



CENTRALE EOLICA OFFSHORE "RIMINI" (330 MW) ANTISTANTE LA COSTA TRA RIMINI E CATTOLICA

proponente:

EnergiaWind 2020 srl _ Riccardo Ducoli amministratore unico



RELAZIONE SPECIALISTICA DEL PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE SUL MOTO ONDOSO E CALCOLO ONDA DI PROGETTO



Progetto e redazione:

Tecnoconsult Engineering Construction srl

Ing. Paolo Pierangeli

Albo Ingegneri di Pesaro e Urbino A2162

Febbraio 2022

INDICE DELLA RELAZIONE

1	INTRODUZIONE	4
1.1	RIFERIMENTI NORMATIVI E METODOLOGICI PER L'ELABORAZIONE DELLO STUDIO	4
1.2	UBICAZIONE DELL'IMPIANTO E CARATTERISTICHE DELL'AREA DI INTERVENTO	4
1.3	NOTE RELATIVE AL PROGETTO PREDISPOSTO PER LA VIA, ALTERNATIVE CONSIDERATE E AMBITO DI INDAGINE	5
1.4	OPERE PRINCIPALI	8
2	CARATTERISTICHE DELL'AREA DI STUDIO	10
2.1	BATIMETRIA	10
2.2	PARAMETRI OCEANOGRAFICI	11
2.2.1	Temperatura del mare	11
2.2.2	Salinità	12
2.2.3	Densità	12
2.2.4	Livello del mare	12
2.2.5	Marine Growth	13
3	VENTO	14
4	MOTO ONDOSO	15
4.1	CLIMA	15
4.1.1	Condizioni Offshore	16
4.1.2	Condizioni sotto costa	19
4.1.3	Stagionalità	23
4.2	ONDA DI PROGETTO	26
4.2.1	Cambiamenti climatici	27
5	REGIME DELLE CORRENTI	28
5.1	CORRENTI ZONA COSTIERA	28
5.2	CORRENTI DI PROGETTO	29
6	CONCLUSIONI	31
7	RIFERIMENTI	32
7.1	REFERENCE DI PROGETTO	33

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1 – Ubicazione della Centrale eolica offshore "Rimini" e zone di interdizione (in grigio chiaro).	5
Figura 1.2 – Centrale eolica offshore "Rimini" _ LAYOUT A.....	7
Figura 1.3 – Centrale eolica offshore "Rimini" _ LAYOUT B.....	7
Figura 2.1 – Dati della batimetria GEBCO relativi all'area dell'Alto Adriatico.	11
Figura 2-2 Spessore di accrescimento marino al variare della profondità (/A24/).	13
Figura 4-1 Ubicazione dei punti di analisi del moto ondosso rispetto ai 2 Layout considerati (Layout A in blu e Layout B in magenta). I pallini rossi indicano i punti ERA5 1÷6 (/A13/), mentre la stella corrisponde alla posizione della Boa Nausicaa (/A14/).	16
Figura 4-2 Era5 - Point 2– Rosa delle onde, Frequenze e Altezze Significative (m). Periodo di riferimento 2007-2020.....	18
Figura 4-3 Era5 - Point 6– Rosa delle onde, Frequenze e Altezze Significative (m). Periodo di riferimento 2007-2020.....	19
Figura 4-4 Era5 - Point 1– Rosa delle onde, Frequenze e Altezze Significative (m). Periodo di riferimento 2007-2020.....	21
Figura 4-5 Era5 - Point 5– Rosa delle onde, Frequenze e Altezze Significative (m). Periodo di riferimento 2007-2020.....	22
Figura 4-6 - Boa Nausicaa – Rosa delle onde, Frequenze e Altezze Significative (m). Periodo di riferimento 2007-2020.....	23
Figura 4-7 Era5 - Point 2 - Rose del Moto Ondoso su base stagionale (2007-2020).	24
Figura 4-8 Boa Nausicaa - Rose del Moto Ondoso su base stagionale (2007-2020).	25
Figura 5-1 Schema di circolazione superficiale dell'Adriatico, ricostruito da Artegiani et al., 1997 (/A2/). Il sito di progetto è interessato dalla corrente NAd (North Adriatic Current), la cui influenza si estende verso il centro del bacino e verso sud in primavera mentre resta maggiormente confinata in inverno.	28
Figura 5.2 – Rose di corrente superficiale (giornaliera) rispettivamente in superficie a 10m ed a 20m di profondità in corrispondenza del campo eolico "Rimini"/A28/.....	29

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 2-1 Valori estremi di Sopralzo della superficie del mare dovuti alla componente mareale (sovralzo meteorologico e marea astronomica) per diversi Tempi di Ritorno ($/A9/$).....	12
Tabella 3-1 Velocità estrema del vento – Vento medio orario (m/s), a 100 m s.l.m.....	14
Tabella 3-2 Velocità estrema del vento – Vento medio orario (m/s), 10 m (s.l.m.).....	14
Tabella 4-1 Coordinate dei punti di cui si sono analizzate le serie temporali 2007-2020.....	15
Tabella 4-2 Era5 - Point 2 – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Dir ($^{\circ}$ N). Periodo di riferimento 2007-2020.....	17
Tabella 4-3 Era5 - Point 2 – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Tp (s). Periodo di riferimento 2007-2020.....	17
Tabella 4-4 Era5 - Point 6 – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Dir ($^{\circ}$ N). Periodo di riferimento 2007-2020.....	18
Tabella 4-5 Era5 - Point 6 – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Tp (s). Periodo di riferimento 2007-2020.....	18
Tabella 4-6 Era5 - Point 1 – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Dir ($^{\circ}$ N). Periodo di riferimento 2007-2020.....	20
Tabella 4-7 Era5 - Point 1 – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Tp (s). Periodo di riferimento 2007-2020.....	20
Tabella 4-8 Era5 - Point 5 – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Dir ($^{\circ}$ N). Periodo di riferimento 2007-2020.....	21
Tabella 4-9 Era5 - Point 5 – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Tp (s). Periodo di riferimento 2007-2020.....	21
Tabella 4-10 Boa Nausicaa – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Dir ($^{\circ}$ N). Periodo di riferimento 2007-2020.....	22
Tabella 4-11 Boa Nausicaa – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Tp (s). Periodo di riferimento 2007-2020.....	22
Tabella 4-12 Altezza Significativa, Periodo e Altezza Massima delle onde per periodi di ritorno di 1, 10, 50 e 100 anni, per condizioni costiere e offshore. * a 100 anni l'onda massima per profondità di 14 m supera il rapporto $H_{max}/H_{breaking}=0.78$ e pertanto $H_{max}=10.92$ m ($/A19/$).....	26
Tabella 5-1 Cesenatico- Distribuzione di Frequenza (%) Direzione vs Intensità correnti superficiali (2005-2007), ($/A21/$).....	29
Tabella 5-2 Misano- Distribuzione di Frequenza (%) Direzione vs Intensità correnti superficiali (2005-2007), ($/A21/$).....	29
Tabella 5-3 Estremi di corrente per periodi di ritorno di 1, 10, 50 e 100 anni.....	30

1 INTRODUZIONE

Oggetto dello Studio è la valutazione delle caratteristiche meteomarine del bacino Nord Adriatico e il calcolo dell'onda di progetto ai fini del dimensionamento strutturale delle opere in mare della Centrale eolica offshore "Rimini" ubicata nel mare antistante la costa tra Rimini e Cattolica.

La centrale eolica è composta da 51 aerogeneratori della potenza di 6,45 MW (per 330 MW complessivi) e opere di collegamento alla RTN (Rete di Trasmissione Nazionale), con punto di connessione alla Stazione TERNA "San Martino in Venti" ubicata in comune di Rimini.

Il soggetto proponente è Energia Wind 2020 srl, con sede legale in via Aldo Moro 28 - 25043 Breno (BS) C.F. P. IVA e Iscrizione al Registro delle Imprese di Brescia n. 03466270984.

Il progetto della Centrale Eolica "Rimini" è stato presentato a livello di Preliminare il 30 marzo 2020, allegato all'istanza di Autorizzazione Unica ai sensi dell'art. 12 del D.lgs 387/2003 (secondo quanto stabilito dalla Circolare n. 40 del 05/01/2012 del Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili, che stabilisce l'articolazione del procedimento in 3 fasi) e **ha superato la prima fase del procedimento**, coordinato dalla Capitaneria di Porto di Rimini e relativo all'istruttoria tecnico amministrativa finalizzata al rilascio della Concessione Demaniale.

L'approfondimento tematico di cui al presente studio costituisce parte integrante del Progetto (approfondito a livello di Definitivo) e della documentazione allegata allo Studio di Impatto Ambientale, documenti redatti in conformità delle norme vigenti e richiesti dal D.lgs 152/2006 e ss.mm.ii. e dalla Circolare 40/2012 relativamente alla fase di Valutazione di Impatto Ambientale e alla fase di Autorizzazione Unica.

1.1 Riferimenti normativi e metodologici per l'elaborazione dello Studio

Il presente studio, partendo dalle informazioni disponibili nella letteratura scientifica o da dati liberamente accessibili online, si propone di caratterizzare l'area di progetto dal punto di vista meteo-oceanografico, e di stimare gli estremi attesi per i vari parametri nei tempi di ritorno di interesse (Tr 1, 10, 50, 100 anni) al fine di fornire gli input e le indicazioni necessarie alle attività di progettazione.

Sono stati analizzati le seguenti tipologie di dati:

- Dati in situ (/A14/);
- Dati di rianalisi climatica (/A13/);
- Dati e indicazioni disponibili nella letteratura scientifica e nei rapporti redatti nell'ambito dell'attività di monitoraggio e salvaguardia della regione Emilia Romagna (vedi sezione 7.1).

Si riportano di seguito alcune informazioni utili per l'inquadramento e la caratterizzazione del progetto:

1.2 Ubicazione dell'impianto e caratteristiche dell'area di intervento

Su larga scala l'area di progetto si inserisce nel bacino del mare Adriatico Settentrionale e per ubicazione geografica la centrale eolica offshore impegna il braccio di mare antistante la costa compresa tra Rimini e Cattolica e parte del litorale marchigiano che dal confine della Regione Emilia Romagna prosegue sino a Gabicce e al Colle San Bartolo.

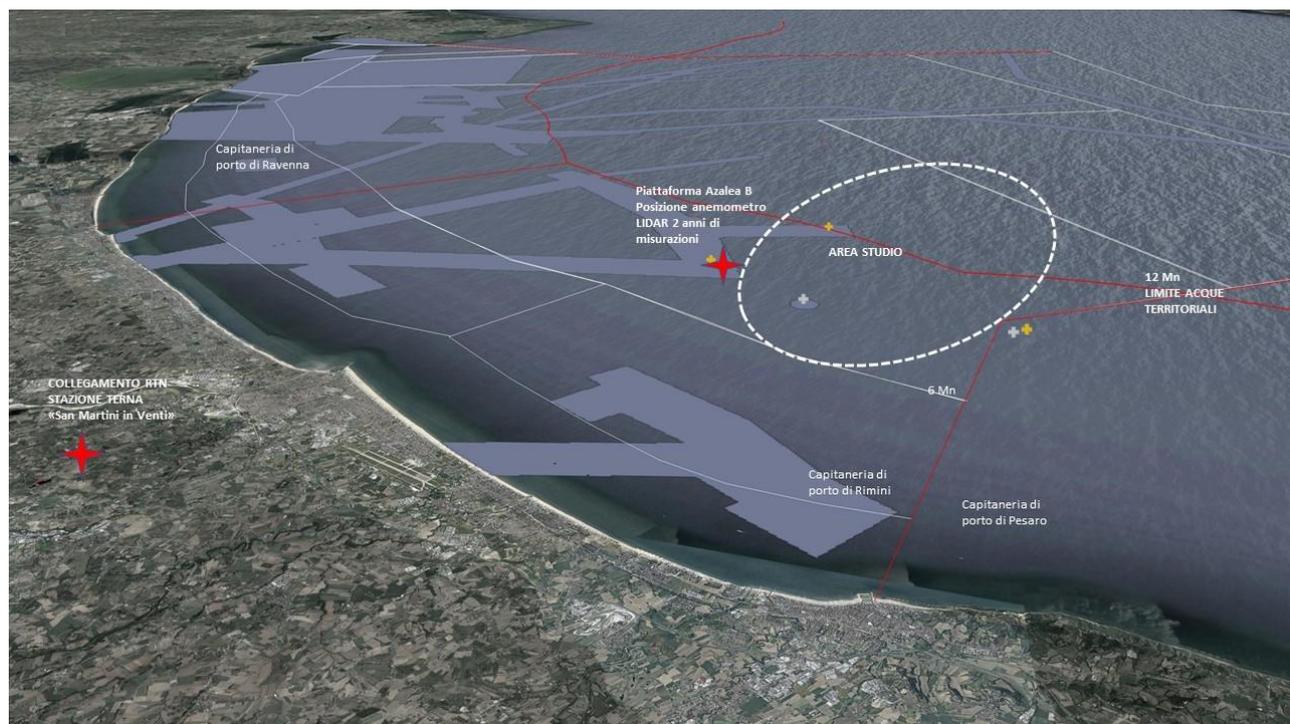


Figura 1.1 – Ubicazione della Centrale eolica offshore "Rimini" e zone di interdizione (in grigio chiaro).

Nello specifico, lo specchio d'acqua complessivo in cui ricadono gli aerogeneratori nelle diverse alternative di configurazione e localizzazione proposte, è compreso nei seguenti limiti:

- a nord ovest da aree concesse a ENI e occupate dalle piattaforme metanifere del gruppo Azalea e da attraversamenti di condotte;
- a nord est dal limite delle acque territoriali (12 MN) per il Layout "A", già oggetto di valutazione nella prima fase istruttoria, e dal limite delle 18 MN per le configurazioni di layout alternative proposte;
- a sud est dalle piattaforme del gruppo "Regina" e dal limite delle competenze amministrative delle Capitanerie di Porto di Rimini e Pesaro;
- a sud ovest da una linea teorica parallela alla costa e coincidente con il limite delle 6 MN per il layout "A" e con il limite delle 9 MN per i layout alternativi, entrambe identificate sia per attenuare la visibilità degli aerogeneratori dalla terra ferma e sia per rispettare le limitazioni relative agli ostacoli e ai pericoli per la navigazione aerea stabilite per l'aeroporto internazionale di Rimini _ San Marino; in tutti i layout proposti gli aerogeneratori mantengono una distanza minima dal ARP (Airport Reference Point) maggiore di 15 km e risultano esterni alla OHS (Other Horizontal Surface).

1.3 Note relative al progetto predisposto per la VIA, alternative considerate e ambito di indagine

Per il completamento delle procedure autorizzative, il progetto recepisce le prescrizioni e le osservazioni degli enti che hanno espresso parere nell'ambito della procedura sino a qui esperita nonché alcune considerazioni espresse dai portatori di interesse.

Come previsto dalle norme in materia di Valutazione di Impatto ambientale, il progetto prevede delle alternative sia riguardo al tracciato delle opere terrestri di connessione (cavo AT interrato) che alla localizzazione e disposizione degli aerogeneratori.

Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto, si precisa quanto segue:

- Per tutti i Layout considerati restano invariate la posizione della Stazione di Trasformazione Elettrica ubicata in mare nonché le opere di connessione alla RTN;
- il primo riferimento è il **Layout "A"** compreso tra le 6 Mn e le 12 Mn, presentato come integrazione volontaria il 25/09/2020 nell'ambito del procedimento di concessione demaniale, rispetto al quale si sono espressi gli Enti in Conferenza di Servizi attestandone l'ammissibilità in termini di localizzazione; le turbine occupano posizioni con profondità del fondale variabile e compresa tra -15 e -34 m; l'interdistanza tra le torri è regolare e pari a 680 m; la minima distanza dal punto di misurazione anemometrica (Piattaforma Azalea "B") è pari a 2,8 km;
- rispetto al precedente, sono state studiate delle alternative localizzative e di configurazione che interessano in parte l'areale del layout "A" e in parte una zona immediatamente contigua e disposta verso il largo sino alle 18 MN; in tale ambito sono state verificate 3 configurazioni degli aerogeneratori; tra le alternative ne è stata approfondita una in particolare, il "Layout B", vista la sostanziale parità di implicazioni ambientali e di producibilità energetica rispetto agli altri 2 layout proposti e denominati "C" e "D", che in ogni caso vanno considerati come alternative possibili;
- Il **Layout "B"** esemplificativo delle alternative considerate e contiguo al layout "A", occupa un'area a cavallo delle 12 MN ed è compreso tra le 9 e le 18 MN; gli aerogeneratori si dispongono lungo le direttrici di tre archi, in questo caso paralleli e distanti tra loro 3 km, occupando posizioni con profondità del fondale variabile e compresa tra -22 e -43 m; l'interdistanza tra le torri è regolare e pari a 720 m; la minima distanza dal punto di misurazione anemometrica (Piattaforma Azalea "B") è pari a 6 km;
- gli altri layout considerati sono il layout "C", anch'esso organizzato su tre archi, ma concavi verso Nord Ovest e il Layout "D" che è l'unico organizzato "a freccia" su tre rette che si svasano verso il largo; la distanza minima dal punto di misurazione è rispettivamente pari a circa 2,7 km e 3 km;
- per tutti i layout proposti, la profondità e la natura dei fondali fanno sì che le opere di fondazione siano del tipo a monopilone, con elementi cilindrici in acciaio di circa 7,5 m di diametro e infissi al di sotto del fondale con profondità variabili in base alla batimetria.
- Per quanto riguarda l'elettrodotto interrato AT terrestre il progetto prevede che il tracciato, a partire dalla buca giunti di collegamento tra il cavo marino e quello terrestre, segua prevalentemente la viabilità esistente secondaria con un percorso preferenziale di circa 11,7 km, di cui circa 380 m in TOC per il superamento della SS N. 72 Rimini/San Marino e del Torrente Ausa; si prevede anche un percorso alternativo che si distacca e si ricongiunge al precedente e segue viabilità primaria, per una lunghezza complessiva di 11,6 km.

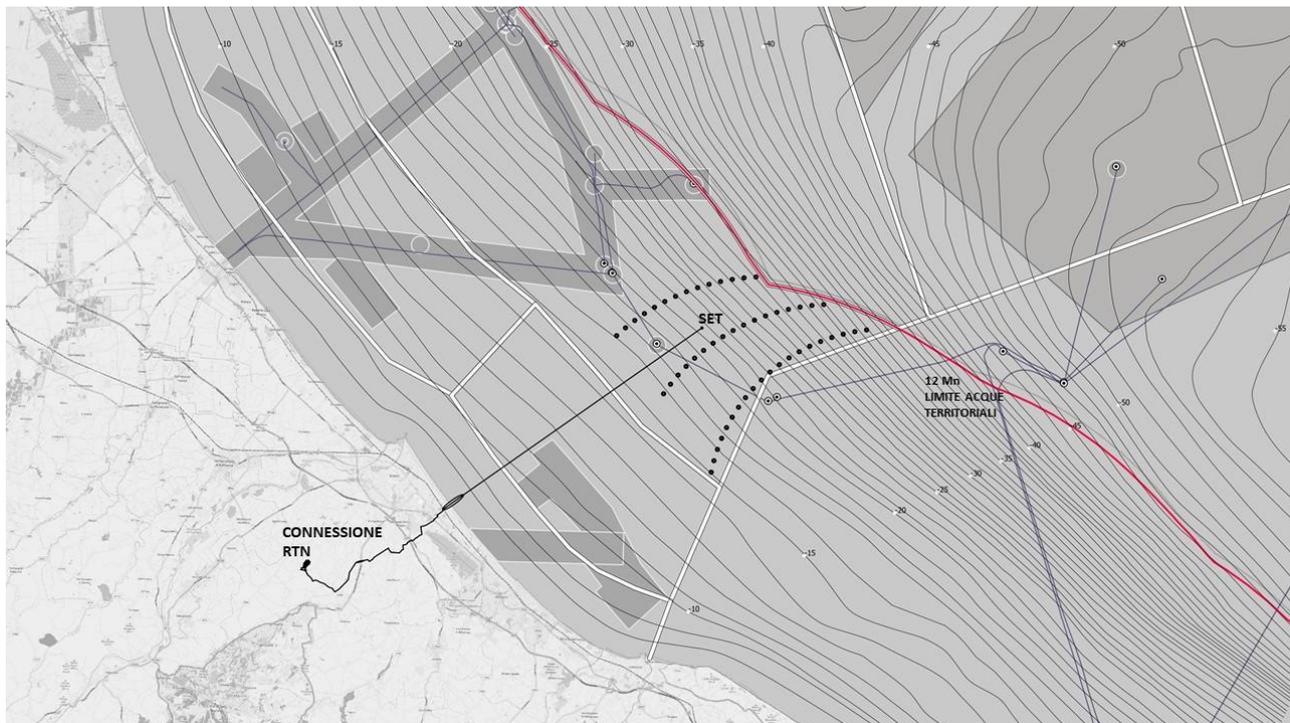


Figura 1.2 – Centrale eolica offshore "Rimini" _ LAYOUT A

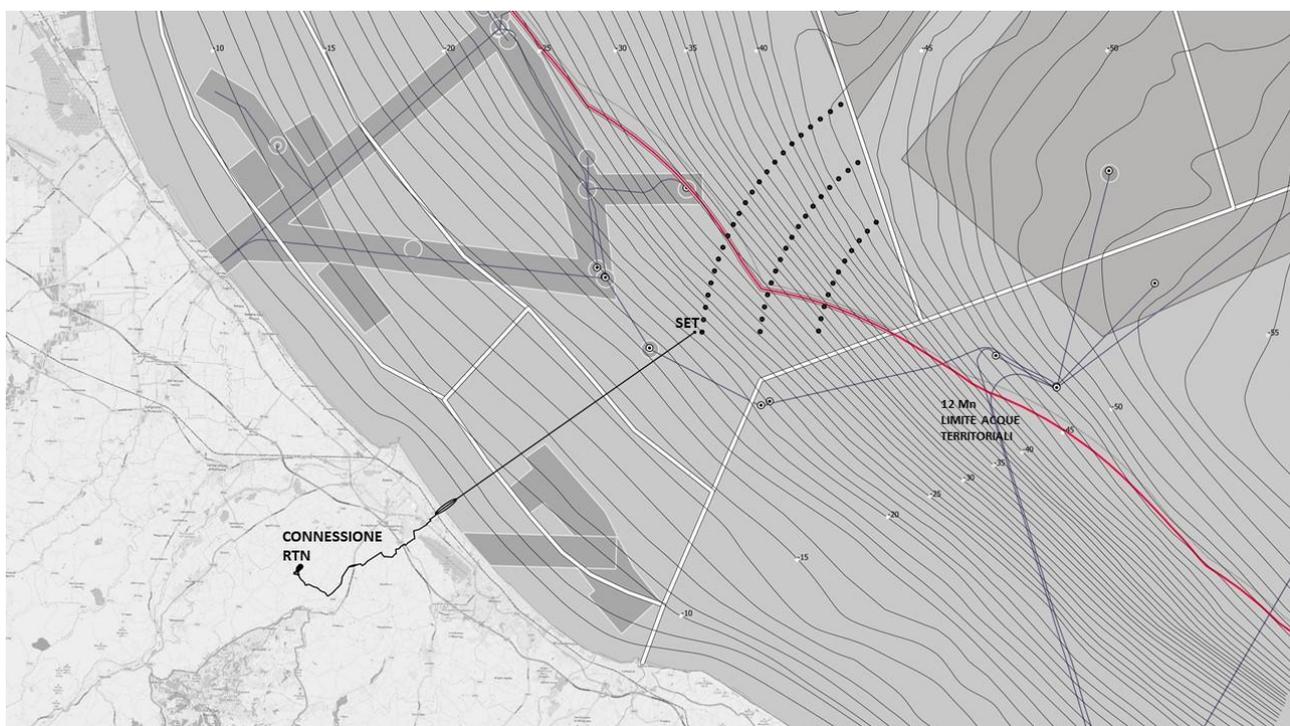


Figura 1.3 – Centrale eolica offshore "Rimini" _ LAYOUT B

1.4 Opere principali

Si riporta di seguito l'elenco sintetico delle principali opere previste dal progetto.

OPERE IN MARE:

- **51 aerogeneratori di potenza nominale unitaria pari a 6,45 MW, per una capacità complessiva di 330 MW, ancorati al fondale con fondazione del tipo monopilone in acciaio;**

gli aerogeneratori presi come riferimento tecnologico per il progetto sono del tipo MingYang MySE 6.45-180, con hub a 110/125 m di altezza, diametro del rotore pari a 180 m, tronco di transizione con parte fuori acqua pari a 9/10 m, per un range di altezza complessiva massima compreso tra 210/220 m dal medio mare (in tali range di potenza e dimensionali rientrano altri aerogeneratori simili che potrebbero essere considerati in fase di progettazione esecutiva); gli aerogeneratori vengono proposti in configurazioni alternative, comparate per aspetti ambientali in merito alla localizzazione;

- **Una rete elettrica sottomarina a tensione nominale pari a 66 kV che collega gli aerogeneratori in serie, raggruppandoli in 8 sezioni principali, per poi connettersi alla Stazione Elettrica di Trasformazione (SET) offshore 66/380 kV ;**
- **Una piattaforma marina che ospita la Stazione Elettrica di Trasformazione (SET) 66/380 kV, attrezzata con 2 trasformatori da 180/200 MVA, 1 reattore per la compensazione della potenza reattiva, apparecchiature, quadri di controllo e manufatti di servizio e accessori;**
- **Un elettrodotto sottomarino di collegamento tra la Stazione Elettrica di Trasformazione (SET) offshore e la buca giunti terra-mare, costituito da un cavo in AT 380 kV di lunghezza pari a 18,15 km di cui 1,45 km realizzato con HDD (Horizontal Directional Drilling) per la parte di transizione terra_mare);**

la parte di approdo e atterraggio (transizione terra-mare del cavo marino realizzata con HDD) inizia in mare a circa 930 m dalla linea di battigia e raggiunge la buca giunti dopo aver bypassato la spiaggia (in corrispondenza del nuovo circolo velico di Bellariva ubicato tra il bagno 98 e 99), il lungomare Giuseppe Di Vittorio, gli edifici prospicienti, la rete ferroviaria e la linea Metro_Mare;

OPERE A TERRA PER LA CONNESSIONE ALLA RTN:

- **Una buca giunti interrata, in cui avviene la giunzione tra la l'elettrodotto sottomarino e quello terrestre, interrata e posizionata nello slargo compreso tra il sottopasso di Viale Portofino e Viale Siracusa, immediatamente a sud ovest della linea Metro_Mare e della Rete Ferroviaria adriatica;**
- **Un elettrodotto terrestre interrato costituito da una terna di cavi isolati in AT 380 kV, di lunghezza pari a circa 11,7 km (con buche giunti ogni 500/600 m), che raggiunge la Stazione di Transizione cavo-aereo adiacente alla SE TERNA 380/150 kV "San Martino in Venti", dove avviene la connessione alla RTN;**

il progetto prevede che il tracciato, a partire dalla buca giunti di collegamento tra il cavo marino e quello terrestre, segua prevalentemente la viabilità esistente secondaria con un percorso preferenziale di circa 11,7 km, di cui circa 380 m in TOC per il superamento della SS N. 72 Rimini/San Marino e del Torrente Ausa; si prevede anche un percorso alternativo che si distacca e si ricongiunge al precedente e segue viabilità primaria, per una lunghezza complessiva di 11,6 km.

- **Una Stazione di Transizione cavo-aereo da realizzarsi in prossimità della stazione elettrica TERNA "San Martino in Venti", che ospiterà il reattore, le apparecchiature elettromeccaniche, i locali quadri e misure e il portale di partenza della linea aerea di collegamento alla stazione RTN;**

verrà realizzato un breve tratto stradale di lunghezza pari a circa 130 m e larghezza pari a 7 m incluso banchine laterali, di collegamento tra Via San Martino in Venti e la Stazione Utente;

- **Un elettrodotto aereo trifase lungo circa 450 m, in conduttori nudi binati alla tensione di 380 kV, di connessione con lo stallo a 380 kV nella stazione elettrica "San Martino in Venti" 150/380 kV esistente e di proprietà TERNA S.p.A.;**

- **Un nuovo stallo a 380 kV, previo ampliamento della stazione TERNA "San Martino in Venti", nella parte nord-ovest, e interrimento di un tratto di linea in cavo aereo esistente;**

per la realizzazione del nuovo stallo, come indicato dal gestore della rete TERNA, è previsto l'interrimento dell'ultima campata di un elettrodotto aereo a 132 kV "San Martino-Gambettola" esistente; l'elettrodotto aereo, lungo circa 170 m, e il traliccio di arrivo saranno eliminati e sostituiti da un elettrodotto interrato AT 150 kV, di lunghezza pari a circa 230 m, da realizzare all'interno dell'area di ampliamento della Stazione Elettrica San Martino in Venti.

2 CARATTERISTICHE DELL'AREA DI STUDIO

Il mare Adriatico è un bacino di forma allungata che si estende in direzione Nord Ovest - Sud Est per circa 800 km con una larghezza massima di circa 200 km all'altezza di Bari e una minima di 100 km proprio davanti Rimini, in corrispondenza dell'area oggetto di studio (vedi sezione 1.2.). Diviso in 3 sottobacini distinti (Settentrionale, Centrale, Meridionale) l'Adriatico, delimitato dalle Alpe Dinariche ad Est, dalla pianura padana a Nord Ovest, e dagli Appennini lungo la costa occidentale, mostra chiare differenze morfologiche, con la parte Nord caratterizzata da scarsa profondità e un forte deflusso fluviale (/A11/). Due differenti regimi di vento dominano tipicamente la meteorologia, e di conseguenza, come vedremo il regime di moto ondoso del bacino, soprattutto nella parte nord: Bora e Scirocco (/A11/ e /A10/).

Questo studio si propone di identificare le principali caratteristiche meteo-oceanografiche del braccio di mare all'interno del quale si colloca l'area del Parco Eolico, fornendo le informazioni di base per la progettazione ingegneristica. Le informazioni riportate derivano dalla letteratura scientifica e dai numerosi rapporti redatti dalla Regione Emilia Romagna nel corso delle attività di studio e monitoraggio a carattere ambientale. Per quanto riguarda il regime del moto ondoso (sezione 4) si è inoltre proceduto all'analisi di serie storiche di rianalisi climatologica (/A13/) nonché a dati provenienti da misure in situ, disponibili nelle banche dati online (e /A14/). I dati di vento sono invece ripresi da elaborazioni presentate in altri report del progetto (/A26/ e /A27/).

2.1 Batimetria

Come già evidenziato, la profondità media nell'Adriatico Settentrionale è nell'ordine delle poche decine di metri. In corrispondenza del campo eolico i range attesi si collocano tra 15 e 34 m per il layout A, mentre nel caso del Layout B le profondità sono leggermente maggiori oscillando tra 22 m e 43 m, con valori che superano i 35 m solo nella zona esterna alle 12 MN (vedi sezione 1.2.).

Per la caratterizzazione batimetrica dell'area si è fatto riferimento a due differenti fonti di dati: Il database di batimetria globale GEBCO /A25/.

GEBCO è un modello digitale del terreno disponibile sia per gli oceani che per la terraferma ad una risoluzione di 15" di grado (circa 300 m). 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 GEBCO /A25/ in formato NetCDF o ASCII. In sono illustrati i dati GEBCO per l'area dell'Alto Adriatico utilizzati per le attività di studio in oggetto.

A integrazione dei dati GEBCO (Figura 2.1), per le aree più vicine a costa, sono state utilizzate le batimetrie provenienti dalle carte nautiche digitali appartenenti al database CM-93 di C-MAP un database globale di cartografia nautica in formato digitale, creato e continuamente aggiornato da Jeppesen (DHI, 2021).

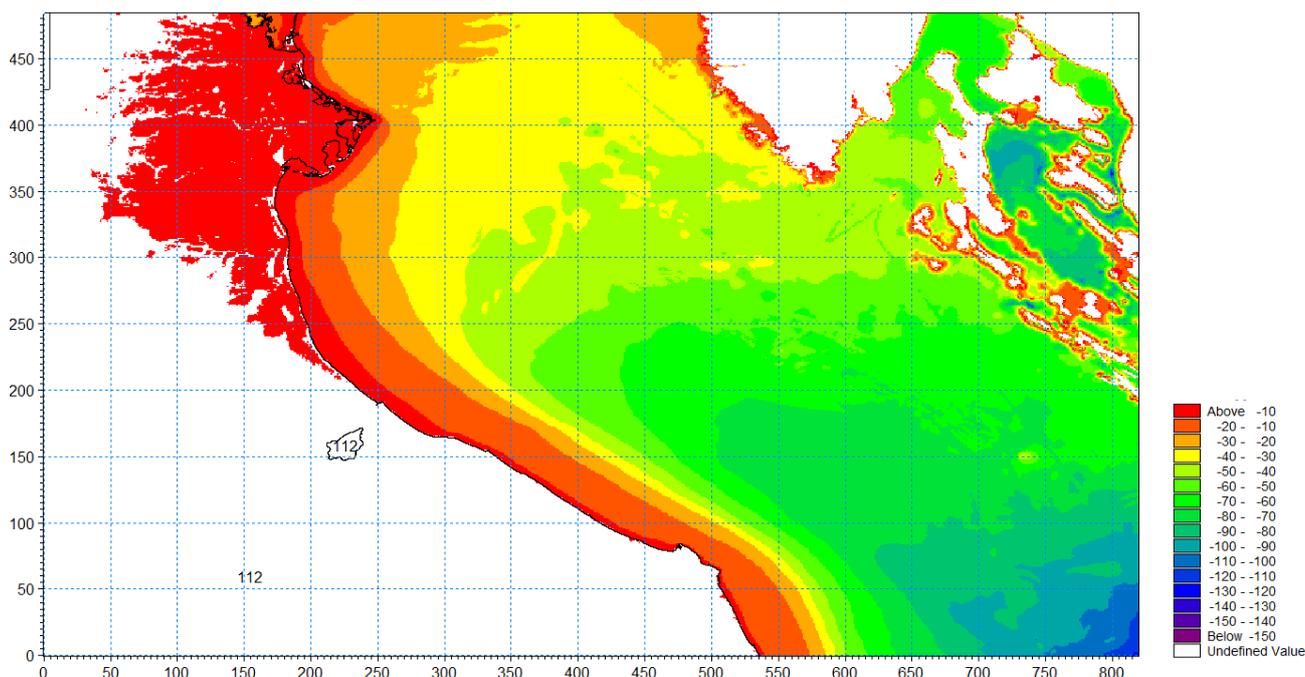


Figura 2.1 – Dati della batimetria GEBCO relativi all'area dell'Alto Adriatico.

2.2 Parametri Oceanografici

Nel Nord Adriatico, l'intera colonna d'acqua è caratterizzata da un evidente ciclo stagionale. Un termoclino ben sviluppato è presente in primavera e estate fino a 30 m di profondità, mentre un significativo raffreddamento inizia negli strati superficiali in autunno quando lo strato di fondo raggiunge i valori massimi, probabilmente in seguito ad un aumento del mixing verticale, e all'intrusione di acqua dall'Adriatico Centrale. Il raffreddamento di tutta la colonna d'acqua avviene solo in inverno, quando le temperature aumentano dalla superficie al fondo mentre la stabilità della colonna d'acqua è preservata da un aumento di salinità negli strati profondi. L'effetto dell'acqua dolce è visto chiaramente in primavera-estate a causa dell'aumento del deflusso fluviale e la conseguente stratificazione della colonna d'acqua (/A1/).

Il Nord Adriatico, nei suoi strati profondi, è poi caratterizzato da acque di neo formazione invernale con valori di temperatura molto bassa, salinità relativamente bassa e densità elevata.

2.2.1 Temperatura del mare

Nell'Adriatico Settentrionale I valori climatologici di temperatura in superficie possono scendere al di sotto degli 11 °C in inverno con valori estivi tipicamente superiori ai 22 °C. Al fondo, anche d'estate, difficilmente si superano i 18 °C se non nella fascia costiera. La massima escursione si osserva ovviamente sottocosta dove in superficie i range si estendono tra i 5 °C invernali e i 27°C estivi (/A11/). In inverno la superficie del mare è caratterizzata da un pronunciato gradiente termico lungo l'asse longitudinale (NO-SE) mentre d'estate il gradiente è quasi piatto a causa dell'effetto combinato del riscaldamento stagionale e della bassa profondità del sotto bacino (/A11/).

2.2.2 Salinità

La salinità delle masse d'acqua dell'Adriatico Settentrionale è tipicamente inferiore ai 38 PSU in superficie a causa dell'apporto fluviale, con massimi invernali. Al fondo, invece può superare tale soglia specie in autunno-inverno, quando valori di salinità maggiori di 34.3 PSU sono riscontrabili della parte centrale del bacino (/A1/e /A11/).

2.2.3 Densità

I valori di densità dell'Adriatico Settentrionale sono abbastanza elevati con valori al fondo che possono superare i 1029.2 kg/m³ in inverno e in primavera negli strati profondi (/A11/ e /A8/). D'estate lo strato superficiale risentendo del deflusso fluviale è caratterizzato da valori di densità intorno 1027.5-1028 Kg/m³ con un tipico gradiente nord-sud (/A8/).

2.2.4 Livello del mare

Lungo le coste dell'Emilia Romagna il regime mareale è definito microtidale, caratterizzato da componenti diurne e semi-diurne e da escursioni comprese tra gli 80 e 90 cm in fase sigiziale e di circa 30-40 cm in periodi di quadratura (/A20/).

Le variazioni del livello marino sono il risultato della combinazione tra le oscillazioni dovute alla marea astronomica (funzione della posizione relativa della terra, della luna e del sole), alle variazioni della pressione atmosferica (marea barometrica), nonché all'azione del vento (wind setup). In presenza di aree cicloniche (perturbazioni atmosferiche), la componente meteorologica della marea (marea barometrica e wind set up) comporta un aumento del livello del mare, superiore alla sola componente astronomica. Tale aumento è comunemente indicato con il termine sovrizzo di tempesta ("storm surge").

Per la progettazione di opere marittime la valutazione del fenomeno assume fondamentale rilevanza per calcolare il rischio di ingressione marina in zone interessate da attività umana.

Nel Nord Adriatico i fenomeni di surge, possono diventare rilevanti, e se associati a venti provenienti da SE, possono arrivare a raddoppiare l'entità dell'escursione di marea (/A3/). Stime di questi valori estremi di livello dovuti a "storm surge" (sovrizzo meteorologico e marea astronomica) sono disponibili in letteratura. In particolare, lo studio (/A9/) di cui si riportano i risultati in Tabella 2-1, stima per tempi di ritorno di 2, 10 e 100 anni il valore "totale" del sovrizzo, includendo quindi tutti i fenomeni meteo marini che si verificano in condizione di mareggiata ma non quelli dovuti al moto ondoso, e viene ampiamente utilizzate nell'ambito delle attività di monitoraggio e pianificazione costiera della regione Emilia Romagna (/A20/).

Surge (m)		
2 ANNI	10 ANNI	100 ANNI
0.85	1.05	1.28

Tabella 2-1 Valori estremi di Soprizzo della superficie del mare dovuti alla componente mareale (sovrizzo meteorologico e marea astronomica) per diversi Tempi di Ritorno (/A9/).

2.2.5 Marine Growth

La crescita marina su una qualsiasi struttura sommersa può avere conseguenze per l'integrità strutturale e va dunque tenuta in debito conto durante la progettazione. L'entità dell'accrescimento marino può essere stabilita riferendosi alle linee guida DNVGL-RP C2015 (/A24/). Tali linee guida definiscono la variabilità dell'accrescimento marino in funzione della profondità secondo il diagramma riportato di seguito.

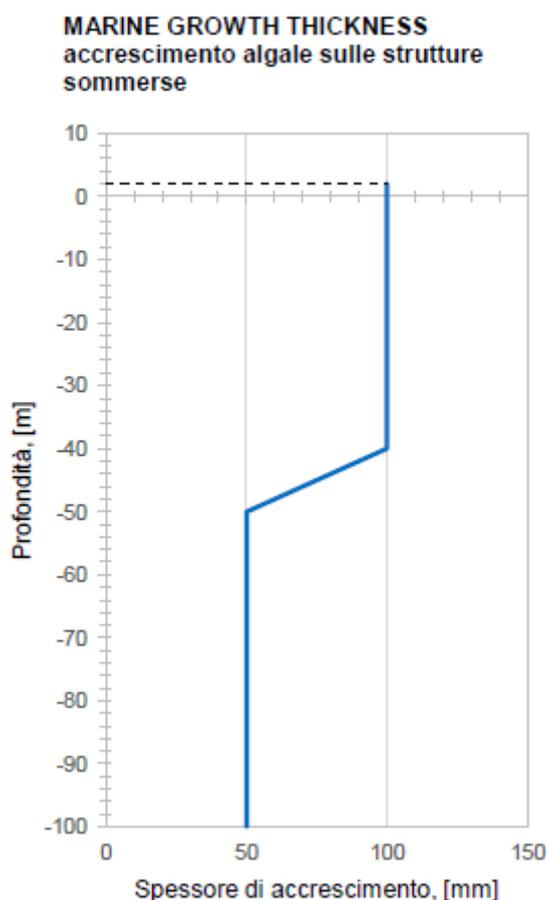


Figura 2-2 Spessore di accrescimento marino al variare della profondità (/A24/).

Per profondità inferiori ai 40 metri lo spessore di accrescimento è definito costante e pari a 100mm. Per profondità maggiori di 40 metri lo spessore di accrescimento si riduce a 50 mm. Relativamente al caso in esame avendo a che fare con profondità limitate (vedi /A24/), si può assumere un valore di accrescimento (massimo) pari a 100mm. Si assume inoltre una densità dell'accrescimento marino pari a 1325 kg/m³.

3 VENTO

Una caratterizzazione mirata dell'area di progetto dal punto di vista anemologico, sulla base di misure In situ (2 anni di dati acquisiti su Piattaforma Azalea) è presentata nella relazione di producibilità (/A27/).

In aggiunta per la progettazione, data la scarsa durata temporale della serie sperimentale, a partire da una serie decennale scaricata dal dataset NEWA (/A15/) sono stati stimati gli estremi di vento relativi a 100 m di altezza (/A26/), mediante distribuzione di Weibull, di cui si riportano Tabella 3-1 i valori medi orari.

Velocità estrema del vento (m/s) (OMNI)			
1 ANNO	10 ANNI	50 ANNI	100 ANNI
24.7	29.6	32.7	34.0

Tabella 3-1 Velocità estrema del vento – Vento medio orario (m/s), a 100 m s.l.m..

A partire da questi dati è stato possibile, assumendo un Frøya Wind Profile data in accordo con le indicazioni normative per la zona offshore (/A24/) ricavare il valore degli estremi di vento medio orari al livello del mare presentato in Tabella 3-2 per periodi di ritorno di 1, 10, 50 e 100 anni.

Velocità estrema del vento (m/s) (OMNI)			
1 ANNO	10 ANNI	50 ANNI	100 ANNI
17.6	20.4	22.1	22.8

Tabella 3-2 Velocità estrema del vento – Vento medio orario (m/s), 10 m (s.l.m.).

Tali valori saranno utilizzati, come illustrato al paragrafo 5.2 per stimare conservativamente gli estremi di corrente superficiale nella zona offshore come da standard practise in assenza di dati specifici (/A24/).

4 MOTO ONDOSI

4.1 Clima

Il regime di moto ondoso di un paraggio si ricava tradizionalmente elaborando statisticamente delle serie storiche di dati ondometrici e viene comunemente rappresentato con una tabella e un diagramma polare (rosa) che fornisce per ogni settore di provenienza la frequenza percentuale delle osservazioni suddivise in opportune classi di altezza d'onda. Per la valutazione del regime di moto ondoso del tratto del bacino Adriatico d'interesse per il progetto, presentata nei paragrafi seguenti, sono stati utilizzati dataset disponibili nelle banche dati online come il Copernicus Climate Data Store (/A13/) e la banca dati dell'Arpa Emilia Romagna (ARPAE) (/A14/).

Nel dettaglio questo studio si è avvalso delle serie temporali di Rianalisi Climatica (ERA5- EMCWF European Center for Medium Range Weather Forecast) relativi ad una area di quasi 65 km² nell'intorno del Parco Eolico, compresa tra la costa italiana e la batimetrica dei 60 m di profondità. Il dataset ERA5, rilasciato nel 2018, data la risoluzione della griglia ed il passo temporale, inizia ad essere di interesse per la valutazione del clima di moto ondoso in siti specifici, specie in presenza di misure distanti geograficamente e frammentarie, come nel caso della Boa di Ancona della Rete Ondometrica Nazionale (/A17/).

Nella zona costiera, sono stati analizzati anche i dati misurati dalla Boa Ondometrica Nausicaa ubicata di fronte a Cesenatico a circa 25 km dal sito di progetto, mantenuta da ARPAE. La serie delle misure della Boa parte dal 2007, con alcune interruzioni significative nel 2014 e nel 2017; complessivamente i dati mancanti nella serie sperimentale sono inferiori al 9% nei 13 anni.

Le analisi effettuate considerano le distribuzioni per settori di 30° centrati sulla direzione. Le serie sono state analizzate su base trioraria. Per omogeneità si è scelto il periodo di riferimento 2007-2020 per tutti i dataset. La posizione dei punti analizzati rispetto ai due layout è mostrata in Figura 4-1, le loro coordinate sono invece riportate in Tabella 4-1.

Coordinate Punti Analizzati			
Dataset	ID	Lat (°N)	Lon (°E)
ERA5	Point 1	44.5	12.4
ERA5	Point 2	44.5	12.8
ERA5	Point 3	44.5	13.4
ERA5	Point 5	44.0	12.9
ERA5	Point 6	44.0	13.4
ARPAE	Boa Nausicaa	44.215	12.476

Tabella 4-1 Coordinate dei punti di cui si sono analizzate le serie temporali 2007-2020.



Figura 4-1 Ubicazione dei punti di analisi del moto ondoso rispetto ai 2 Layout considerati (Layout A in blu e Layout B in magenta). I pallini rossi indicano i punti ERA5 1÷6 (/A13/), mentre la stella corrisponde alla posizione della Boia Nausicaa (/A14/).

Le caratteristiche climatologiche dell'area definite sulla base delle serie temporali, sono riportati nelle sezioni 4.1.1 e 4.1.2; mentre un'analisi dell'andamento stagionale è presentato al paragrafo 4.1.3. I risultati relativi al punto 3 sono stati omessi da questa relazione in quanto considerati non indicativi delle caratteristiche dell'area del Parco Eolico. La determinazione dell'altezza d'onda di progetto è stata effettuata mediante l'analisi di 2 siti scelti conservativamente come rappresentativi rispettivamente della zona offshore e della zona costiera, come illustrato alla sezione 4.2. Nel paragrafo 4.2.1 viene invece esposto un breve resoconto sullo stato dell'arte della letteratura scientifica in relazione agli effetti attesi nell'area di progetto in seguito ai diversi scenari climatici ipotizzati per la fine di questo secolo.

4.1.1 Condizioni Offshore

Per valutare il clima di moto ondoso nel sito di progetto sono stati analizzati le serie temporali ERA5 relative ai punti denominati 2 e 6 (Tabella 4-1) per il periodo di riferimento (2007-2020). Questi punti pur essendo collocati a profondità diverse sono da considerarsi entrambi adatti alla caratterizzazione del regime offshore (onde di acqua profonda fuori dalla zona di interazione col fondo). Il punto 2 è posto a Nord dell'area del Parco intorno ai 40 m di profondità, mentre il punto 6 è posto a Sud Est a circa 50 m.

Dall'analisi dati il clima risulta relativamente mite con quasi il 65 % delle onde con altezze significative inferiori a 0.5 m in corrispondenza del punto 2 e circa il 63% nel punto 6, mentre nei 2 siti la frequenza delle onde inferiori al metro si attesta invece intorno all'88 % (Tabella 4-2 e Tabella 4-4).

Il calcolo delle eccedenze porta sostanzialmente risultati simili, con percentuali di onde con altezza significativa superiore alla soglia di 1.5 m pari a circa il 5% in entrambi i dataset. L'eccedenza sopra la soglia di 2 m è di poco superiore al 2.1 % nella zona più a nord e circa 1.88 % nella zona sud.

Le direzioni prevalenti del moto ondoso, risultano comprese nel I e nel II quadrante, con frequenze maggiori in corrispondenza dei settori associati ai venti principali (vedi Figura 4-2 e Figura 4-3). In corrispondenza del Punto 2 la probabilità di occorrenza si attesta poco sopra al 30 % per le direzioni di provenienza 30÷60 °N (Bora) e 120÷150° N (Scirocco), mentre al Punto 6 il mare proveniente da ESE-SE si aggira poco sotto il 30 % e le direzioni di provenienza associate alla Bora intorno al 27%. Le altezze d'onda maggiori sono associate al mare da Bora e pertanto leggermente più alte nella zona nord, con valori massimi compresi tra i 5.5. e i 6 m in 13 anni. Il valore massimo di altezza d'onda nella serie temporale più a sud è solo una trentina di cm più basso con un leggero decremento nella frequenza di occorrenza delle classi più alte.

I range di periodi si attestano prevalentemente tra i 3 e i 7 secondi (Tabella 4-3 e Tabella 4-5), con lavori massimi di 9 - 10 secondi associati prevalentemente alle direzioni di provenienza da Scirocco, in relazione al fetch molto maggiore.

Dir(°N)	Hs (m)												Tot		
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0		6.5	
0	5.434	0.899	0.098	0.056	0.039	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.538
30	8.374	2.728	0.895	0.398	0.205	0.115	0.049	0.007	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	12.779
60	7.944	5.546	2.791	1.352	0.721	0.325	0.132	0.078	0.024	0.012	0.000	0.005	0.000	0.000	18.931
90	5.507	1.911	0.599	0.183	0.054	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.276
120	12.004	4.585	1.401	0.526	0.149	0.046	0.032	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	18.748
150	8.623	3.292	0.684	0.213	0.056	0.015	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	12.886
180	3.583	1.413	0.225	0.027	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.253
210	2.193	0.772	0.100	0.002	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.075
240	1.694	0.714	0.090	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.510
270	1.858	0.384	0.059	0.010	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.312
300	3.314	0.579	0.112	0.027	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.038
330	4.013	0.528	0.076	0.027	0.007	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.654
	64.541	23.353	7.130	2.833	1.251	0.538	0.215	0.088	0.034	0.012	0.000	0.005	0.000	0.000	100.000

Tabella 4-2 Era5 - Point 2 – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Dir (°N). Periodo di riferimento 2007-2020.

Tp(s)	Hs (m)												Tot		
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0		6.5	
1.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.0	0.853	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.853
3.0	33.909	0.078	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	33.988
4.0	21.612	6.678	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	28.305
5.0	4.617	11.170	1.882	0.044	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	17.716
6.0	1.931	3.222	3.857	1.322	0.139	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.474
7.0	1.259	1.608	0.936	1.112	0.890	0.323	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.157
8.0	0.240	0.472	0.342	0.240	0.181	0.183	0.149	0.044	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.858
9.0	0.100	0.093	0.088	0.103	0.034	0.022	0.034	0.044	0.024	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.552
10.0	0.020	0.032	0.010	0.012	0.005	0.007	0.002	0.000	0.002	0.002	0.000	0.005	0.000	0.000	0.098
11.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	64.541	23.353	7.130	2.833	1.251	0.538	0.215	0.088	0.034	0.012	0.000	0.005	0.000	0.000	100.000

Tabella 4-3 Era5 - Point 2 – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Tp (s). Periodo di riferimento 2007-2020.

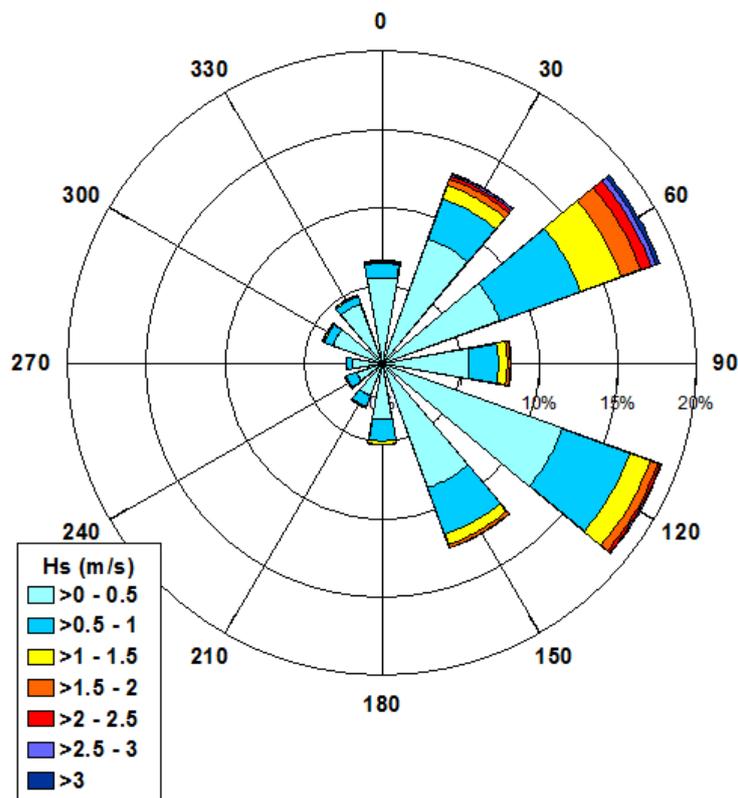


Figura 4-2 Era5 - Point 2– Rosa delle onde, Frequenze e Altezze Significative (m). Periodo di riferimento 2007-2020.

Dir(°N)	Hs (m)													Tot	
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5		
0	8.455	1.811	0.342	0.076	0.046	0.010	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.743
30	8.391	5.077	2.112	1.056	0.464	0.193	0.061	0.034	0.015	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	17.408
60	4.761	3.097	1.286	0.609	0.293	0.120	0.086	0.034	0.002	0.005	0.007	0.000	0.000	0.000	10.300
90	4.153	1.354	0.406	0.132	0.027	0.015	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.091
120	10.535	5.783	1.755	0.636	0.237	0.051	0.032	0.007	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	19.038
150	6.822	2.676	0.408	0.130	0.039	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.078
180	3.094	0.797	0.073	0.012	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.979
210	2.246	0.694	0.105	0.017	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.065
240	2.131	0.882	0.188	0.044	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.256
270	1.787	0.411	0.066	0.020	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.290
300	2.943	0.802	0.244	0.086	0.017	0.007	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.101
330	7.729	1.562	0.259	0.066	0.027	0.002	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.650
	63.048	24.946	7.245	2.882	1.173	0.401	0.191	0.078	0.020	0.010	0.007	0.000	0.000	0.000	100.000

Tabella 4-4 Era5 - Point 6 – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Dir (°N). Periodo di riferimento 2007-2020.

Tp(s)	Hs (m)													Tot	
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5		
1.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.0	0.513	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.513
3.0	31.697	0.093	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	31.790
4.0	21.832	6.680	0.059	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	28.571
5.0	6.020	10.454	1.559	0.061	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	18.097
6.0	1.711	4.928	3.481	0.912	0.090	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11.121
7.0	1.041	2.065	1.528	1.425	0.692	0.144	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.898
8.0	0.176	0.538	0.504	0.369	0.301	0.227	0.132	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.271
9.0	0.056	0.152	0.110	0.105	0.071	0.029	0.049	0.054	0.017	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.650
10.0	0.000	0.034	0.005	0.010	0.017	0.000	0.007	0.000	0.002	0.005	0.005	0.000	0.000	0.000	0.086
11.0	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
	63.048	24.946	7.245	2.882	1.173	0.401	0.191	0.078	0.020	0.010	0.007	0.000	0.000	0.000	100.000

Tabella 4-5 Era5 - Point 6 – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Tp (s). Periodo di riferimento 2007-2020.

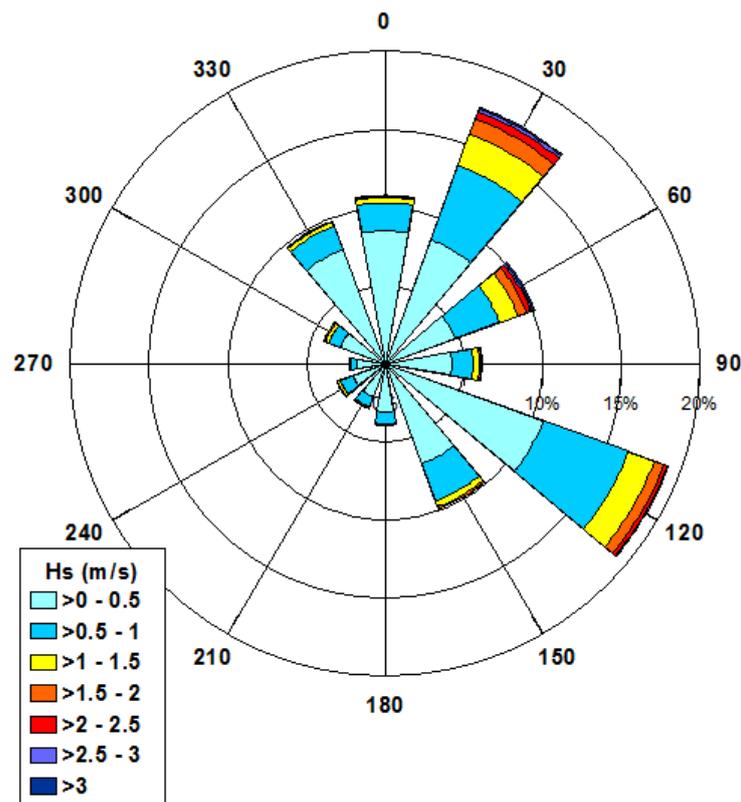


Figura 4-3 Era5 - Point 6– Rosa delle onde, Frequenze e Altezze Significative (m). Periodo di riferimento 2007-2020.

Date le similitudini, dei 2 punti analizzati, il clima in corrispondenza della zona offshore del Parco Eolico è da considerarsi in linea in termini di altezza d'onda e direzioni. Tuttavia vista la sua ubicazione geografica è ragionevole ipotizzare che possa essere maggiormente esposto al mare da Bora, e meno alle onde di provenienza dai settori NNO che raggiungono il 10 % nella serie dati a sud. Per questo, data anche la presenza di valori leggermente più alti nella serie temporale, per il calcolo degli estremi si è conservativamente assunto come rappresentativo il punto ERA5-2.

4.1.2 Condizioni sotto costa

Come anticipato precedentemente nella zona posta al di sotto dei 20 m di profondità (dove si ipotizza che mediamente le onde del sito siano in condizioni di acqua bassa o intermedia e inizino a risentire del fondale), lo studio dispone sia di 2 punti presi dal dataset Era5 che di 1 punto di misura sperimentale.

I punti ERA 5 sono in profondità di circa 14-15 m e sono ubicati rispettivamente a Sud (all'incirca all'altezza di Cattolica) e a Nord Ovest del parco Eolico. La boa ondometrica è invece ad Ovest del sito, di fronte a Cesenatico ed è posta a circa 10 m di profondità.

Sottocosta il clima si conferma mite con oltre il 70 % delle onde inferiori a 0.5 m, e più del 90 % sotto al metro. Eccedenze sopra la soglia di 1.5 m sono dell'ordine del 2.9 % e del 3.25% in corrispondenza del punto a nord, dove si registrano anche massimi leggermente più alti. I dati della Boa Nausicaa confermano questo andamento con un'eccedenza sopra la soglia di 1.5 m leggermente più frequente e pari a circa 3.7% dei casi.

I settori prevalenti sono anche qui quelli provenienti dal I e II quadrante con le onde provenienti dalle direzioni comprese tra 30 e 60 °N e da 120 ° N che superano il 50% dei casi, e con le direzioni da Bora che corrispondono alle onde più alte, e sono intorno al 33-34% delle frequenze in entrambi i data set (Tabella 4-6 e Tabella 4-8). I dati mostrano una sostanziale corrispondenza, a parità di latitudine (punto ERA5-1 e ERA5-2 (Figura 4-4 e Figura 4-2) vs ERA5-5 e ERA5-6 (Figura 4-5 e Figura 4-3)) delle direzioni prevalenti per il mare proveniente dai settori di Bora (ovvero 60° N a nord e 30° N per i punti sud), che si sposa con l'attesa esposizione al vento in funzione dell'orografia costiera della Croazia (/A12/). Dal punto di vista delle direzioni di provenienza delle onde, il punto 5 ubicato più a sud presenta una percentuale inferiore di onde provenienti da Scirocco e risentendo probabilmente dell'effetto di schermatura del Promontorio del Conero, come documentato per questa zona (/A3/) (Figura 4-5).

La direzionalità delle onde alla Boa Nausicaa risulta più focalizzata, data anche la maggior vicinanza alla costa, con il 83 % delle onde comprese tra i 30 e i 120° N (Figura 4-6). Molto importante, a differenza che negli altri dataset la componente proveniente da Est, a causa di possibili effetti di rifrazione soprattutto delle onde più lunghe. Le direzioni da Bora sono anche qui quelle associate alle onde più alte e corrispondono sempre ad 1 terzo circa del totale (Tabella 4-10).

Il periodo di picco si attesta tra i 3÷7 s (pari al 97% delle onde) in linea coi valori offshore, mentre i massimi sono dell'ordine di 9-10 secondi (Tabella 4-7 e Tabella 4-9). In corrispondenza della Boa Nausicaa i range tipici di periodo vengono confermati ma con una distribuzione più ampia, in quanto vi è una presenza di onde con periodo tra gli 1 e i 2 secondi e maggiore di 7 secondi, pari rispettivamente a circa l'8% e il 10% dei casi (Tabella 4-11).

Dir(°N)	Hs (m)											Tot
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	
0	4.793	0.523	0.066	0.044	0.020	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.448
30	8.914	2.488	0.687	0.274	0.164	0.056	0.010	0.007	0.000	0.000	0.000	12.600
60	10.801	6.323	2.522	1.256	0.557	0.222	0.088	0.029	0.005	0.005	0.000	21.810
90	9.824	2.102	0.496	0.105	0.020	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	12.549
120	16.714	4.585	1.161	0.237	0.049	0.022	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	22.773
150	6.406	1.650	0.262	0.039	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.364
180	2.613	0.474	0.034	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.124
210	1.738	0.362	0.024	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.134
240	1.479	0.384	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.894
270	1.408	0.127	0.017	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.555
300	2.874	0.384	0.061	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.322
330	4.035	0.340	0.037	0.012	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.427
	71.600	19.742	5.399	1.985	0.819	0.306	0.103	0.037	0.005	0.005	0.000	100.000

Tabella 4-6 Era5 - Point 1 – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Dir (°N). Periodo di riferimento 2007-2020.

Tp(s)	Hs (m)											Tot
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	
1.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.0	1.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.049
3.0	35.063	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	35.073
4.0	23.062	3.784	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	26.850
5.0	7.528	9.166	0.631	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	17.327
6.0	2.623	4.571	3.185	0.540	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.938
7.0	1.833	1.542	1.115	1.244	0.587	0.064	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.384
8.0	0.296	0.533	0.315	0.152	0.186	0.200	0.044	0.010	0.000	0.000	0.000	1.735
9.0	0.120	0.125	0.137	0.039	0.022	0.039	0.059	0.027	0.002	0.000	0.000	0.570
10.0	0.027	0.012	0.012	0.007	0.005	0.002	0.000	0.000	0.002	0.005	0.000	0.073
11.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	71.600	19.742	5.399	1.985	0.819	0.306	0.103	0.037	0.005	0.005	0.000	100.000

Tabella 4-7 Era5 - Point 1 – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Tp (s). Periodo di riferimento 2007-2020.

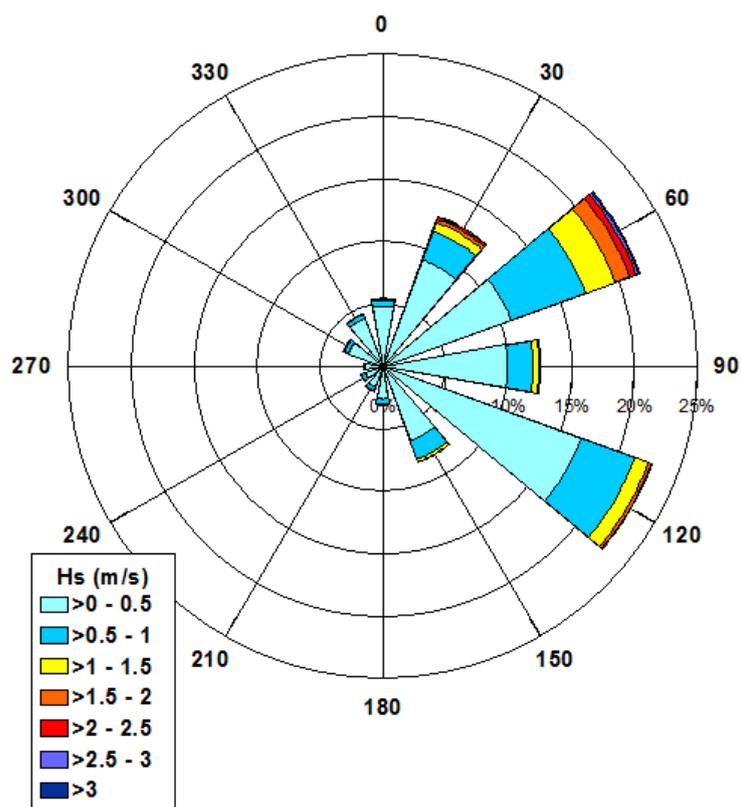


Figura 4-4 Era5 - Point 1– Rosa delle onde, Frequenze e Altezze Significative (m). Periodo di riferimento 2007-2020.

Dir(°N)	Hs (m)											Tot
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	
0	8.232	1.501	0.193	0.054	0.034	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.024
30	11.161	4.918	1.826	0.855	0.332	0.125	0.039	0.012	0.005	0.000	0.000	19.273
60	7.721	3.813	1.508	0.557	0.262	0.115	0.046	0.005	0.012	0.000	0.000	14.040
90	7.768	1.528	0.340	0.064	0.020	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.721
120	12.395	4.786	1.097	0.186	0.034	0.015	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	18.515
150	4.869	1.036	0.122	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.042
180	3.024	0.577	0.032	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.635
210	2.992	0.658	0.051	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.720
240	2.513	0.557	0.115	0.012	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.200
270	1.613	0.142	0.012	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.775
300	2.151	0.467	0.088	0.044	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	2.752
330	5.969	1.144	0.139	0.042	0.007	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.303
	70.407	21.126	5.524	1.855	0.694	0.269	0.090	0.017	0.017	0.000	0.000	100.000

Tabella 4-8 Era5 - Point 5 – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Dir (°N). Periodo di riferimento 2007-2020.

Tp(s)	Hs (m)											Tot
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	
1.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.0	0.660	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.660
3.0	34.650	0.178	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	34.828
4.0	22.658	4.187	0.061	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	26.907
5.0	8.746	8.980	0.719	0.046	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	18.493
6.0	2.259	5.079	2.833	0.423	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.618
7.0	1.244	2.056	1.320	1.173	0.430	0.044	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	6.272
8.0	0.081	0.518	0.413	0.147	0.208	0.166	0.044	0.000	0.000	0.000	0.000	1.577
9.0	0.086	0.112	0.166	0.049	0.024	0.059	0.042	0.015	0.007	0.000	0.000	0.560
10.0	0.024	0.015	0.012	0.017	0.005	0.000	0.000	0.002	0.010	0.000	0.000	0.086
11.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	70.407	21.126	5.524	1.855	0.694	0.269	0.090	0.017	0.017	0.000	0.000	100.000

Tabella 4-9 Era5 - Point 5 – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Tp (s). Periodo di riferimento 2007-2020.

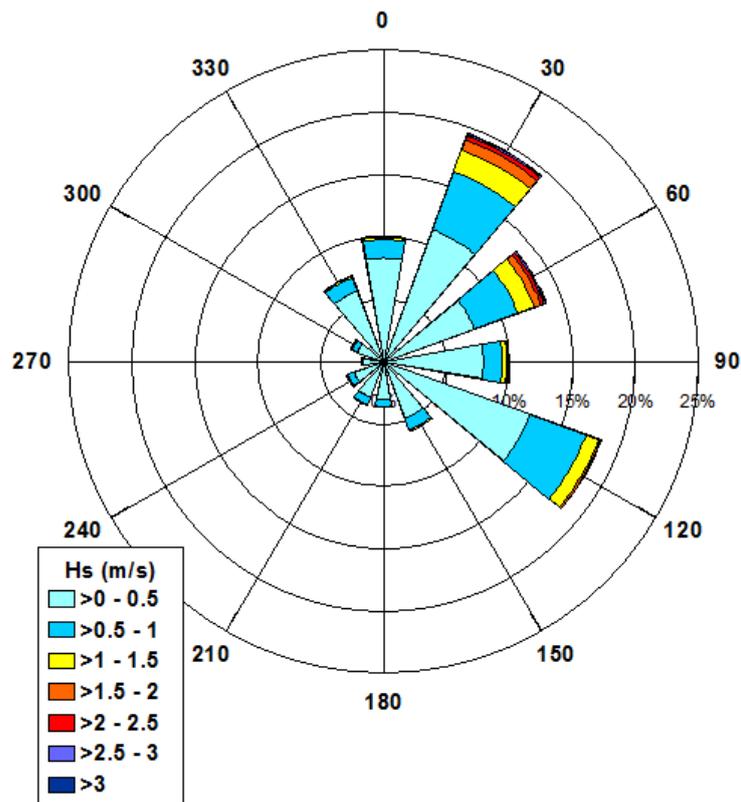


Figura 4-5 Era5 - Point 5– Rosa delle onde, Frequenze e Altezze Significative (m). Periodo di riferimento 2007-2020.

Dir(°N)	Hs (m)											Tot
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	
0	6.077	0.842	0.095	0.018	0.018	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	7.052
30	8.623	2.457	0.791	0.342	0.205	0.062	0.015	0.000	0.006	0.003	0.000	12.504
60	9.316	5.595	2.945	1.568	0.604	0.250	0.086	0.024	0.012	0.006	0.003	20.407
90	24.286	8.230	1.862	0.410	0.024	0.003	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	34.819
120	13.349	1.919	0.039	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	15.318
150	0.866	0.048	0.003	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.922
180	0.384	0.006	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.393
210	0.416	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.422
240	0.642	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.663
270	1.175	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.205
300	2.745	0.077	0.003	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.829
330	3.290	0.146	0.009	0.006	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.465
	71.169	19.372	5.750	2.365	0.869	0.315	0.101	0.027	0.021	0.009	0.003	100.000

Tabella 4-10 Boa Nausicaa – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Dir (°N). Periodo di riferimento 2007-2020.

Tp(s)	Hs (m)											Tot
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	
1.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.0	7.939	0.018	0.006	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.968
3.0	18.412	0.431	0.009	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	18.855
4.0	20.036	2.998	0.065	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	23.105
5.0	13.257	6.422	0.482	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	20.175
6.0	5.065	5.104	1.939	0.232	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	12.353
7.0	2.594	2.002	1.832	1.118	0.161	0.009	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	7.722
8.0	1.910	1.651	0.714	0.690	0.604	0.199	0.024	0.000	0.006	0.003	0.000	5.800
9.0	0.913	0.455	0.387	0.098	0.057	0.089	0.045	0.012	0.009	0.003	0.000	2.067
10.0	0.842	0.250	0.294	0.173	0.024	0.018	0.030	0.012	0.003	0.003	0.003	1.651
11.0	0.202	0.042	0.021	0.030	0.006	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.303
	71.169	19.372	5.750	2.365	0.869	0.315	0.101	0.027	0.021	0.009	0.003	100.000

Tabella 4-11 Boa Nausicaa – Distribuzione di Frequenza (%) Hs (m) vs Tp (s). Periodo di riferimento 2007-2020.

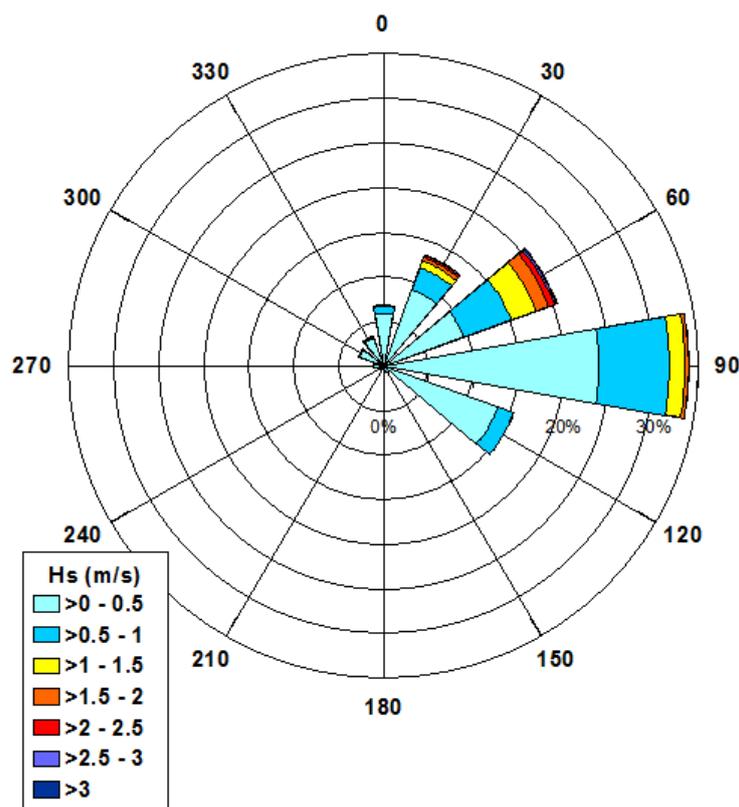


Figura 4-6 - Boa Nausicaa – Rosa delle onde, Frequenze e Altezze Significative (m). Periodo di riferimento 2007-2020.

Nella zona di progetto, così come documentato lungo le coste dell'Emilia Romagna, e diversamente da quanto osservato più a Nord (/A10/) le altezze significative maggiori sono associate alle direzioni di provenienza ENE (/A3/).

Sulla base del clima descritto qui sopra, il sito di progetto al di sotto della batimetria dei 20 m è caratterizzato da onde provenienti dal I e II quadrante e da un clima mite solo occasionalmente con valori di altezza che superano i 2 m.

Per il calcolo delle onde di progetto, si è ritenuto di scegliere conservativamente i dati della Boa Nausicaa, come rappresentativi della zona sottocosta, in quanto caratterizzati, data la profondità leggermente inferiore da altezze d'onda maggiori.

4.1.3 Stagionalità

Per l'analisi si sono analizzati i due punti scelti come rappresentativi del regime offshore e costiero, ovvero i dati del Punto 2 del dataset ERA5 e della Boa Nausicaa (vedi sezioni 4.1.1 e 4.1.2).

In generale i dati confermano, come riportato da vari autori, che la Bora, un vento forte, freddo, caratterizzato da raffiche intermittenti tipico principalmente del periodo invernale (vedi paragrafo 4.1.3) ha una forte influenza sul clima di moto ondoso dell'intero Nord Adriatico compresa la zona costiera italiana(/A12/). In entrambi i dataset si vede il chiaro carattere stagionale del regime di moto ondoso che presenta le onde più alte associate alla stagione autunno-invernale, e un clima estivo decisamente mite con la percentuale di onde che supera la soglia del 0.5 m che scende sotto al 20 % anche nel settore offshore.

Questo risultato è in linea con i differenti regimi anemologici riscontrati nell'area tra inverno e estate (/A11/e /A12/)

I mesi col clima più gravoso sono Febbraio e Novembre nel settore offshore con percentuale di onde sopra al metro pari al 22% (Figura 4-7). Il carattere stagionale è particolarmente evidente con un inversione nelle direzioni prevalenti tra inverno e la primavera (quando la frequenza dello onde provenienti dalla direzione 120°N associata allo Scirocco aumenta sensibilmente a scapito della componente da NE e anche del mare di generazione locale). L'autunno appare simile all'inverno in termini di direzioni prevalenti ma con minor incidenza di mareggiate.

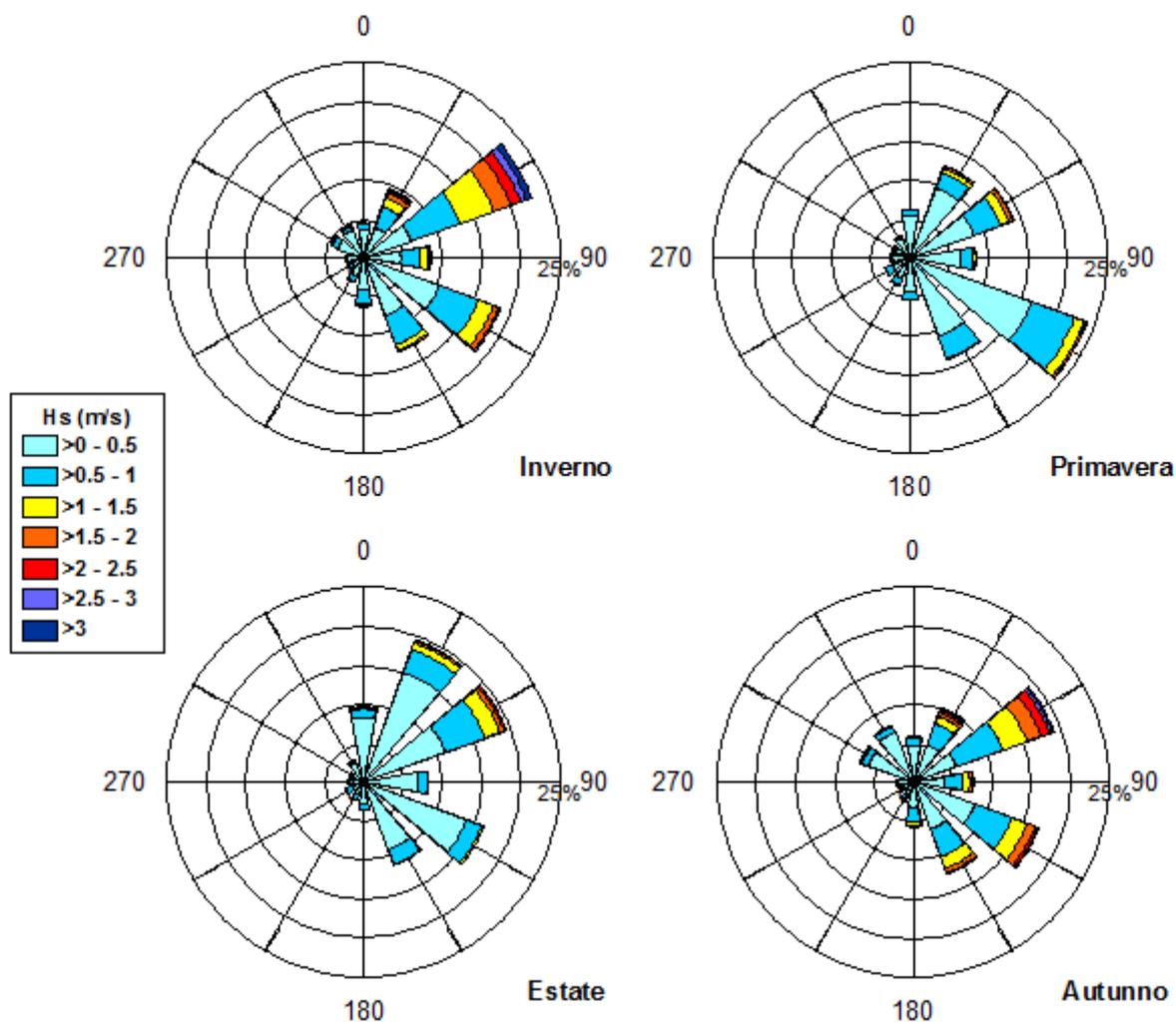


Figura 4-7 Era5 - Point 2 - Rose del Moto Ondoso su base stagionale (2007-2020).

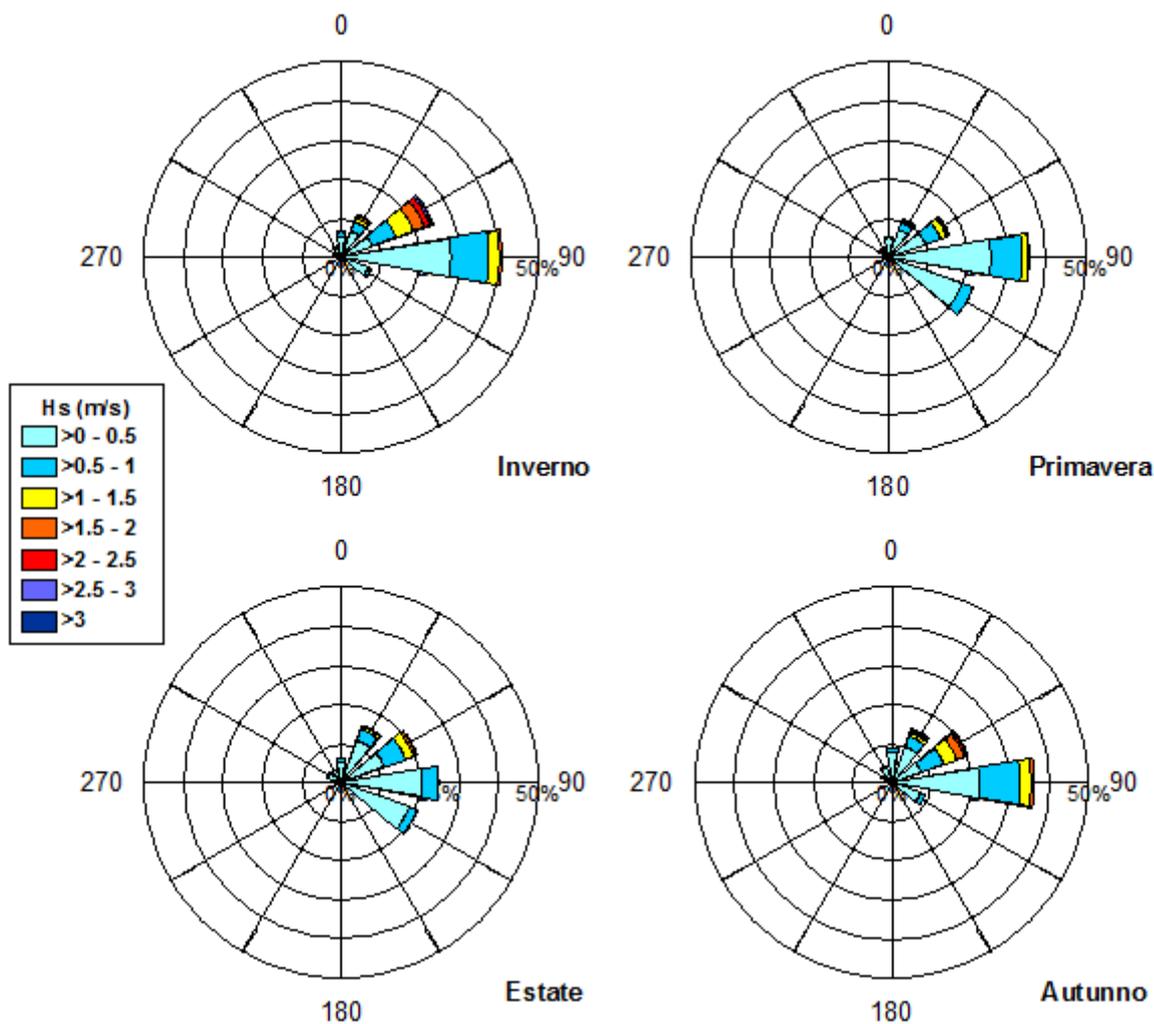


Figura 4-8 Boa Nausicaa - Rose del Moto Ondoso su base stagionale (2007-2020).

I valori medi mensili alla Boa Nausicaa sono sempre inferiori a 0.6 m di altezza d'onda significativa, come atteso i valori massimi si registrano in marzo con minimi estivi tra giugno e agosto quando mediamente l'altezza d'onda significativa su base mensile è dell'ordine di dei 0.30÷0.35 m. Le distribuzioni su base stagionale rivelano anche sottocosta una certa variabilità tra i periodi (Figura 4-6).

Maggiore la frequenza dell'onde provenienti da NE (60°N) in autunno e inverno, e proprio tra Gennaio e Marzo si riscontrano il maggior numero di mareggiate (15% di onde sopra 1 m e 6-7 % sopra 1.5 m). La componente più frequente per direzione di provenienza delle onde (come su tutta la costa romagnola (/A3/)) proviene da est con un 30-35% dei casi. D'estate solo le onde di provenienza da NE superano il metro. Le componenti da Sud Est sono tipiche del periodo primaverile ed estivo ma generalmente caratterizzate da lieve entità.

4.2 Onda di Progetto

Nell'ambito dell'ingegneria costiera, la definizione dei parametri meteo-marini di progetto è basata sulla stima dei valori estremi di una grandezza, cioè di valori che abbiano associato un rischio di superamento nelle varie fasi di messa in opera e vita operativa delle strutture e delle opere in progetto. La stima degli estremi comporta la definizione dei parametri caratteristici della distribuzione statistica dei valori rilevati, caratteristiche a priori ignote sia per quanto riguarda la forma funzionale sia per quanto riguarda i parametri della distribuzione che descrive tale forma funzionale. A posteriori la scelta può essere giustificata con i metodi di analisi di "bontà del fitting" tra la distribuzione dedotta dai dati misurati e distribuzioni di probabilità che, negli anni, sono state proposte ed utilizzate. La consuetudine ha portato poi ad una certa standardizzazione nell'uso di tali distribuzioni teoriche: in tal senso la stima dei valori estremi di onda viene effettuata con la distribuzione di Weibull, utilizzando il metodo dei minimi quadrati, in accordo alla normativa (/A24/).

La teoria dei valori estremi fornisce dunque stime della probabilità che si verifichino, in un certo periodo temporale, valori estremi di un determinato parametro. Il periodo di ritorno dell'evento x è definito come il numero di anni entro i quali x viene superato mediamente una volta.

I parametri dell'onda di progetto per le profondità maggiori ed inferiori ai 20 m, come precedentemente indicato, sono stati conservativamente calcolati a partire dal dataset ERA5- Punto 2 e dai dati della Boa Nausicaa. I valori di H_{max} sono calcolati in base alla normativa (/A24/).

Le stime dei periodi di picco (T_p) associati con le altezze d'onda significative sono stati calcolati sulla base di relazioni empiriche mediante fitting di una legge di potenza validato sulla base di indicazioni bibliografiche (/A10/ e /A6/).

I risultati del calcolo degli estremi di moto ondoso sono riportati in Tabella 4-12, rispettivamente per il settore offshore e per la zona più sotto costa.

	Onde Estreme (OMNI)											
	1 ANNO			10 ANNI			50 ANNI			100 ANNI		
	Hs (m)	Tp (s)	H _{max} (m)	Hs (m)	Tp (s)	H _{max} (m)	Hs (m)	Tp (s)	H _{max} (m)	Hs (m)	Tp (s)	H _{max} (m)
WD < 20 m	3.95	8.1	7.1	5.24	8.8	9.4	6.17	9.2	11.0	6.57	9.3	11.7*
WD > 20 m	4.38	8.9	7.8	5.76	9.9	10.2	6.74	10.5	11.9	7.17	10.7	12.6

Tabella 4-12 Altezza Significativa, Periodo e Altezza Massima delle onde per periodi di ritorno di 1, 10, 50 e 100 anni, per condizioni costiere e offshore. * a 100 anni l'onda massima per profondità di 14 m supera il rapporto $H_{max}/H_{breaking}=0.78$ e pertanto $H_{max}=10.92$ m (/A19/).

I parametri di design ottenuti per la zona offshore sono in linea con i valori medi stimati per il Nord Adriatico da Katalinic e Parunov (2021) sulla base del database di Fugro Oceanor (/A7/).

Valori maggiori di H_{max} potrebbero verificarsi in occasione di onde anomale pertanto andrebbe considerato un margine per valutare altezza minima di eventuali equipaggiamenti.

4.2.1 Cambiamenti climatici

La valutazione degli effetti dell'attuale surriscaldamento globale sugli eventi meteo marini estremi è ormai di enorme interesse anche nelle attività di progettazione di strutture e installazioni offshore con vita progettuale di 25-50 anni.

Da più di un decennio diversi autori si sono cimentati nello studio di come le mareggiate estreme possano essere impattate dagli effetti dei cambiamenti climatici previsti sotto i differenti scenari ipotizzati dal IPCC (International Panel for Climate Change, /A22/ e /A23/). Tra questi Benetazzo et al., (2012) propongono uno studio mirato proprio al bacino Adriatico. Qui diversamente da altre aree, i risultati sembrerebbero dimostrare che il clima di moto ondoso sarà generalmente più mite, con eventi estremi di vento e onda meno intensi, in un futuro clima più caldo del presente(/A4/). Nel 2020 altri autori attraverso uno studio basato su modelli ad alta risoluzione combinati con tecniche di downscaling hanno quantificato i cambiamenti attesi nelle altezze significative per le tempeste da Bora e Scirocco per il periodo 2060-2100 (/A6/). Lo studio conferma un declino generale delle intensità degli eventi estremi (minori Hs) e dei periodi di picco sia per scenari intermedi che per scenari "worst case", seguendo le previsioni di Benetazzo et al., 2012 (/A4/).

Da ultimo, secondo una recente analisi (/A5/, 2021) dei trend riscontrabili nei parametri caratteristici del moto ondoso sulla base di serie storiche ERA-Interim di EMCWF di lungo periodo (1979-2018), l'adriatico risulta l'area caratterizzata da trend in Hs di minore entità che oscillano tra 0 e 0.01 m/s per decennio, per tanto ai limiti dell'incertezza del metodo nel corso della vita dell'opera.

Stando a quanto sopra, la valutazione delle onde di progetto sulla base degli eventi estremi del passato, come quella presentata in questo studio, sembrerebbe non costituire criticità ma essere potenzialmente conservativa per gli scenari futuri.

5 REGIME DELLE CORRENTI

La circolazione nel Nord Adriatico è dovuta prevalentemente a fenomeni di natura termalina connessi con il deflusso di acqua dal Po'. Il carattere è ciclonico con intensificazioni lungo la costa occidentale soggette a variabilità stagionale, come mostrato nella Figura 5-1 (/A2/).

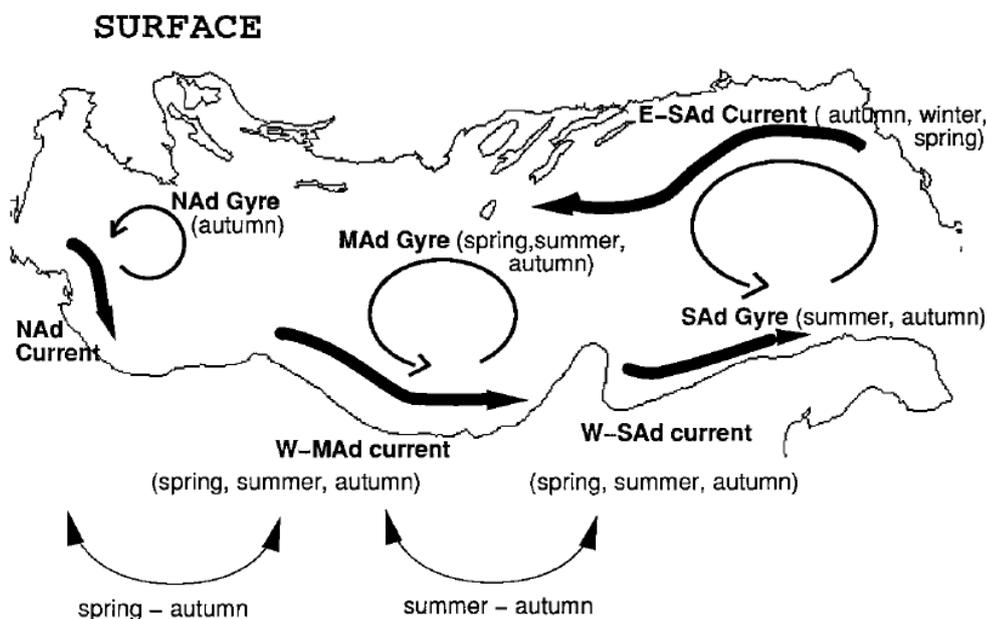


Figura 5-1 Schema di circolazione superficiale dell'Adriatico, ricostruito da Artegiani et al., 1997 (/A2/). Il sito di progetto è interessato dalla corrente NAd (North Adriatic Current), la cui influenza si estende verso il centro del bacino e verso sud in primavera mentre resta maggiormente confinata in inverno.

Le correnti superficiali lungo la costa italiana sono dirette in direzione Sud Est con intensità medie di circa $0.15 \div 0.20$ m/s nel corso dell'anno. I valori massimi sono tipici della tarda primavera (/A18/).

5.1 Correnti zona costiera

I dati di corrente riportati di seguito sono relativi alle serie storiche di correnti superficiali ricostruite mediante il modello AdriaROMS operativo presso il servizio Idrometeorologico dell'ARPA Emilia Romagna (/A16/). In particolare i dati presentati, in Tabella 5-1 e Tabella 5-2 si riferiscono rispettivamente ai punti di griglia relativi a Cesenatico (Latitudine 44.2599°N Longitudine 12.4327°E) e Misano (Latitudine 44.0423°N Longitudine 12.6973°E) in profondità di circa 10 m e sono relativi al triennio 2005-2007 (/A21/).

Il regime di corrente appare confrontabile nei due punti, caratterizzato da intensità al di sotto dei 0.3 m/s in più dell'80% dei casi e con meno dei 5% dei valori sopra 0.4 m/s, mentre le direzioni di propagazione seguono l'allineamento delle batimetriche lungo la costa come testimonia il leggero tilt delle direzioni principali (da SE-S a ESE-SSE).

Un confronto con i valori medi giornalieri di rianalisi climatica Copernico nel periodo 1987 – 2019, estratti in corrispondenza del Parco Eolico a profondità di circa 20 m e presentati da DHI nella relazione sugli impatti a

costa (/A28/ vedi Figura 5.2), confermano le direzionalità, attestando una relativa stabilità temporale del regime medio di correnti superficiali.

Current (m/s)	Current Direction (direction to)																Tot
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
0.1	1.1	1.0	1.0	1.3	1.2	1.8	2.6	2.4	1.7	1.4	1.0	0.9	1.1	1.2	1.1	1.3	21.8
0.2	1.3	0.9	1.3	1.1	1.2	2.8	6.7	6.1	3.6	2.3	1.8	1.3	1.2	1.3	1.6	1.6	36.4
0.3	0.6	0.3	0.3	0.3	0.5	1.5	6.4	6.7	3.9	1.5	0.7	0.4	0.5	0.6	0.9	1.1	26.1
0.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5	4.4	3.7	1.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.4	11.5
0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	1.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	3.2
0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tot	3.3	2.3	2.6	2.7	3.0	6.6	21.7	20.5	11.0	5.6	3.7	2.7	2.9	3.3	3.9	4.5	

Tabella 5-1 Cesenatico- Distribuzione di Frequenza (%) Direzione vs Intensità correnti superficiali (2005-2007), (/A21/).

Current (m/s)	Current Direction (direction to)																Tot
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
0.1	0.9	0.9	0.6	1.1	1.6	2.1	2.5	2.2	1.5	1.4	1.1	1.2	1.0	1.3	1.2	1.0	21.6
0.2	0.7	0.8	1.4	1.5	2.9	5.2	6.3	4.6	2.7	1.7	1.4	1.7	1.7	1.6	1.6	1.1	36.9
0.3	0.2	0.2	0.3	0.5	1.5	5.6	8.2	3.0	1.2	0.8	0.5	0.4	0.7	0.7	0.8	0.4	25.0
0.4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	3.8	4.9	1.3	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	11.7
0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.7	1.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9
0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tot	1.8	1.9	2.3	3.3	6.6	18.7	24.2	11.3	5.5	3.9	3.1	3.5	3.6	3.9	3.9	2.6	

Tabella 5-2 Misano- Distribuzione di Frequenza (%) Direzione vs Intensità correnti superficiali (2005-2007), (/A21/).

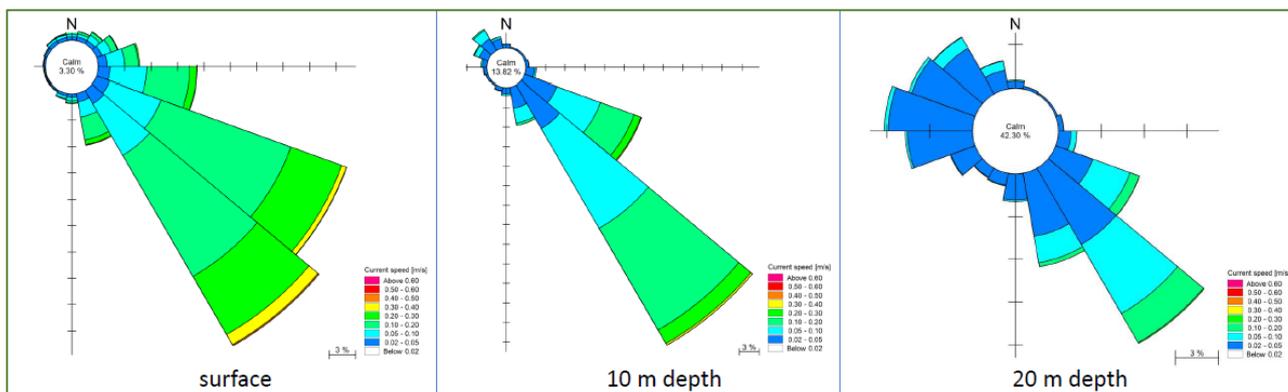


Figura 5.2 – Rose di corrente superficiale (giornaliera) rispettivamente in superficie a 10m ed a 20m di profondità in corrispondenza del campo eolico "Rimini"/A28/.

5.2 Correnti di Progetto

Per la stima delle correnti estreme nella zona costiera si è potuti partire dalle tabelle di distribuzione di cui alla sezione 5.1, mediante fitting con una distribuzione di Weibull. La serie temporale triennale si può ragionevolmente ritenere significativa data la scarsa variabilità delle intensità osservate (vedi sezione 5.1). I valori degli estremi calcolati sono sostanzialmente identici nei due siti, e sono presentati in Tabella 5-3.

Per la zona offshore, oltre i 20 metri di profondità, dove l'influenza delle correnti costiere è minore gli estremi di corrente superficiale sono stati stimati in modo conservativo come il 3% degli estremi di vento NEWA (/A15/) riportati alla quota di 10 m sull'altezza del mare, come indicato al capitolo 3, in accordo alla normativa (/A24/).

I risultati del calcolo per periodi di ritorno di 1, 10, 50 e 100 anni sono presentati in Tabella 5-3. Sempre in Tabella 5-3 agli estremi di corrente superficiale sono abbinate le stime delle velocità estreme ad 1 m dal fondo rispettivamente a 14 e 44 m di profondità, ovvero alle due estremità dei range attesi nel sito di progetto.

	Correnti (m/s) (OMNI)							
	1 ANNO		10 ANNI		50 ANNI		100 ANNI	
	U_{sup}	U_{bottom}^*	U_{sup}	U_{bottom}^*	U_{sup}	U_{bottom}^*	U_{sup}	U_{bottom}^*
WD < 20 m	0.70	0.48	0.81	0.56	0.88	0.60	0.90	0.62
WD > 20 m	0.53	0.31	0.61	0.36	0.66	0.39	0.68	0.40
$U_{bottom} = 1$ m dal fondo, dove il fondo è assunto rispettivamente pari a 14 m e a 44 m								

Tabella 5-3 Estremi di corrente per periodi di ritorno di 1, 10, 50 e 100 anni.

Le direzioni delle correnti vanno assunte conservativamente in funzione delle analisi da effettuare. Per le quote non riportate in tabella si può ipotizzare un profilo ad 1/7.

6 CONCLUSIONI

Lo studio presentato fornisce sulla base di dati di rianalisi climatica e misure in situ una descrizione del clima di moto ondoso e correnti e la definizione dei parametri di progetto per il Parco Eolico applicabili a profondità maggiori ed inferiori ai 20 m.

Date le scale dei fenomeni osservati, dal punto di vista del Layout lo studio resta valido indipendentemente dalla scelta progettuale.

7 RIFERIMENTI

- /A1/ Artegiani, A., Paschini, E., Russo, A., Bregant, D., Raicich, F., Pinardi, N., 1997. The Adriatic Sea General Circulation. Part I: Air–Sea Interactions and Water Mass Structure. *Journal of Physical Oceanography* 27, 1492–1514.
- /A2/ Artegiani, A., Paschini, E., Russo, A., Bregant, D., Raicich, F., Pinardi, N., 1997. The Adriatic Sea General Circulation. Part II: Baroclinic Circulation Structure. *J. Phys. Oceanogr.* 27, 1515–1532.
- /A3/ Armaroli, C., Ciavola, P., Perini, L., Calabrese, L., Lorito, S., Valentini, A., Masina, M., 2012. Critical storm thresholds for significant morphological changes and damage along the Emilia-Romagna coastline, Italy. *Geomorphology* 143–144, 34–51.
- /A4/ Benetazzo, A., Fedele, F., Carniel, S., Ricchi, A., Bucchignani, E., Sclavo, M., 2012. Wave climate of the Adriatic Sea: a future scenario simulation. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 12, 2065–2076.
- /A5/ Caloiero, T., Aristodemo, F., 2021. Trend Detection of Wave Parameters along the Italian Seas. *Water* 13, 1634.
- /A6/ Denamiel, C., Pranić, P., Quentin, F., Mihanović, H., Vilibić, I., 2020. Pseudo-global warming projections of extreme wave storms in complex coastal regions: the case of the Adriatic Sea. *Clim. Dyn.* 55, 2483–2509.
- /A7/ Katalinić, M., Parunov, J., 2021. Comprehensive Wind and Wave Statistics and Extreme Values for Design and Analysis of Marine Structures in the Adriatic Sea. *J. Mar. Sci. Eng.* 9, 522.
- /A8/ Malanotte Rizzoli, P., Bergamasco, A., 1983. The Dynamics of the Coastal Region of the Northern Adriatic Sea. *J. Phys. Oceanogr.* 13, 1105–1130.
- /A9/ Masina, M., Ciavola, P., 2011. Analisi dei livelli marini estremi e delle acque alte lungo il litorale ravennate 16.
- /A10/ Pomaro, A., Cavaleri, L., Lionello, P., 2017. Climatology and trends of the Adriatic Sea wind waves: analysis of a 37-year long instrumental data set. *Int. J. Climatol.* 37, 4237–4250.
- /A11/ Russo, A., Artegiani, A., 1996. Adriatic Sea hydrography. *Scientia Marina, The european anchovy and its environment*, I. Palomera and P. Rubiés (eds.) 60, 33–43.
- /A12/ Signell, R.P., Chiggiato, J., Horstmann, J., Doyle, J.D., Pullen, J., Askari, F., 2010. High-resolution mapping of Bora winds in the northern Adriatic Sea using synthetic aperture radar. *J. Geophys. Res.* 115, C04020.
- /A13/ Copernicus Data Store. <https://cds.climate.copernicus.eu/>.
- /A14/ Servizio IdroMeteoClima di Arpae. <https://simc.arpae.it/dext3r/>.
- /A15/ New European wind atlas NEWA <https://map.neweuropeanwindatlas.eu/>.
- /A16/ AdriaROMS Arpa Emilia Romagna <https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/meteo>.
- /A17/ <http://dati.isprambiente.it/dataset/ron-rete-ondametrika-nazionale/>
- /A18/ Atlante della correnti superficiali dei mari italiani, 1982. . Istituto Idrografico della Marina.
- /A19/ Coastal Engineering Research Center, 1984. Shore Protection Manual Volume 1, pp 640.
- /A20/ Mareggiate e Impatti sulla costa. Aggiornamento dati al 2020. Servizio Geologico Sismico e dei Suoli. Regione Emilia Romagna.

- /A21/ Il clima meteo-marino del bacino adriatico nel settore emiliano romagnolo, 2011. Servizio Geologico Sismico e dei Suoli. Regione Emilia Romagna.
- /A22/ IPCC (Ed.), 2014. 5th Assessment Report. Technical Summary, IPCC Special Report. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- /A23/ IPCC (Ed.), 2000. Emissions scenarios: summary for policymakers; a special report of IPCC Working Group III Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC special report. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- /A24/ DNVGL – RP C205 Environmental conditions and environmental loads.
- /A25/ Gebco, «Nippon Foundation-GEBCO Seabed 2030,» <https://download.gebco.net/>, 2021.

7.1 Reference di Progetto

- /A26/ OWFRMN_V2.SC2.06.1 Relazione Sismica e sulle strutture (MARE).
- /A27/ OWFRMN_V3.SC1.01 Studio Anemologico e producibilità impianto.
- /A28/ OWFRMN_V3.SC1.09 Analisi Dell’impatto Del Campo Eolico Sul Moto Ondoso A Costa.