barnett, T.P., 1985. Computations and parametrizations of the nonlinear energy transfer in a gravity-wave spectrum, Part II: Parametrizations of the nonlinear energy transfer for applications in wave models. *J. Phys. Oceanogr.* Vol. 15, pp. 1378–1391.

ISPRA (formerly APAT), 2004, Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i servizi Tecnici, Dipartimento Tutela Acque Marine ed Interne, Servizio difesa delle coste, Analisi preliminare dei dati marini lungo le coste italiane – Atlante delle coste – Il moto ondoso al largo delle coste italiane, Technical Report (in Italian). http://www.apat.gov.it/site/_files/Atlante_coste/Introduzione.pdf.

Janssen, P.A.E.M., Abdalla, S., Hersbach, H., Bidlot, J.R., 2007: Error Estimation of Buoy, Satellite, and Model Wave Height Data. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, Vol. 24, pp. 1665–1677. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JTECH2069.1>

Michalakes, J., Chen, S., Dudhia, J., Hart, L., Klemp, J., Middlecoff, J., Skamarock, W., 2001, Development of a Next Generation Regional Weather Research and Forecast Model. *Developments in Teracomputing*. In *Proceedings of the 9th ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology*. Eds. Walter Zwiefelhofer and Norbert Kreitz. World Scientific, 269-276.

Michalakes, J., Dudhia, J., Gill, D., Henderson, T., Klemp, J., Skamarock, W., Wang, W., 2005, The Weather Research and Forecast Model: Software Architecture and Performance. In *Proceedings of the 11th ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology*. Eds. Walter Zwiefelhofer and George Mozdzyński. World Scientific, 56 - 168.

Ponce del León, S., Guedes Soares, C., 2008, Sensitivity of wave model predictions to wind fields in the Western Mediterranean Sea. *Coastal Engineering*, Vol. 55, pp. 920-929.

Puertos del Estado, Spain, 2009, – (http://www.puertos.es/oceanografia_y_meteorologia/), private communication.

Queffeuilou, P., 2004, Long term validation of wave height measurements from altimeters. *Marine Geodesy*, Vol. 27, 495-510.

Queffeuilou, P., Croizé-Fillon, D., 2010, Global altimeter SWH data set, version 7, Technical Report, Ifremer, ftp://ftp.ifremer.fr/cersat/products/swath/altimeters/waves/documentation/altimeter_wave_merge_7.0.pdf

Queffeuilou, P., 2009, Altimeter Wave Height Measurements - Validation of Long Time Series. Poster: Ocean Surface Topography Science Team meeting, Seattle, Washington, USA. (<http://www.aviso.oceanobs.com/en/courses/ostst/ostst-2009-seattle/posters/>).

Saha, S., Moorthi, S., Pan, H., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Kistler, R., Wollen, J., Behringer, D., Liu, H., Stokes, D., Grumbine, R., Gayno, G., Wang, J., Hou, Y., Chuang, H., Juang, H., Sela, J., Iredell, M., Treadon, R., Kleist, D., VanDelst, P., Keyser, D., Derber, J., Ek, M., Meng, J., Wei, H., Yang, R., Lord, S., van den Dool, H., Kumar, A., Wang, W., Long, C., Chelliah, M., Xue, Y., Huang, B., Schemm, J., Ebisuzaki, W., Lin, R., Xie, P., Chen, M., Zhou, S., Higgins, W., Zou, C., Liu, Q., Chen, Y., Han, Y., Cucurull, L., Reynolds, R., Rutledge, G., Goldberg, M., 2010, The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 91, 1015–1057.

Skamarock WC, Klemp JB, 2007, A time-split nonhydrostatic atmospheric model for research and NWP applications. *J. Comp. Phys.* Special issue on environmental modeling.

Sorensen, O.R., Kofoed-Hansen, H., Rugbjerg, M. and Sorensen, L.S., 2004: A Third Generation Spectral Wave Model Using an Unstructured Finite Volume Technique. In *Proceedings of the 29th International Conference of Coastal Engineering*, 19-24 September 2004, Lisbon, Portugal.

Tolman, H.L., 2002a. Alleviating the garden sprinkler effect in wind wave models. *Ocean Modelling*, Vol. 4, pp. 269–289.

Tolman, H.L., 2002f, Validation of WAVEWATCH III, version 1.15 for a global domain. Tech. Note 213, NOAA/NWS/NCEP/OMB, 33p.

Tolman, H.L., 2008, http://ciooss.coas.oregonstate.edu/CIOSS/workshops/Altimeter_workshop_08/Coastal_Alt_Presentations/18_Tolman_Sig_Wave_Ht.pdf

Sorensen, O.R., Kofoed-Hansen, H., Rugbjerg, M. and Sorensen, L.S., 2004: A Third Generation Spectral Wave Model Using an Unstructured Finite Volume Technique. In Proceedings of the 29th International Conference of Coastal Engineering, 19-24 September 2004, Lisbon, Portugal.

Komen, G.J., Cavaleri, L., Doneland, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S. and Janssen, P.A.E.M., (1984). Dynamics and modelling of ocean waves. Cambridge University Press, UK, 560 pp.

Young, I.R., (1999). Wind generated ocean waves, in Elsevier Ocean Engineering Book Series, Volume 2, Eds. R. Bhattacharyya and M.E. McCormick, Elsevier.

WAMDI-group: S. Hasselmann, K. Hasselman, E. Bauer, P.A.E.M. Janssen, G.J. Komen, L. Bertotti, P. Lionello, A. Guillaume, V.C. Cardone, J.A. Greenwood, M. Reistad, L. Zambresky and

J.A. Ewing, (1988) "The WAM model – a third generation ocean wave prediction model", J. Phys. Oceanogr., 18, 1775-1810

General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) – www.gebco.net

CM-93 Edition 3.0, CM-93/3 - www.jepesen.com/marine/commercial/professional/

Ole Baltazar Andersen (1995), Global ocean tides from ERS 1 and TOPEX/POSEIDON altimetry, J. of Geophys. Res., 100, C12, p. 25249-25260

Doodson, A. T., Warburg, H. D., 1941 "Admiralty manual of tides"

Web references

ARPA-FVG OSMER, [Online] <http://www.osmer.fvg.it/home.php>

ARW Online Tutorial." [Online] Available at <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/OnLineTutorial/index.htm>

CISL RDA: NCEP Climate Forecast System Re-analysis (CFSR) 6-hourly Products, January 1979 to December 2010." [Online] Available at <http://rda.ucar.edu/datasets/ds093.0/index.html#description>

NOAA, Hourly/Sub-Hourly Observational Data." [Online] Available at <http://gis.ncdc.noaa.gov/map/viewer/#app=cdo&cfg=cdo&theme=hourly&layers=1&node=gis>

The Weather Research&Forecasting Model Website." [Online] Available at <http://www.wrf-model.org/index.php>

14. APPENDICE B: BREVE DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO MIKE 21

MIKE 21 è un modello numerico professionale per la simulazione di correnti, onde, trasporto solido e qualità delle acque in fiumi, laghi, baie, aree costiere e mare aperto. Le applicazioni tipiche sono:

- Modellazione di idrodinamica, trasporto solido e qualità delle acque in fiumi, laghi ed aree golenali
- Studio del moto ondoso in aree costiere, bacini portuali ed offshore
- Analisi di idrodinamica, trasporto solido e morfologia in aree costiere
- Analisi della qualità delle acque al largo e sottocosta
- Supporto alla pianificazione e progettazione di opere costiere ed offshore
- Supporto alla pianificazione e progettazione di opera fluviali
- Supporto all'ottimizzazione di layout portuali
- Analisi di impatto ambientale
- Previsione degli stati di mare a supporto della navigazione
- Analisi di allagamenti in aree costiere e fenomeni di surge

Il pacchetto MIKE 21 è disponibile in 4 versioni che si differenziano in base alla schematizzazione geometrica adottata:

Griglia singola: le equazioni di continuità e del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenze finite su una griglia rettangolare, uniforme in tutto il dominio di calcolo.

Griglia multipla: questo schema utilizza lo stesso approccio della griglia singola, con la possibilità di innestare nel dominio griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio.

Volumi finiti: l'approccio ai volumi finiti garantisce il massimo della flessibilità, in particolare per domini di calcolo estesi in cui sia necessario adottare una risoluzione spaziale variabile. E' possibile utilizzare elementi triangolari o quadrangolari anche in modo accoppiato. MIKE 21 FM è oggi il codice di calcolo più utilizzato in campo marittimo e costiero.

Maglia curvilinea: è la griglia adottata da MIKE 21 C, codice di calcolo studiato appositamente per applicazioni di morfologia fluviale.

Principali caratteristiche

In campo marittimo e costiero, grazie ai suoi diversi moduli, MIKE 21 consente di studiare in modo integrato il moto ondoso (SW, BW), le correnti (HD), il trasporto solido e la morfologia (ST, MT) e la dispersione di soluti (AD).

In campo fluviale, MIKE 21 può essere accoppiato in modo dinamico al codice monodimensionale MIKE 11 attraverso MIKE FLOOD, schematizzando il dominio di calcolo in modo integrato 1D/2D.

Attraverso l'utilizzo di ECOLab ed ABMLab, MIKE 21 consente inoltre di studiare i processi più complessi in termini di qualità delle acque, in presenza di reagenti.

I moduli di MIKE 21

- PP (Pre- and Post-Processing) - Il modulo PP offre l'ambiente di lavoro di base ed un insieme di tool per l'importazione e processamento dei dati di input nonché l'elaborazione degli output e la preparazione di immagini ed animazioni. PP è necessario per tutti i moduli di MIKE 21.
- HD (Hydrodynamics) - Il modulo idrodinamico simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate. HD consente la simulazione di un'ampia gamma di fenomeni idraulici anche in presenza di strutture complesse.
- AD (Advection - Dispersion) - Il modulo simula trasporto, dispersione e decadimento di sostanze disciolte o sospese in acqua. Può essere utilizzato per studi di dispersione di soluti non reagenti o caratterizzati da decadimento lineare o eccesso di temperatura o salinità.
- ST (Sediment Transport) - E' il modulo per il trasporto solido di materiale non coesivo generato da correnti o dall'azione combinata di onde e correnti. ST include svariate formulazioni di trasporto e può essere utilizzato indistintamente in campo marittimo-costiero o fluviale.
- MT (Mud Transport) - Modulo multifrazione e multistrato in grado di descrivere l'erosione, il trasporto e la rideposizione di materiale coesivo e di sedimenti misti coesivi e non. Particolarmente adatto per studi di dispersione di sedimento conseguenti a dragaggio dei fondali.
- OIL SPILL - Simula la diffusione e dispersione di sostanze oleose in corpi idrici, considerandone i differenti processi di trasformazione e decadimento.
- PA/PT (Particle Analysis/Particle Tracking) - Simula il trasporto e decadimento di sostanze disciolte o sospese in acqua. E' utilizzato in particolare per analisi di

rischio, versamenti accidentali e monitoraggio delle attività di dragaggio. Utilizza un approccio di tipo Lagrangiano.

- SW (Spectral Wave Model) Modulo di propagazione spettrale di onde sea ed onde swell in aree offshore e costiere. Permette di simulare rifrazione, diffrazione, shoaling, attrito con il fondo, frangimento, diffrazione e riflessione semplice utilizzando un approccio con maglia FM.
- BW (Boussinesq Wave Model) - E' il modulo d'onda più completo, in grado di simulare anche gli effetti di riflessione in ogni direzione e di diverso ordine; per questo viene utilizzato per le analisi di agitazione ondosa all'interno di bacini portuali. Include i fenomeni idrodinamici ed utilizza una maglia quadrata.
- ECOLab - Modulo avanzato per lo studio della qualità delle acque ed idro - ecologia in presenza di reazioni, decadimenti complessi, eutrofizzazione e trasporto di metalli pesanti.
- ABMLab - Modulo avanzato per modellizzazione "ad agenti".