

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA CENTRALE EOLICA OFFSHORE  
DENOMINATA "SCICLI"  
E OPERE DI CONNESSIONE  
POTENZA NOMINALE: 750 MW**

Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale ex D.lgs.152/2006  
Domanda di Autorizzazione Unica ex D.lgs. 387/ 2003  
Domanda di Concessione Demaniale Marittima ex R.D. 327/1942

PROFONENTE

**NINFEA RINNOVABILI S.r.l.**

Largo agosto n. 3 20122  
MILANO  
P.IVA: 11920550966

PROGETTAZIONE

**TECNOCONSULT**  
ENGINEERING CONSTRUCTION SRL

Via Einaudi, 20C  
60032 FANO (PU) IT –



ELABORATO

N. TITOLO  
ELABORATO

**STUDIO DEGLI IMPATTI DEL CAMPO  
EOLICO SU MOTO ONDOSI, VENTO  
E IDRODINAMICA**

DATA	REVISIONE	EMISSIONE	VERIFICATO	APPROVATO
LUGLIO 2024	00	TECNOCONSULT	NINFEA RINNOVABILI	NINFEA RINNOVABILI

CODICE COMMESSA	SCICLI	CODICE ELABORATO	REL_13
-----------------	--------	------------------	--------

## INDICE DELLA RELAZIONE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>7</b>
1.1	BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO .....	7
<b>2</b>	<b>SCOPO DEL DOCUMENTO</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>NQUADRAMENTO GENERALE</b> .....	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>PREDISPOSIZIONE DEL MODELLO DI MOTO ONDOSI</b> .....	<b>11</b>
4.1	SCelta DEL PUNTO DI ANALISI.....	11
4.1.1	<i>Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS)</i> .....	11
4.1.2	<i>Mediterranean Wind and Wave Model (MWM)</i> .....	12
4.1.3	<i>Coordinate dei punti scelti</i> .....	13
4.2	DATI BATIMETRICI .....	14
<b>5</b>	<b>ANALISI E PROCESSAMENTO DEI DATI DI MOTO ONDOSI A LARGO</b> .....	<b>15</b>
5.1	ANALISI DEL CLIMA ONDOSI.....	15
5.2	DEFINIZIONE DELLA CORRELAZIONE TRA ALTEZZA D’ONDA SIGNIFICATIVA E PERIODO DI PICCO .....	17
<b>6</b>	<b>MODELLO DI PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSI</b> .....	<b>19</b>
6.1	BATIMETRIA E DOMINIO DI CALCOLO .....	20
6.2	CONDIZIONI AL CONTORNO DEL MODELLO D’ONDA .....	25
6.3	CONFIGURAZIONI SIMULATE .....	30
6.4	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI DEL MODELLO D’ONDA .....	32
6.4.1	<i>Mappe di altezza d’onda significativa</i> .....	32
6.4.2	<i>Mappe delle differenze di altezza d’onda significativa risultante</i> .....	37
6.4.3	<i>Mappe delle differenze massime di altezza d’onda significativa</i> .....	40
<b>7</b>	<b>APPROFONDIMENTI SUI POTENZIALI IMPATTI DEL CAMPO EOLICO SU VENTO, ONDA E IDRODINAMICA</b>	<b>43</b>
7.1	CARATTERISTICHE DEL CAMPO EOLICO .....	43
7.2	ANALISI DELLE VARIAZIONI ATTESE PER LA COMPONENTE “VENTO” .....	45
7.3	ANALISI DELLE VARIAZIONI ATTESE PER LA COMPONENTE “ONDA” .....	48
7.4	ANALISI DELLE VARIAZIONI ATTESE PER LA COMPONENTE “IDRODINAMICA” .....	51
7.5	ANALISI DELLE VARIAZIONI ATTESE SULL’OSSIGENAZIONE DELLA COLONNA D’ACQUA .....	56
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>57</b>



9    **RIFERIMENTI** ..... 58

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1-1 – Layout di impianto.....	8
Figura 3-1 – Ubicazione della Centrale eolica offshore “Scicli”.....	10
Figura 4-1 – Distribuzione spaziale dei valori medi ed estremi (99 <sup>th</sup> percentile) delle velocità di corrente superficiale (CMEMS) nell’area interessata dal progetto.....	11
Figura 4-2 – Celle del modello MWM (dati parametrici) e disponibilità dei dati spettrali (punti in rosso) nell’area interessata dal progetto .....	12
Figura 4-3 – Dati della batimetria EMODnet relativi all’area dello Stretto di Sicilia. ....	14
Figura 5-1 – Rosa del clima ondoso nel punto di analisi. ....	15
Figura 5-2 - Esempio di tipico pattern estivo di vento in Italia e dettaglio sul Mediterraneo (nel riquadro a destra). Mappa ricavata dal modello WRF (Weather Research Forecast) del Mar Mediterraneo ( <a href="http://www.meteonetwork.eu">www.meteonetwork.eu</a> ).....	16
Figura 5-3 - Grafico a dispersione omnidirezionale di $H_s$ e $T_p$ nel Punto P2.....	17
Figura 6-1 - Batimetria e dominio di calcolo riferiti al primo quadrante. ....	21
Figura 6-2 - Batimetria e dominio di calcolo riferiti al secondo quadrante. ....	21
Figura 6-3 - Batimetria e dominio di calcolo riferiti al terzo quadrante.....	22
Figura 6-4 – Batimetria e dominio di calcolo riferiti al quarto quadrante. ....	22
Figura 6-5 – Caratteristiche del floater VoltturnUS utilizzato per la modellazione.....	23
Figura 6-6 - Mesh di calcolo e dettaglio della risoluzione nell’intorno delle.....	24
Figura 6-7 - Configurazioni simulate Quadrante 1 (0°-90°): Stato attuale (a sinistra) e Stato di progetto (a destra).....	30
Figura 6-8 - Configurazioni simulate Quadrante 2 (90°-180°): Stato attuale (a sinistra) e Stato di progetto (a destra).....	30
Figura 6-9 - Configurazioni simulate Quadrante 3 (180°-270°): Stato attuale (a sinistra) e Stato di progetto (a destra).....	31
Figura 6-10 - Configurazioni simulate Q4 (270°-360°): Stato attuale (a sinistra) e Stato di progetto (a destra). .....	31
Figura 6-11 - Distribuzione dell’altezza d’onda significativa per il primo quadrante con condizione ondosa n.46 – Stato attuale. ....	33
Figura 6-12 - Distribuzione dell’altezza d’onda significativa per il primo quadrante (a sinistra) e nell’intorno del galleggiante (in alto a destra) con condizione ondosa n.46 – Stato di progetto.....	33

Figura 6-13 - Distribuzione dell'altezza d'onda significativa per il secondo quadrante con condizione ondosa n.135 – Stato attuale. ....	34
Figura 6-14 - Distribuzione dell'altezza d'onda significativa per il secondo quadrante (a sinistra) e nell'intorno del galleggiante (in alto a destra) con condizione ondosa n.135 – Stato di progetto. ....	34
Figura 6-15 - Distribuzione dell'altezza d'onda significativa per il terzo quadrante con condizione ondosa n.242 – Stato attuale. ....	35
Figura 6-16 - Distribuzione dell'altezza d'onda significativa per il terzo quadrante (a sinistra) e nell'intorno del galleggiante (in alto a destra) con condizione ondosa n.242 – Stato di progetto. ....	35
Figura 6-17 - Distribuzione dell'altezza d'onda significativa per il quarto quadrante con condizione ondosa n.328 – Stato attuale. ....	36
Figura 6-18 - Distribuzione dell'altezza d'onda significativa per il quarto quadrante (a sinistra) e nell'intorno del galleggiante (in alto a destra) con condizione ondosa n.328 – Stato di progetto. ....	36
Figura 6-19 - Differenze di altezza d'onda significativa risultante (in metri) tra stato attuale e di progetto – Quadrante 1.....	37
Figura 6-20 - Differenze di altezza d'onda significativa risultante (in metri) tra stato attuale e di progetto – Quadrante 2.....	38
Figura 6-21 - Differenze di altezza d'onda significativa risultante (in metri) tra stato attuale e di progetto – Quadrante 3.....	38
Figura 6-22 - Differenze di altezza d'onda significativa risultante (in metri) tra stato attuale e di progetto – Quadrante 4.....	39
Figura 6-23 – Mappa delle differenze massime di altezza d'onda – Quadrante 1.....	40
Figura 6-24 - Mappa delle differenze massime di altezza d'onda – Quadrante 2.....	41
Figura 6-25 - Mappa delle differenze massime di altezza d'onda – Quadrante 3.....	41
Figura 6-26 - Mappa delle differenze massime di altezza d'onda – Quadrante 4.....	42
Figura 7-1 – Ubicazione delle turbine del Campo Eolico “Scicli” e delle stazioni di trasformazione offshore. La minima distanza da costa è 27 km. ....	43
Figura 7-2 - Batimetria dell'area di studio e ubicazione delle turbine del campo eolico Scicli”. ....	44
Figura 7-3 - Dettaglio del floater UMaine VoltturnUS-S. ....	44
Figura 7-4 - Rosa di velocità del vento $WS_{2hr}$ a 10 m slm (sopra) e a 80 m slm (sotto), per il punto P2 .....	46
Figura 7-5 - Tipologie ed entità dei potenziali effetti ambientali degli impianti eolici offshore galleggianti. Gli effetti attesi sulle dinamiche atmosferiche e marine sono evidenziati nel riquadro rosso della prima figura. Fonte e illustrazione: Farr et al (2021, [10][11]). ....	47
Figura 7-6 - Ubicazione dei due campi eolici Vesterhav North [11] e Vesterhav South [12]. ....	49

Figura 7-7 - Ubicazione del campo eolico Galloper OWF (353 MW) nel Mare del Nord (UK). .....	50
Figura 7-8 - Lista dei potenziali impatti di un campo eolico sulla componente idrodinamica: van Berkel et al (2020, [15]). .....	51
Figura 7-9 - Rosa delle correnti residue superficiali nel Punto P1 (direzioni in °N – verso).....	53
Figura 7-10 - Rosa delle correnti di marea superficiali nel Punto P1 (direzioni in °N – verso).....	53
Figura 7-11 - Rosa delle correnti totale superficiali nel Punto P1 (direzioni in °N – verso) .....	54

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 4-1- Coordinate dei punti per l'analisi meteocean .....	13
Tabella 5.1 – Tabella delle frequenze: Altezza d'onda significativa vs Direzione media di ingresso. ....	16
Tabella 5.2 – Tabella delle frequenze: Altezza d'onda significativa vs Periodo di Picco. ....	16
Tabella 5-3 - Tabella delle frequenze di occorrenza delle altezze d'onda $H_s$ rispetto al periodo di picco $T_p$ . ..	18
Tabella 6.1 – Condizioni ondose utilizzate al contorno offshore del modello d'onda. ....	29
Tabella 7.1 – Principali processi coinvolti nella variazione delle condizioni d'onda per effetto di un parco eolico. Christensen et al (2013, [7])......	48
Tabella 7.2 - Tabella delle frequenze di occorrenza [%] della velocità e direzione della corrente residua superficiale nel Punto P1 (direzioni in °N – verso).....	53
Tabella 7.3 - Tabella delle frequenze di occorrenza [%] della velocità e direzione della corrente di marea superficiale nel Punto P1 (direzioni in °N – verso).....	54
Tabella 7.4 - Tabella delle frequenze di occorrenza [%] della velocità e direzione della corrente totale superficiale nel Punto P1 (direzioni in °N – verso).....	55

## 1 INTRODUZIONE

L'energia eolica è una delle fonti energetiche rinnovabili fondamentali per la transizione ecologica.

Nel 2023 in Europa, l'installazione di impianti eolici ha registrato un aumento significativo di +17 GW, un record storico, ma, nonostante questa evoluzione, la capacità eolica installata sembra essere ancora insufficiente per soddisfare gli obiettivi della Unione Europea al 2030.

Infatti, la Direttiva 2023/2413 di promozione dell'energia da fonti rinnovabili (c. d. RED III), pubblicata nella Gazzetta Ufficiale Europea del 31 ottobre 2023, ha aumentato dal 32 % al 42,5 % l'obiettivo dell'Unione relativo alla quota di energia da fonti rinnovabili nel consumo lordo di energia entro il 2030, con l'ambizione di raggiungere il 45 %.

In Italia, la potenza eolica installata annuale non segue l'andamento richiesto per raggiungere gli obiettivi 2030 e nel 2023 i nuovi impianti, secondo dati Terna-Gaudì, ammontano a circa 488 MW, in leggera diminuzione sul 2022 (-7%).

Con la sempre minore disponibilità di siti da destinare all'installazione di parchi eolici onshore, l'eolico offshore rappresenta una possibilità per incrementare le energie rinnovabili in Italia e raggiungere sia gli obiettivi energetici posti dalle istituzioni europee per il 2030 sia gli obiettivi intermedio al 2025 e quello del 2030 indicati dal nuovo PNIEC in via di approvazione.

L'Italia è contraddistinta da mari profondi e l'eolico galleggiante presenta le caratteristiche idonee per lo sviluppo di questa specifica tecnologia. Infatti, le strutture flottanti possono essere posizionate anche dove i fondali hanno notevoli profondità, rimanendo anche molto distanti dalla costa. Questo consente la riduzione dell'impatto visivo percepito dalla terraferma e consente lo sfruttamento di aree con disponibilità più elevata della risorsa vento.

### 1.1 Breve descrizione del progetto

In linea con gli indirizzi di politica energetica nazionale ed internazionale relativi alla promozione dell'utilizzo delle fonti rinnovabili volti alla riduzione delle emissioni di gas climalteranti, NINFEA RINNOVABILI S.r.l. si propone di avviare un progetto per la realizzazione di un nuovo impianto eolico offshore denominato "Scicli", di potenza pari a 750 MW, in uno specchio d'acqua nello Stretto di Sicilia a circa 27km dalla costa Siciliana tra Marina di Modica e Marina di Ragusa.

Il progetto prevede l'installazione offshore di:

- 50 aerogeneratori di potenza nominale di 15 MW cadauno, per una potenza nominale complessiva pari a 750 MW, localizzati ad una distanza minima di 27 km e massima di 40 km dalla costa Siciliana;
- 2 sottostazioni elettriche offshore su fondazione fissa (jacket) per l'innalzamento della tensione da 66 kV a 220 kV, ubicate ad una distanza minima di 33 km da costa;
- Cavi di campo (inter-array) per il collegamento delle turbine alle sottostazioni elettriche offshore;

- 4 cavidotti di export a 220 kV per il trasporto dell'energia dalle stazioni elettriche offshore al punto di giunzione a terra.

Il progetto prevede l'installazione onshore di:

- Buca giunti e gruppo di compensazione a terra;
- Cavidotto terrestre per il trasporto di energia dalla stazione di compensazione a terra alla stazione di trasformazione da 220kV a 380kV (stazione utente) ubicata nei pressi della futura Stazione Terna;
- Stazione di trasformazione da 220kV a 380kV (stazione utente);
- Cavidotto di collegamento a 380kV dalla stazione utente alla futura stazione Terna.

Per la connessione del Parco Eolico off-shore di Scicli sono previste delle opere di connessione che consistono in nuove opere della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN), in particolare una nuova Stazione Elettrica (SE) a 380 kV da inserire in entra – esci alla esistente linea 380 kV della RTN “Chiaramonte Gulfi – Priolo. Per la nuova SE RTN è in fase di approvazione, da parte di Terna, la localizzazione.

Lo schema di connessione alla RTN è individuato nella Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG), con codice pratica 202203856, rilasciata da Terna S.p.A. allegata al preventivo di connessione.



Figura 1-1 – Layout di impianto

## 2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Oggetto dello studio è la valutazione, attraverso l'impiego di modellistica numerica e l'analisi di recente letteratura di settore, degli impatti attesi sul moto ondoso (per il quale è stato predisposto un approfondimento specifico), sul vento e sul regime idrodinamico in relazione alla Centrale eolica offshore "Scicli" ubicata nello Stretto di Sicilia. L'impianto è composto da 50 aerogeneratori della potenza di 15 MW (per 750 MW complessivi) e dalle opere di collegamento alla RTN (Rete di Trasmissione Nazionale), con punto di connessione alla futura Stazione Elettrica RTN di Terna che verrà costruita nel comune di Palazzolo Acreide (SR).

L'approfondimento tematico di cui al presente studio costituisce parte integrante del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica e della documentazione allegata allo Studio di Impatto Ambientale, documenti redatti in conformità della normativa in materia vigente inclusi e non esclusi il D.Lgs 152/2006 e ss.mm.ii., e il D.Lgs. 387/2003, e ss.mm.ii. relativamente alla fase di Valutazione di Impatto Ambientale e alla fase di Autorizzazione Unica.

Il presente studio è suddiviso in due parti. La prima parte ha previsto la predisposizione di attività di modellazione numerica del moto ondoso nell'ipotesi di presenza ed assenza del campo eolico (secondo due differenti configurazioni di progetto) volte a quantificare l'impatto della presenza delle turbine nell'area compresa tra il campo eolico stesso e la costa. Allo scopo è stato utilizzato il codice di calcolo MIKE21 SW (Spectral Waves), appartenente alla famiglia MIKE Powered by DHI. Si tratta di un modello d'onda spettrale di terza generazione capace di simulare, utilizzando un approccio a maglia non strutturata, la generazione e la trasformazione del moto ondoso in aree costiere e off-shore.

Nella seconda parte del documento è riportata una più generale trattazione sugli impatti attesi dalla presenza del campo eolico non solo in termini di onda ma anche di vento e correnti, a partire dall'analisi di recente letteratura di settore.

### 3 NQUADRAMENTO GENERALE

Su larga scala l'area di progetto si inserisce nel bacino del mare Mediterraneo, in particolare nello Stretto di Sicilia, e per ubicazione geografica la centrale eolica offshore impegna il braccio di mare antistante la costa compresa tra Marina di Modica e Marina di Ragusa.

Nello specifico, lo specchio d'acqua in cui ricadono gli aerogeneratori e le stazioni di trasformazione offshore è compreso nei seguenti limiti:

- Il confine Nord dell'area dista oltre 5 km dal limite delle acque territoriali (12 Mn);
- Il confine Nord-Est dista dalla piattaforma Vega A circa 7 km e dalla piattaforma Leonis circa 9.3 km (entrambe le piattaforme sono poste entro le 12 MN);
- Il confine Sud rispetta il limite della Zona Economica Esclusiva Italiana.

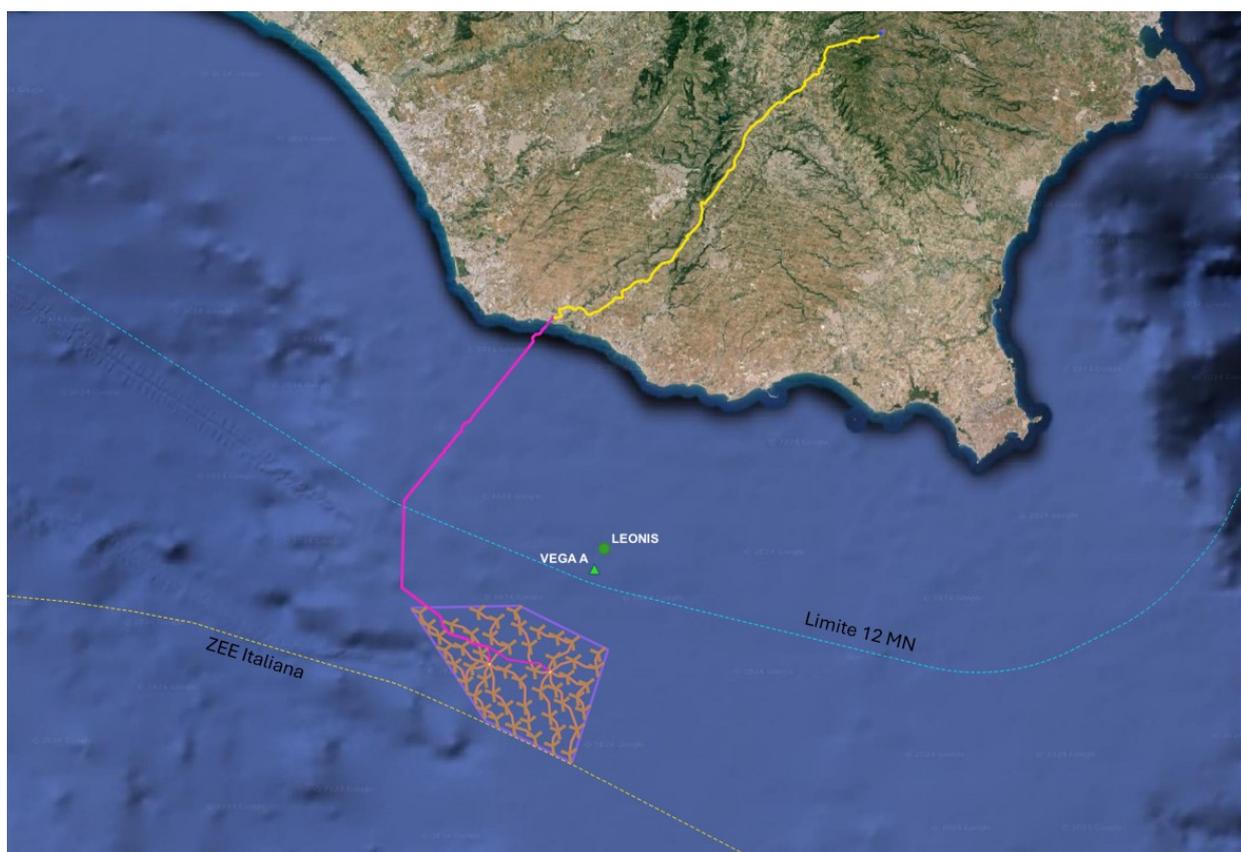


Figura 3-1 – Ubicazione della Centrale eolica offshore “Scioli”.

## 4 PREDISPOSIZIONE DEL MODELLO DI MOTO ONDO SO

Tra le prime attività necessarie negli studi di moto ondoso, vi è la definizione delle condizioni meteomarine di riferimento al largo del tratto di costa interessato, nonché la caratterizzazione del sito dal punto di vista batimetrico. Nelle sezioni a seguire sono descritti ed analizzati i dati utilizzati allo scopo.

### 4.1 Scelta del punto di analisi

#### 4.1.1 Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS)

Il servizio Copernicus rende disponibili i dati di circolazione con risoluzione orizzontale di  $1/24^\circ$  (circa 4-5 km). All'interno dello specchio acqueo del parco eolico ricadono diversi punti griglia del modello (rappresentati nella Figura seguente) da cui è possibile estrarre i parametri di interesse. La Figura mostra la distribuzione delle statistiche rappresentative delle velocità di corrente ordinarie (valori medi) ed estreme (99<sup>th</sup> percentile) in un intorno dell'area di progetto (delimitata in nero).

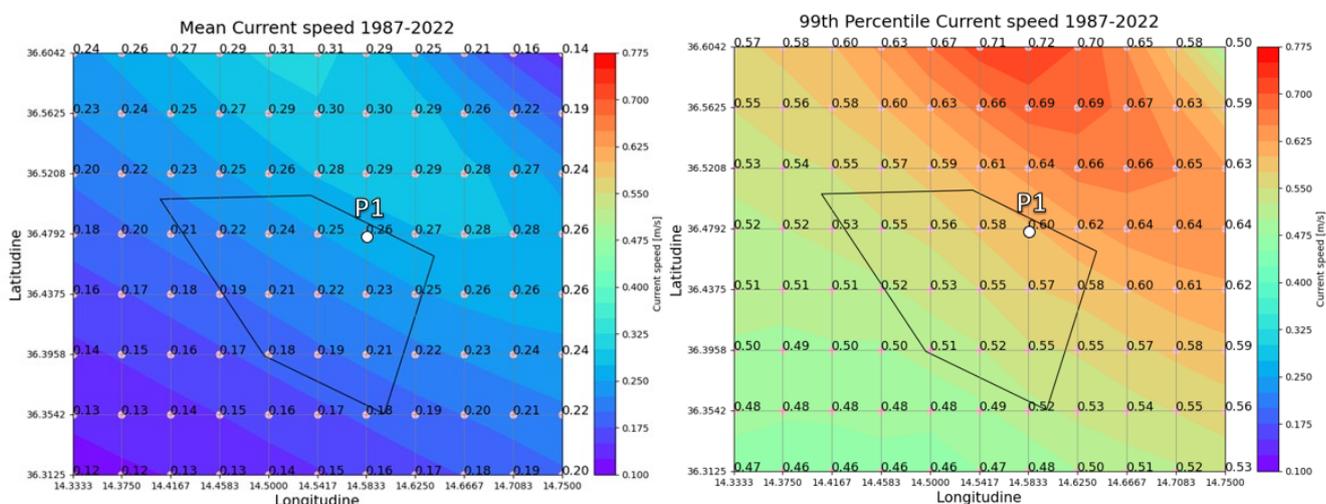


Figura 4-1 – Distribuzione spaziale dei valori medi ed estremi (99<sup>th</sup> percentile) delle velocità di corrente superficiale (CMEMS) nell'area interessata dal progetto

Dall'analisi dei valori medi ed estremi di corrente superficiale si osserva che la porzione a Nord-Est del parco eolico presenta valori leggermente superiori rispetto alla restante superficie del parco. Proprio in tale porzione del parco, anche in virtù del fatto che la variabilità degli altri parametri (temperatura, salinità, corrente, livello del mare e pH) è trascurabile all'interno dell'area di progetto, si è selezionato un punto, denominato Punto P1 nella Figura 4-1, per l'estrazione di tutti i dati di Temperatura, Salinità, Corrente, Livello del mare e pH dal database del servizio Copernicus.

#### 4.1.2 Mediterranean Wind and Wave Model (MWM)

Il modello MWM rende disponibili i risultati in termini di parametri del vento e parametri dell'onda mediati sul periodo d'onda (*risultati parametrici*) in ogni cella del dominio e i risultati in termini di energia d'onda associata a classi di frequenza e direzione (*risultati spettrali*, necessari per dettagliate analisi) su una griglia regolare con risoluzione spaziale costante di 0.1°.

All'interno dello specchio acqueo interessato dal progetto Scicli (in bianco nella Figura 4-2) ricadono tre vertici del grigliato di risultati spettrali (indicati in rosso nella stessa figura).

Anche per la scelta del punto di estrazione e analisi dei dati di vento e onda è stato usato un criterio cautelativo, a valle di un'analisi speditiva dei valori medi e massimi (massimo assoluto, 90<sup>th</sup>, 99<sup>th</sup> e 99.9<sup>th</sup> percentile) di vento e di onda in termini parametrici (dunque estratti nel centro delle celle del dominio MWM). Nella figura seguente sono mostrati i risultati di tale analisi, in termini di altezza d'onda significativa (Hs), periodo di picco (Tp) e velocità del vento (Ws).

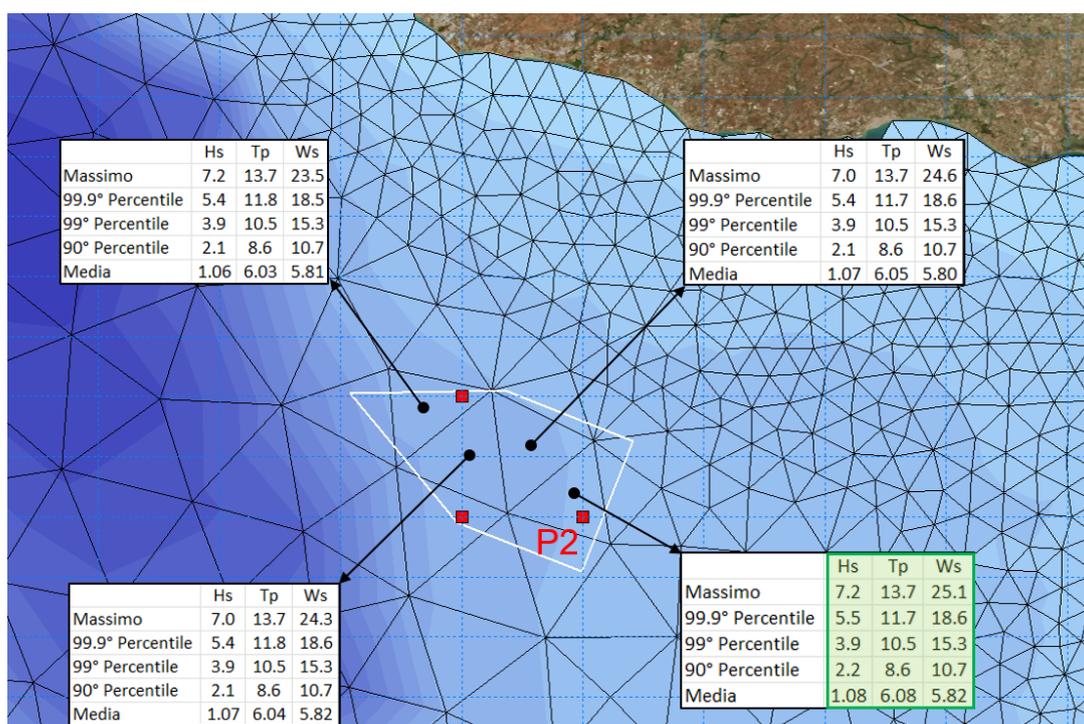


Figura 4-2 – Celle del modello MWM (dati parametrici) e disponibilità dei dati spettrali (punti in rosso) nell'area interessata dal progetto

Dall'analisi svolta risulta che la cella a Sud-Est presenta, pur in un contesto di generale omogeneità delle condizioni, valori leggermente superiori rispetto alle vicine celle comprese nell'area di interesse, sia per i valori medi sia per i massimi.

In tale porzione del parco eolico è stato dunque selezionato il punto per l'estrazione da MWM dei dati di onda e vento (P2 nella Figura 4-2).

### 4.1.3 Coordinate dei punti scelti

La Tabella seguente fornisce le coordinate dei punti selezionati all'interno dello specchio d'acqua del campo eolico, identificati in base ai criteri sopra esposti, utilizzati come riferimento per i dati metocean:

<b>Punto</b>	<b>Coordinate</b>	<b>Profondità nella cella del modello</b>	<b>Database</b>	<b>Variabili</b>
<b>P1</b>	14.583°E, 36.479° N	148.9 m	Copernicus	Temperatura, Salinità, Corrente, Livello del mare e pH
<b>P2</b>	14.600°E, 36.400°N	149.4 m	MWM	Vento e Onda

Tabella 4-1- Coordinate dei punti per l'analisi metocean

In particolare, le analisi effettuate nei capitoli successivi riguardanti le variazioni del moto ondoso utilizzano i dati di propagazione d'onda offshore estratti al punto P2, posto all'interno dello specchio acqueo del parco eolico "Scicli" (Figura 4-2). Le valutazioni riguardanti le variazioni della componente "vento" e della componente "idrodinamica" riportate ai capitoli 7.2 e 7.4, fanno riferimento rispettivamente al punto P2 e al punto P1 (Figura 4-1).

## 4.2 Dati batimetrici

Per la caratterizzazione batimetrica dell'area si è fatto riferimento al database di batimetria globale EMODnet [3].

EMODnet fornisce un insieme di dati marini in situ in 2D o 3D riguardante i mari europei, gli oceani confinanti e alcune zone internazionali. I dataset sono principalmente dati in situ (cioè raccolti in acqua) dalla superficie marina al fondale marino. Sebbene i dati in situ siano l'obiettivo, sono utilizzati anche dati ottenuti da satelliti (es. la batimetria), per convalidare e/o estendere i dataset dove ci potrebbero essere delle lacune o una mancanza di risoluzione nei dati in situ.

Viene utilizzato diffusamente negli studi oceanografici per caratterizzare le aree offshore dove solitamente non sono disponibili rilievi ad un dettaglio adeguato. Tali dati possono essere scaricati dal portale EMODnet [3] in formato NetCDF o ASCII. In Figura 4-3 sono illustrati i dati EMODnet per l'area del Mar di Sicilia utilizzati per le attività di studio in oggetto.

Lo stretto di Sicilia (o Canale di Sicilia) si trova nell'area del Mediterraneo centrale tra Sicilia e Tunisia, un'area larga e dinamicamente attiva che connette i sottobacini orientale e occidentale del Mediterraneo. Il canale è caratterizzato da una batimetria complessa, con ampie piattaforme continentali, canale profondi e poco profondi nonché pianure abissali. La zona di progetto è compresa tra profondità che vanno dai -150 m ai -200 m.

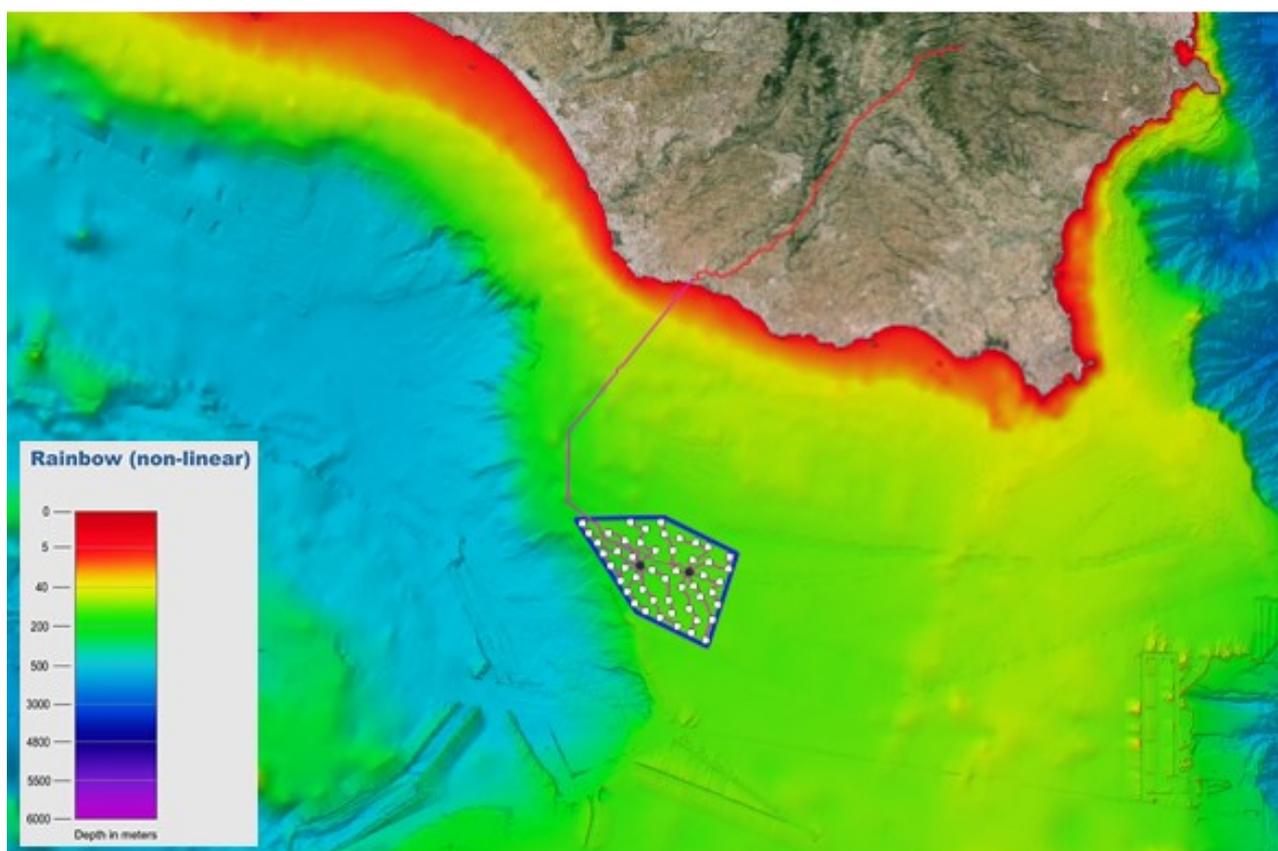


Figura 4-3 – Dati della batimetria EMODnet relativi all'area dello Stretto di Sicilia.

## 5 ANALISI E PROCESSAMENTO DEI DATI DI MOTO ONDOSO A LARGO

Di seguito vengono riportate le principali informazioni per il punto di analisi meteocean P2, le quali verranno utilizzate come condizioni al contorno di largo del modello di moto ondoso. La serie temporale di dati di vento ed onda copre un intervallo temporale di 44 anni, dal 1979 fino al 2023, e sono estratti con frequenza oraria.

### 5.1 Analisi del clima ondoso

In Figura 5-1 è riportata la rosa di moto ondoso del punto di analisi, mentre nelle tabelle che seguono sono riportate le frequenze delle classi dei parametri d'onda associati a condizioni normali (Altezza d'onda significativa ( $H_s$ ) vs Direzione Media d'onda (MWD); Altezza d'onda significativa vs Periodo di Picco ( $T01$ )) rappresentativi di una finestra meteorologica di 2 ore per il punto di analisi P2.

La lettura combinata dei grafici e delle tabelle mostra che i due settori di traversia principali risultano quello del Maestrale, caratterizzato da direzioni comprese indicativamente tra  $270^\circ\text{N}$  e  $330^\circ\text{N}$ , e, in maniera minore, quello di Levante compreso tra  $60^\circ\text{N}$  e  $120^\circ\text{N}$ . Le onde più elevate, sopra i 6 m, si osservano dal settore del Maestrale. La calma, associata ad altezze d'onda inferiori agli 0.5 m, ha una frequenza moderata, pari a circa il 26% del tempo complessivo.

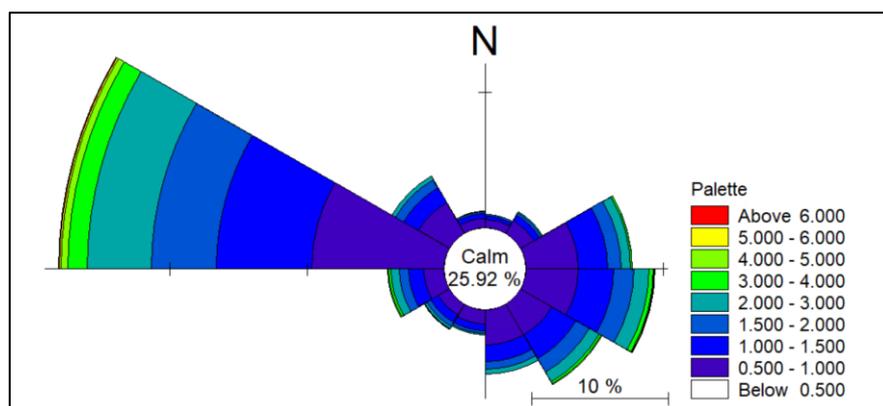


Figura 5-1 – Rosa del clima ondoso nel punto di analisi.

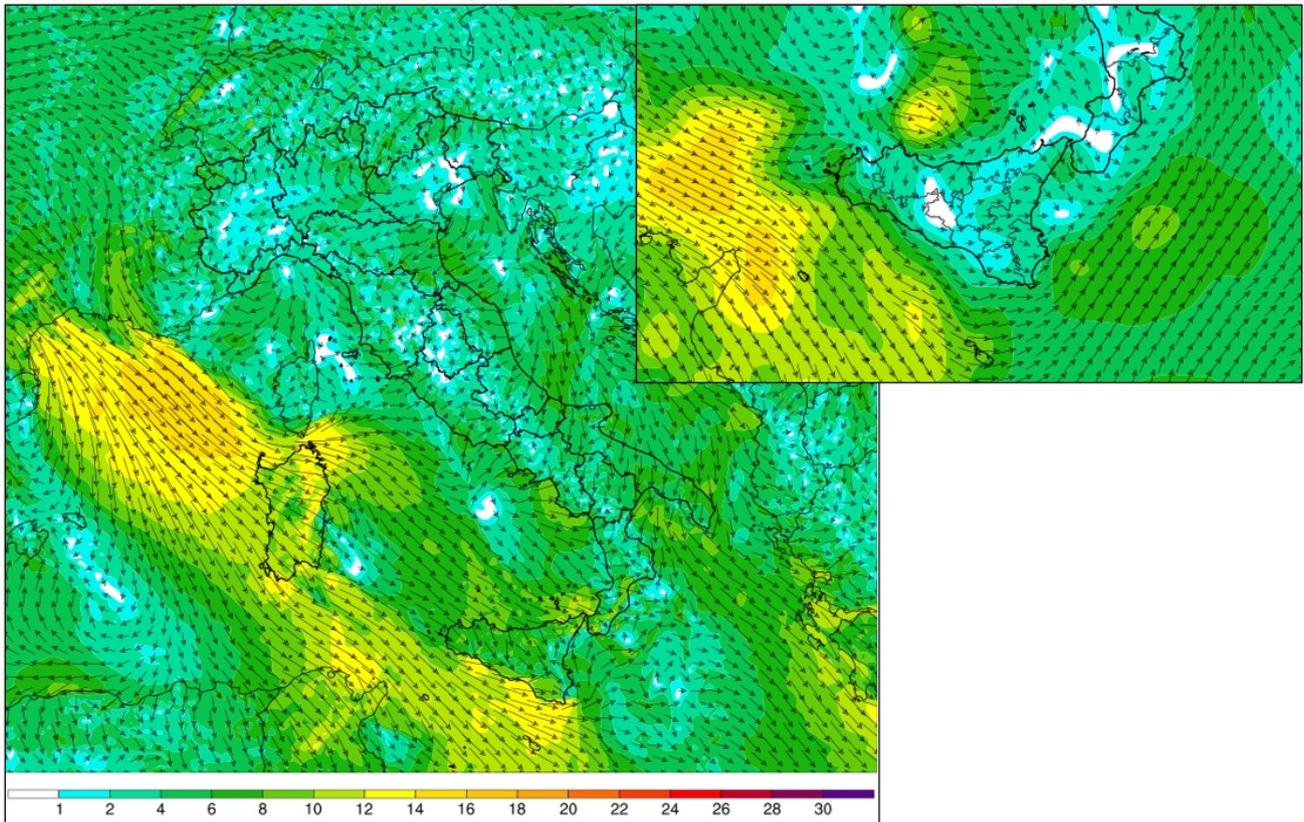


Figura 5-2 - Esempio di tipico pattern estivo di vento in Italia e dettaglio sul Mediterraneo (nel riquadro a destra). Mappa ricavata dal modello WRF (Weather Research Forecast) del Mar Mediterraneo (www.meteonetwork.eu).

		Significant Wave Height Hs (m) - Number of occurrences															Total	
		[0-0.5]	[0.5-1]	[1-1.5]	[1.5-2]	[2-2.5]	[2.5-3]	[3-3.5]	[3.5-4]	[4-4.5]	[4.5-5]	[5-5.5]	[5.5-6]	[6-6.5]	[6.5-7]	[7-7.5]	[7.5-8]	
Incoming Direction [°N from-to]	[330-360]	3941	2820	1338	596	148	33	15	6	7	5	-	-	-	-	-	-	8909
	[300-330]	11823	10371	5029	2539	901	352	100	18	12	-	-	-	-	-	-	-	31145
	[270-300]	25031	38054	27640	18727	11551	6708	3610	2166	1240	720	334	164	61	23	-	-	136029
	[240-270]	6420	5959	4258	2689	1615	855	421	211	103	61	15	7	4	2	-	-	22620
	[210-240]	3994	3816	2475	1296	557	249	59	29	21	5	-	1	-	-	-	-	12502
	[180-210]	4339	4149	2048	808	284	66	38	22	5	-	-	-	-	-	-	-	11759
	[150-180]	8780	10245	4881	2226	983	417	102	52	11	-	-	-	-	-	-	-	27697
	[120-150]	5990	10312	8002	4519	2231	1101	548	224	115	53	15	8	2	-	-	-	33120
	[90-120]	8895	14877	10376	5653	2759	1665	788	390	183	97	69	54	26	5	5	-	45842
	[60-90]	13691	14915	8536	3905	1805	827	309	136	46	39	14	12	-	-	-	-	44235
	[30-60]	5824	4300	1850	762	217	89	19	10	1	-	-	-	-	-	-	-	13072
[0-30]	3501	2576	972	364	87	25	6	1	1	-	-	-	-	-	-	-	7533	
	<b>Total</b>	102229	122394	77405	44084	23138	12387	6015	3265	1745	980	447	246	93	30	5	-	394463

Tabella 5.1 – Tabella delle frequenze: Altezza d’onda significativa vs Direzione media di ingresso.

		Significant Wave Height Hs (m) - Frequency of occurrences															Total	
		[0-0.5]	[0.5-1]	[1-1.5]	[1.5-2]	[2-2.5]	[2.5-3]	[3-3.5]	[3.5-4]	[4-4.5]	[4.5-5]	[5-5.5]	[5.5-6]	[6-6.5]	[6.5-7]	[7-7.5]	[7.5-8]	
T01 [s]	15-16	-	-	-	-	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001
	14-15	-	-	-	0.001	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001
	13-14	-	0.001	0.004	0.004	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	-	-	-	-	-	-	0.001
	12-13	0.004	0.011	0.025	0.02	0.012	0.007	0.008	0.004	0.005	0.004	0.005	0.008	0.005	0.007	0.005	-	0.13
	11-12	0.014	0.063	0.053	0.037	0.032	0.037	0.032	0.029	0.02	0.027	0.034	0.033	0.02	0.007	0.003	-	0.443
	10-11	0.05	0.099	0.125	0.141	0.22	0.182	0.141	0.157	0.167	0.159	0.125	0.066	0.017	0.002	0.001	-	1.654
	9-10	0.096	0.162	0.345	0.543	0.57	0.531	0.496	0.512	0.379	0.161	0.036	0.009	-	-	-	-	3.842
	8-9	0.155	0.486	1.32	1.658	1.438	1.343	1.167	0.502	0.105	0.011	0.002	-	-	-	-	-	8.188
	7-8	0.33	2.206	4.267	3.526	2.807	1.513	0.373	0.032	0.001	-	-	-	-	-	-	-	15.056
	6-7	0.722	5.404	5.772	3.981	1.687	0.178	0.009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.754
	5-6	2.338	10.274	5.727	2.016	0.091	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.446
	4-5	6.653	9.176	2.726	0.053	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18.608
	3-4	6.953	4.599	0.036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.588
	2-3	2.137	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.247
	1-2	0.024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.024
	0-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<b>Total</b>	19.477	32.593	20.401	11.98	6.862	3.791	2.229	1.238	0.678	0.364	0.202	0.116	0.043	0.016	0.009	0.001	99.999

Tabella 5.2 – Tabella delle frequenze: Altezza d’onda significativa vs Periodo di Picco.

## 5.2 Definizione della correlazione tra altezza d’onda significativa e periodo di picco

Sulla base dei dati d’onda aggregati illustrati in precedenza è stato possibile calcolare per il punto di analisi dei dati metocean la correlazione tra i valori di altezza d’onda significativa ed il periodo di picco.

Il diagramma  $H_s-T_p$  (su base omnidirezionale) è mostrato in Figura 5-3. Nei grafici di dispersione (*scatterplot*)  $H_s-T_p$  sono state inserite le curve di adattamento (*fit*) corrispondenti ai percentili 5<sup>th</sup>, 50<sup>th</sup> e 95<sup>th</sup>, utili a derivare una correlazione tra le due variabili.

La Tabella 5-3 riporta la frequenza di occorrenza [%] delle combinazioni di  $H_s$  e  $T_p$  per i seguenti intervalli:

- Intervalli  $H_s$  di 0.5 m
- Intervalli  $T_p$  di 1 secondo

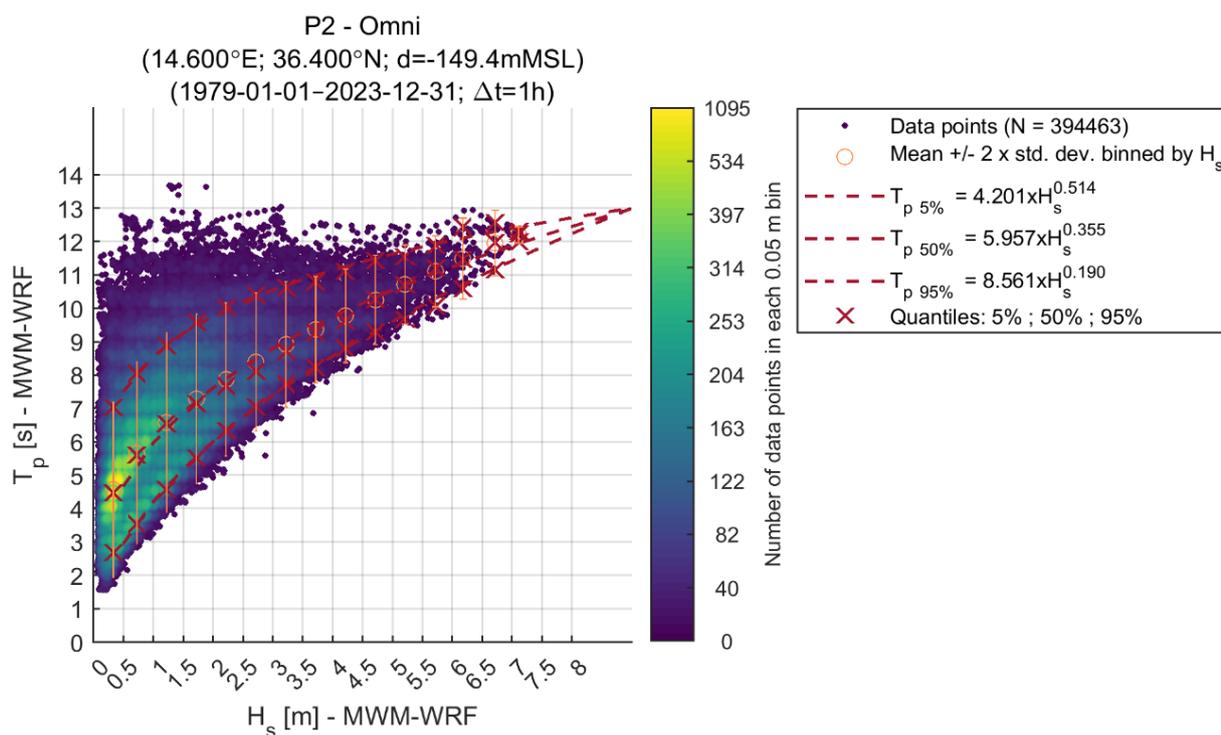


Figura 5-3 - Grafico a dispersione omnidirezionale di  $H_s$  e  $T_p$  nel Punto P2

P2  
 Frequency of Occurrence [%] (1979-01-01-2023-12-31;  $\Delta t=1h$ ) Omni  
 $H_s$  [m] - MWM-WRF

$T_p$ [s] - MWM-WRF	[0-0.5[	[0.5-1[	[1-1.5[	[1.5-2[	[2-2.5[	[2.5-3[	[3-3.5[	[3.5-4[	[4-4.5[	[4.5-5[	[5-5.5[	[5.5-6[	[6-6.5[	[6.5-7[	[7-7.5[	[7.5-8[	Total	Accum
[15-16[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[14-15[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[13-14[	-	-	0.002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002	100.000
[12-13[	-	0.009	0.005	0.008	0.007	0.007	0.006	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.005	0.004	0.001	-	0.061	99.998
[11-12[	0.007	0.029	0.036	0.055	0.037	0.032	0.035	0.030	0.024	0.032	0.034	0.037	0.013	0.004	-	-	0.407	99.937
[10-11[	0.034	0.090	0.238	0.264	0.258	0.246	0.180	0.143	0.123	0.114	0.060	0.021	0.006	-	-	-	1.778	99.531
[9-10[	0.100	0.410	0.598	0.819	0.689	0.496	0.343	0.318	0.230	0.097	0.017	0.003	-	-	-	-	4.120	97.753
[8-9[	0.332	1.075	1.926	1.881	1.283	0.985	0.747	0.324	0.063	0.004	-	-	-	-	-	-	8.620	93.632
[7-8[	0.865	3.306	4.499	3.060	2.156	1.238	0.211	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	15.345	85.012
[6-7[	1.838	6.723	5.331	3.320	1.381	0.137	0.002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18.731	69.667
[5-6[	4.952	9.552	4.459	1.720	0.054	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.738	50.936
[4-5[	9.038	6.217	2.486	0.048	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.789	30.198
[3-4[	5.807	3.508	0.043	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.358	12.409
[2-3[	2.889	0.110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.998	3.052
[1-2[	0.053	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.053	0.053
[0-1[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	25.916	31.028	19.623	11.176	5.866	3.140	1.525	0.828	0.442	0.248	0.113	0.062	0.024	0.008	0.001	-	100.000	-
Accum	25.916	56.944	76.567	87.743	93.608	96.748	98.273	99.101	99.543	99.792	99.905	99.968	99.991	99.999	100.000	100.000	-	-

Tabella 5-3 - Tabella delle frequenze di occorrenza delle altezze d'onda  $H_s$  rispetto al periodo di picco  $T_p$

## 6 MODELLO DI PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO

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. MIKE 21 offre un ambiente di lavoro completo, efficace e robusto a supporto dell'ingegneria e della pianificazione e gestione territoriale a diverse scale spaziali.

SW (Spectral Waves) è il modulo di propagazione spettrale di onde *sea* ed onde *swell* in aree offshore e costiere che permette di simulare rifrazione, diffrazione, *shoaling*, attrito con il fondo, frangimento, diffrazione e riflessione semplice utilizzando un approccio con maglia flessibile.

Al fine di propagare il clima di moto ondoso da largo sino a costa è stato utilizzato il modulo SW (Spectral Waves) di MIKE 21, un modello spettrale per vento ed onde di terza generazione, basato su una griglia non strutturata in grado di simulare la trasformazione di onde generate dal vento ed onde di swell sia offshore, sia in aree costiere.

Tale modello, a maglia triangolare "flessibile", permette di utilizzare una risoluzione spaziale variabile, consentendo di impiegare una risoluzione elevata nelle aree per le quali si richiede un maggior dettaglio, laddove rifrazione, shoaling, attrito con il fondo ed eventualmente frangimento determinano una forte trasformazione delle caratteristiche dell'onda incidente su distanze relativamente limitate. I fenomeni fisici che sono modellati con MIKE 21 SW sono i seguenti:

- generazione dell'onda ad opera del vento;
- interazione non lineare onda-onda;
- dissipazione dovuta al cosiddetto "white capping";
- dissipazione dovuta all'attrito con il fondo;
- dissipazione dovuta al frangimento;
- rifrazione e shoaling dovuti alle variazioni del fondale;
- interazione onde-correnti;
- diffrazione;
- riflessione.

I dati di input da inserire nel modello possono essere raggruppati in differenti categorie, ovvero:

- parametri di base (es. mesh di calcolo, durata della simulazione);
- tipo di formulazione, discretizzazione nel dominio delle frequenze e delle direzioni, tecniche di soluzione;
- forzanti (livelli, vento, correnti);
- parametri di dissipazione (frangimento, white-capping, attrito al fondo);
- condizioni iniziali (stato di mare iniziale);

- condizioni al contorno (onde al largo o alternativamente contorno chiuso).

I risultati ottenuti, per ognuno degli elementi della mesh e per ciascun istante temporale di calcolo (time step), sono costituiti essenzialmente dai parametri caratteristici dell'onda: altezza d'onda significativa, periodo, direzione media e radiation stress (ossia quantità di moto del flusso).

## 6.1 Batimetria e dominio di calcolo

Sulla base dei dati disponibili, descritti alla sezione 4.2, è stata predisposta una batimetria di calcolo a maglia triangolare sia in riferimento alla configurazione attuale (in assenza del campo eolico) sia alla configurazione di progetto (in presenza del campo eolico). L'area di analisi è stata suddivisa in quattro quadranti ( $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$ ;  $90^{\circ}$ - $180^{\circ}$ ;  $180^{\circ}$ - $270^{\circ}$ ;  $270^{\circ}$ - $360^{\circ}$ ) sulla base della direzione di ingresso delle onde. Di seguito si riportano i quattro domini di calcolo, ossia i quattro quadranti, con la batimetria presente nell'area. Complessivamente sono state costruite otto batimetrie di calcolo, una per ciascun quadrante ( $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$ ;  $90^{\circ}$ - $180^{\circ}$ ;  $180^{\circ}$ - $270^{\circ}$ ;  $270^{\circ}$ - $360^{\circ}$ ), riferite alle due configurazioni ante e post operam. Ognuno dei quattro domini di calcolo ha uno sviluppo complessivo di circa 80 km x 80 km, in modo tale da coprire i 50 km retrostanti le turbine in cui occorre studiare gli effetti del campo eolico sul moto ondoso.

La dimensione e la risoluzione del dominio di calcolo sono state individuate al fine di rappresentare al meglio tutti i fenomeni che intervengono nella propagazione dell'onda da largo verso costa e nell'intorno delle strutture, ottimizzando al contempo i tempi di calcolo. Intorno alle strutture oggetto di studio, fondazioni delle turbine e stazioni elettriche offshore, la mesh è stata infittita, mantenendo sempre un rapporto al massimo di 3 nel passaggio tra gli elementi da una risoluzione all'altra. In particolare, la fondazione su cui poggiano le turbine corrisponde alla configurazione ad oggi ritenuta più idonea, ossia al modello VoltturnUS come riportato in Figura 6-5.

Per la caratterizzazione batimetrica dell'area oggetto di studio, come detto, si è fatto riferimento al database globale EMODnet [3] come descritto nel capitolo 4.2.

A titolo di esempio in Figura 6-4 è mostrato il risultato finale del processamento dei dati batimetrici a disposizione, in cui sono rappresentate l'estensione del modello e la relativa batimetria di calcolo riferiti al quarto quadrante. Lo stesso risultato è stato ottenuto per gli altri tre quadranti. In Figura 6-6 è invece rappresentata la mesh di calcolo con il dettaglio della risoluzione variabile degli elementi utilizzata. Nello specifico si può osservare una risoluzione, intesa come lato medio del triangolo della mesh, che varia tra 1000 m al largo fino a 5 m nella zona immediatamente intorno ai galleggianti del floater. Questi ultimi sono stati inseriti all'interno della mesh di calcolo e per ognuno di essi è stato impostato un contorno completamente riflettente (coefficiente di riflessione pari a 1), mentre le stazioni di trasformazione offshore, in via conservativa, sono state considerate come dei parallelepipedi 30x40 (impronta delle stazioni di trasformazione offshore al livello dell'acqua) pieni con coefficiente di riflessione pari a 0.6.

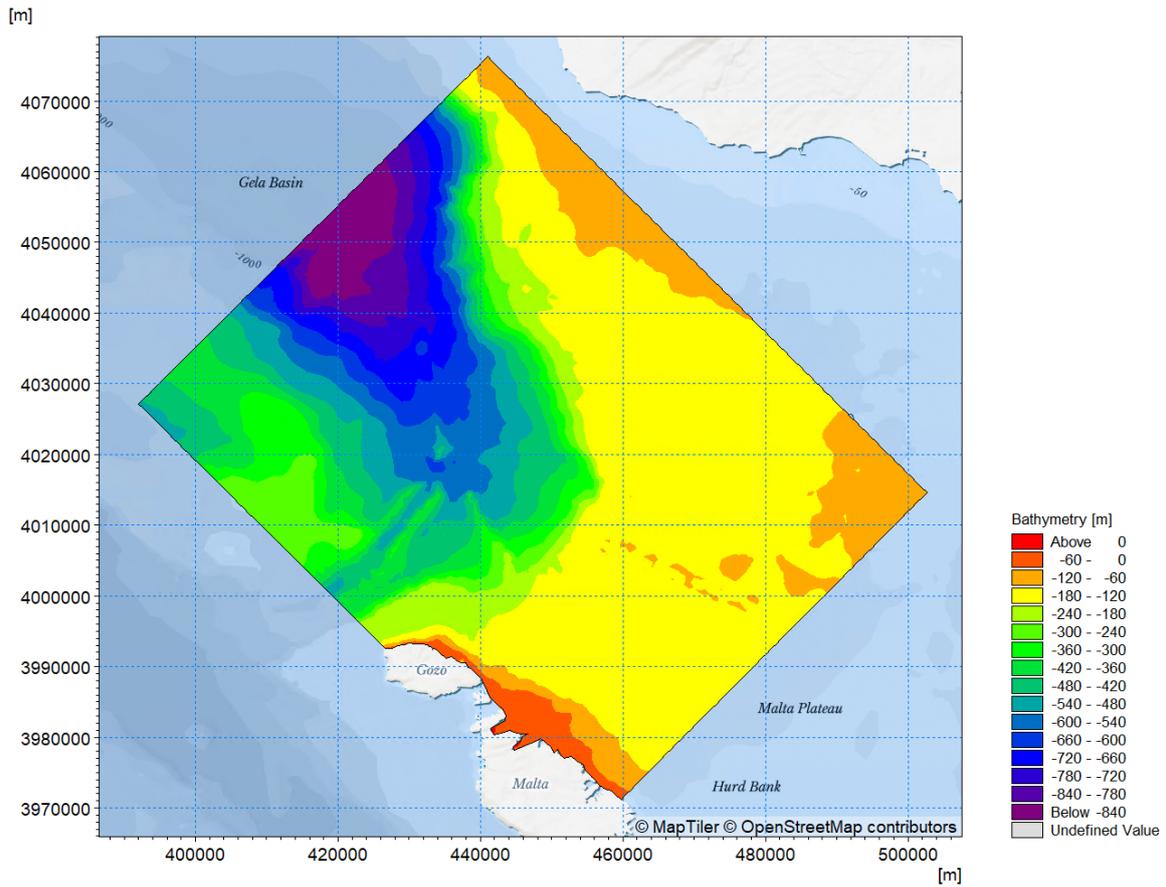


Figura 6-1 - Batimetria e dominio di calcolo riferiti al primo quadrante.

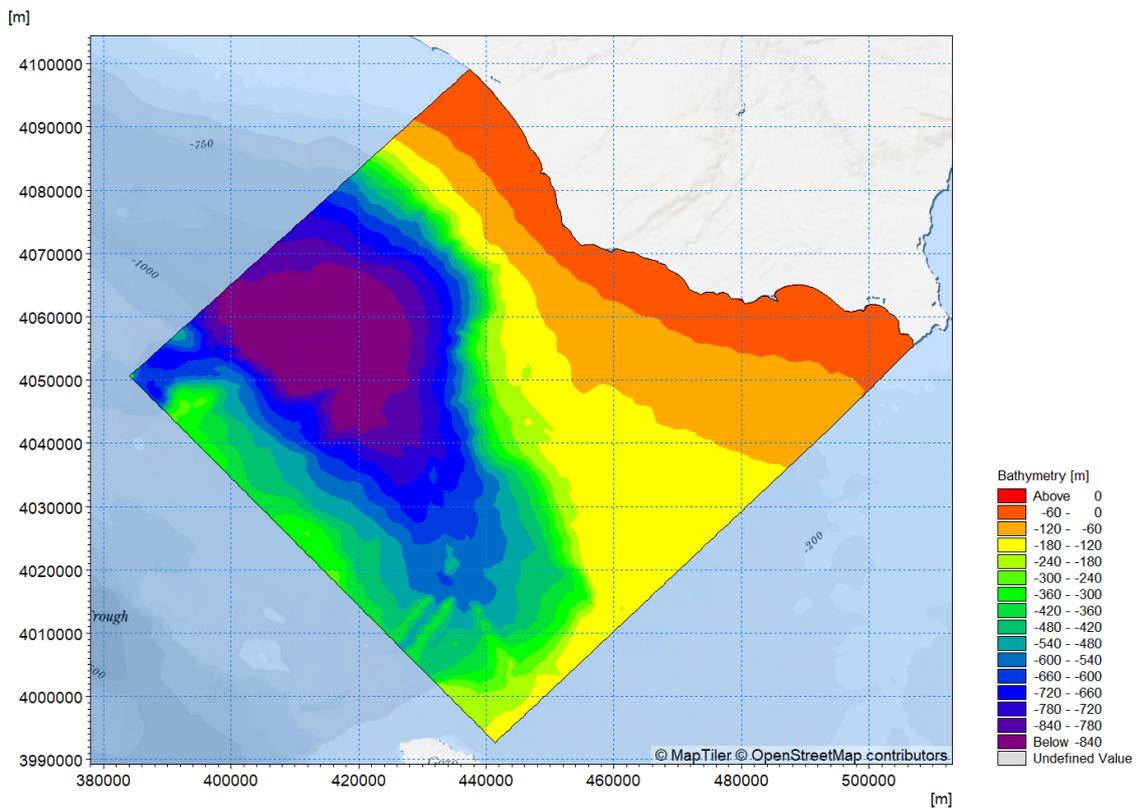


Figura 6-2 - Batimetria e dominio di calcolo riferiti al secondo quadrante.

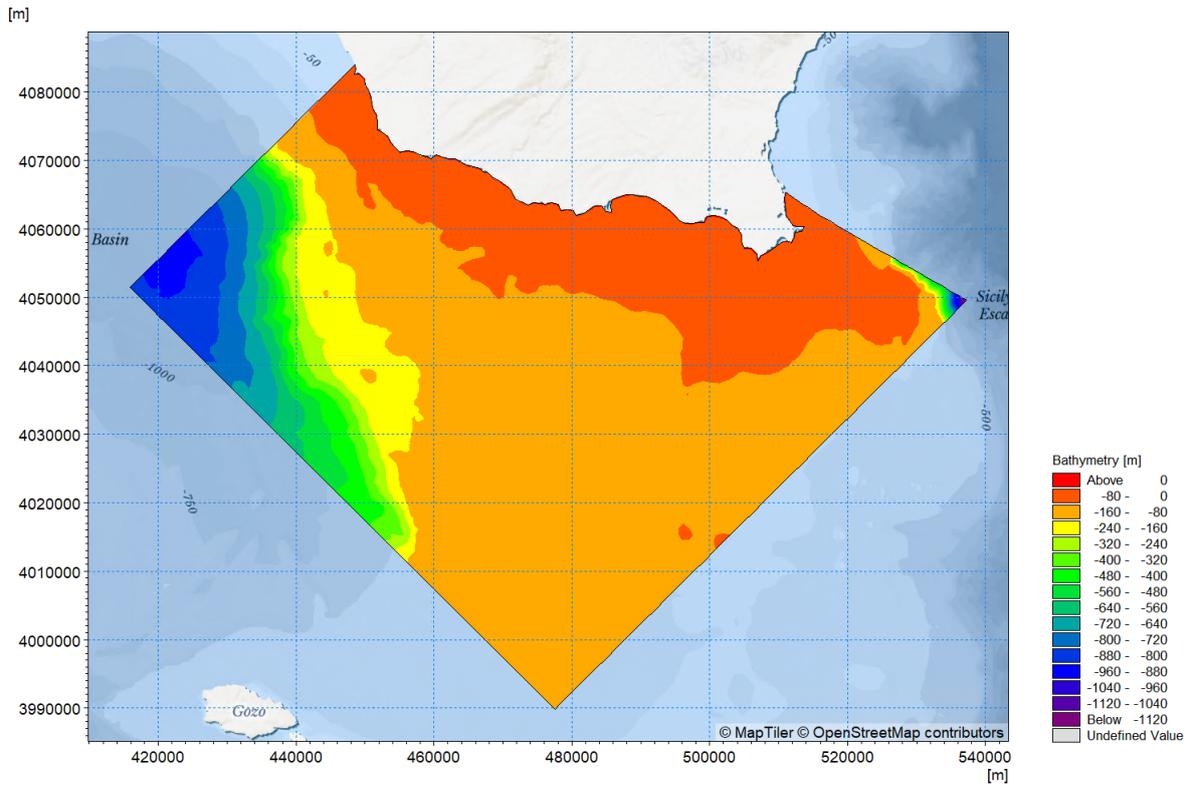


Figura 6-3 - Batimetria e dominio di calcolo riferiti al terzo quadrante.

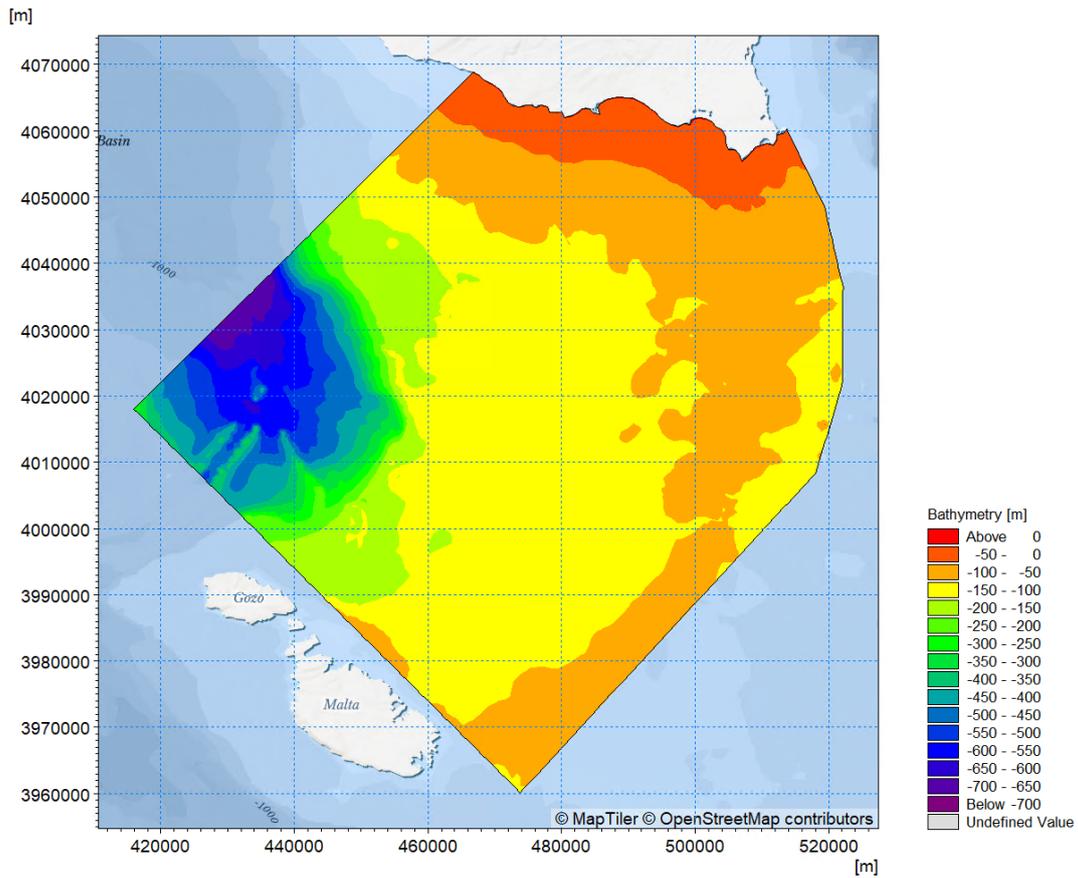
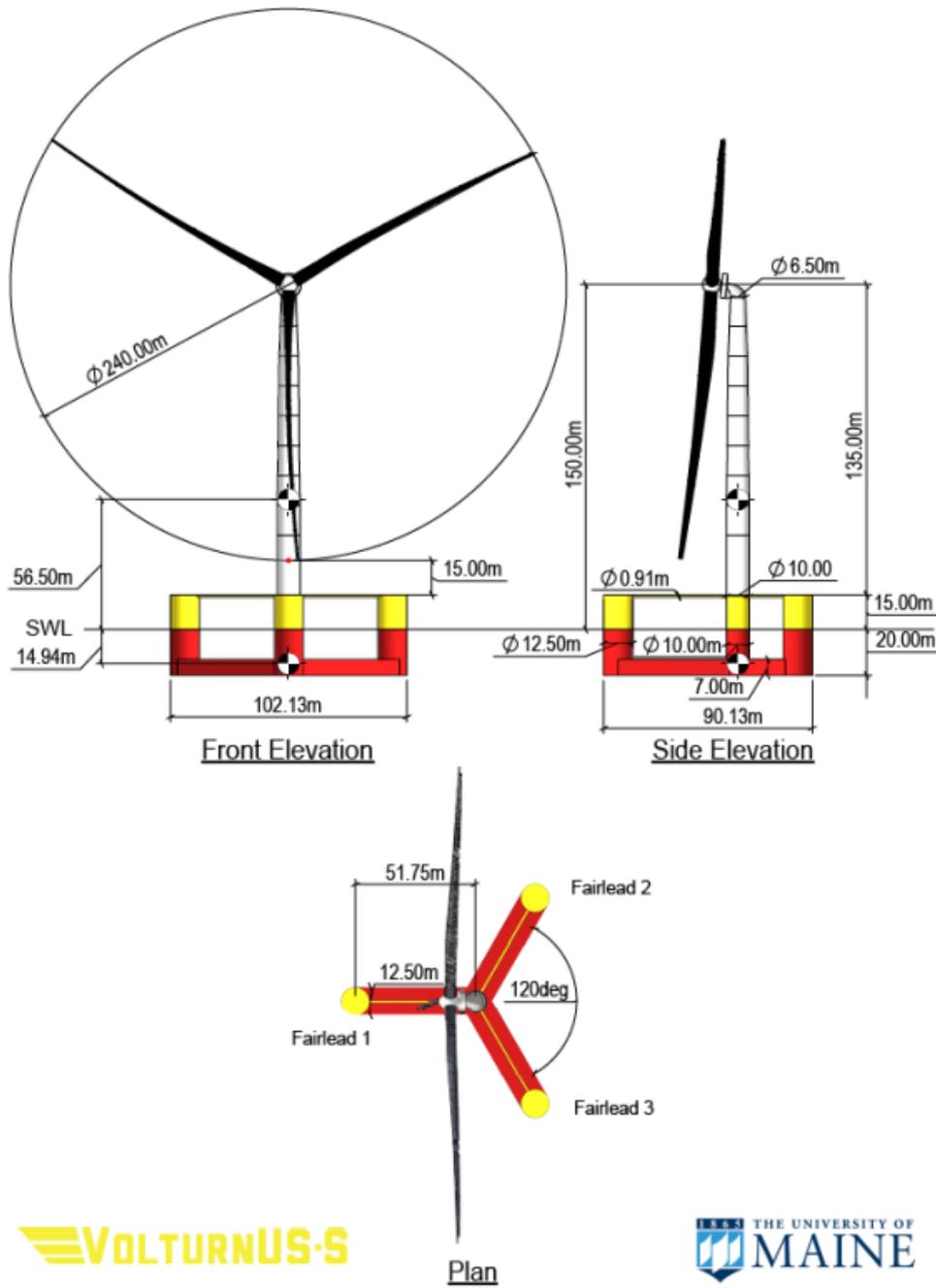


Figura 6-4 – Batimetria e dominio di calcolo riferiti al quarto quadrante.



**VOLTURNUS-S**

THE UNIVERSITY OF  
**MAINE**

Figura 6-5 – Caratteristiche del floater VoltturnUS utilizzato per la modellazione

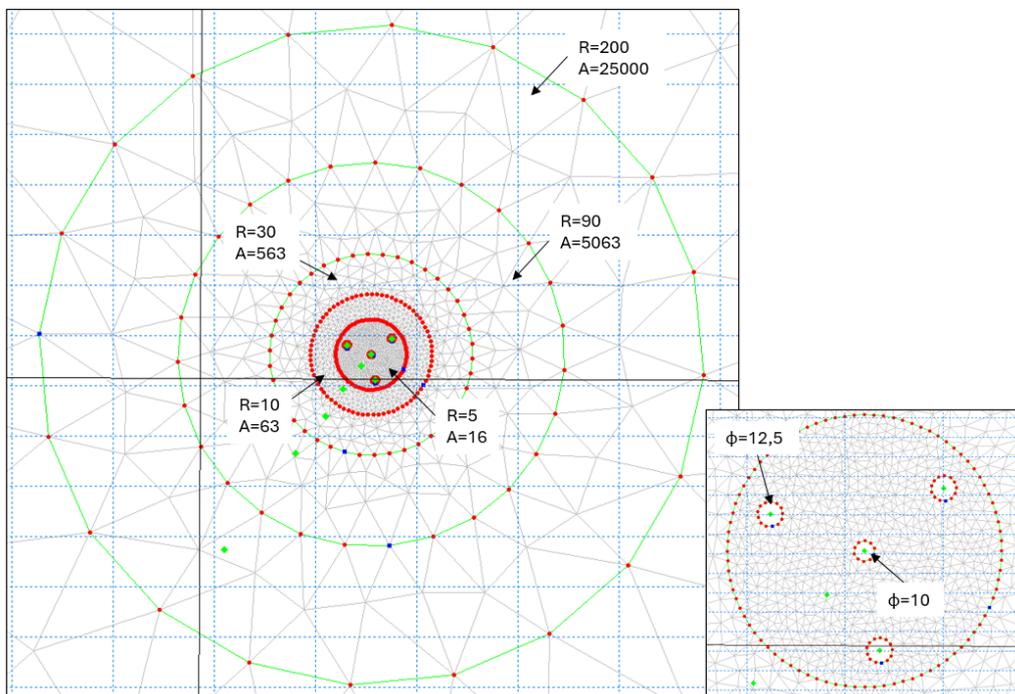
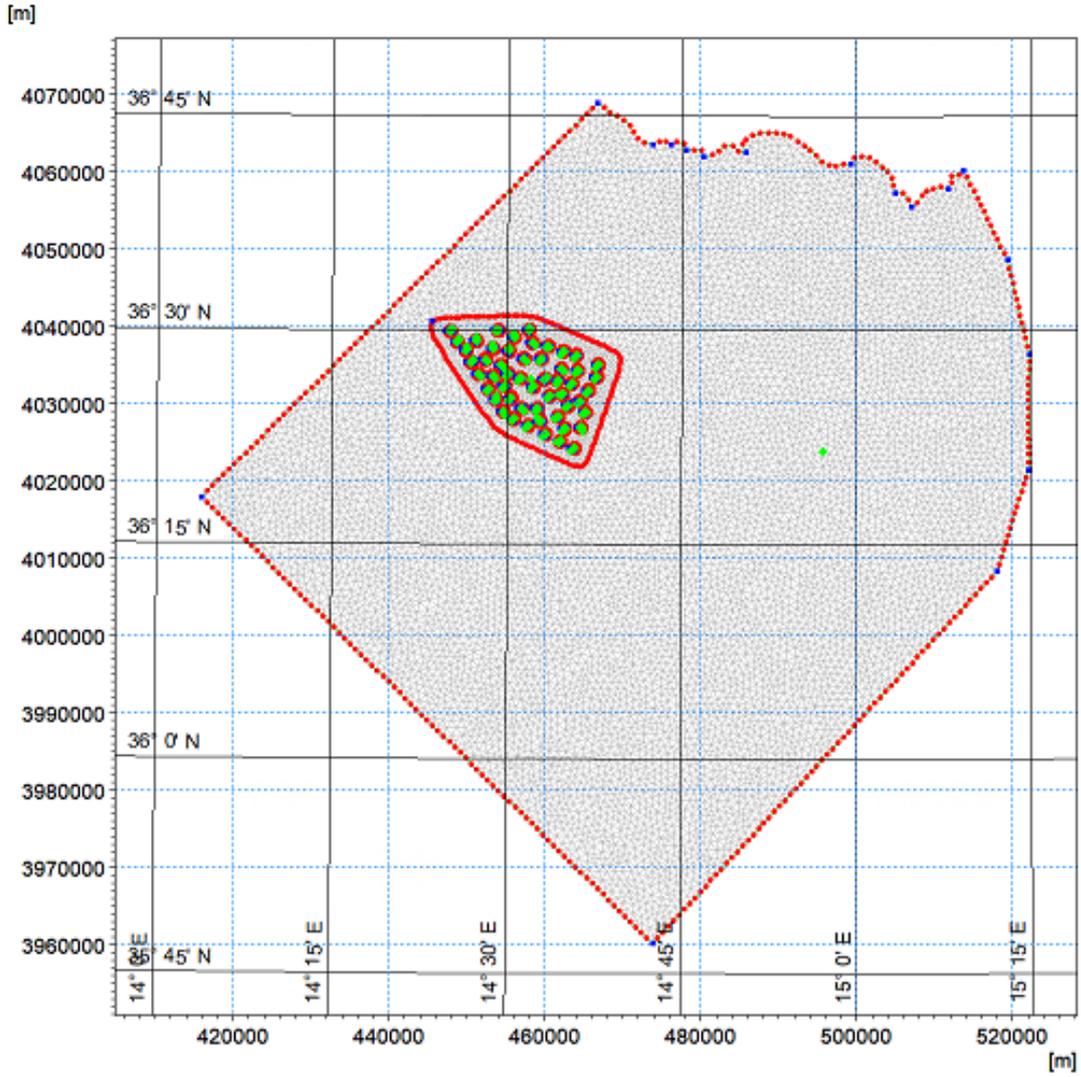


Figura 6-6 - Mesh di calcolo e dettaglio della risoluzione nell'intorno delle.

## 6.2 Condizioni al contorno del modello d'onda

La mesh di calcolo così costruita presenta tre contorni aperti: uno al largo, parallelo alla costa, e due laterali ortogonali a costa. Per quanto riguarda il contorno (*boundary*) offshore è stata impostata una condizione di moto ondoso costante lungo tutto il contorno e variabile nel tempo basata sui dati di propagazione ondosa offshore del punto P2.

Nello specifico, a partire dai dati climatici riportati al capitolo 5.1 (Altezze d'onda vs Periodo di picco), è stato ricavato il clima sintetico, ossia un insieme di scenari ondosi rappresentativi tipici. Le condizioni ondose del clima sintetico devono riprodurre le caratteristiche tipiche di altezza d'onda, periodo e direzione delle onde ed allo stesso tempo dar luogo ad un clima equivalente a quello totale in termini di potenza ed energia. Le altezze d'onda sono state discretizzate con intervalli di 0.5 m, mentre la direzione media dell'onda è stata suddivisa in 36 intervalli da 10° ciascuno. In totale sono state individuate 379 condizioni ondose caratterizzate da:

- Altezza d'onda significativa compresa tra 0.25 m e 7.25 m;
- Direzione media di provenienza;
- Periodo di picco ricavato a partire della relazione  $H_s-T_p$  e compreso tra 3.6 s e 12.0 s;
- Indice di dispersione dell'energia intorno alla direzione d'onda ( $n$ );
- Frequenza di occorrenza.

Ottenuti i dati di clima sintetico si è confrontata la rosa d'onda del clima originario con quella del clima sintetico per verificare che vi sia coerenza tra i due. Di seguito vengono riportate in forma tabellare le condizioni d'onda del clima sintetico utilizzate come boundary conditions ed applicate al contorno offshore delle mesh per le analisi.

N°	Hs	Tp	MWD	n	freq	N°	Hs	Tp	MWD	n	freq
[-]	[m]	[s]	[°N]	[-]	[-]	60	0,75	5,4	75	0,5	5598
1	0.25	3.6	5	0.5	1166	61	1,25	6,4	75	0,5	3246
2	0.75	5.4	5	0.5	770	62	1,75	7,3	75	0,5	1390
3	1.25	6.4	5	0.5	315	63	2,25	7,9	75	0,5	700
4	1.75	7.3	5	0.5	123	64	2,75	8,5	75	0,5	277
5	2.25	7.9	5	0.5	24	65	3,25	9,1	75	0,5	102
6	2.75	8.5	5	0.5	8	66	3,75	9,5	75	0,5	36
7	3.25	9.1	5	0.5	1	67	4,25	10,0	75	0,5	18
8	3.75	9.5	5	0.5	1	68	4,75	10,4	75	0,5	22
9	0.25	3.6	15	0.5	1122	69	5,25	10,7	75	0,5	4
10	0.75	5.4	15	0.5	825	70	0,25	3,6	85	0,5	4247
11	1.25	6.4	15	0.5	327	71	0,75	5,4	85	0,5	5677
12	1.75	7.3	15	0.5	100	72	1,25	6,4	85	0,5	3438
13	2.25	7.9	15	0.5	29	73	1,75	7,3	85	0,5	1553
14	2.75	8.5	15	0.5	7	74	2,25	7,9	85	0,5	790
15	3.25	9.1	15	0.5	1	75	2,75	8,5	85	0,5	420
16	0.25	3.6	25	0.5	1212	76	3,25	9,1	85	0,5	158
17	0.75	5.4	25	0.5	981	77	3,75	9,5	85	0,5	90
18	1.25	6.4	25	0.5	330	78	4,25	10,0	85	0,5	23
19	1.75	7.3	25	0.5	141	79	4,75	10,4	85	0,5	17
20	2.25	7.9	25	0.5	34	80	5,25	10,7	85	0,5	8
21	2.75	8.5	25	0.5	10	81	5,75	11,1	85	0,5	12
22	3.25	9.1	25	0.5	4	82	0,25	3,6	95	0,5	3933
23	4.25	10.0	25	0.5	1	83	0,75	5,4	95	0,5	6179
24	0.25	3.6	35	0.5	1385	84	1,25	6,4	95	0,5	3912
25	0.75	5.4	35	0.5	1049	85	1,75	7,3	95	0,5	2039
26	1.25	6.4	35	0.5	418	86	2,25	7,9	95	0,5	1089
27	1.75	7.3	35	0.5	160	87	2,75	8,5	95	0,5	479
28	2.25	7.9	35	0.5	52	88	3,25	9,1	95	0,5	208
29	2.75	8.5	35	0.5	18	89	3,75	9,5	95	0,5	115
30	3.25	9.1	35	0.5	2	90	4,25	10,0	95	0,5	73
31	3.75	9.5	35	0.5	2	91	4,75	10,4	95	0,5	37
32	0.25	3.6	45	0.5	1759	92	5,25	10,7	95	0,5	16
33	0.75	5.4	45	0.5	1359	93	5,75	11,1	95	0,5	4
34	1.25	6.4	45	0.5	566	94	6,25	11,4	95	0,5	3
35	1.75	7.3	45	0.5	185	95	0,25	3,6	105	0,5	2788
36	2.25	7.9	45	0.5	59	96	0,75	5,4	105	0,5	4947
37	2.75	8.5	45	0.5	29	97	1,25	6,4	105	0,5	3545
38	3.25	9.1	45	0.5	8	98	1,75	7,3	105	0,5	1880
39	3.75	9.5	45	0.5	6	99	2,25	7,9	105	0,5	854
40	0.25	3.6	55	0.5	2680	100	2,75	8,5	105	0,5	657
41	0.75	5.4	55	0.5	1892	101	3,25	9,1	105	0,5	321
42	1.25	6.4	55	0.5	866	102	3,75	9,5	105	0,5	155
43	1.75	7.3	55	0.5	417	103	4,25	10,0	105	0,5	57
44	2.25	7.9	55	0.5	106	104	4,75	10,4	105	0,5	46
45	2.75	8.5	55	0.5	42	105	5,25	10,7	105	0,5	37
46	3.25	9.1	55	0.5	9	106	5,75	11,1	105	0,5	37
47	3.75	9.5	55	0.5	2	107	6,25	11,4	105	0,5	18
48	4.25	10.0	55	0.5	1	108	6,75	11,7	105	0,5	3
49	0.25	3.6	65	0.5	4295	109	7,25	12,0	105	0,5	3
50	0.75	5.4	65	0.5	3640	110	0,25	3,6	115	0,5	2174
51	1.25	6.4	65	0.5	1852	111	0,75	5,4	115	0,5	3751
52	1.75	7.3	65	0.5	962	112	1,25	6,4	115	0,5	2919
53	2.25	7.9	65	0.5	315	113	1,75	7,3	115	0,5	1734
54	2.75	8.5	65	0.5	130	114	2,25	7,9	115	0,5	816
55	3.25	9.1	65	0.5	49	115	2,75	8,5	115	0,5	529
56	3.75	9.5	65	0.5	10	116	3,25	9,1	115	0,5	259
57	4.25	10.0	65	0.5	5	117	3,75	9,5	115	0,5	120
58	5.25	10.7	65	0.5	2	118	4,25	10,0	115	0,5	53
59	0.25	3.6	75	0.5	5149	119	4,75	10,4	115	0,5	14

N°	Hs	Tp	MWD	n	freq	N°	Hs	Tp	MWD	n	freq
120	5,25	10,7	115	0,5	16	180	1,25	6,4	175	0,5	1011
121	5,75	11,1	115	0,5	13	181	1,75	7,3	175	0,5	448
122	6,25	11,4	115	0,5	5	182	2,25	7,9	175	0,5	111
123	6,75	11,7	115	0,5	2	183	2,75	8,5	175	0,5	50
124	7,25	12,0	115	0,5	2	184	3,25	9,1	175	0,5	12
125	0,25	3,6	125	0,5	1965	185	3,75	9,5	175	0,5	5
126	0,75	5,4	125	0,5	3168	186	4,25	10,0	175	0,5	4
127	1,25	6,4	125	0,5	2713	187	0,25	3,6	185	0,5	1633
128	1,75	7,3	125	0,5	1536	188	0,75	5,4	185	0,5	1661
129	2,25	7,9	125	0,5	760	189	1,25	6,4	185	0,5	813
130	2,75	8,5	125	0,5	462	190	1,75	7,3	185	0,5	272
131	3,25	9,1	125	0,5	254	191	2,25	7,9	185	0,5	96
132	3,75	9,5	125	0,5	84	192	2,75	8,5	185	0,5	26
133	4,25	10,0	125	0,5	59	193	3,25	9,1	185	0,5	4
134	4,75	10,4	125	0,5	25	194	3,75	9,5	185	0,5	9
135	5,25	10,7	125	0,5	7	195	4,25	10,0	185	0,5	2
136	5,75	11,1	125	0,5	8	196	0,25	3,6	195	0,5	1418
137	6,25	11,4	125	0,5	2	197	0,75	5,4	195	0,5	1304
138	0,25	3,6	135	0,5	2048	198	1,25	6,4	195	0,5	618
139	0,75	5,4	135	0,5	3349	199	1,75	7,3	195	0,5	273
140	1,25	6,4	135	0,5	2724	200	2,25	7,9	195	0,5	104
141	1,75	7,3	135	0,5	1432	201	2,75	8,5	195	0,5	17
142	2,25	7,9	135	0,5	765	202	3,25	9,1	195	0,5	17
143	2,75	8,5	135	0,5	347	203	3,75	9,5	195	0,5	7
144	3,25	9,1	135	0,5	186	204	4,25	10,0	195	0,5	1
145	3,75	9,5	135	0,5	80	205	0,25	3,6	205	0,5	1288
146	4,25	10,0	135	0,5	29	206	0,75	5,4	205	0,5	1184
147	4,75	10,4	135	0,5	19	207	1,25	6,4	205	0,5	617
148	5,25	10,7	135	0,5	6	208	1,75	7,3	205	0,5	263
149	0,25	3,6	145	0,5	1978	209	2,25	7,9	205	0,5	84
150	0,75	5,4	145	0,5	3795	210	2,75	8,5	205	0,5	23
151	1,25	6,4	145	0,5	2565	211	3,25	9,1	205	0,5	17
152	1,75	7,3	145	0,5	1551	212	3,75	9,5	205	0,5	6
153	2,25	7,9	145	0,5	706	213	4,25	10,0	205	0,5	2
154	2,75	8,5	145	0,5	292	214	0,25	3,6	215	0,5	1226
155	3,25	9,1	145	0,5	108	215	0,75	5,4	215	0,5	1062
156	3,75	9,5	145	0,5	60	216	1,25	6,4	215	0,5	672
157	4,25	10,0	145	0,5	27	217	1,75	7,3	215	0,5	324
158	4,75	10,4	145	0,5	9	218	2,25	7,9	215	0,5	92
159	5,25	10,7	145	0,5	2	219	2,75	8,5	215	0,5	41
160	0,25	3,6	155	0,5	2692	220	3,25	9,1	215	0,5	17
161	0,75	5,4	155	0,5	4236	221	3,75	9,5	215	0,5	7
162	1,25	6,4	155	0,5	2317	222	4,25	10,0	215	0,5	2
163	1,75	7,3	155	0,5	1091	223	0,25	3,6	225	0,5	1260
164	2,25	7,9	155	0,5	608	224	0,75	5,4	225	0,5	1203
165	2,75	8,5	155	0,5	287	225	1,25	6,4	225	0,5	744
166	3,25	9,1	155	0,5	65	226	1,75	7,3	225	0,5	341
167	3,75	9,5	155	0,5	37	227	2,25	7,9	225	0,5	164
168	4,25	10,0	155	0,5	6	228	2,75	8,5	225	0,5	60
169	0,25	3,6	165	0,5	3342	229	3,25	9,1	225	0,5	6
170	0,75	5,4	165	0,5	3821	230	3,75	9,5	225	0,5	8
171	1,25	6,4	165	0,5	1553	231	4,25	10,0	225	0,5	10
172	1,75	7,3	165	0,5	687	232	4,75	10,4	225	0,5	2
173	2,25	7,9	165	0,5	264	233	0,25	3,6	235	0,5	1508
174	2,75	8,5	165	0,5	80	234	0,75	5,4	235	0,5	1551
175	3,25	9,1	165	0,5	25	235	1,25	6,4	235	0,5	1059
176	3,75	9,5	165	0,5	10	236	1,75	7,3	235	0,5	631
177	4,25	10,0	165	0,5	1	237	2,25	7,9	235	0,5	301
178	0,25	3,6	175	0,5	2746	238	2,75	8,5	235	0,5	148
179	0,75	5,4	175	0,5	2188	239	3,25	9,1	235	0,5	36

N°	Hs	Tp	MWD	n	freq	N°	Hs	Tp	MWD	n	freq
240	3,75	9,5	235	0,5	14	300	1,75	7,3	285	0,5	7047
241	4,25	10,0	235	0,5	9	301	2,25	7,9	285	0,5	4297
242	4,75	10,4	235	0,5	3	302	2,75	8,5	285	0,5	2656
243	5,75	11,1	235	0,5	1	303	3,25	9,1	285	0,5	1440
244	0,25	3,6	245	0,5	1764	304	3,75	9,5	285	0,5	901
245	0,75	5,4	245	0,5	1820	305	4,25	10,0	285	0,5	567
246	1,25	6,4	245	0,5	1183	306	4,75	10,4	285	0,5	367
247	1,75	7,3	245	0,5	873	307	5,25	10,7	285	0,5	174
248	2,25	7,9	245	0,5	440	308	5,75	11,1	285	0,5	76
249	2,75	8,5	245	0,5	240	309	6,25	11,4	285	0,5	45
250	3,25	9,1	245	0,5	110	310	6,75	11,7	285	0,5	18
251	3,75	9,5	245	0,5	31	311	0,25	3,6	295	0,5	12257
252	4,25	10,0	245	0,5	9	312	0,75	5,4	295	0,5	20008
253	4,75	10,4	245	0,5	5	313	1,25	6,4	295	0,5	13787
254	5,25	10,7	245	0,5	1	314	1,75	7,3	295	0,5	9460
255	6,25	11,4	245	0,5	1	315	2,25	7,9	295	0,5	5986
256	0,25	3,6	255	0,5	1953	316	2,75	8,5	295	0,5	3337
257	0,75	5,4	255	0,5	1817	317	3,25	9,1	295	0,5	1783
258	1,25	6,4	255	0,5	1332	318	3,75	9,5	295	0,5	1025
259	1,75	7,3	255	0,5	817	319	4,25	10,0	295	0,5	529
260	2,25	7,9	255	0,5	481	320	4,75	10,4	295	0,5	266
261	2,75	8,5	255	0,5	264	321	5,25	10,7	295	0,5	139
262	3,25	9,1	255	0,5	124	322	5,75	11,1	295	0,5	79
263	3,75	9,5	255	0,5	67	323	6,25	11,4	295	0,5	10
264	4,25	10,0	255	0,5	31	324	0,25	3,6	305	0,5	6572
265	4,75	10,4	255	0,5	18	325	0,75	5,4	305	0,5	6337
266	5,25	10,7	255	0,5	2	326	1,25	6,4	305	0,5	3427
267	5,75	11,1	255	0,5	1	327	1,75	7,3	305	0,5	1706
268	6,25	11,4	255	0,5	2	328	2,25	7,9	305	0,5	612
269	6,75	11,7	255	0,5	2	329	2,75	8,5	305	0,5	262
270	0,25	3,6	265	0,5	2703	330	3,25	9,1	305	0,5	79
271	0,75	5,4	265	0,5	2322	331	3,75	9,5	305	0,5	10
272	1,25	6,4	265	0,5	1743	332	4,25	10,0	305	0,5	4
273	1,75	7,3	265	0,5	999	333	0,25	3,6	315	0,5	3205
274	2,25	7,9	265	0,5	694	334	0,75	5,4	315	0,5	2578
275	2,75	8,5	265	0,5	351	335	1,25	6,4	315	0,5	939
276	3,25	9,1	265	0,5	187	336	1,75	7,3	315	0,5	464
277	3,75	9,5	265	0,5	113	337	2,25	7,9	315	0,5	166
278	4,25	10,0	265	0,5	63	338	2,75	8,5	315	0,5	62
279	4,75	10,4	265	0,5	38	339	3,25	9,1	315	0,5	14
280	5,25	10,7	265	0,5	12	340	3,75	9,5	315	0,5	5
281	5,75	11,1	265	0,5	6	341	4,25	10,0	315	0,5	7
282	6,25	11,4	265	0,5	1	342	0,25	3,6	325	0,5	2046
283	0,25	3,6	275	0,5	4199	343	0,75	5,4	325	0,5	1456
284	0,75	5,4	275	0,5	4274	344	1,25	6,4	325	0,5	663
285	1,25	6,4	275	0,5	3084	345	1,75	7,3	325	0,5	369
286	1,75	7,3	275	0,5	2220	346	2,25	7,9	325	0,5	123
287	2,25	7,9	275	0,5	1268	347	2,75	8,5	325	0,5	28
288	2,75	8,5	275	0,5	715	348	3,25	9,1	325	0,5	7
289	3,25	9,1	275	0,5	387	349	3,75	9,5	325	0,5	3
290	3,75	9,5	275	0,5	240	350	4,25	10,0	325	0,5	1
291	4,25	10,0	275	0,5	144	351	0,25	3,6	335	0,5	1528
292	4,75	10,4	275	0,5	87	352	0,75	5,4	335	0,5	1126
293	5,25	10,7	275	0,5	21	353	1,25	6,4	335	0,5	484
294	5,75	11,1	275	0,5	9	354	1,75	7,3	335	0,5	236
295	6,25	11,4	275	0,5	6	355	2,25	7,9	335	0,5	69
296	6,75	11,7	275	0,5	5	356	2,75	8,5	335	0,5	20
297	0,25	3,6	285	0,5	8575	357	3,25	9,1	335	0,5	3
298	0,75	5,4	285	0,5	13772	358	3,75	9,5	335	0,5	3
299	1,25	6,4	285	0,5	10769	359	4,25	10,0	335	0,5	3

N°	Hs	Tp	MWD	n	freq
360	4,75	10,4	335	0,5	2
361	0,25	3,6	345	0,5	1268
362	0,75	5,4	345	0,5	884
363	1,25	6,4	345	0,5	455
364	1,75	7,3	345	0,5	182
365	2,25	7,9	345	0,5	49
366	2,75	8,5	345	0,5	8
367	3,25	9,1	345	0,5	5
368	3,75	9,5	345	0,5	1
369	4,25	10,0	345	0,5	3
370	4,75	10,4	345	0,5	3
371	0,25	3,6	355	0,5	1146
372	0,75	5,4	355	0,5	810
373	1,25	6,4	355	0,5	399
374	1,75	7,3	355	0,5	178
375	2,25	7,9	355	0,5	30
376	2,75	8,5	355	0,5	5
377	3,25	9,1	355	0,5	7
378	3,75	9,5	355	0,5	2
379	4,25	10,0	355	0,5	1

Tabella 6.1 – Condizioni ondose utilizzate al contorno offshore del modello d’onda.

Per le condizioni al contorno laterali sono state definite delle “*Lateral boundary conditions*”. In corrispondenza di una condizione al contorno di tipo “*lateral boundary*” il modello calcola una soluzione semplificata delle equazioni lungo il contorno (approccio monodimensionale) a partire dalle caratteristiche dell’onda nel punto di incontro tra il contorno laterale e quello offshore ed in funzione del profilo batimetrico lungo il contorno laterale stesso. Tale condizione al contorno consente quindi alle onde di propagarsi da e verso l’esterno del dominio di calcolo senza influenzare il risultato all’interno del dominio stesso.

### 6.3 Configurazioni simulate

Al fine di quantificare l’impatto del campo eolico sul moto ondoso sono state predisposte otto simulazioni:

- 4 simulazioni, una per ciascun quadrante di ingresso delle onde, in riferimento alla configurazione di stato attuale;
- 4 simulazioni, una per ciascun quadrante di ingresso delle onde, in riferimento alla configurazione di progetto.

Attraverso le 4 configurazioni (Quadrante 1/2/3/4) sono state condotte le simulazioni idrodinamiche in riferimento alle 379 condizioni di moto ondoso del clima sintetico come definite al paragrafo precedente. Di seguito si riportano le configurazioni simulate dello stato ante e post operam per ciascun quadrante.

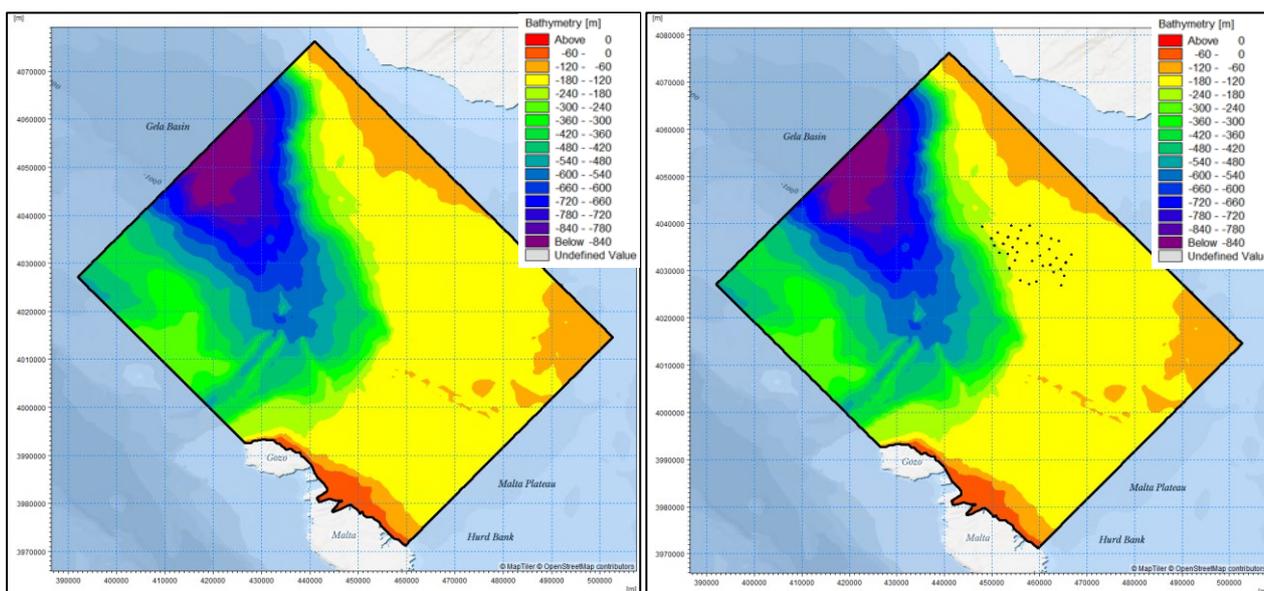


Figura 6-7 - Configurazioni simulate Quadrante 1 (0°-90°): Stato attuale (a sinistra) e Stato di progetto (a destra).

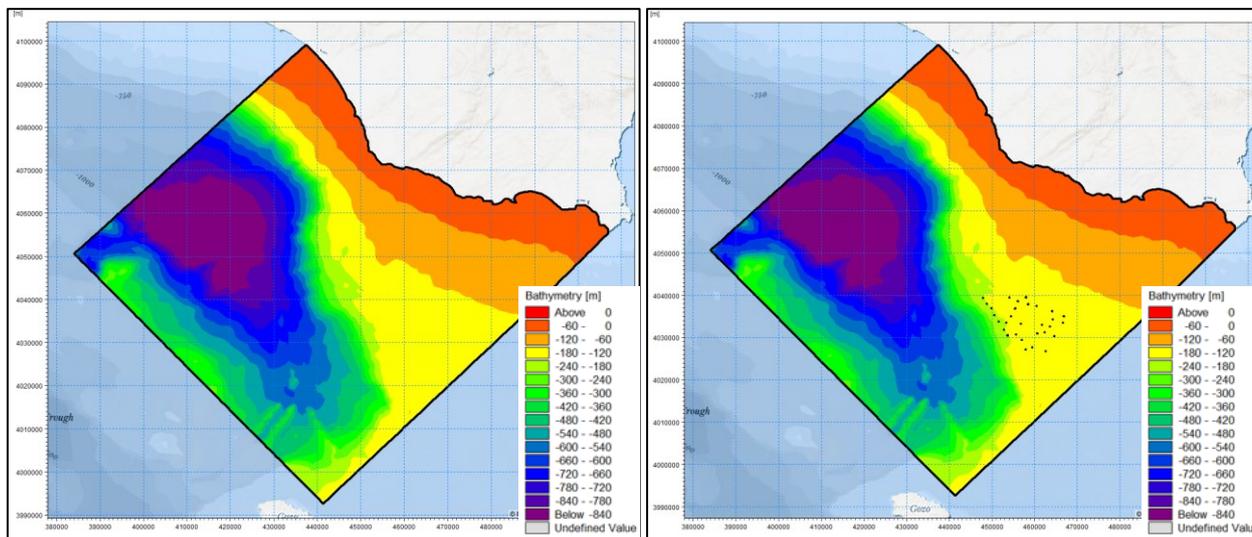


Figura 6-8 - Configurazioni simulate Quadrante 2 (90°-180°): Stato attuale (a sinistra) e Stato di progetto (a destra).

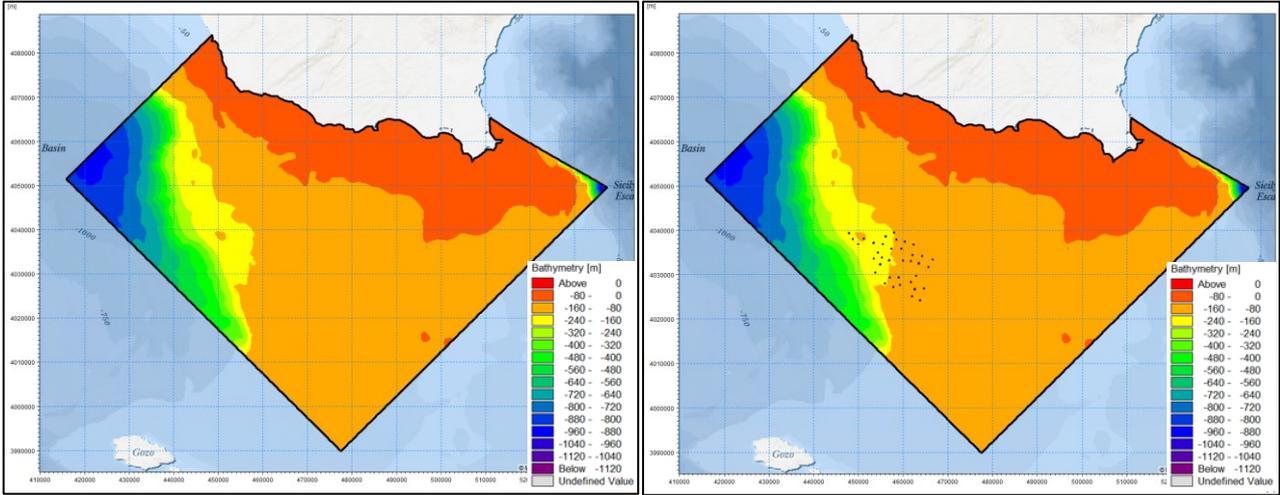


Figura 6-9 - Configurazioni simulate Quadrante 3 (180°-270°): Stato attuale (a sinistra) e Stato di progetto (a destra).

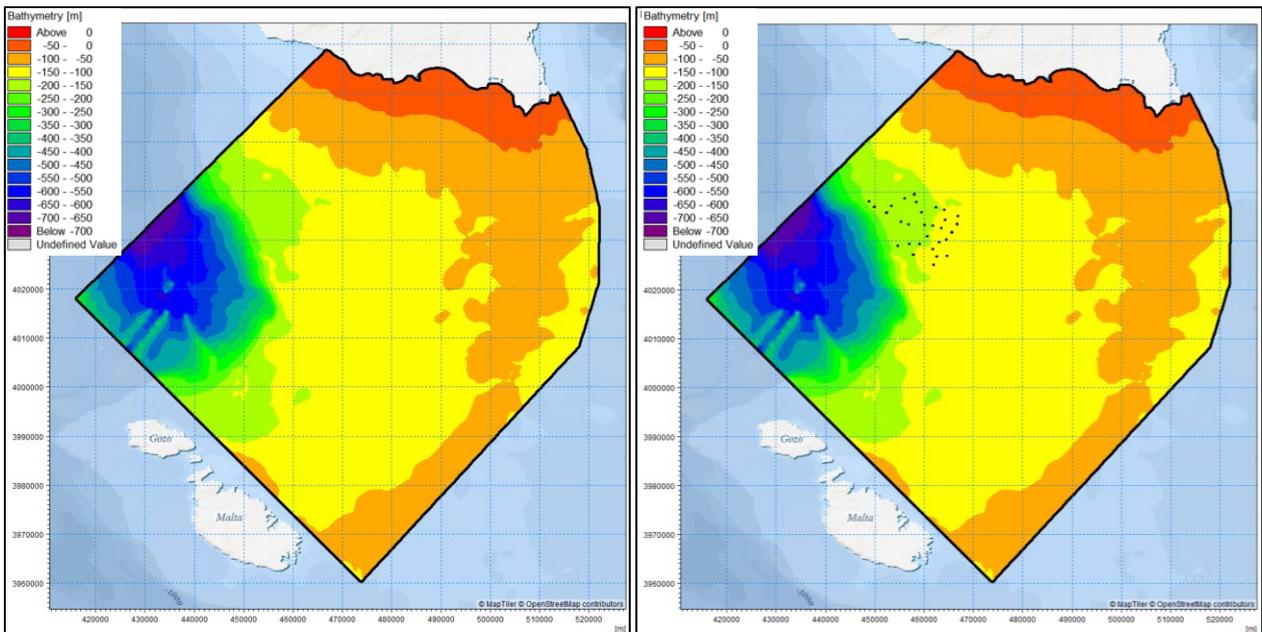


Figura 6-10 - Configurazioni simulate Q4 (270°-360°): Stato attuale (a sinistra) e Stato di progetto (a destra).

## 6.4 Risultati delle simulazioni del modello d'onda

Le simulazioni hanno permesso di ottenere la distribuzione delle principali grandezze di moto ondoso (altezza d'onda significativa, periodo medio e di picco e direzione media di propagazione) in tutti i punti del dominio di calcolo per le otto configurazioni (attuale e di progetto per quattro quadranti) per tutte le 379 condizioni ondose prese a riferimento. Al fine di determinare l'influenza del campo eolico sulla propagazione del moto ondoso, tali risultati sono stati successivamente processati in modo da ottenere la mappa delle differenze tra stato attuale e stato di progetto in termini di altezza d'onda significativa.

### 6.4.1 Mappe di altezza d'onda significativa

Nelle immagini a seguire sono riportate le mappe di altezza d'onda significativa per ciascuno dei quattro domini considerati, simulate per una determinata condizione ondosa.

Da una prima analisi, qualitativa, dei risultati emerge che il campo eolico non determina un'influenza apprezzabile sul moto ondoso, ad eccezione delle zone immediatamente prossime ai galleggianti della fondazione e in prossimità delle stazioni di trasformazione offshore. Nello specifico, analizzando il campo d'onda di dettaglio nell'intorno delle strutture si osserva, come atteso, un incremento dell'altezza d'onda significativa, dovuto al fenomeno della riflessione, nella zona immediatamente antistante la struttura stessa. Viceversa, nell'area retrostante la struttura si verifica una significativa riduzione dell'altezza d'onda significativa dovuta all'effetto blocco del palo.

Nello specifico per il primo quadrante, ossia per condizioni ondose che vanno da 0° a 90°, si riporta di seguito a titolo esemplificativo la condizione d'onda n. 46, caratterizzata da un'altezza d'onda significativa al largo di 3.25 m ed una direzione di 55°N.

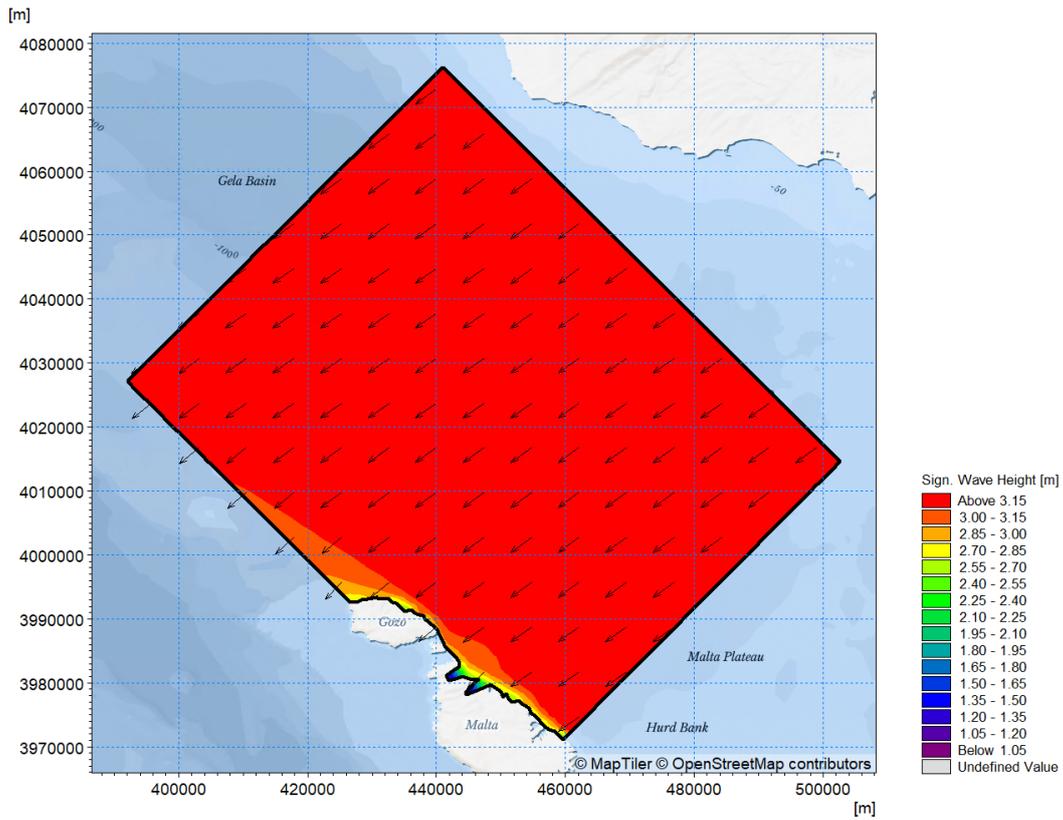


Figura 6-11 - Distribuzione dell'altezza d'onda significativa per il primo quadrante con condizione ondosa n.46 – Stato attuale.

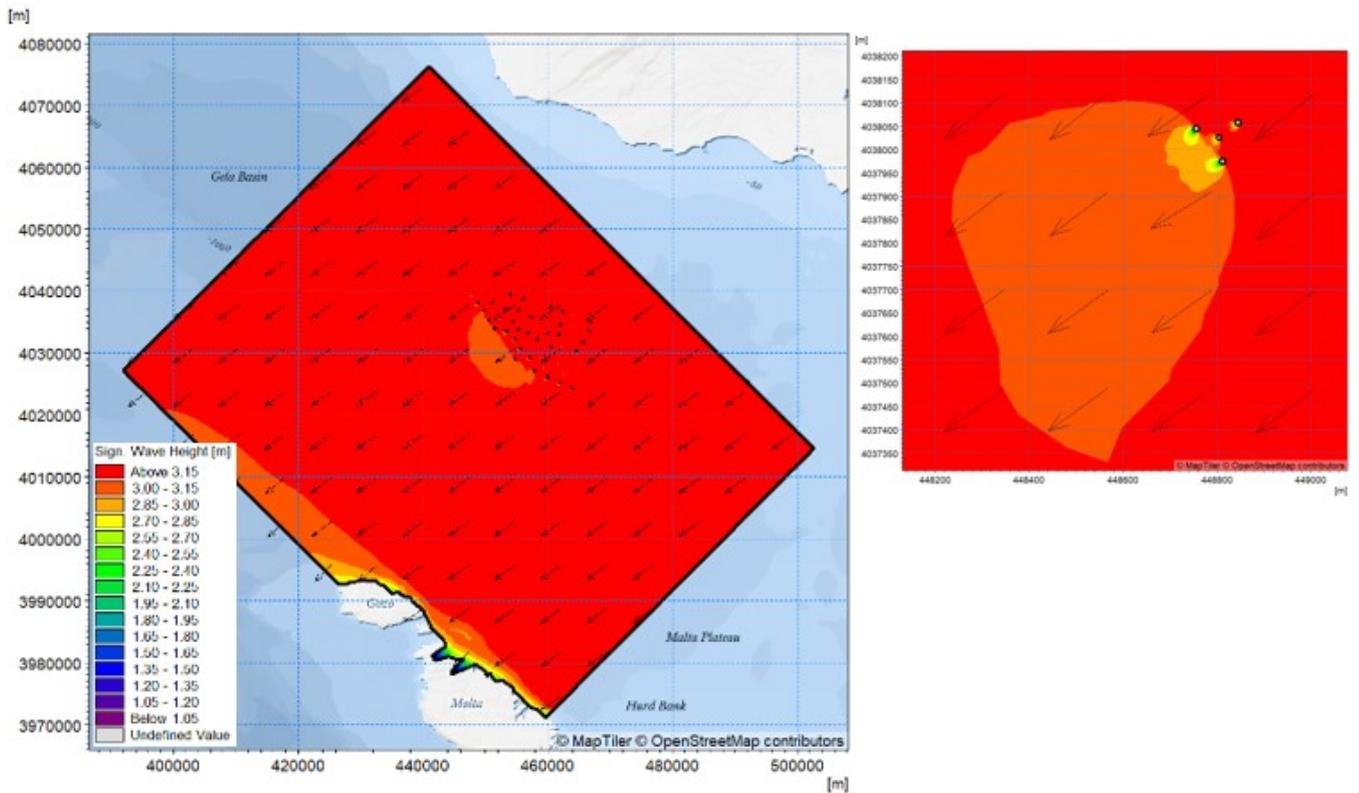


Figura 6-12 - Distribuzione dell'altezza d'onda significativa per il primo quadrante (a sinistra) e nell'intorno del galleggiante (in alto a destra) con condizione ondosa n.46 – Stato di progetto.

Per il secondo quadrante, condizioni ondose da 90° a 180°, si riporta di seguito la condizione n.135 avente altezza d'onda significativa al largo di 5.25 m e direzione di 125°N.

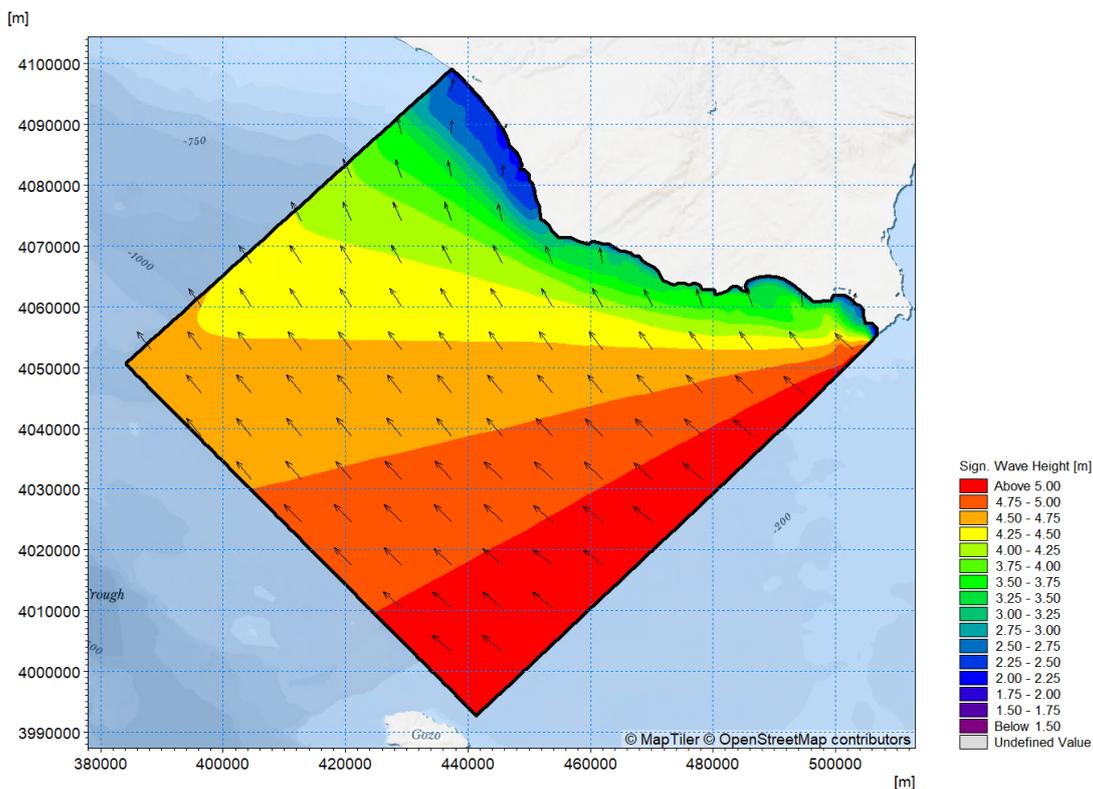


Figura 6-13 - Distribuzione dell'altezza d'onda significativa per il secondo quadrante con condizione ondosa n.135 – Stato attuale.

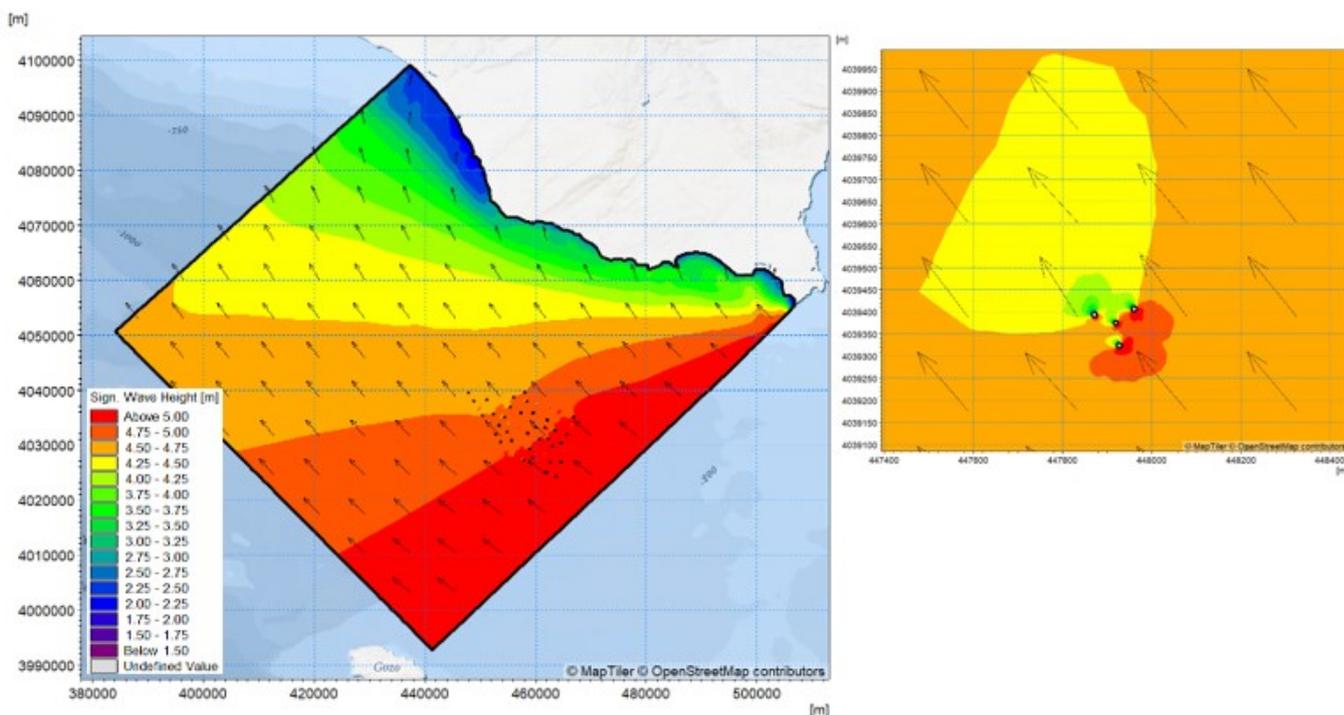


Figura 6-14 - Distribuzione dell'altezza d'onda significativa per il secondo quadrante (a sinistra) e nell'intorno del galleggiante (in alto a destra) con condizione ondosa n.135 – Stato di progetto.

Per il terzo quadrante, condizioni ondose da 180° a 270°, si rappresenta la condizione ondosa n.242 avente altezza d'onda significativa al largo 4.75 m e direzione 235°N.

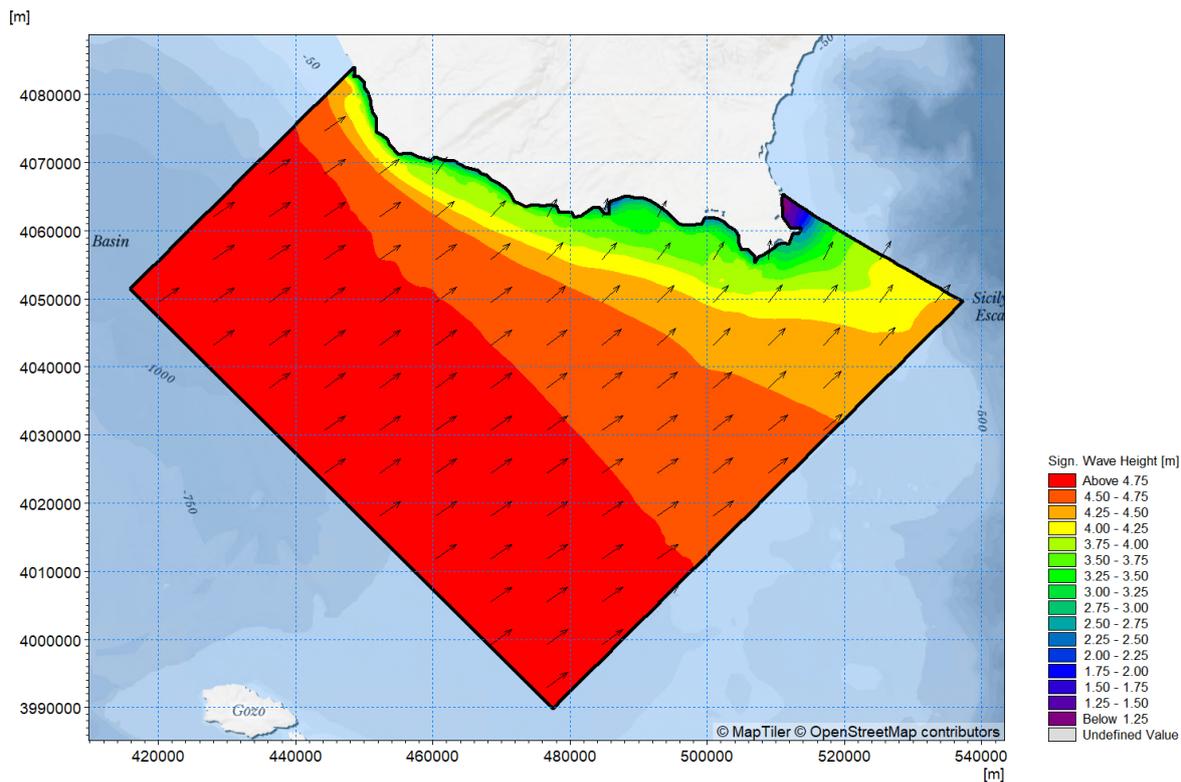


Figura 6-15 - Distribuzione dell'altezza d'onda significativa per il terzo quadrante con condizione ondosa n.242 – Stato attuale.

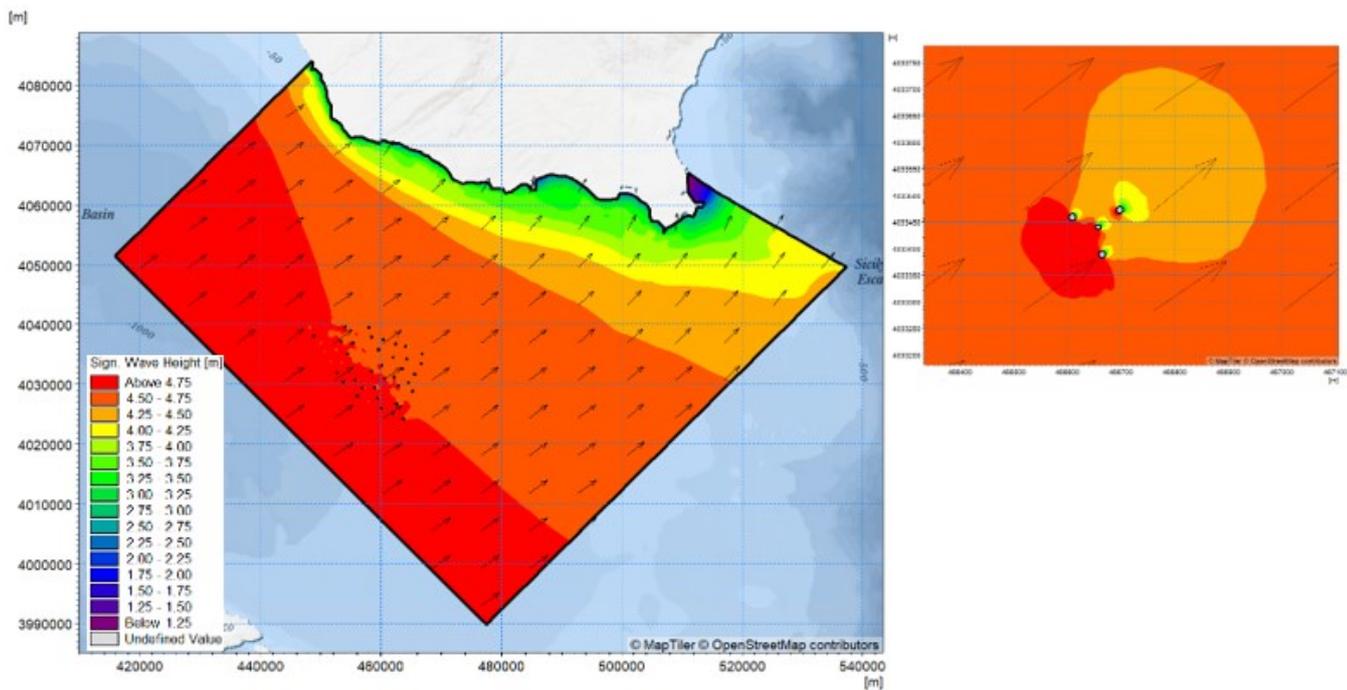


Figura 6-16 - Distribuzione dell'altezza d'onda significativa per il terzo quadrante (a sinistra) e nell'intorno del galleggiante (in alto a destra) con condizione ondosa n.242 – Stato di progetto.

Infine, per la configurazione riferita al quarto quadrante, condizioni ondose da 270° a 360°, si riporta la condizione d'onda n.328, la quale prevede un'altezza d'onda significativa al largo di 2.25 m ed una direzione di 305° N.

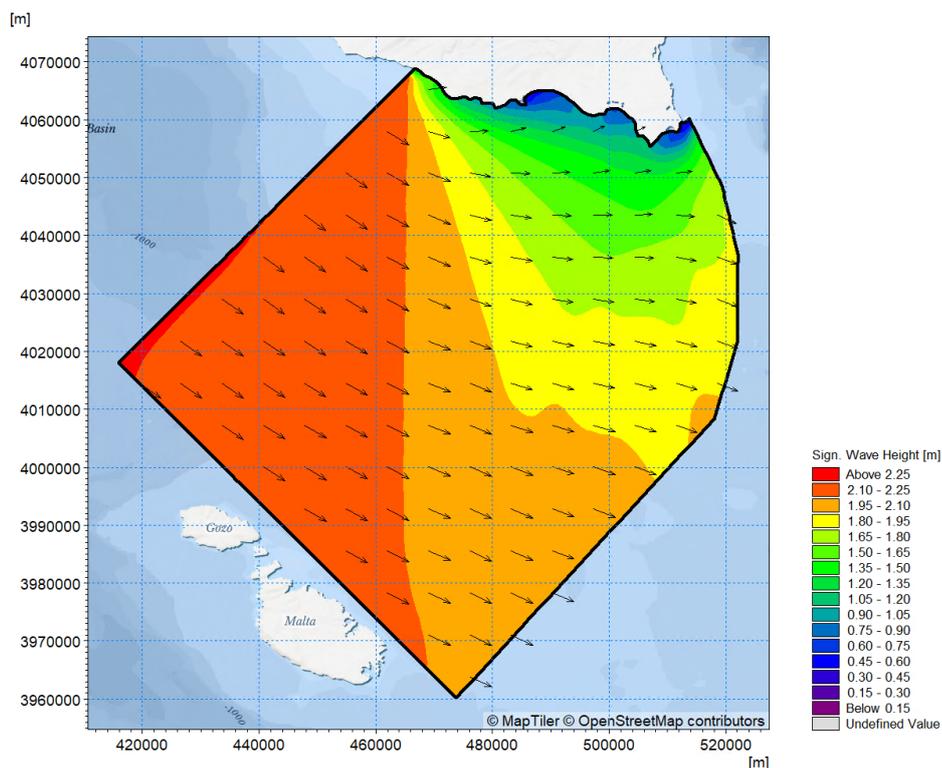


Figura 6-17 - Distribuzione dell'altezza d'onda significativa per il quarto quadrante con condizione ondosa n.328 – Stato attuale.

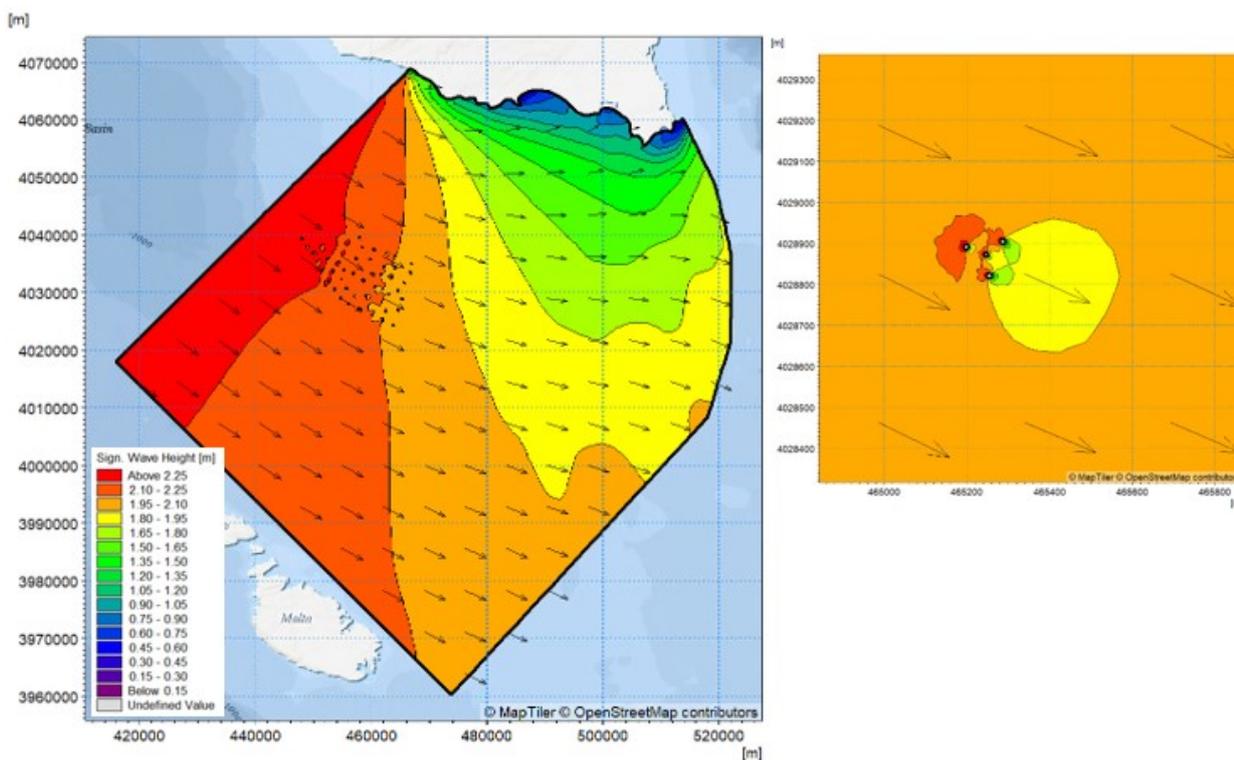


Figura 6-18 - Distribuzione dell'altezza d'onda significativa per il quarto quadrante (a sinistra) e nell'intorno del galleggiante (in alto a destra) con condizione ondosa n.328 – Stato di progetto.

### 6.4.2 Mappe delle differenze di altezza d’onda significativa risultante

Al fine di quantificare l’influenza del campo eolico sul moto ondoso, le valutazioni qualitative sulla singola onda (sezione 6.4.1) non sono naturalmente sufficientemente rappresentative e devono essere integrate sull’intero set di condizioni simulate. I risultati delle simulazioni sono stati pertanto processati con lo scopo di ottenere la mappa delle differenze (tra stato attuale e layout di progetto) di altezza d’onda significativa risultante su tutto il clima.

Operativamente, per ciascuna configurazione simulata è stata dapprima calcolata la mappa di altezza d’onda media risultante, ottenuta pesando i risultati di ciascuna delle 379 condizioni ondose sulla frequenza di accadimento. Infine, sono state calcolate le differenze, in termini di altezza d’onda risultante, tra configurazione attuale e quella di progetto (per ciascuno dei quattro quadranti). Il risultato di tale processamento è illustrato nelle immagini seguenti.

Dall’analisi dei risultati appare evidente l’influenza trascurabile del campo eolico al di fuori delle immediate vicinanze dei floater e delle stazioni di trasformazione offshore. In termini di altezza d’onda media, infatti, la variazione dei valori tra configurazione di progetto ed attuale si attesta su valori compresi tra 10 e 30 cm nei pressi del campo per diminuire fino a 1-4 cm a costa.

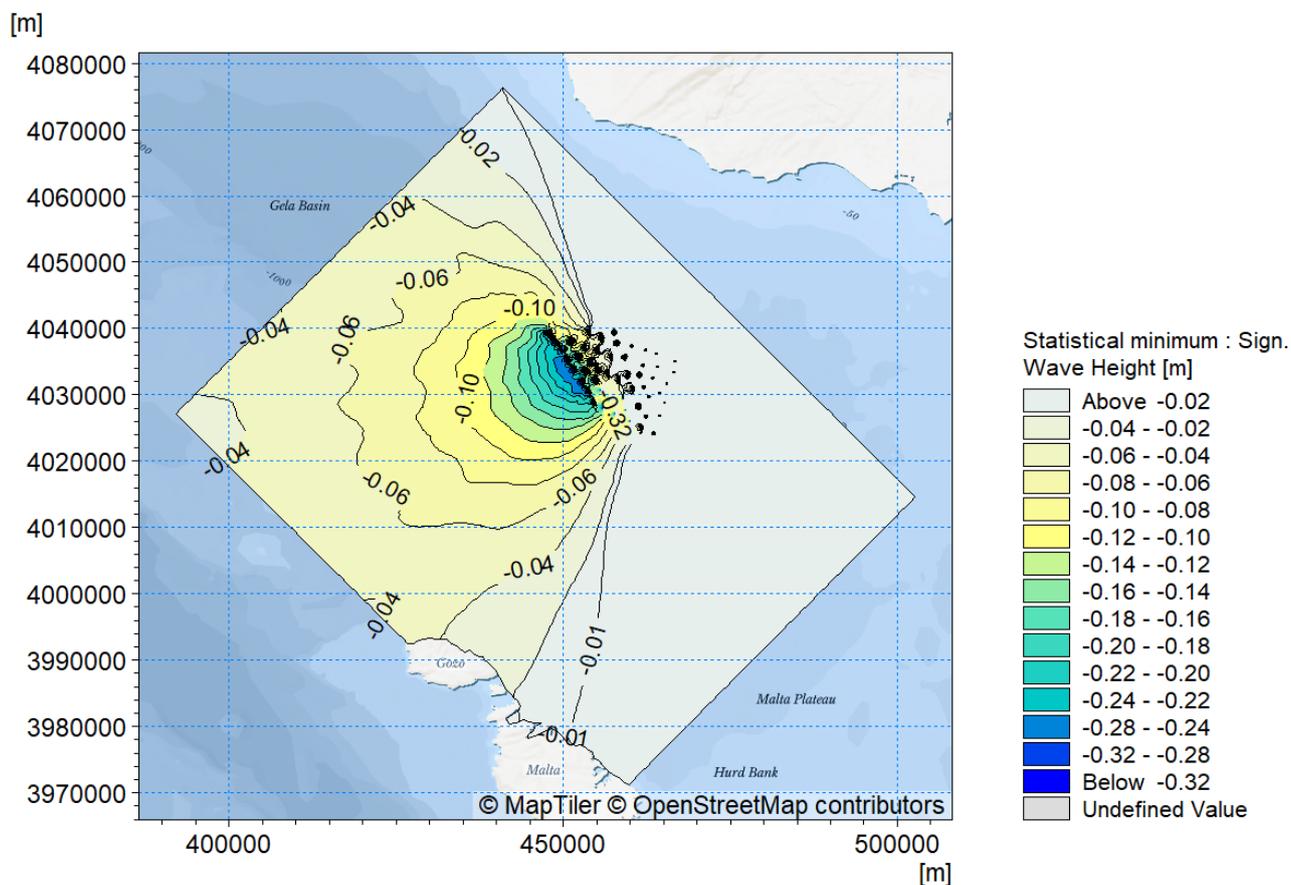


Figura 6-19 - Differenze di altezza d’onda significativa risultante (in metri) tra stato attuale e di progetto – Quadrante 1

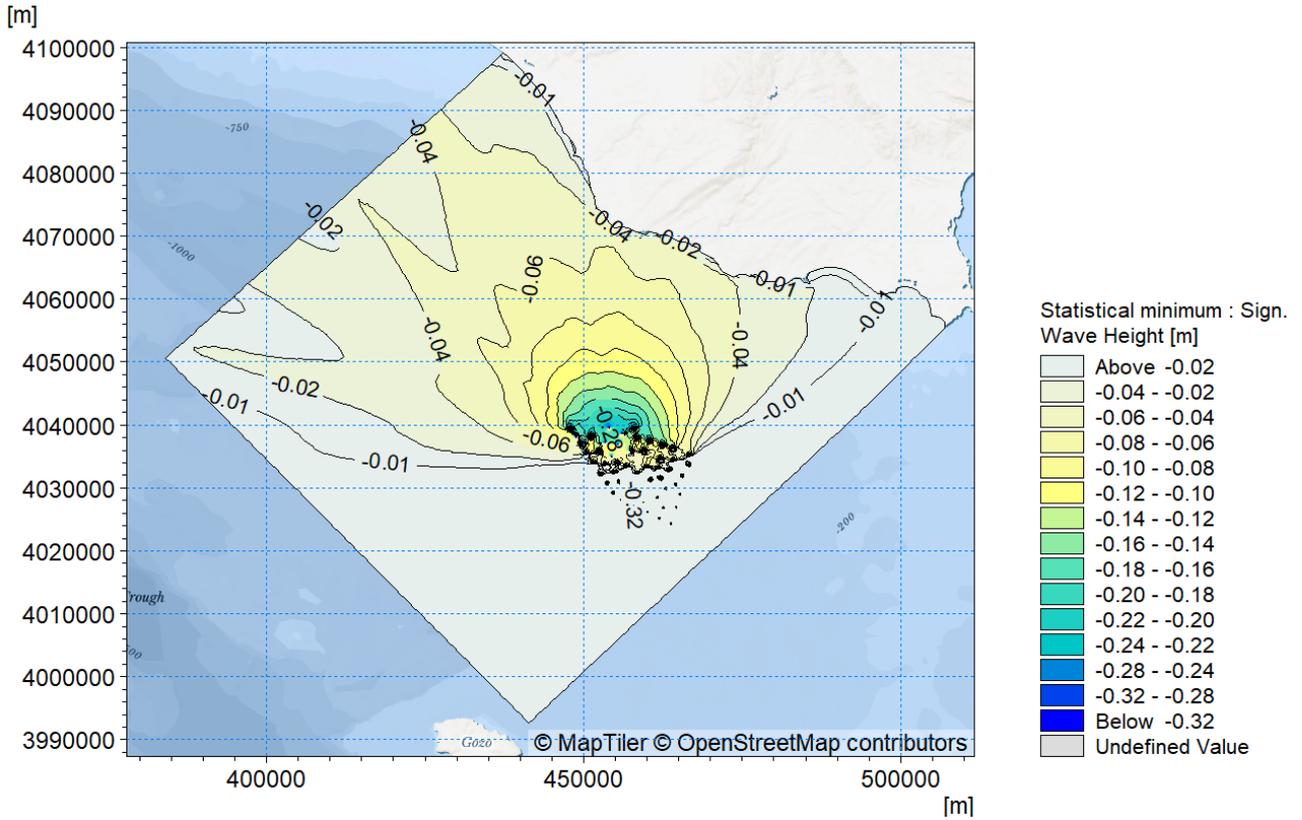


Figura 6-20 - Differenze di altezza d'onda significativa risultante (in metri) tra stato attuale e di progetto – Quadrante 2

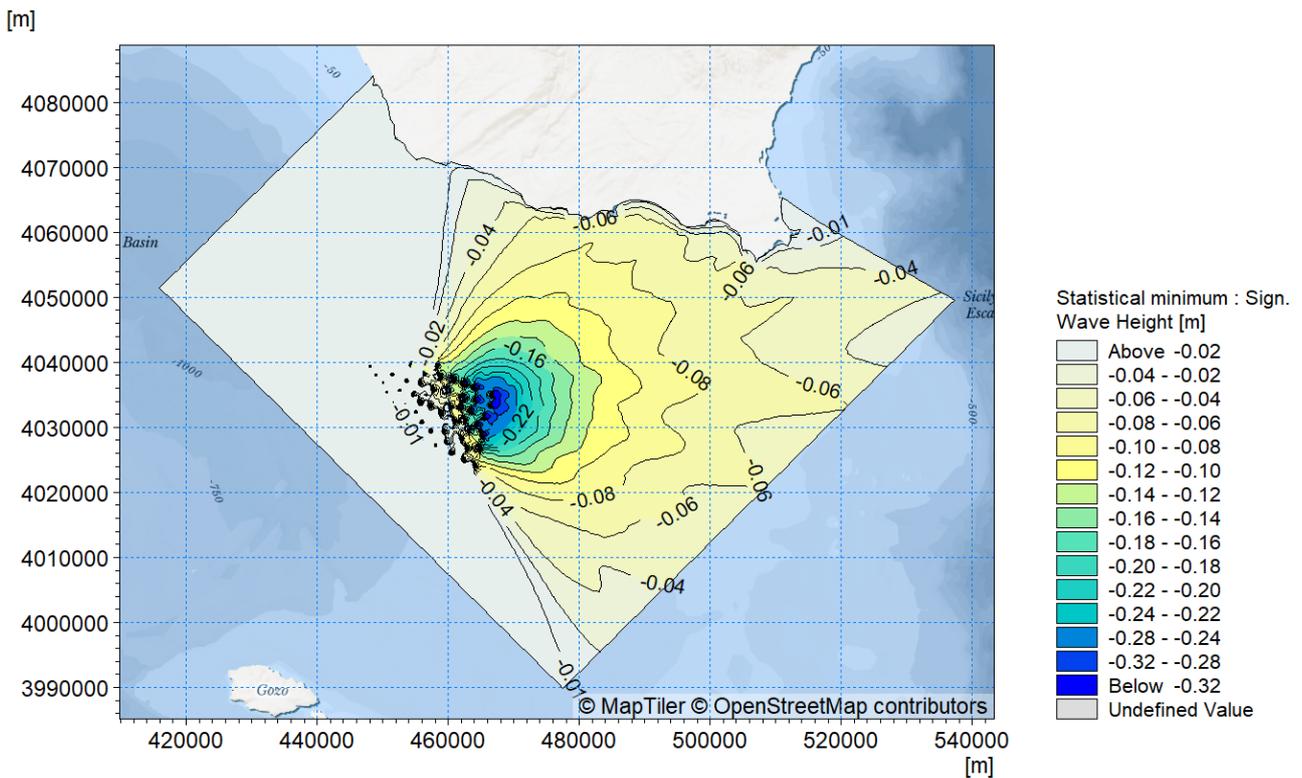


Figura 6-21 - Differenze di altezza d'onda significativa risultante (in metri) tra stato attuale e di progetto – Quadrante 3

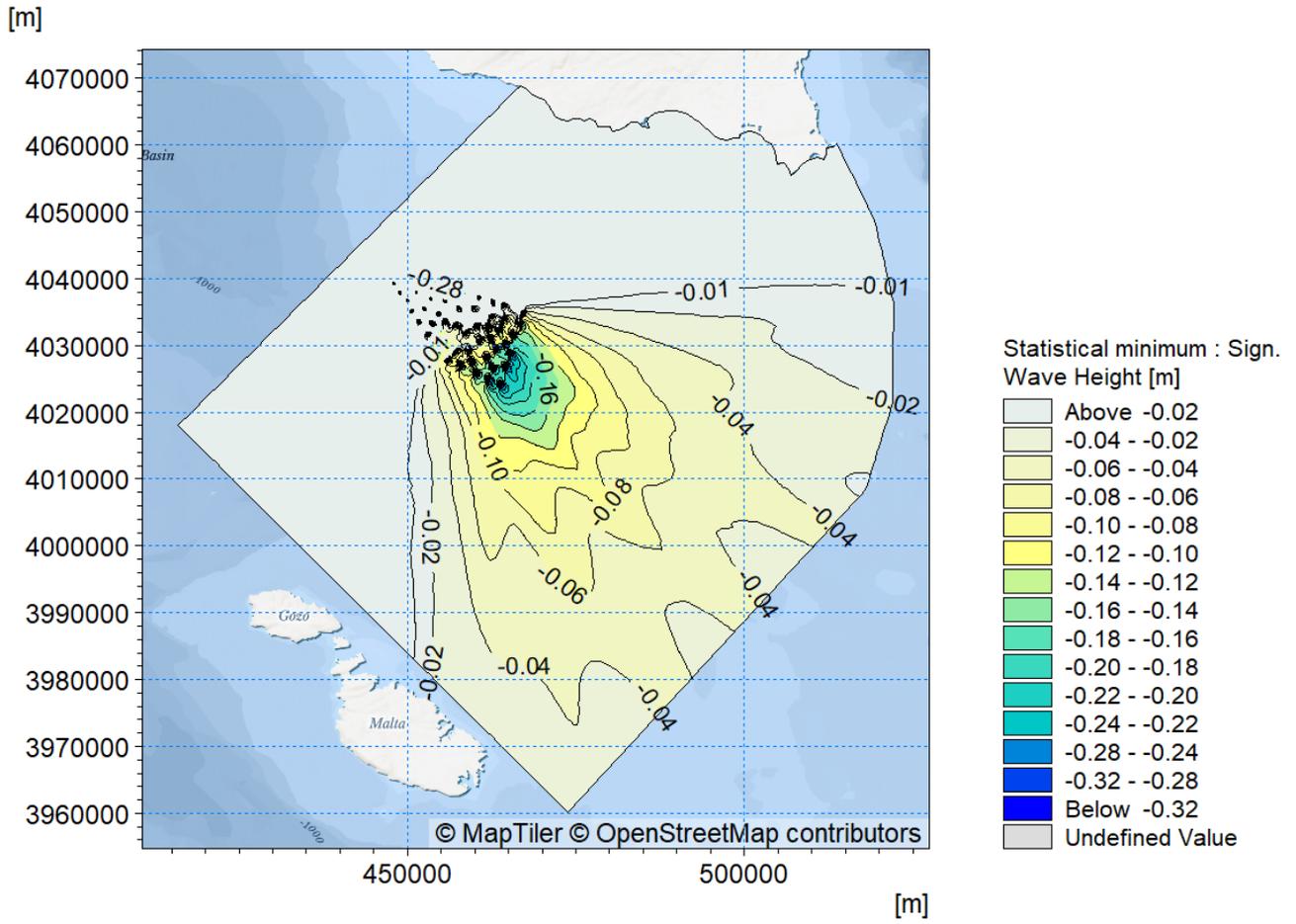


Figura 6-22 - Differenze di altezza d'onda significativa risultante (in metri) tra stato attuale e di progetto – Quadrante 4

### 6.4.3 Mappe delle differenze massime di altezza d'onda significativa

Nelle immagini seguenti sono riportate le mappe delle differenze massime tra configurazione attuale e di progetto, rispettivamente per ciascun quadrante. Nello specifico si osservano, per entrambi i layout (stato attuale e stato di progetto), nella zona compresa tra il campo eolico e la costa differenze massime non superiori a 0.32 m. Considerando che le differenze massime sono associate alle onde più alte simulate, che in corrispondenza del campo eolico presentano valori di altezza significativa dell'ordine di 6.75 – 7.25 m, si può stimare che la variazione massima di altezza d'onda significativa indotta dal campo eolico sia pari a circa il 2-5% dell'altezza d'onda indisturbata.

Tali percentuali risultano perfettamente in linea con quanto riportato nella trattazione più generale sugli impatti dei parchi eolici sulle condizioni d'onda (vd. Sezione 7.3).

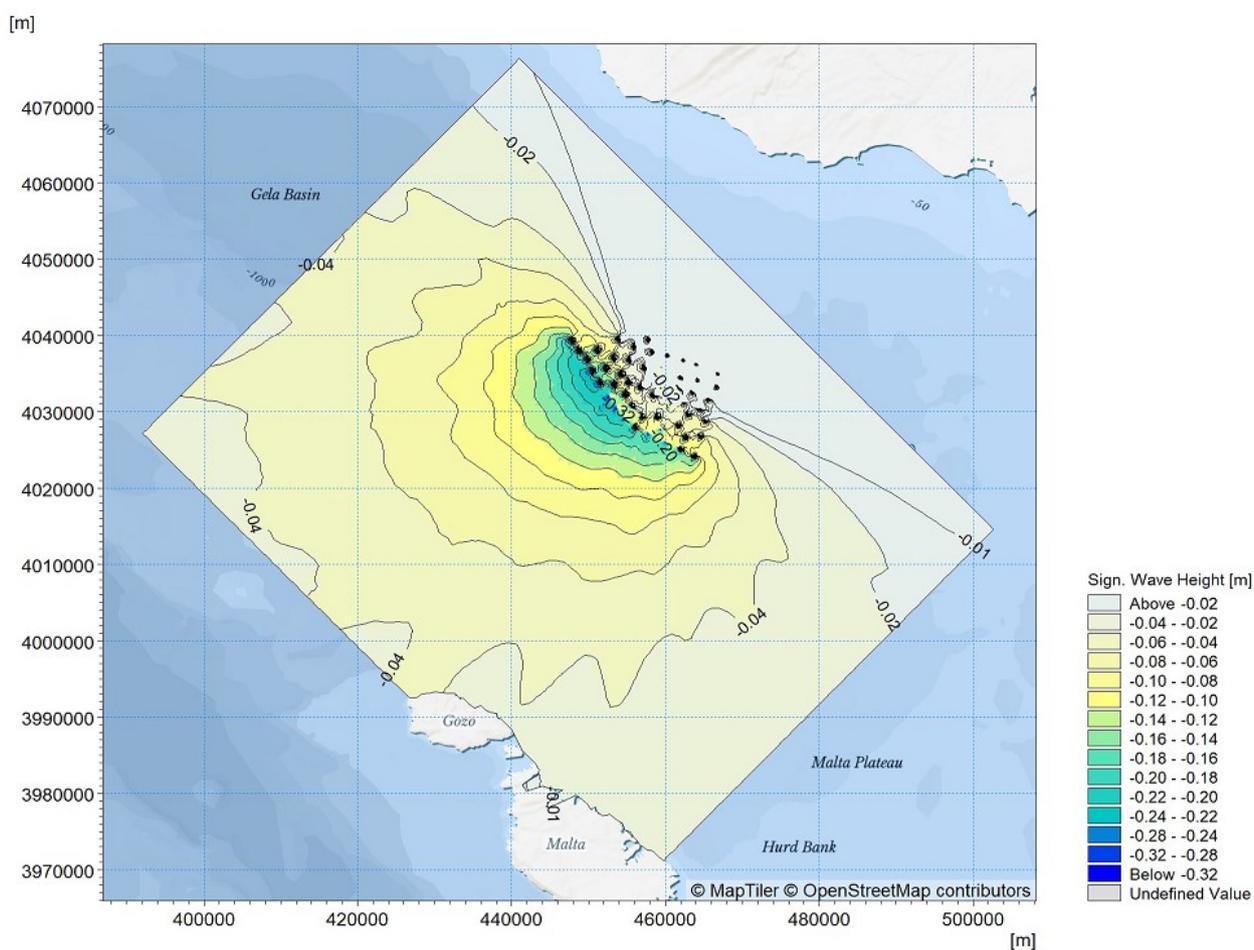


Figura 6-23 – Mappa delle differenze massime di altezza d'onda – Quadrante 1

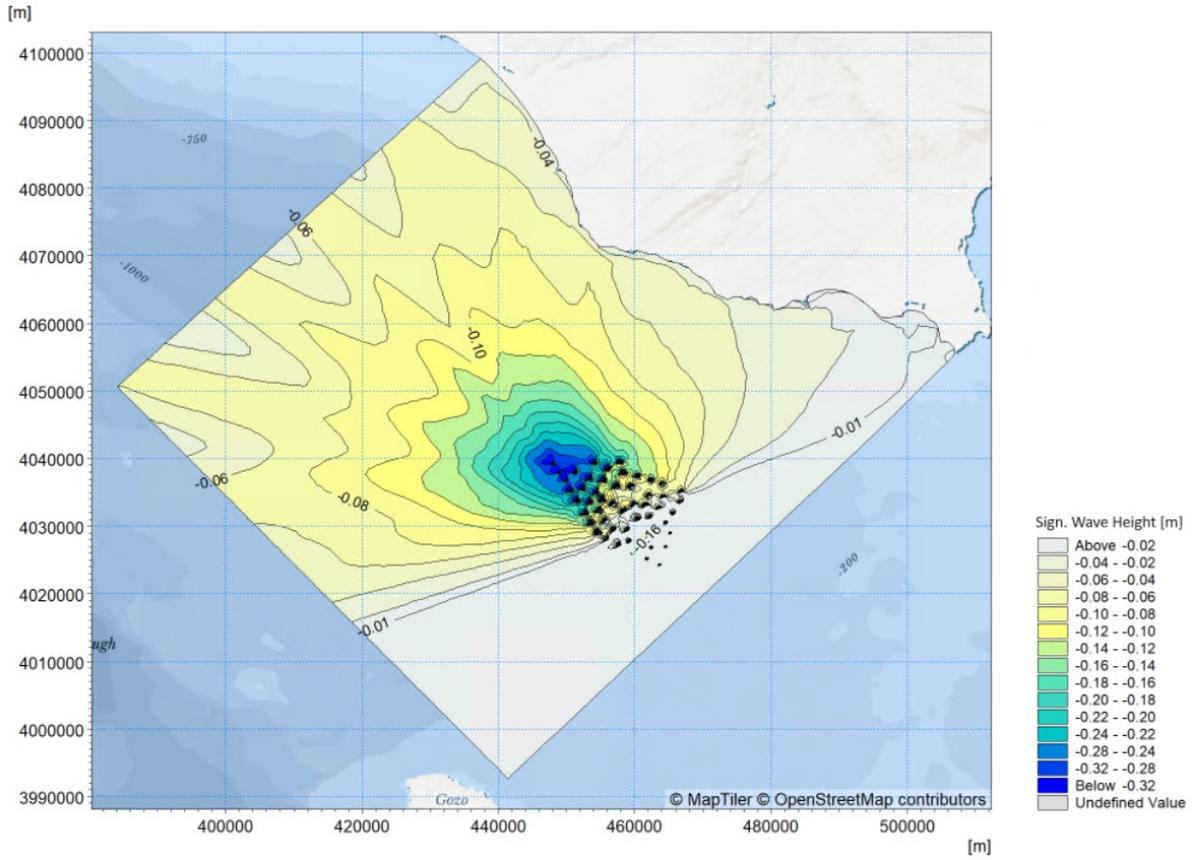


Figura 6-24 - Mappa delle differenze massime di altezza d'onda – Quadrante 2

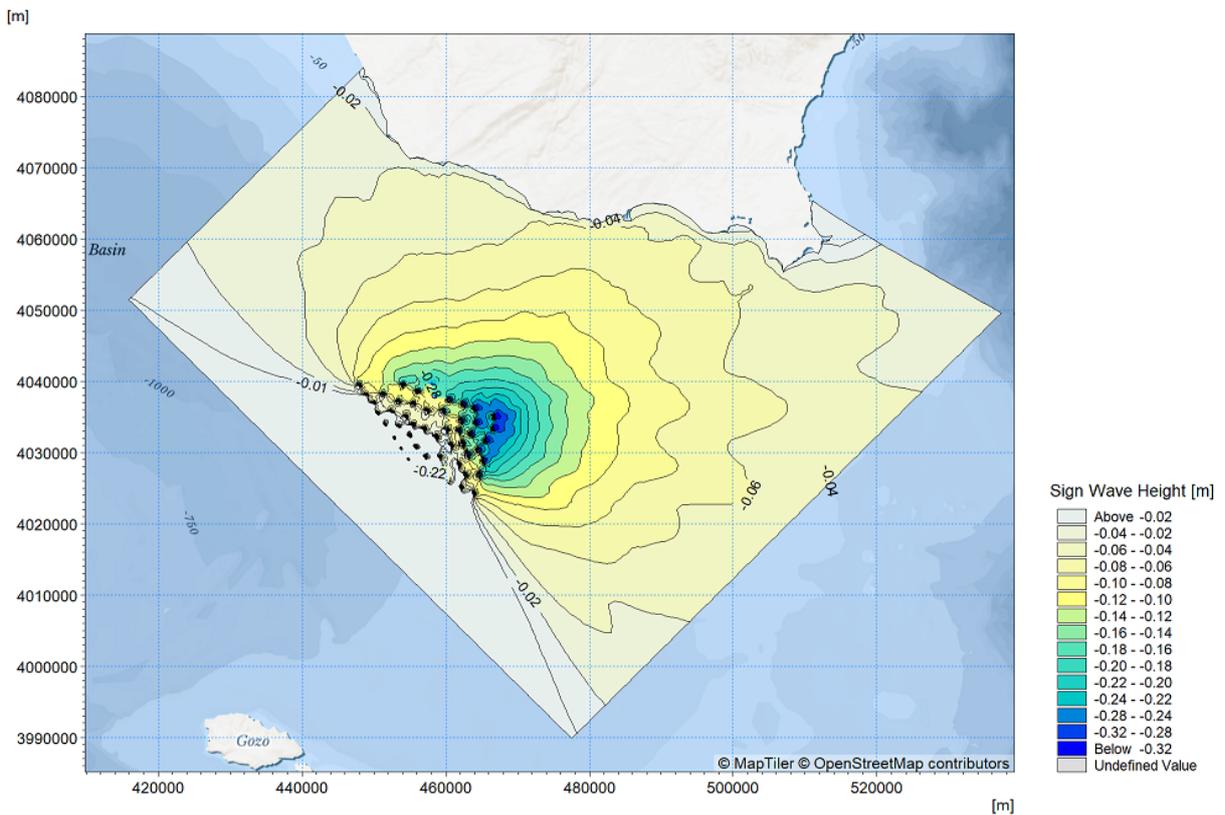


Figura 6-25 - Mappa delle differenze massime di altezza d'onda – Quadrante 3

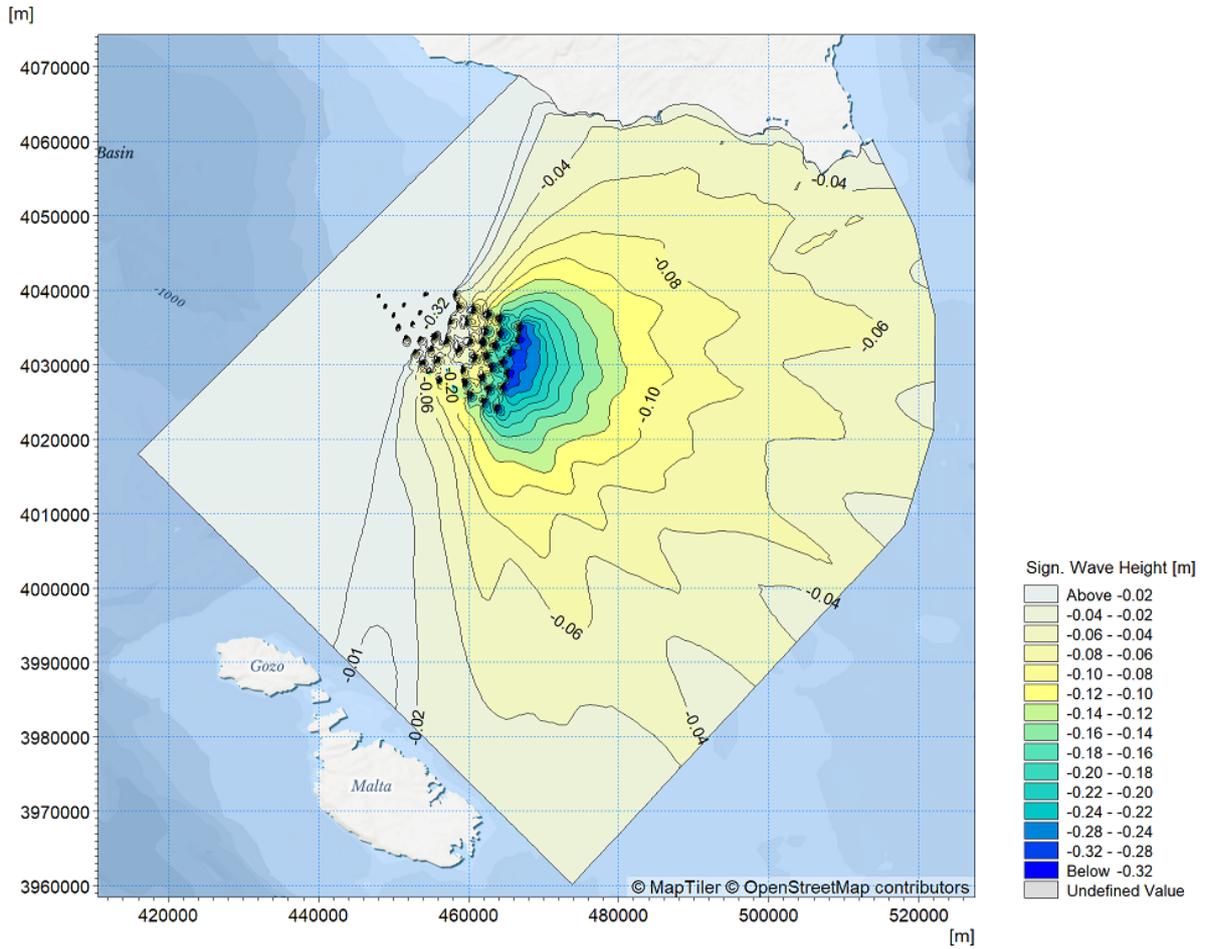


Figura 6-26 - Mappa delle differenze massime di altezza d'onda – Quadrante 4

## 7 APPROFONDIMENTI SUI POTENZIALI IMPATTI DEL CAMPO EOLICO SU VENTO, ONDA E IDRODINAMICA

Ad integrazione delle attività di modellazione numerica illustrate nelle sezioni precedenti, volte a quantificare gli impatti della presenza del campo eolico sul regime di moto ondoso e, conseguentemente, sulle tendenze evolutive del litorale siciliano antistante, si riporta in questa sezione una valutazione più generale e qualitativa dei potenziali impatti attesi su un più ampio spettro di variabili meteomarine, con particolare riferimento, oltre al moto ondoso stesso, al regime di vento e di corrente.

### 7.1 Caratteristiche del campo eolico

La capacità prevista del campo oggetto di analisi “Scicli” è di circa 750 MW, garantita da 50 turbine eoliche (WTG – Wind Turbine Generator), la cui disposizione prevista è illustrata in Figura 7-1. Le profondità interessate dalla presenza dei floater variano tra circa i -150 e -200 m (Figura 7-2). Nell’immagine di Figura 7-1 è raffigurata anche la posizione delle due stazioni di trasformazione offshore (STO1 e STO2). Ciascuna turbina ha una potenza nominale di 15 MW e la distanza minima tra due turbine è di circa 1.5 km. La fondazione delle turbine è prevista della tipologia “galleggiante”, avente 3 galleggianti laterali di diametro 12.5 m ed il galleggiante centrale con diametro 10 m (Figura 7-3). Complessivamente, l’impronta dello specchio d’acqua comprendente il campo eolico è pari a circa 200 km<sup>2</sup>.



Figura 7-1 – Ubicazione delle turbine del Campo Eolico “Scicli” e delle stazioni di trasformazione offshore. La minima distanza da costa è 27 km.

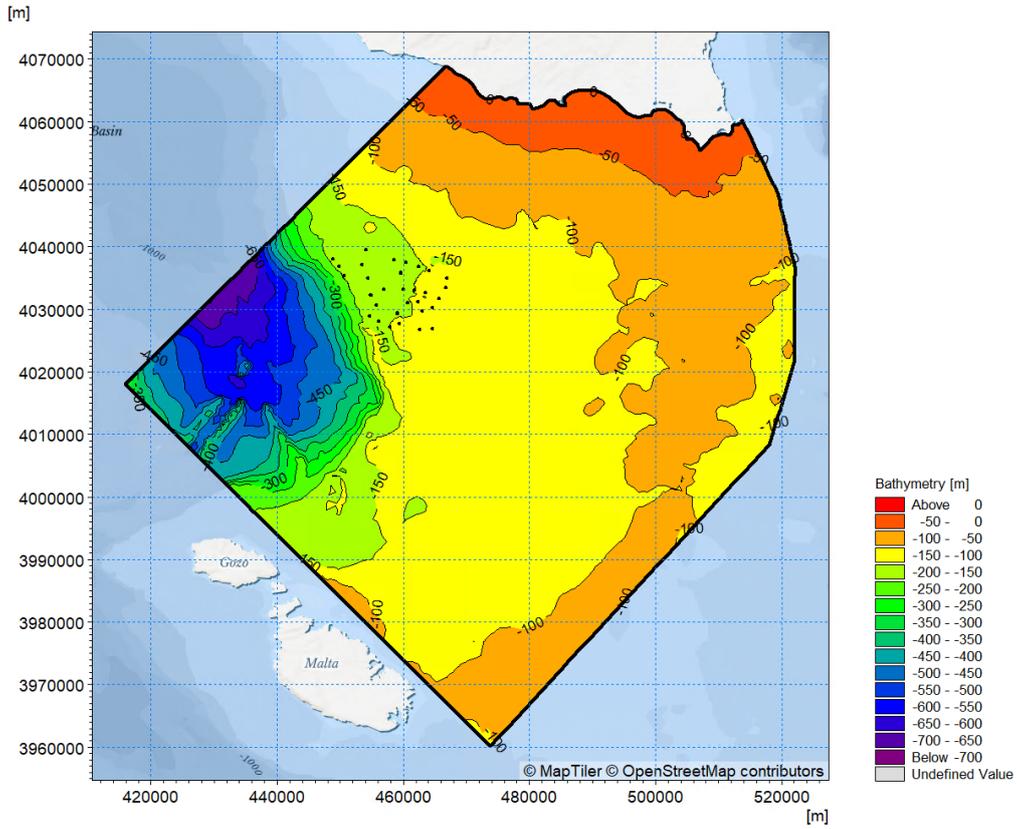


Figura 7-2 - Batimetria dell'area di studio e ubicazione delle turbine del campo eolico Scicli".

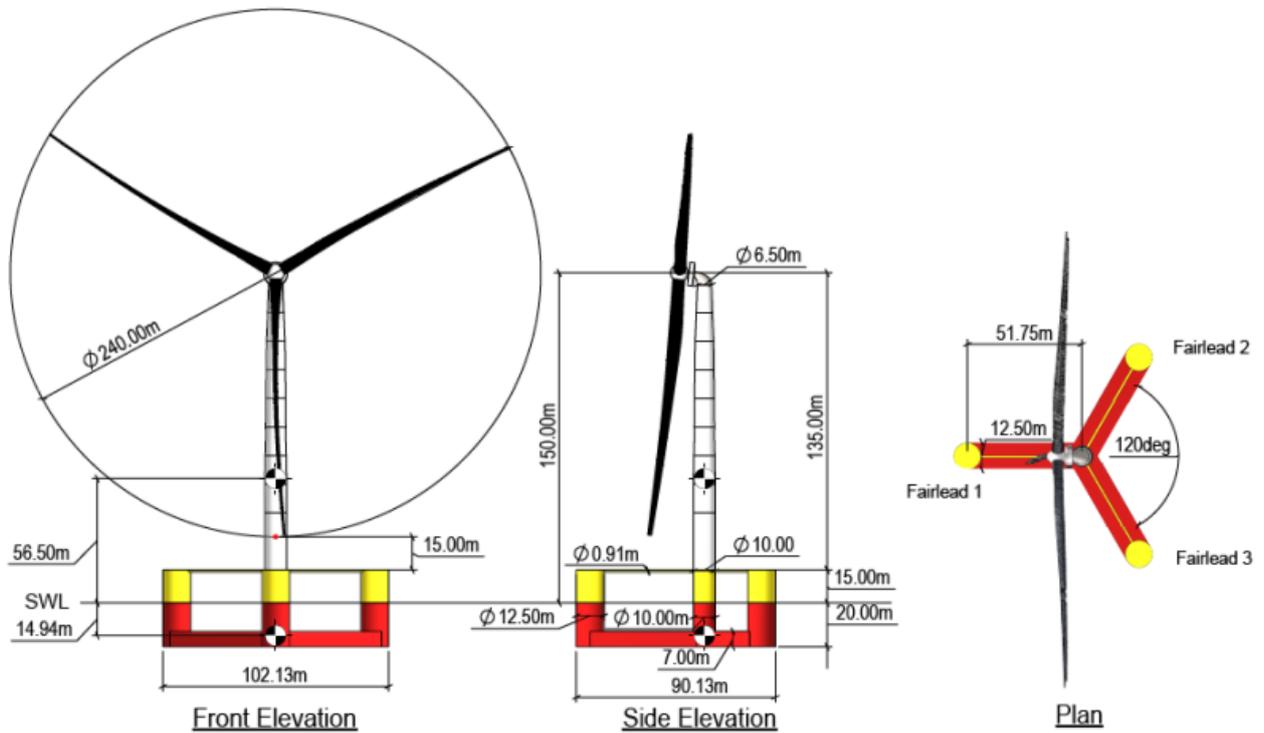


Figura 7-3 - Dettaglio del floater UMaine VolturnUS-S.

## 7.2 Analisi delle variazioni attese per la componente “vento”

Gli effetti più largamente documentati dell'estrazione di energia eolica sulle condizioni atmosferiche locali e regionali è il cosiddetto “effetto scia”. Le turbine eoliche estraggono energia cinetica dall'atmosfera e convertono parte di tale energia in energia elettrica. La parte restante dell'energia viene convertita in energia cinetica turbolenta che genera scie ed una riduzione (sottovento alle turbine) nell'intensità della forzante anemometrica.

Per valutare l'impatto sulla componente vento del Campo Eolico da 158 MW “Horns Rev 1 OWF” (80x2 MW WTG, distanza tra le turbine pari a  $7D$ , dove  $D$  è il diametro del rotore in quel caso pari a 80 m, impronta complessiva pari a circa  $20 \text{ km}^2$  su profondità marine comprese tra i 6 e i 14 m), Christiansen and Hasager (2005, [6]) hanno utilizzato immagini satellitari SAR (Satellite Synthetic Aperture Radar) per stimare l'effetto della riduzione della velocità sottovento alle turbine.

In particolare, è stato stimato che alla quota media del rotore, nell'intervallo di intensità del vento tra 8 e 9 m/s, la velocità sottovento alle turbine si riduce di circa l'8-9% in media rispetto ai valori di intensità sopravvento presa a riferimento per l'analisi (si veda anche Christensen et al (2013, [7])). L'intensità del vento recupera intorno al 2% (rispetto alla velocità indisturbata) entro una distanza compresa tra 5 e 20 km, variabile a seconda della intensità del vento, della stabilità atmosferica e del numero di turbine in funzione.

L'effetto scia del campo eolico Horns Rev 1 OWF è stato ben catturato dalle celebri fotografie aeree del 12 Febbraio 2008 (Hasager et al (2013, [8][9])).

Un'altra analisi, molto recente, dell'impatto dei parchi eolici sulle dinamiche atmosferiche locali e sulle distribuzioni spazio-temporali dei deficit di velocità del vento in una configurazione che contempla sia la presenza delle wind farm del Mare del Nord esistenti, sia di quelle in corso di realizzazione è stata condotta da Akthar et al. nel 2021 [9][10]. In particolare, l'analisi è stata condotta utilizzando un modello climatico ad alta risoluzione che ha previsto una parametrizzazione delle turbine eoliche. I risultati di questa analisi hanno dimostrato che cluster di grandi wind farm ( $> 500 \text{ MW}$ ) possono potenzialmente determinare una riduzione della velocità media del vento di circa 2-2.5 m/s (ovvero una riduzione del 20-25% considerando una velocità media del vento pari a 10 m/s) che può essere recuperata ad una distanza di circa 40 km sottovento alle turbine.

Sebbene la velocità media mensile del vento all'altezza del rotore del campo eolico “Scicli” oscilla tra i 4 e gli 8 m/s (intensità più elevate si verificano durante i mesi invernali), inferiore rispetto alle condizioni del Mare del Nord, è verosimile ipotizzare che le intensità del vento si riducano fino a circa il 10%, con un recupero completo entro i 20-30 km sottovento alle turbine. L'analisi della rosa del vento evidenzia che i venti più frequenti sono provenienti dai settori di Levante e Ponente. In particolare, il settore  $240\text{-}300^\circ\text{N}$  e, in maniera minore, il settore  $60\text{-}90^\circ\text{N}$  risultano quelli prevalenti. Tali settori racchiudono circa il 45% dei venti. Dai suddetti settori provengono anche i venti più intensi, con  $WS_{10\text{m},2\text{h}}$  fino a 25m/s e  $WS_{80\text{m},2\text{h}}$  oltre 30 m/s. Nel caso in esame si presume che gli effetti a costa, ubicata a circa 35 km dal centro del campo eolico, siano difficilmente apprezzabili.

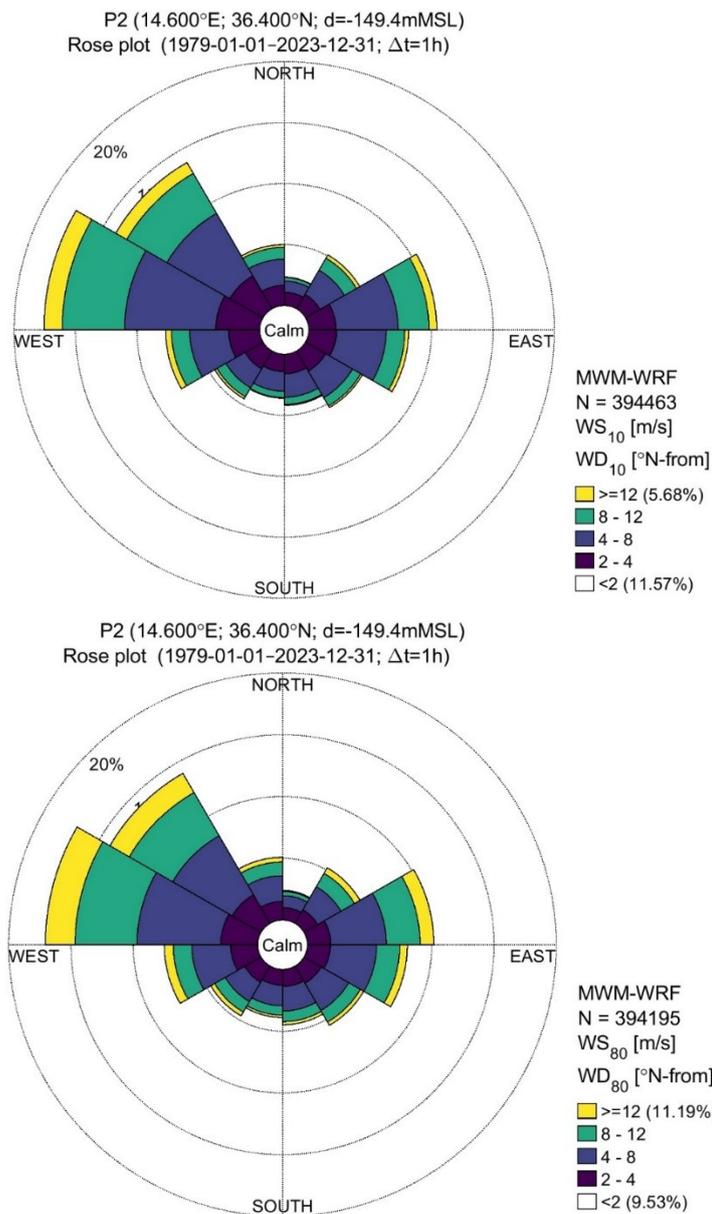


Figura 7-4 - Rosa di velocità del vento WS<sub>2hr</sub> a 10 m slm (sopra) e a 80 m slm (sotto), per il punto P2

Come riportato nella recente e molto completa analisi dei potenziali effetti ambientali degli impianti eolici offshore galleggianti in acque profonde (Farr et al, 2021, [10]) l'effetto complessivo dei parchi eolici offshore galleggianti sulle condizioni meteomarine ricade nel range "Minimal / Moderate", come illustrato nella successiva Figura 7-5.

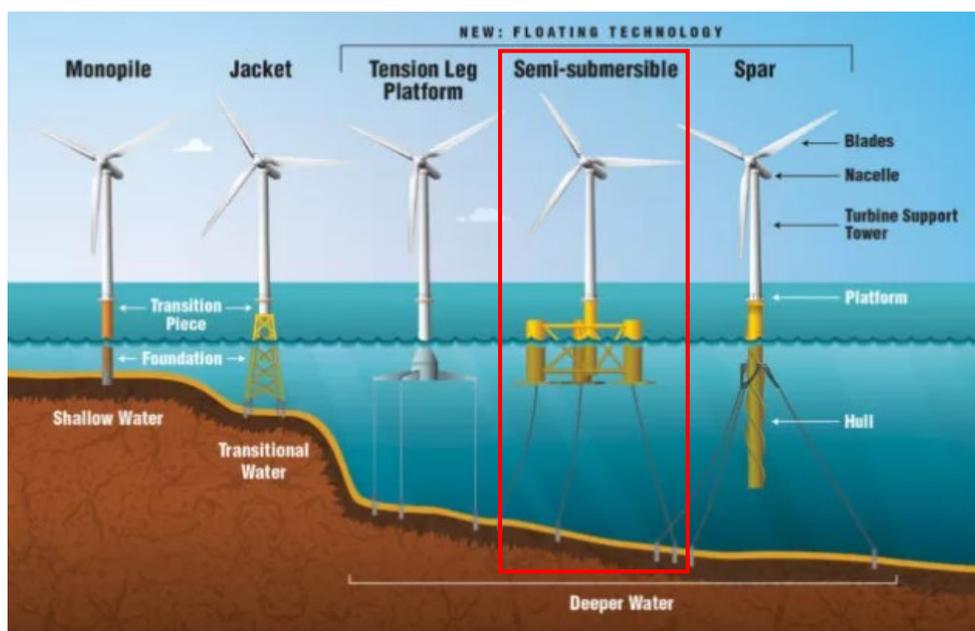
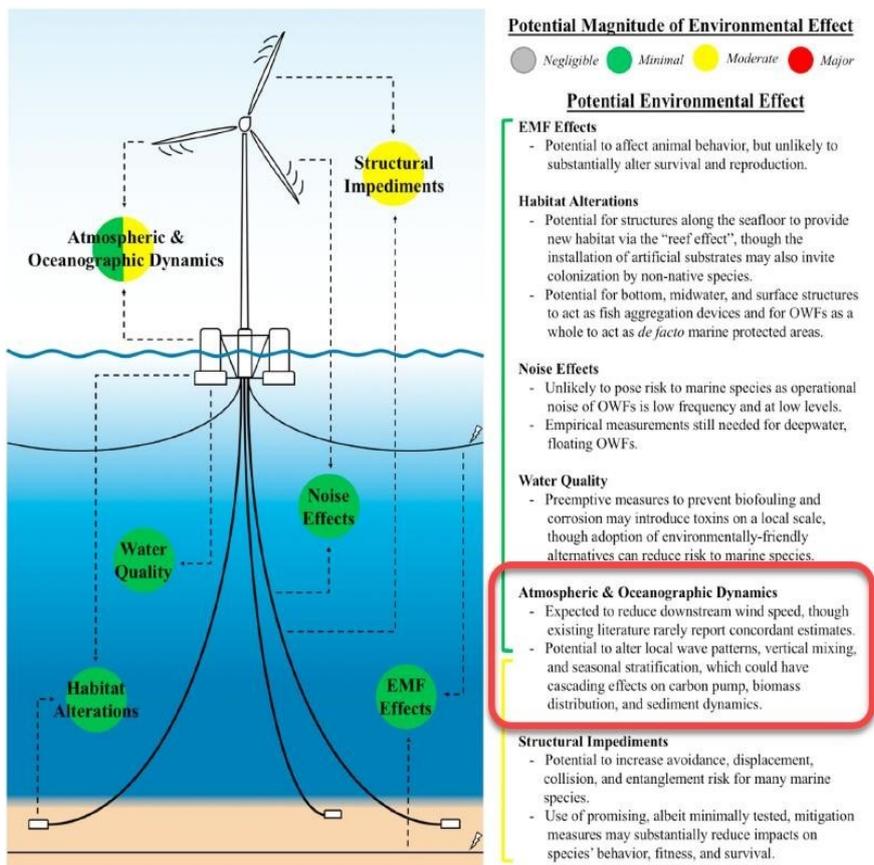


Figura 7-5 - Tipologie ed entità dei potenziali effetti ambientali degli impianti eolici offshore galleggianti. Gli effetti attesi sulle dinamiche atmosferiche e marine sono evidenziati nel riquadro rosso della prima figura. Fonte e illustrazione: Farr et al (2021, [10][11]).

### 7.3 Analisi delle variazioni attese per la componente “onda”

L'impatto, anche apprezzabile visivamente, di una turbina eolica sulla componente onda riguarda l'interazione tra il moto ondoso e la fondazione, che si traduce in una variazione locale di altezza e direzione dell'onda a causa dell'effetto di blocco esercitato dalla fondazione.

Come affermato in Christensen et al (2013, [7]) si possono fondamentalmente individuare tre diversi processi responsabili della modifica delle caratteristiche delle onde che si propagano attraverso un campo eolico. Tali processi possono essere così sintetizzati:

- Dissipazione dell'energia del moto ondoso dovuta all'attrito e alla separazione dei vortici intorno alla fondazione;
- Riflessione/Diffrazione delle onde che interagiscono con la struttura;
- Effetto delle variazioni del campo di vento nell'area sottovento alle turbine.

L'effetto risultante di tutti e tre i processi sarà maggiore per le onde di breve periodo (lunghezza d'onda simile alla dimensione del palo) e minore per le onde di lungo periodo (swell). In generale l'effetto della dissipazione dell'energia ondosa per effetto dell'attrito e della separazione dei vortici intorno alla fondazione è piccolo rispetto agli altri due processi.

	Wave Changing Processes		
	Dissipation of wave energy due to drag resistance	Reflection/diffraction of waves around the foundation structure	Effect of changed wind field inside and on lee site of the wind farm
Consequence	Due to the local interaction between the waves and foundation structure a part of the wave energy will be transformed into turbulent kinetic energy because of surface friction on the structure and flow separation on the lee site of the structure	A part of the wave energy will be reflected/diffracted around the foundation structure.  This will change the wave conditions significantly, but only locally.	As the generation of wind waves is governed by the surface shear stress on the water surface due to wind, fetch, depth and wind duration, changed wind field means changed wave field.  A reduced wind speed results in a reduced wave height (period).

Tabella 7.1 – Principali processi coinvolti nella variazione delle condizioni d'onda per effetto di un parco eolico. Christensen et al (2013, [7]).

Presso DHI, Christensen et al (2013, [7]) hanno sviluppato una metodologia per la valutazione degli effetti di un campo eolico sulla componente onda basata sull'applicazione dei codici numerici MIKE 21 SW<sup>1</sup> e WAMIT™ (predecessore del codice di calcolo MIKE 21 MA<sup>2</sup> oggi disponibile nella suite di modelli numerici MIKE by DHI). Tale metodologia è stata utilizzata per le analisi di dettaglio in riferimento al campo eolico Horns Rev 1 OWF sopra menzionato. I risultati hanno mostrato che la massima riduzione in termini di altezza d'onda significativa nell'area sottovento della OWF è nell'ordine del 5% nelle vicinanze del campo eolico mentre a circa 20 km dalla OWF il deficit si riduce a circa l'1%. Il periodo d'onda rimane altresì sostanzialmente invariato. Tale analisi è stata condotta nell'assunzione, conservativa per questo tipo di valutazioni, di stati di mare stazionari.

Due parchi eolici lievemente più grandi (200 MW Vesterhav South e 200 MW Vesterhav Nord) saranno realizzati lungo la costa occidentale dello Jutland (Mare del Nord), a nord di Horns Rev1 (Figura 7-6). Questi parchi eolici interesseranno profondità di circa 15-30 m e saranno localizzati a soli 4 km dalla costa. Ciascun campo coprirà un'area di circa 44 km<sup>2</sup> e consisterà di 20-21 turbine da 8.4 MW.



Figura 7-6 - Ubicazione dei due campi eolici Vesterhav North [11] e Vesterhav South [12].

Lo studio ambientale dei due parchi eolici, basato sulla metodologia sviluppata da Christensen et al (2013, [7]), ha concluso dopo una dettagliata analisi che complessivamente l'impatto sulla componente onda è molto limitato (*"Minor"*). In particolare, è stato stimato che la riduzione media dell'altezza d'onda significativa varia tra circa l'1 e il 3.5% ed è confinata nell'area del parco eolico.

<sup>1</sup> <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-21/waves/spectral-waves>

<sup>2</sup> <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-21-mooring-analysis>

Lo studio ambientale relativo al mega parco eolico Hornsea Three (2400 MW, 231 turbine) ubicato lungo la costa del Regno Unito ad una distanza di più di 120 km dalla costa e caratterizzato da un'estensione di circa 700 km<sup>2</sup>) [13]. È stato concluso sulla base di una dettagliata modellazione numerica, che la massima riduzione dell'altezza d'onda significativa è pari a circa il 15% nell'area del campo eolico, mentre si limita a meno del 2.5% a 50 km di distanza dallo stesso.

Un altro parco eolico offshore che può essere preso ad esempio è il Galloper OWF [14], ubicato (Figura 7-7) nel Mare del Nord, circa 27 km al largo della costa del Suffolk (UK). Il campo eolico, inaugurato nel 2018, ha una produzione di circa 353 MW ed è costituito da 56 turbine eoliche da 6.3 MW basate ad una profondità variabile tra 27 e 36 m. Sebbene la velocità media del vento sia circa doppia rispetto a quella del campo eolico previsto al largo di Scicli, le condizioni di onda in corrispondenza di Galloper OWF sono piuttosto simili a quelle della OWF "Scicli", in virtù delle schermature offerte dalla costa. La Galloper OWF è stata autorizzata nel 2011 e le conclusioni dello Studio di Impatto Ambientale del campo eolico sull'ambiente fisico riportano che le variazioni sono confinate nell'area della farm e nelle zone immediatamente adiacenti. Gli effetti "di campo lontano" sono stati valutati del tutto trascurabili.

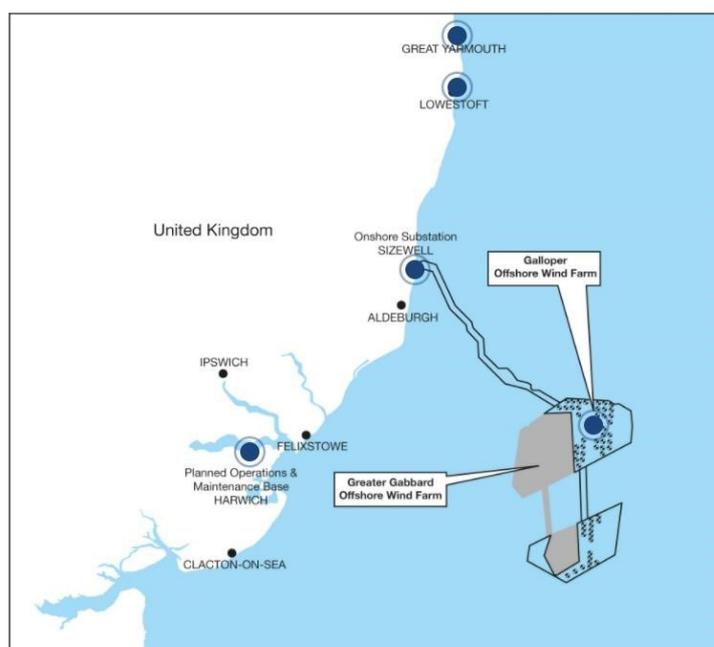


Figura 7-7 - Ubicazione del campo eolico Galloper OWF (353 MW) nel Mare del Nord (UK).

Sulla base dei riferimenti sopra menzionati si può affermare che con ogni probabilità il campo eolico "Scicli" può verosimilmente determinare una riduzione inferiore, o tutto al più uguale, al 5% delle altezze d'onda nelle immediate vicinanze sottovento alle turbine, mentre gli effetti a costa si attendono trascurabili. Tali conclusioni risultano ampiamente suffragate dalle analisi modellistiche di dettaglio illustrate nella prima parte del presente elaborato (vedi capitolo 6.4.3).

In sintesi, l'atteso impatto complessivo del campo eolico al largo di Scicli sulla componente onda è classificabile come "Basso-Moderato".

## 7.4 Analisi delle variazioni attese per la componente “idrodinamica”

I due maggiori impatti di un campo eolico sul regime idrodinamico riguardano essenzialmente 1) le variazioni delle condizioni di vento locale dovute all’effetto diretto di estrazione della energia e 2) gli effetti di blocco alle correnti indotti dalla presenza delle fondazioni, con la conseguente turbolenza e rimescolamento locale della stratificazione della colonna d’acqua, come ampiamente documentato nella recente review predisposta da DHI (Van Berkel et al, 2020 [15]). Si veda a tale proposito la Figura 7-8.

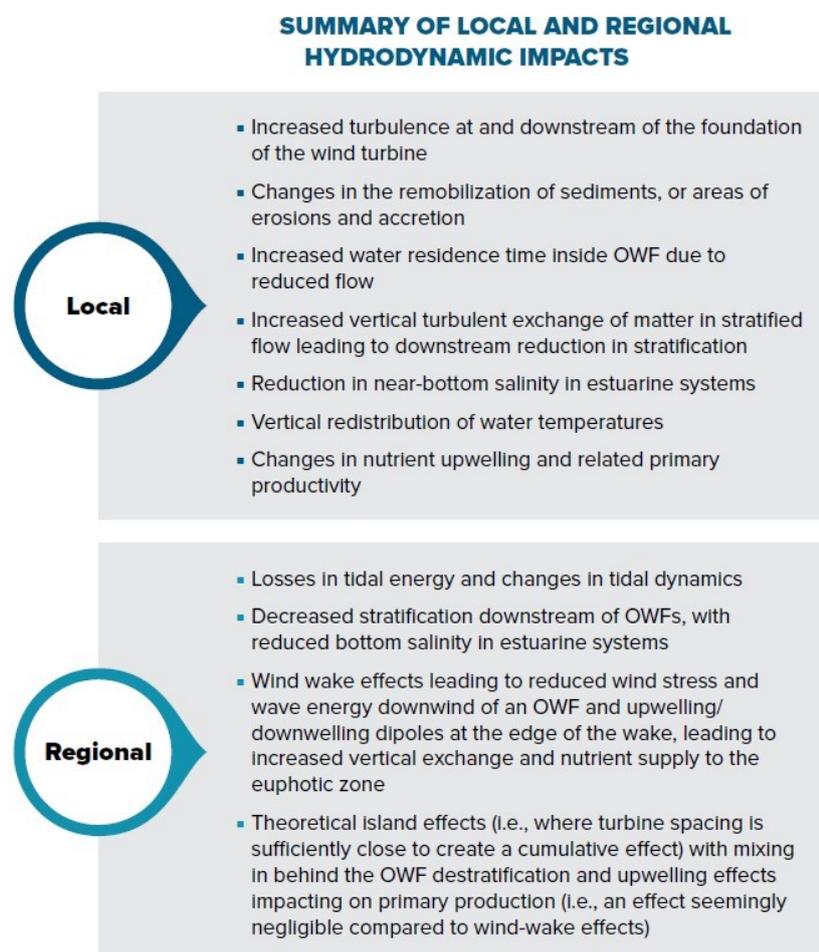


Figura 7-8 - Lista dei potenziali impatti di un campo eolico sulla componente idrodinamica: van Berkel et al (2020, [15]).

La maggior parte degli studi ambientali per i progetti eolici offshore si basa sulla modellazione del regime idrodinamico in presenza ed assenza delle strutture in modo da quantificare gli impatti attesi. Tali modelli numerici tengono generalmente conto dell’effetto di blocco esercitato dalle fondazioni attraverso un approccio che riproduce questi processi ad una scala “sotto-griglia”. I risultati di tali studi dimostrano che l’effetto di blocco del flusso idrodinamico è maggiore nelle immediate vicinanze della turbina o della stazione di trasformazione offshore e si riduce molto velocemente in termini di intensità procedendo a valle della struttura (rispetto alla direzione della corrente). Nelle immediate vicinanze della struttura si assiste spesso ad una locale amplificazione della velocità di corrente.

Questo tipo di approccio è stato anche applicato per l'analisi degli impatti dei campi eolici Vesterhav Sud e Vesterhav Nord menzionati in precedenza, casi nei quali è stato applicato un modello numerico basato sui codici MIKE 21/3 di DHI<sup>3</sup>. I risultati hanno mostrato che le variazioni del campo idrodinamico (sia in termini di corrente che di livello della superficie marina) sono relativamente piccole (<2% di riduzione rispetto alle condizioni indisturbate) e hanno permesso di concludere che gli impatti sulla componente idrodinamica possano essere ritenuti trascurabili. Risultati simili sono stati ottenuti anche per il caso del campo eolico Galloper OWF (< 5% di riduzione locale dell'intensità di corrente).

Relativamente al mega campo eolico Hornsea Three OWF, le variazioni di velocità di corrente stimate variano da +0.04 m/s a -0.1 m/s nelle immediate vicinanze della wind farm. Queste variazioni vanno rapportate all'ordine di grandezza delle intensità di corrente di marea (0.6 m/s in condizioni di MHWS – Mean High Water Springs e 1.0 m/s in condizioni di MLWS – Mean Low Water Springs). Nel caso di Hornsea Three si è concluso che, sebbene il campo eolico determini una certa ridistribuzione delle correnti, le variazioni del flusso complessivo che attraversa la wind farm risultano essere minime e pertanto l'impatto della OWF sul regime di corrente sia a scala locale che regionale (mareale e non) è da ritenersi trascurabile.

Dall'analisi dei valori per il campo eolico "Scicli" emerge che la corrente di marea varia all'interno di un range di valori tra uno e due ordini di grandezza inferiori rispetto alla corrente residua. Mentre i valori medi totali risultano pressoché stabili tutto l'anno con blande oscillazioni contenute entro 10 cm/s, i valori massimi si registrano nei mesi invernali con un evento di picco che si colloca nel mese di gennaio.

Le correnti superficiali totali fluiscono prevalentemente verso Sud-Est durante tutto l'anno, a conferma che la dinamica al punto P1 analizzato è in gran parte determinata da fenomeni di mesoscala. La velocità della corrente totale è inferiore a 0.10 m/s per circa il 10% del tempo, corrispondente a poco più di 1 mese all'anno.

---

<sup>3</sup> <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-21-3>

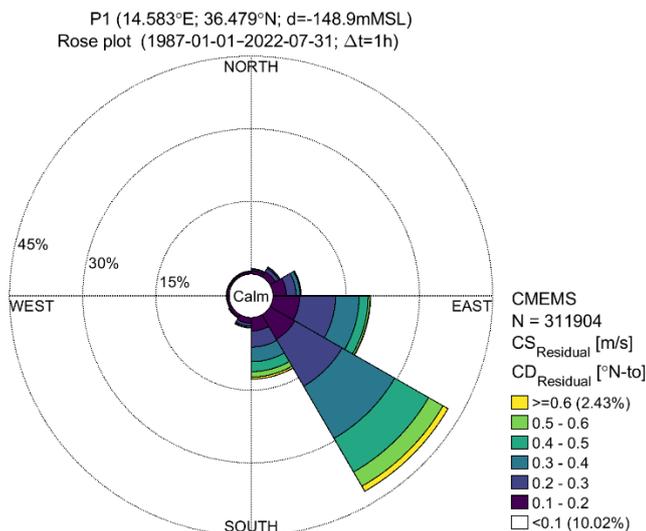


Figura 7-9 - Rosa delle correnti residue superficiali nel Punto P1 (direzioni in °N – verso)

P1  
Frequency of Occurrence [%] (1987-01-01-2022-07-31; Δt=1h) Omni  
CS<sub>Residual</sub> [m/s] - CMEMS

	[0-0.1[	[0.1-0.2[	[0.2-0.3[	[0.3-0.4[	[0.4-0.5[	[0.5-0.6[	[0.6-0.7[	[0.7-0.8[	[0.8-0.9[	[0.9-1[	[1-1.1[	[1.1-1.2[	[1.2-1.3[	[1.3-1.4[	Total	Accum
[330-360[	0.449	0.395	0.153	0.039	0.006	0.003	0.001	0.001	-	-	-	-	-	-	1.045	100.000
[300-330[	0.442	0.330	0.139	0.062	0.014	0.004	0.002	0.002	-	-	-	-	-	-	0.994	98.955
[270-300[	0.467	0.391	0.133	0.043	0.007	0.002	0.001	0.001	-	-	-	-	-	-	1.046	97.961
[240-270[	0.521	0.403	0.113	0.033	0.003	-	0.001	0.001	-	-	-	-	-	-	1.074	96.915
[210-240[	0.640	0.577	0.164	0.042	0.007	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	1.431	95.841
[180-210[	0.866	1.151	0.631	0.251	0.087	0.027	0.005	0.002	0.001	0.002	-	-	-	-	3.022	94.409
[150-180[	1.163	2.764	3.336	3.019	2.047	1.107	0.430	0.143	0.053	0.012	0.004	0.001	-	-	14.080	91.388
[120-150[	1.520	5.846	11.202	12.445	8.027	3.404	1.189	0.327	0.098	0.018	0.006	0.003	-	-	44.084	77.308
[90-120[	1.440	5.458	7.351	4.846	1.850	0.397	0.083	0.020	0.005	0.001	-	-	-	-	21.452	33.224
[60-90[	1.113	2.731	1.989	0.807	0.197	0.034	0.007	0.002	-	-	-	-	-	-	6.882	11.773
[30-60[	0.810	1.249	0.787	0.284	0.057	0.017	0.002	-	-	-	-	-	-	-	3.186	4.891
[0-30[	0.592	0.696	0.298	0.090	0.024	0.005	-	-	-	-	-	-	-	-	1.705	1.705
Total	10.022	21.991	26.296	21.940	12.325	5.000	1.721	0.499	0.158	0.033	0.010	0.004	-	-	100.000	-
Accum	10.022	32.014	58.310	80.250	92.575	97.575	99.296	99.794	99.953	99.986	99.996	100.000	100.000	100.000	-	-

Tabella 7.2 - Tabella delle frequenze di occorrenza [%] della velocità e direzione della corrente residua superficiale nel Punto P1 (direzioni in °N – verso)

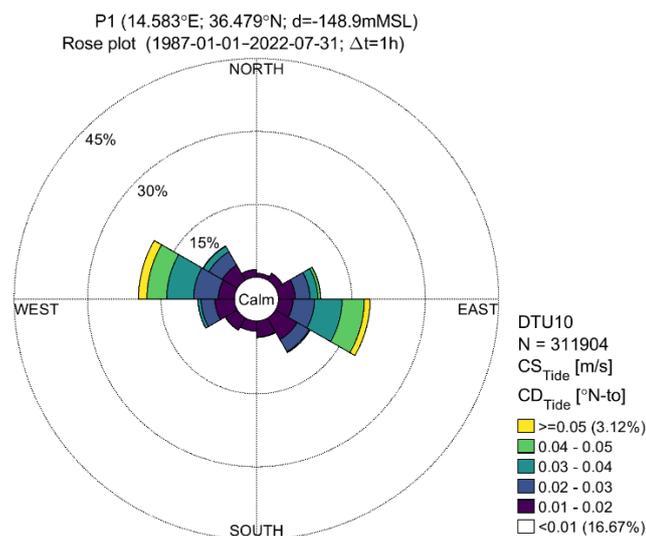


Figura 7-10 - Rosa delle correnti di marea superficiali nel Punto P1 (direzioni in °N – verso)

P1  
 Frequency of Occurrence [%] (1987-01-01-2022-07-31;  $\Delta t=1h$ ) Omni  
 CS<sub>Tide</sub> [m/s] - DTU10

	[0-0.01[	[0.01-0.02[	[0.02-0.03[	[0.03-0.04[	[0.04-0.05[	[0.05-0.06[	[0.06-0.07[	[0.07-0.08[	Total	Accum
[330-360[	1.472	1.554	0.025	-	-	-	-	-	3.052	100.000
[300-330[	1.252	3.544	3.178	1.322	0.095	-	-	-	9.391	96.948
[270-300[	0.881	3.297	5.060	5.474	4.040	1.720	0.178	-	20.650	87.557
[240-270[	1.153	3.976	2.828	0.622	0.021	-	-	-	8.600	66.907
[210-240[	1.557	2.798	0.089	-	-	-	-	-	4.444	58.307
[180-210[	1.787	2.108	-	-	-	-	-	-	3.895	53.863
[150-180[	1.918	3.299	0.114	-	-	-	-	-	5.330	49.969
[120-150[	1.658	5.098	2.883	0.206	-	-	-	-	9.845	44.638
[90-120[	1.014	2.980	4.388	5.615	4.555	1.189	-	-	19.740	34.793
[60-90[	1.111	3.442	2.988	1.598	0.565	0.035	-	-	9.739	15.053
[30-60[	1.462	1.604	0.039	-	-	-	-	-	3.105	5.313
[0-30[	1.406	0.803	-	-	-	-	-	-	2.208	2.208
Total	16.671	34.502	21.592	14.836	9.277	2.944	0.178	-	100.000	-
Accum	16.671	51.173	72.765	87.601	96.878	99.822	100.000	100.000	-	-

Tabella 7.3 - Tabella delle frequenze di occorrenza [%] della velocità e direzione della corrente di marea superficiale nel Punto P1 (direzioni in °N – verso)

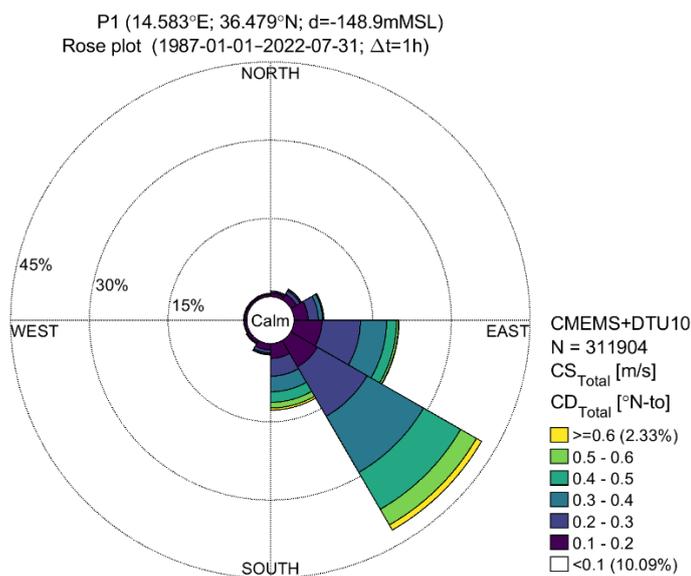


Figura 7-11 - Rosa delle correnti totale superficiali nel Punto P1 (direzioni in °N – verso)

P1  
Frequency of Occurrence [%] (1987-01-01-2022-07-31; Δt=1h) Omni  
CS<sub>Total</sub> [m/s] - CMEMS+DTU10

CD <sub>Total</sub> [°N-10] - CMEMS+DTU10	[0-0.1[	[0.1-0.2[	[0.2-0.3[	[0.3-0.4[	[0.4-0.5[	[0.5-0.6[	[0.6-0.7[	[0.7-0.8[	[0.8-0.9[	[0.9-1[	[1-1.1[	[1.1-1.2[	[1.2-1.3[	[1.3-1.4[	Total	Accum
	[330-360[	0.481	0.403	0.161	0.040	0.006	0.004	0.001	0.001	-	-	-	-	-	-	1.096
[300-330[	0.454	0.337	0.143	0.061	0.016	0.004	0.003	0.002	-	-	-	-	-	-	1.021	98.904
[270-300[	0.487	0.391	0.147	0.046	0.005	0.001	0.001	0.001	-	-	-	-	-	-	1.079	97.884
[240-270[	0.532	0.417	0.123	0.032	0.002	-	0.001	0.001	-	-	-	-	-	-	1.107	96.804
[210-240[	0.674	0.565	0.159	0.044	0.006	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	1.449	95.697
[180-210[	0.874	1.205	0.612	0.237	0.086	0.024	0.005	0.002	0.001	0.002	-	-	-	-	3.048	94.248
[150-180[	1.135	2.845	3.393	3.001	2.021	1.089	0.415	0.147	0.051	0.013	0.003	0.001	-	-	14.116	91.200
[120-150[	1.480	5.841	10.950	12.411	8.181	3.470	1.124	0.322	0.088	0.017	0.007	0.003	-	-	43.893	77.084
[90-120[	1.474	5.328	7.337	4.988	1.898	0.418	0.074	0.022	0.005	0.001	-	-	-	-	21.545	33.190
[60-90[	1.110	2.670	1.975	0.794	0.206	0.031	0.009	0.002	-	-	-	-	-	-	6.798	11.645
[30-60[	0.809	1.251	0.772	0.259	0.059	0.015	0.002	-	-	-	-	-	-	-	3.167	4.848
[0-30[	0.576	0.698	0.288	0.090	0.023	0.005	-	-	-	-	-	-	-	-	1.681	1.681
Total	10.086	21.952	26.060	22.001	12.511	5.061	1.634	0.500	0.147	0.034	0.011	0.004	-	-	100.000	-
Accum	10.086	32.038	58.098	80.099	92.610	97.671	99.305	99.805	99.951	99.985	99.996	100.000	100.000	100.000	-	-

Tabella 7.4 - Tabella delle frequenze di occorrenza [%] della velocità e direzione della corrente totale superficiale nel Punto P1 (direzioni in °N – verso)

Nel caso del campo eolico “Scicli” il regime idrodinamico sarà impattato nelle immediate vicinanze delle fondazioni ma si può affermare che tale impatto sia confinato nell’intorno delle centinaia di metri dalle fondazioni galleggianti. Le modifiche attese alla circolazione nell’area sono pertanto minime (<2-3% di variazioni sulla velocità di corrente). Altrettanto minimo è atteso l’impatto sui livelli superficiali.

## 7.5 Analisi delle variazioni attese sull'ossigenazione della colonna d'acqua

Rispetto alla potenziale riduzione dell'ossigenazione della colonna d'acqua dovuta dalla riduzione del moto ondoso, delle correnti e del vento si può richiamare quanto esplicitato nei capitoli precedenti, ossia che le variazioni del moto ondoso, vento e idrodinamica determinati dal progetto, sono di entità tale da non causare effetti significativi sulla colonna d'acqua e determinare impatto sulle specie bentoniche e ittiche presenti nell'area progetto.

Tuttavia si possono fare alcune considerazioni rispetto al possibile effetto sull'ossigenazione dovuto al "marine growth" che verrà a formarsi sulla superficie dei galleggianti della fondazione e sulle superfici delle stazioni di trasformazione offshore; le strutture di supporto delle turbine eoliche offshore saranno inevitabilmente soggette alla colonizzazione da parte di organismi marini per cui la gestione ed il monitoraggio di tali colonizzazioni è un aspetto estremamente importante da affrontare durante la vita dell'impianto eolico.

Le fondazioni galleggianti dei parchi eolici offshore sono un substrato duro secondario e quindi un'attraente superficie di colonizzazione per molte specie. Soprattutto nelle aree marine dominate da sedimenti molli, i parchi eolici possono portare a un aumento significativo della biomassa allargando gli habitat dagli strati di benthos alla colonna pelagica.

Un effetto concomitante è l'aumento del consumo di ossigeno attraverso la respirazione della biomassa vivente e soprattutto attraverso la degradazione della biomassa morta, principalmente *Mytilus edulis*. Ciò comporta l'anossia locale nelle immediate vicinanze dei pali dei parchi eolici e un possibile impatto a scala regionale.

Alcuni studi condotti dagli scienziati dell'Helmholtz-Zentrum Hereon affermano che i parchi eolici realizzati su larga scala nel Mare del Nord, possono influenzare la produzione primaria marina e i livelli di ossigeno all'interno e all'esterno delle aree del parco eolico e che questi impatti portano anche a un'alterata distribuzione spaziale dei componenti dell'ecosistema marino. Ciò include la distribuzione di nutrienti, fito e zooplancton, nonché biomassa nei sedimenti, la base alimentare per molti organismi che vivono sul fondo.

I risultati mostrano che i parchi eolici non portano a una significativa diminuzione dell'ossigeno a livello di mesoscala, ma localmente può verificarsi ulteriore anossia, che può portare al rilascio di idrogeno solforato a livello di microscala e potenziali successivi impatti regionali.

Riguardo l'ossigenazione dovuta all'effetto del "marine growth", verrà fatta una manutenzione programmata di pulizia delle strutture della piattaforma della stazione di trasformazione offshore e dei pali degli aerogeneratori, per evitarne l'eccessivo accrescimento al fine di preservare l'integrità della struttura e mantenere inalterati gli effetti, benché trascurabili, della variazione dell'ossigenazione della colonna d'acqua.

## 8 CONCLUSIONI

Il presente studio ha permesso di valutare l'impatto del campo eolico "Scicli" sul moto ondoso attraverso la modellazione numerica dell'idrodinamica indotta dalla presenza del parco eolico. L'analisi degli effetti sul campo ondoso è stata effettuata quantificando le variazioni di altezza d'onda al largo tra fase ante e post operam.

Per la modellazione è stato utilizzato il software MIKE 21 SW, attraverso il quale sono state analizzate 8 condizioni ondose:

- Onde entranti dal primo quadrante per stato attuale / stato di progetto;
- Onde entranti dal secondo quadrante per lo stato attuale / stato di progetto;
- Onde entranti dal terzo quadrante per lo stato attuale / stato di progetto;
- Onde entranti dal quarto quadrante per lo stato attuale / stato di progetto.

Una volta creata la mesh, dettagliando maggiormente l'area del campo eolico intorno alle turbine ed alle stazioni di trasformazione offshore, sono stati ottenuti i seguenti grafici:

- Altezze d'onda significative;
- Differenze medie di altezze d'onda significative;
- Differenze massime di altezze d'onda significative.

Sulla base dei risultati ottenuti è possibile affermare che la presenza del campo eolico "Scicli" comporta una variazione locale del moto ondoso nella zona prossima alle turbine, verosimilmente il parco determina una riduzione inferiore, o tutto al più uguale, al 5% dell'altezza d'onda nell'area del parco, mentre gli effetti a costa possono essere considerati trascurabili.

In sintesi, l'impatto complessivo atteso del campo eolico al largo di Scicli sulle componenti "onda", "vento" ed "idrodinamica" è classificabile come "Basso-Moderato".

## 9 RIFERIMENTI

- [1] DHI, «MIKE 21 SW - Spectral Wave Module, Scientific Documentation,» MIKE by DHI, Hørsholm, 2021.
- [2] ISPRA, «Rete Ondametrica Nazionale (RON),» <http://dati.isprambiente.it/dataset/ron-reteondametrica-nazionale/>.
- [3] EMODnet, <https://emodnet.ec.europa.eu/geoviewer/>, 2024.
- [4] G. Contento, L. Donatini, G. Lupieri, A. Pedroncini e L. Cusati, «MWM: A 35 years wind & wave high resolution hindcast dataset and an operational forecast service for the Mediterranean Sea,» in *18th International Conference on Ships and Shipping Research*, pp. 116-125, ISBN 978-88-940557-1-9, 2015.
- [5] L. Perini, P. Luciani e L. Calabrese, «Susceptibilità costiera ai fenomeni di erosione e inondazione marina,» Regione Emilia Romagna - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, 2019.
- [6] M. B. Christiansen e C. B. Hasager, «Wake effects of large offshore wind farms identified from satellite SAR,» *Rem. Sens. Environ.* 98, 251–268. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.07.009>, 2005.
- [7] E. D. Christensen, M. Johnson, O. R. Sørensen, C. B. Hasager, M. Badger e S. E. Larsen, «Transmission of wave energy through an offshore wind turbine farm,» *Coast Eng.* 82, 25–46. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.08.004>, 2013.
- [8] C. B. Hasager, L. Rasmussen, A. Peña, L. E. Jensen e P. E. Réthoré, «Wind Farm Wake: The Horns Rev Photo Case,» *Energies*, 6, 696-716. <https://doi.org/10.3390/en6020696>, 2013.
- [9] N. Akhtar, B. Geyer, B. Rockel e et al, «Accelerating deployment of offshore wind energy alter wind climate and reduce future power generation potentials,» *Sci Rep* 11, 11826. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91283-3>, 2021.
- [10] H. Farr, B. Ruttenberg, R. K. Walter, Y.-. H. Wang e C. White, «Potential environmental effects of deepwater floating offshore wind energy facilities,» *Ocean & Coastal Management*, 207, 16pp, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105611>, 2021.
- [11] «[https://www2.mst.dk/Udgiv/web/ATR%2005\\_06\\_Vesterhav%20Nord\\_Sediment%20and%20Hydrographic%20R4.pdf](https://www2.mst.dk/Udgiv/web/ATR%2005_06_Vesterhav%20Nord_Sediment%20and%20Hydrographic%20R4.pdf),» [Online].
- [12] «[https://www2.mst.dk/Udgiv/web/ATR%2005\\_06\\_Vesterhav%20Syd\\_Sediment%20and%20Hydrographic%20R4.pdf](https://www2.mst.dk/Udgiv/web/ATR%2005_06_Vesterhav%20Syd_Sediment%20and%20Hydrographic%20R4.pdf),» [Online].
- [13] «[https://hornseaproject3.co.uk/ Environmental Statement: Volume 5, Annex 1.1 – Marine Processes Technical Report, May 2018,](https://hornseaproject3.co.uk/Environmental%20Statement%20Volume%205%20Annex%201.1%20-%20Marine%20Processes%20Technical%20Report%20May%202018)» [Online].
- [14] «<http://www.galloperwindfarm.com/>,» [Online].

- [15] J. van Berkel, H. Burchard, A. Christensen, L. O. Mortensen, O. S. Petersen e F. Thomsen, «The effects of offshore wind farms on hydrodynamics and implications for fishes,» *Oceanography* 33(4):108–117, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.410>, 2020.
- [16] MEDSEA\_MULTIYEAR\_PHY\_006\_004, «<http://marine.copernicus.eu/faq/cite-cmems-products-cmems-credit/?idpage=169>,» [Online].
- [17] A. Russo e A. Artegiani, «Adriatic Sea Hydrography,» *Sci. Mar.*, 60 (Supl. 2), pp. 33-43, 1996.