

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 1 di 72	<b>Rev.</b> 1



Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

**EMERGENZA GAS**  
**INCREMENTO DI CAPACITÀ DI RIGASSIFICAZIONE (DL 17.05.2022, n. 50)**  
**FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti**

**studio specialistico di idraulica marittima**  
**STUDIO METEOMARINO**

CUP ASSEGNATO AL PROGETTO → E63F22000090007

1	Aggiornato dove indicato in colore rosso nel testo	P.De Girolamo	L.Nardi	P. Russo	Sett. 2023
0	Emissione per permessi	P.De Girolamo	L.Fantera	V.Forlivesi P. Russo	Sett. 2022
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato Autorizzato</b>	<b>Data</b>

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 2 di 72	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>OBIETTIVI E METODOLOGIA DI LAVORO</b>	<b>6</b>
2.1	Dati batimetrici di riferimento	7
<b>3</b>	<b>DATI METEOMARINI DI RIFERIMENTO</b>	<b>8</b>
3.1	Dati di vento	8
3.2	Dati di moto ondoso	8
3.3	Dati mareografici	9
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL SITO DI INTERESSE</b>	<b>11</b>
4.1	Fetch geografici ed efficaci	13
4.1.1	Punto FSRU Ravenna	13
4.1.2	Punto ERA5 Ravenna	18
<b>5</b>	<b>CLIMA ANEMOMETRICO</b>	<b>22</b>
5.1	Regime anemometrico nel punto ERA5 Ravenna	22
5.2	Regime anemometrico nel punto RMN Ravenna	25
5.3	Regime anemometrico per la Piattaforma Annamaria B	27
5.4	Confronto tra i risultati ottenuti dalle tre stazioni	28
<b>6</b>	<b>ANALISI STATISTICA DEI VALORI ESTREMI CALIBRATI DELLA VELOCITÀ DEL VENTO</b>	<b>29</b>
6.1	Calibrazione del vento ERA5 Ravenna	29
6.1.1	Metodo sincrono	30
6.1.2	Metodo asincrono	30
6.2	Statistica dei dati di vento estremi	31
6.3	Correlazione altezza d'onda significativa Hs e velocità del vento W10	32
<b>7</b>	<b>CLIMA ONDAMETRICO A LARGO</b>	<b>33</b>
7.1	Dati di moto ondoso in ricostruzione ERA5 Ravenna	33
<b>8</b>	<b>CALIBRAZIONE DEI DATI ONDAMETRICI PER LA VALUTAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI</b>	<b>40</b>
8.1	Confronto degli eventi sincroni al largo di Ancona	41
8.2	Confronto degli eventi estremi asincroni al largo di Ancona	42
<b>9</b>	<b>ANALISI STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDOSO A LARGO</b>	<b>45</b>
9.1	Individuazione del modello probabilistico per i dati selezionati	45
9.2	Statistica degli eventi estremi per il punto ERA5 Ravenna 44.50°N-12.50°E	47
<b>10</b>	<b>PROPAGAZIONE LARGO-RIVA DEL MOTO ONDOSO</b>	<b>53</b>
10.1	Introduzione	53

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 3 di 72	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

10.2	Applicazione del modello numerico propagazione del moto ondoso	53
10.3	Clima ondametrico in corrispondenza del terminale	56
10.4	Confronto con dati misurati sottocosta dalla boa ARPAE Nausicaa	62
<b>11</b>	<b>VARIAZIONI DEL LIVELLO DEL MARE</b>	<b>65</b>
11.1	Correlazione tra i valori di altezza d'onda significativa Hs e livelli residui	69
<b>12</b>	<b>CAMBIAMENTI CLIMATICI</b>	<b>71</b>
12.1	Variazioni a lungo termine dei livelli del mare a Ravenna	71

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 4 di 72</b>	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

## 1 INTRODUZIONE

Il presente rapporto descrive lo studio meteomarinario finalizzato a definire i principali parametri meteomarini di interesse per il progetto del nuovo terminale marittimo che consentirà di ormeggiare una nave FSRU (Floating Storage and Regasification Unit) a largo del Porto di Ravenna, dove attualmente è situata l'esistente piattaforma offshore Petra (società del gruppo PIR), allo scopo di importare e vaporizzare gas naturale liquido (Liquid Natural Gas) importato tramite navi LNG "Shuttle".

Il presente studio è stato aggiornato alla luce delle ottimizzazioni progettuali relative al Progetto "FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti" emerse durante lo svolgimento dell'ingegneria di dettaglio ed a valle dell'Autorizzazione Unica alla costruzione ed esercizio rilasciata dal Commissario straordinario di Governo della Regione Emilia-Romagna con Decreto n.3 del 7 novembre 2022 ai sensi dell'art. 5 del D.L. 17 maggio 2022 n. 50.

In particolare, una delle ottimizzazioni riguarda la posizione della diga frangi flutti posizionata ad est della piattaforma di ormeggio della FSRU, per la quale è stato previsto un riposizionamento planimetrico avvicinandola sensibilmente alla piattaforma stessa.

Occorre precisare che tali ottimizzazioni non condizionano i principali parametri meteomarini (moto ondoso, vento e variazioni del livello del mare) di interesse per la progettazione del nuovo terminale.

Lo studio è stato aggiornato inserendo un confronto di tipo qualitativo tra i dati di moto ondoso ricostruiti in rianalisi dal centro meteorologico europeo (ECMWF-ERA5) e i dati registrati al largo di Cesenatico dalla boa ondometrica gestita dall'Arpa Emilia Romagna.

Nel testo queste integrazioni sono evidenziate in rosso.

Lo studio è stato curato dal punto di vista tecnico-scientifico dal Prof. Ing. Paolo De Girolamo con Modimar Project s.r.l..

Lo studio è strutturato come segue:

Nella Sezione 2 sono illustrati gli obiettivi e la metodologia di lavoro dello studio.

Nella Sezione 3 vengono presentati i dati meteomarini (vento, moto ondoso e livelli) presi a riferimento.

Nella Sezione 4 è presentato l'inquadramento geografico del sito di interesse e vengono analizzati i fetch geografici ed efficaci.

Nella Sezione 5 viene analizzato il clima anemometrico che caratterizza il sito di interesse.


La Sezione 6 fornisce i risultati della calibrazione e dell'analisi statistica dei valori estremi di vento forniti dal modello numerico di ricostruzione ERA5.

Nella Sezione 7 viene analizzato il regime di moto ondoso al largo del paraggio.

La Sezione 8 presenta i risultati dell'analisi di calibrazione per i dati di moto ondoso in ricostruzione forniti dal modello ERA5 al largo del sito di interesse.

La Sezione 9 riporta i risultati dell'analisi statistica dei valori estremi calibrati di moto ondoso al largo del paraggio.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 5 di 72	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

Nella Sezione 10 vengono presentati i risultati dell'applicazione di un modello numerico di propagazione largo-riva per la definizione del clima ondametrico in corrispondenza del terminale. In questo aggiornamento i risultati ottenuti sono stati posti a confronto le misure di moto ondoso effettuate dalla boa ondametrica posta al largo di Cesenatico.

La Sezione 11 presenta le variazioni di livello marino, dovute alla marea astronomica ed alla marea meteorologica, che caratterizzano il sito di interesse, in condizioni ordinarie ed estreme. Viene inoltre presentata una analisi di correlazione tra i valori di altezza d'onda e i sovralti di tempesta.

Infine nella Sezione 12 viene affrontata la tematica della variazione nel lungo termine del livello del mare dovuta ai cambiamenti climatici.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 6 di 72</b>	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

## 2 OBIETTIVI E METODOLOGIA DI LAVORO

Gli obiettivi del presente studio sono quelli di definire le caratteristiche statistiche dei principali parametri meteomarini (moto ondoso, vento e variazioni del livello del mare) di interesse per la progettazione del nuovo terminale marittimo, che come sopra riportato accoglierà una nave FSRU funzionale all'importazione e alla vaporizzazione di LNG. Come di seguito descritto con maggiore precisione, il terminale sarà localizzato a Sud-Est del Porto di Ravenna dove attualmente è situato l'esistente terminale offshore per prodotti liquidi costituito da un pontile su pali denominato Petra (società del gruppo PIR).

Per la redazione dello studio si è fatto riferimento ai seguenti dati:

- serie storiche di dati di vento e di moto ondoso ricostruiti in ri-analisi dal 1979 al 2021 con cadenza oraria dal Centro Meteorologico Europeo (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF) nell'ambito del progetto ERA5. Questi dati sono stati acquisiti sia per un punto posto a largo del sito in esame, sia per un punto posto a largo del Porto di Ancona;
- risultati di analisi eseguite su dati di vento misurati presso la piattaforma Annamaria B posta ad Est del sito di interesse quasi al centro dell'Adriatico centro-settentrionale;
- serie storica di misure di moto ondoso direzionali eseguite a largo del Porto di Ancona dalla boa ondometrica direzionale di Ancona facente parte della Rete Ondometrica Nazionale (RON) attualmente gestita dall'ISPRA;
- **serie storica di misure di moto ondoso direzionali eseguiti in costa a circa 9 km da Cesenatico dalla boa ondometrica Nausicaa facente parte della rete di monitoraggio della ARPA Emilia Romagna (ARPAE);**
- serie storica di misure mareografiche (variazioni del livello del mare) eseguite dalla stazione mareografica situata nel Porto di Ravenna facente parte della Rete Mareografica Nazionale (RMN) attualmente gestita dall'ISPRA.

I dati di moto ondoso misurati a largo di Ancona sono stati utilizzati per calibrare le onde estreme a largo del sito in esame secondo quanto descritto nel seguito.

I dati di moto ondoso misurati al largo di Cesenatico, su fondali di circa 10 m, sono stati utilizzati solo per fare un confronto di tipo qualitativo con i dati di moto ondoso propagati con modelli numerici in corrispondenza del terminale su profondità di 14 m.

Le analisi condotte hanno consentito di definire nella zona di interesse:

- il clima anemometrico;
- i valori estremi di vento;
- il clima ondometrico a largo del sito in esame e quello in prossimità dell'opera che è stato ottenuto propagando la serie storica ondometrica da largo fino a raggiungere la zona dove sorgerà il nuovo terminale marittimo;
- i valori estremi di moto ondoso a largo del sito in esame;
- le variazioni del livello medio marino indotte sia dalla marea astronomica che dalla marea meteorologica;

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 7 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

- le correlazioni tra l'altezza d'onda significativa, la velocità del vento, e il sovrizzo meteorologico;
- le previste variazioni del livello del mare indotte dai fenomeni di riscaldamento della terra causati dalle variazioni climatiche.

## 2.1 Dati batimetrici di riferimento

Per condurre il presente studio si è fatto riferimento ai dati batimetrici rilevati per la redazione del presente progetto nel periodo luglio-settembre 2022. Questi dati sono stati integrati con quelli delle carte nautiche recenti disponibili per la zona in esame e con il database EMODNET.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 8 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

### 3 DATI METEOMARINI DI RIFERIMENTO

#### 3.1 Dati di vento

Le caratteristiche principali dei dati anemometrici utilizzati sono riportate nella seguente tabella. La posizione geografica dei dati è riportata graficamente in Figura 3.1. La serie storica oraria ricostruita in ri-analisi dall'ECMWF si estende per circa 43 anni dal 1979 al 2021.

**Tabella 3-1 - Dati anemometrici acquisiti.**

Rif	Fonte dati	Descrizione	Posizione	Periodo
1	DATI RICOSTRUITI: ECMWF-ERA5 42-Year Wave Hindcast: <a href="https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview">https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview</a>	Dati anemometrici ricostruiti con modello ERA5 Ravenna	44.50°N 12.50°E	1979 2021
2	Dati misurati dalla Stazione Mareografica di Ravenna (RMN - ISPRA) <a href="http://dati.isprambiente.it/">http://dati.isprambiente.it/</a>	Dati anemometrici RMN Ravenna	44.492°N 12.282°E	2010 2022
3	Dati misurati dalla stazione anemometrica della Piattaforma Annamaria B	Dati anemometrici misurati Piattaforma Annamaria B	44.322°N 13.407°E	-

#### 3.2 Dati di moto ondoso

Le caratteristiche principali dei dati ondometrici utilizzati sono riportati nella seguente tabella. Anche in questo caso le serie storiche orarie ricostruite in ri-analisi dall'ECMWF si estendono per circa 43 anni dal 1979 al 2021.

La posizione geografica di riferimento dei dati di moto ondoso ricostruiti è indicata in forma grafica nella Figura 3.1 con il punto rosso ERA5 Ravenna localizzato ad una profondità di circa -25,0 m. Nella stessa figura è indicata, con il punto bianco (FSRU Ravenna), la posizione geografica del pontile offshore esistente denominato Petra (del Gruppo PIR), il quale è posto poco ad Ovest del punto ERA 5 Ravenna su un fondale di circa -14,0 m, dove si prevede di ormeggiare la FSRU.

Si riporta inoltre la posizione del punto ERA5 Ancona e della boa ondometrica di Ancona facente parte della Rete Mareografica Nazionale gestita dall'ISPRA. Come di seguito descritto, questi dati sono stati utilizzati per calibrare la serie storica di moto ondoso ERA5 Ravenna.

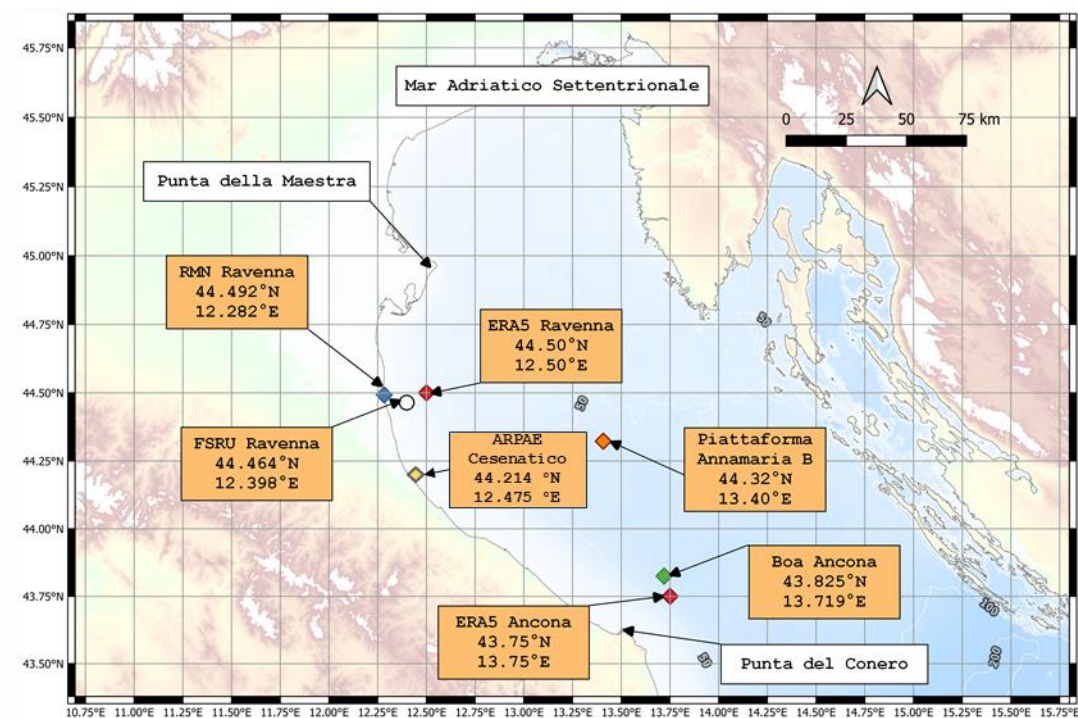
Infine è riportata la posizione della boa ondometrica dell'ARPAE, installata poco al largo di Cesenatico, su fondali di 10 m. I dati misurati dalla boa risentono maggiormente dell'effetto schermo del Conero, che limita la traversia di Scirocco, e sono condizionati dalla ridotta profondità di installazione (onde limitate dal fondale). Sono stati comunque utilizzati con successo per effettuare un confronto qualitativo del regime di moto ondoso con i dati ricostruiti nel punto FSRU Ravenna.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 9 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

**Tabella 3-2 - Dati ondametrici acquisiti.**

Rif	Fonte dati	Descrizione	Posizione	Periodo
1	DATI RICOSTRUITI: ECMWF-ERA5 42-Year Wave Hindcast: <a href="https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview">https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview</a>	Dati di moto ondoso ricostruiti con modello ERA5 Ravenna	44.50°N 12.50°E	1979 2021
2	DATI RICOSTRUITI: ECMWF-ERA5 42-Year Wave Hindcast: <a href="https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview">https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview</a>	Dati di moto ondoso ricostruiti con modello ERA5 Ancona	43.75°N 13.75°E	1979 2021
3	DATI BOA ONDAMETRICA DI ANCONA	Dati di moto ondoso misurati dalla boa ondametrica BOA Ancona	43.825°N 13.719°E	1999 2022
4	DATI BOA ONDAMETRICA ARPAE NAUSICAA	Dati di moto ondoso misurati dalla boa ondametrica ARPAE BOA Cesenatico		2007 2022



**Figura 3.1 - Localizzazione geografica dei dati utilizzati e del sito dove sorgerà il nuovo terminale marittimo indicato nella figura con FSRU Ravenna.**

### 3.3 Dati mareografici

Si riportano nella seguente tabella le caratteristiche principali dei dati mareografici utilizzati. La posizione geografica di riferimento della stazione mareografica di Ravenna, facente parte della Rete Mareografica Nazionale (RMN) gestita dall'ISPRA è planimetricamente indicata in Figura 3.1.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 10 di 72	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

**Tabella 3-3 - Dati mareografici acquisiti.**

Rif	Fonte dati	Descrizione	Posizione	Periodo
1	Rete Mareografica Nazionale (RMN - ISPRA) Stazione di Ravenna <a href="http://dati.isprambiente.it/">http://dati.isprambiente.it/</a>	Dati mareografici misurati	44.492°N 12.282°E	2010 2022



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 11 di 72</b>	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

#### 4 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL SITO DI INTERESSE

Con riferimento alla Figura 3.1 e alla Figura 4.1, la zona dove si prevede di ormeggiare la FSRU Ravenna è localizzata a Sud-Est dell'imboccatura del porto di Ravenna a circa 7,4 km (circa 4 miglia nautiche) di distanza dalla stessa imboccatura e a circa 8,5 km dalla costa (Punta Marina).

La zona di ormeggio ricade nell'area attualmente occupata dal pontile offshore denominato Piattaforma Petra (vedi Figura 4.2 e Figura 4.3) indicata anche pontile PIR.

Con riferimento alla Figura 4.3, l'asse longitudinale del pontile presenta un angolo ruotato verso Est di pochi gradi (circa 10° N) in modo tale da traguardare verso Nord Punta della Maestra (vedi Figura 4.1) che costituisce il punto più ad Est del Delta del Po.

Dal punto di vista geografico il Pontile PIR è schermato a Nord dal delta del Po (Punta della Maestra) e a Sud-Est dal promontorio del Conero dove si trova il Porto di Ancona.

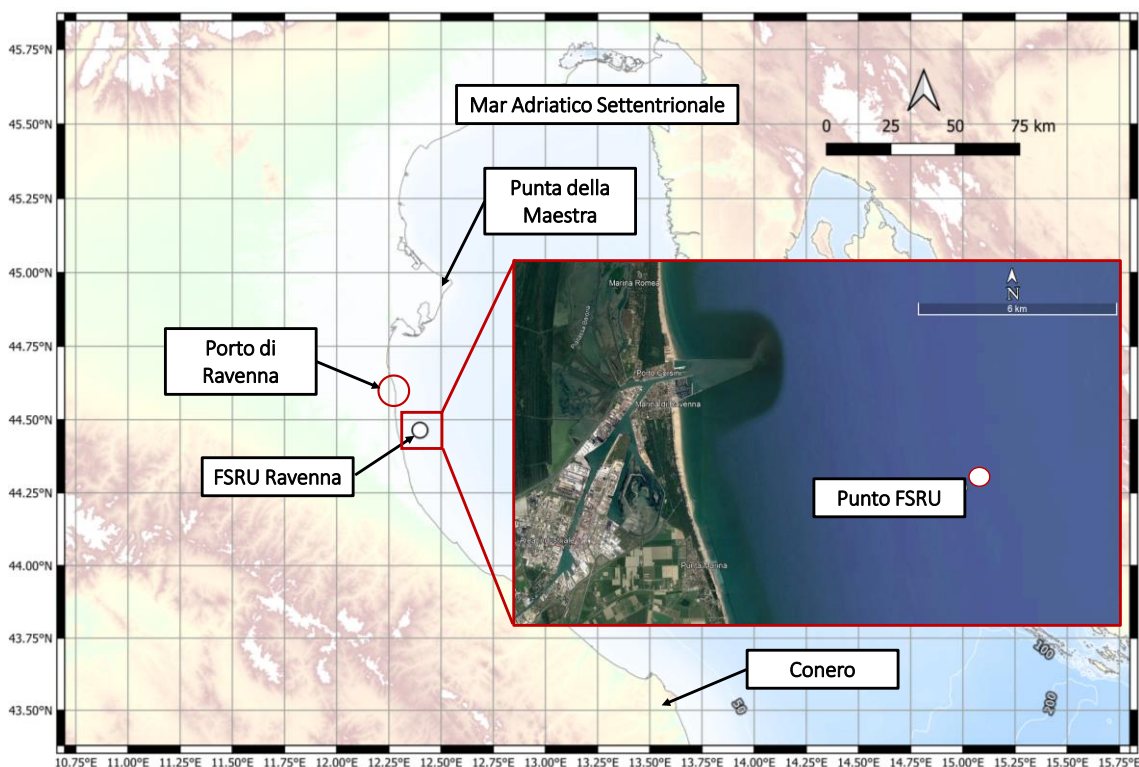




Figura 4.1 - Inquadramento geografico della FSRU Ravenna.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 12 di 72</b>	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



Figura 4.2 - Stato attuale del Pontile Offshore Petra (Pontile PIR) esistente.

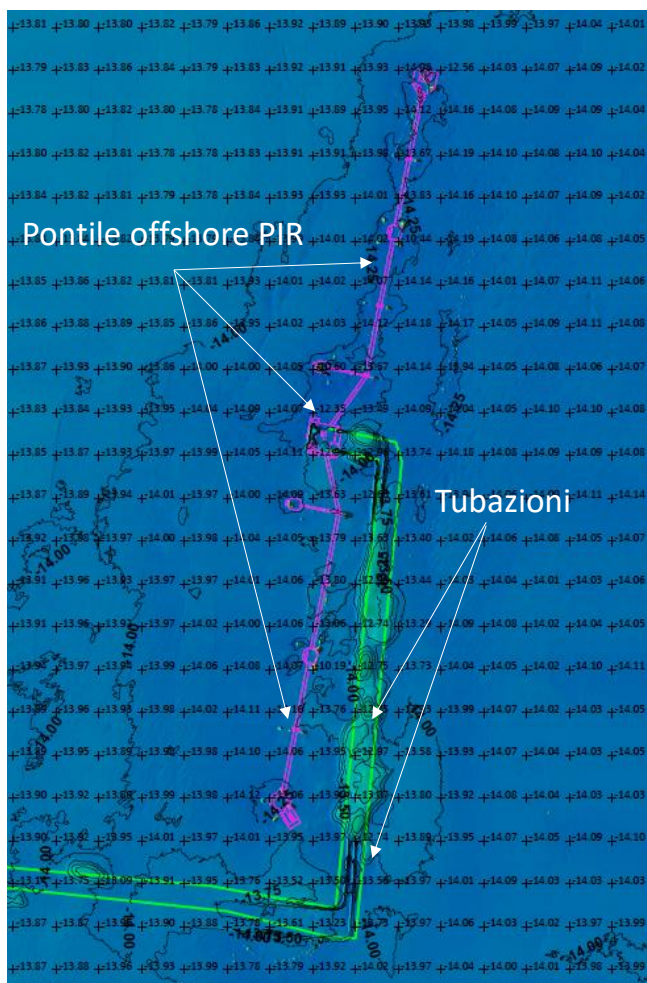



Figura 4.3 - Planimetria del Pontile Offshore Petra (Pontile PIR) esistente.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 13 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

#### 4.1 Fetch geografici ed efficaci

In questo paragrafo vengono calcolati i fetch geografici ed efficaci in relazione ai due punti indicati nella Figura 3.1, ovvero:


1. al punto dove verrà realizzato il nuovo terminale gas (FSRU Ravenna) posto su un fondale di circa 14 m;
2. al punto utilizzato per definire le condizioni di moto ondoso e vento a largo del sito in esame in funzione dei dati dell'ECMWF (ERA5 Ravenna).

Sebbene i due punti siano tra di loro posti ad una distanza di soli circa 9,0 km, avvicinandosi in costa, ovvero passando dal punto 2 al punto 1, si riducono i fetch relativi agli stati di mare provenienti da terra appartenenti al III e al IV quadrante.

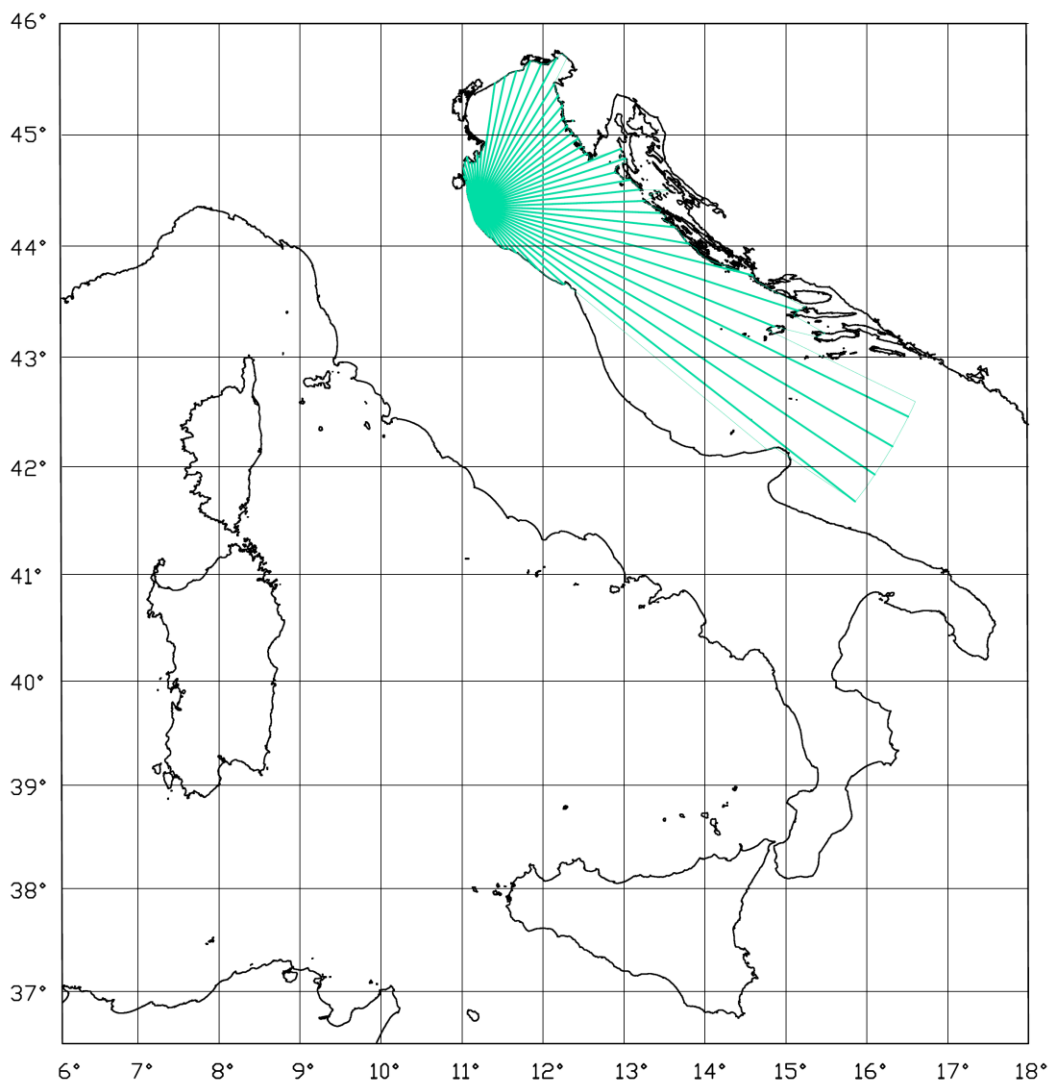
##### 4.1.1 Punto FSRU Ravenna

In generale, una prima valutazione delle condizioni “potenziali” di esposizione al moto ondoso del sito in esame può essere effettuata sulla base dei settori di traversia geografica, rappresentativi dell'estensione geografica della superficie marina (“fetch geografico”) che può contribuire alla generazione del moto ondoso sotto l'azione delle perturbazioni atmosferiche che possono interessare l'area in esame.

In Figura 4.4 è riportato il fetch geografico per il punto FSRU Ravenna di coordinate 44.46°N – 12.39°E, posto a circa 9 km al largo del paraggio di Ravenna, limitandone comunque l'estensione massima a 500 km, in congruenza con i limiti medi delle estensioni areali delle massime perturbazioni che possono interessare il bacino del Mar Mediterraneo.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 14 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



**Figura 4.4 Fetch geografico per il punto FSRU Ravenna.**

Il paraggio si colloca al margine orientale della regione Emilia-Romagna e pertanto il fetch geografico è limitato parzialmente a Sud dal promontorio del Conero e a Nord da Punta della Maestra. A Nord-Nord/Est è limitato dalle coste del Friuli-Venezia Giulia, Istria e Croazia.

Per fetch efficace si intende la “traversia” o lunghezza della porzione di mare sulla quale si esplica “effettivamente” l’azione del vento responsabile della generazione del moto ondoso. Il valore del fetch efficace relativo ad una determinata direzione è funzione anche dei valori dei fetch geografici associati alle direzioni contigue a quella considerata; in questo modo i fetch efficaci tengono conto del fatto che alla generazione del moto ondoso oltre alla superficie marina individuata nella direzione media  $\Phi_w$  lungo la quale spira il vento contribuiscono anche le porzioni di mare dalle direzioni comprese in un settore di  $\pm \theta$  rispetto alla direzione media di azione del vento.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 15 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

Il calcolo del fetch efficace è stato eseguito utilizzando l'applicazione ENIF<sup>1</sup> che, sulla base del fetch geografico tracciato in coordinate polari, risolve la seguente equazione:

$$F_{e,w} = \frac{\sum_{\phi_i=\phi_w-\theta}^{\phi_w+\theta} F_i \cos^{n+1}(\phi_i - \phi_w)}{\sum_{\phi_i=\phi_w-\theta}^{\phi_w+\theta} \cos^n(\phi_i - \phi_w)}$$

nella quale i simboli che compaiono rappresentano i seguenti parametri:

- $F_{e,w}$  lunghezza del fetch efficace relativa alla direzione  $\Phi_w$ ;
- $F_i$  lunghezza del fetch geografico relativa alla direzione  $i$ -esima  $\theta_i$ ;
- $\Phi_w$  direzione media (riferita al nord geografico) di possibile provenienza del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso lungo la traversia;
- $\Phi_w - \theta_i \leq \Phi_i \leq \Phi_w + \theta_i$  direzione  $i$ -esima (riferita al nord geografico) relativa ad un settore di  $2\theta$  considerato nell'intorno della direzione  $\Phi_w$ ;
- $\theta$  ampiezza del settore di possibile provenienza del moto ondoso (il metodo di Saville prevede un valore di  $\theta = \pm 45^\circ$  mentre quello di Seymour fa riferimento ad un valore di  $\theta = \pm 90^\circ$ . Nel presente caso si è fatto riferimento al metodo di Saville);
- $n$  termine esponenziale definito in funzione della legge di distribuzione direzionale degli spettri di moto ondoso che caratterizzano il sito in esame (solitamente si assume  $n = 4$ ).

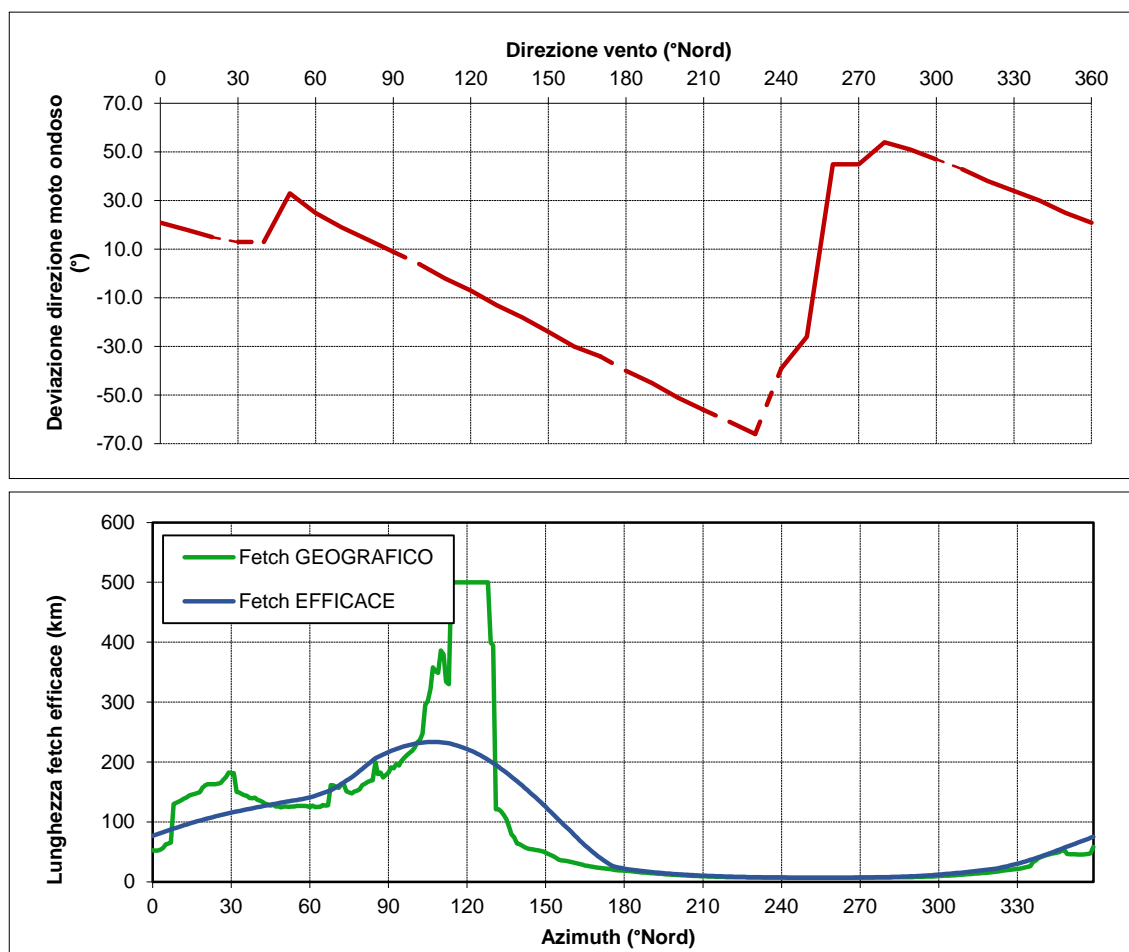
L'equazione deriva dalla teoria di ricostruzione indiretta del moto ondoso nota come metodo S.M.B. (Sverdrup, Munk e Bretschneider, 1947) e dai suoi successivi aggiornamenti (Saville 1954, Seymour 1977, Smith 1991).

L'applicazione del modello ENIF fornisce anche la correlazione tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso generato. I risultati dell'elaborazione, condotta con un passo di discretizzazione di  $1^\circ$ , sono sintetizzati, per valori discreti con passo angolare di  $10^\circ$ , nella Tabella 4-1 e riportati in forma grafica nei diagrammi cartesiani della Figura 4.5. Il fetch efficace è riportato nella mappa geografica della Figura 4.6.

<sup>1</sup> Il software per ambiente windows ENIF per il calcolo automatico dei fetch efficaci è stato sviluppato e commercializzato dalla società MODIMAR S.r.l.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 16 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



**Figura 4.5** Grafico superiore: deviazione tra la direzione di provenienza del vento e del moto ondoso. Grafico inferiore: fetch geografico ed efficace nel punto FSRU di Ravenna.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 17 di 72</b>	<b>Rev.</b> <b>1</b>

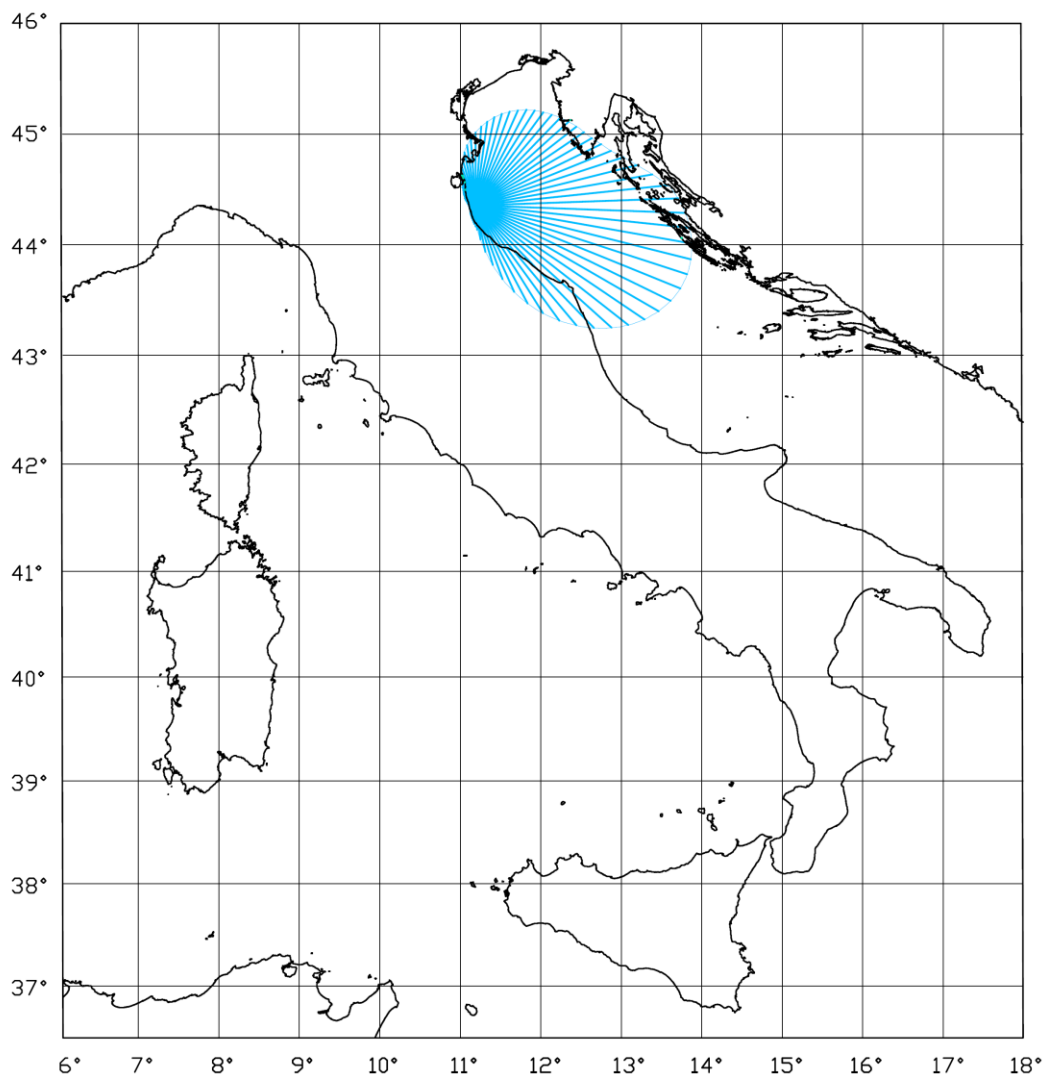
Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

**Tabella 4-1 Fetch geografico ed efficace con deviazione direzionale vento/mare nel punto FSRU Ravenna.**

Direzione media settore di traversia (°Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (°)	Direzione media settore di traversia (°Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (°)
0	52.83	76.53	21.0	180	18.61	22.03	-40.0
10	133.85	91.60	18.0	190	14.53	16.46	-45.0
20	161.11	104.55	15.0	200	11.42	12.75	-51.0
30	181.75	115.46	13.0	210	9.18	10.34	-56.0
40	136.68	124.51	13.0	220	7.93	8.73	-61.0
50	125.57	132.92	33.0	230	7.40	7.66	-66.0
60	124.62	140.88	25.0	240	7.04	7.02	-39.0
70	158.60	157.89	19.0	250	6.84	6.72	-26.0
80	161.54	188.28	14.0	260	6.81	6.73	45.0
90	182.58	216.60	9.0	270	6.95	7.08	45.0
100	223.63	230.37	4.0	280	7.30	7.85	54.0
110	386.13	232.99	-2.0	290	7.91	9.19	51.0
120	500.00	221.64	-7.0	300	9.54	12.02	47.0
130	394.69	198.04	-13.0	310	12.27	15.96	43.0
140	62.83	164.42	-18.0	320	15.97	20.85	38.0
150	48.79	124.99	-24.0	330	21.66	30.26	34.0
160	32.88	82.26	-30.0	340	42.76	43.86	30.0
170	23.54	42.67	-34.0	350	46.21	60.31	25.0

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 18 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



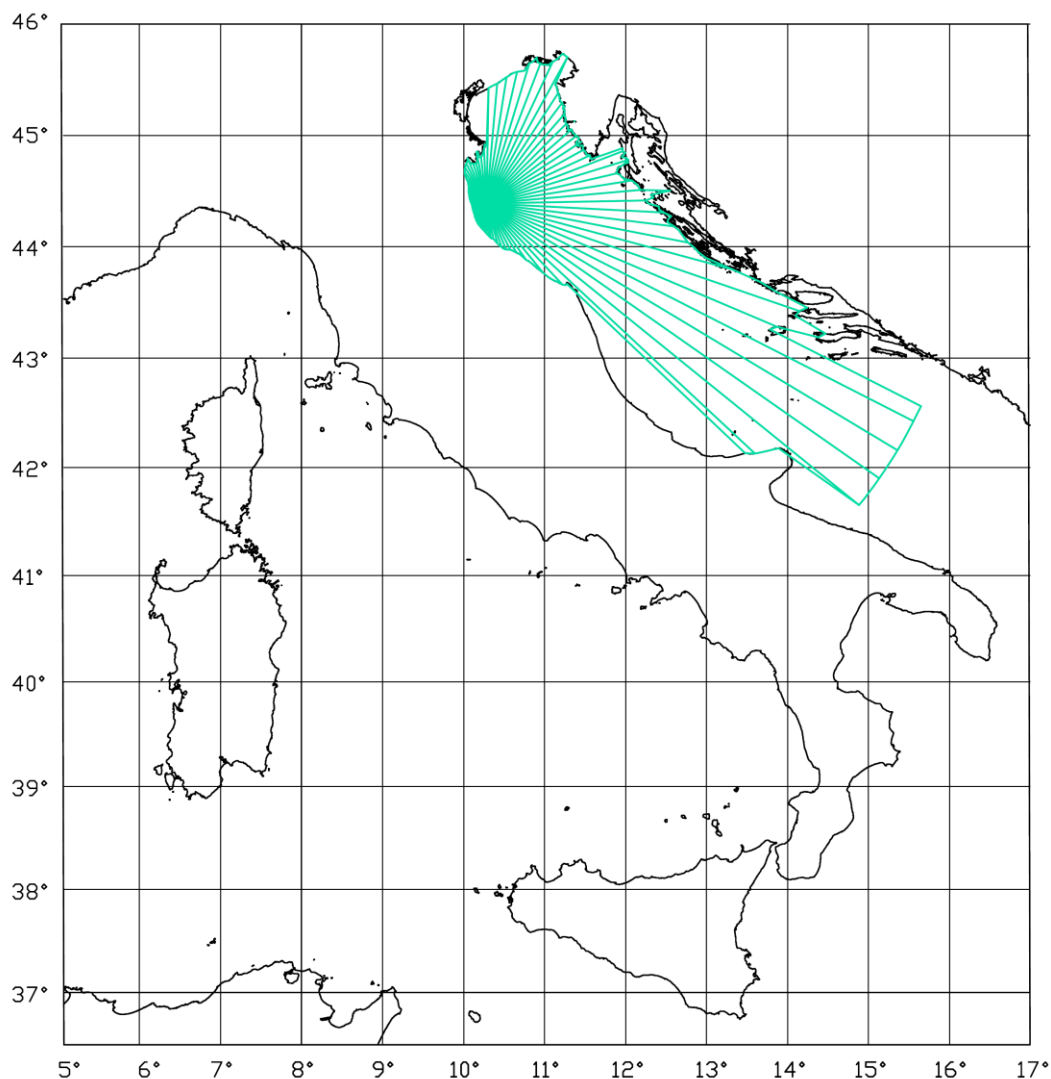
**Figura 4.6 Estensione del fetch efficace al largo di Ravenna calcolato nel punto FSRU Ravenna.**

#### 4.1.2 Punto ERA5 Ravenna

In Figura 4.4 è riportato il fetch geografico per il punto ERA5 Ravenna, limitandone comunque l'estensione massima a 500 km.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 19 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

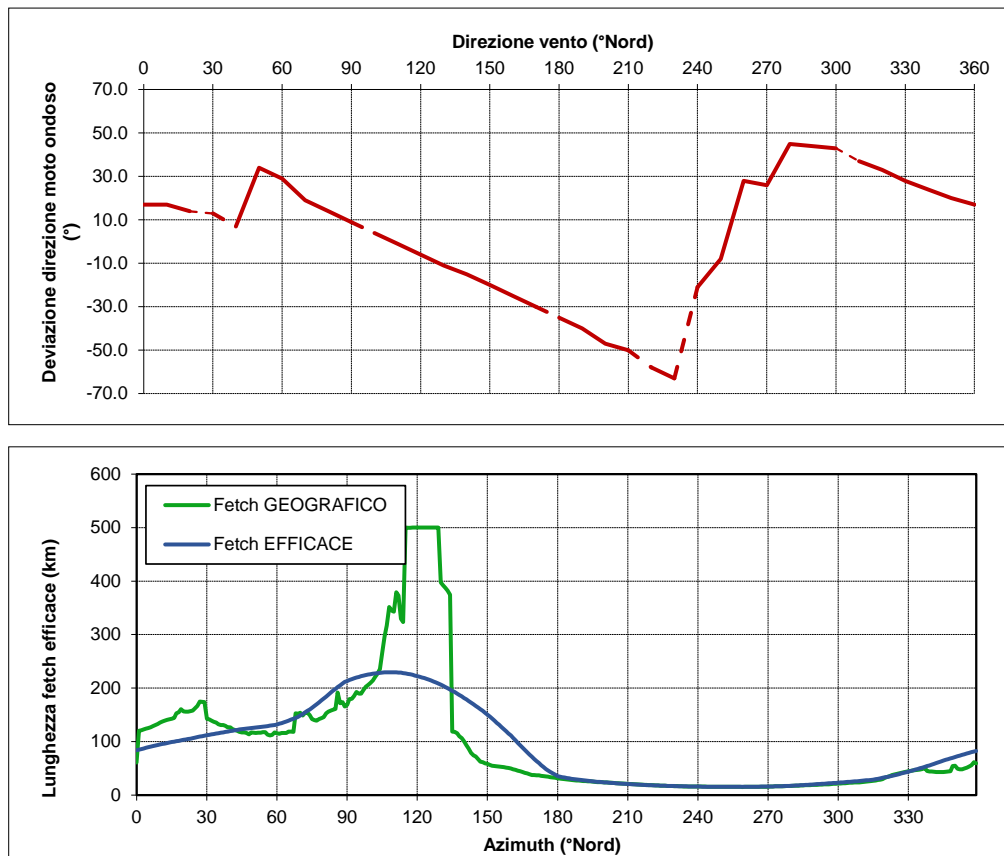


**Figura 4.7 Fetch geografico per il punto ERA5 Ravenna**

I risultati dell'elaborazione, condotta con un passo di discretizzazione di  $1^\circ$ , sono sintetizzati, per valori discreti con passo angolare di  $10^\circ$ , nella Tabella 4-2 e riportati in forma grafica nei diagrammi cartesiani della Figura 4.8. Il fetch efficace è riportato nella mappa geografica della Figura 4.9.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 20 di 72</b>	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001





**Figura 4.8** Grafico superiore: deviazione tra la direzione di provenienza del vento e del moto ondoso. Grafico inferiore: fetch geografico ed efficace nel punto ERA5 Ravenna.

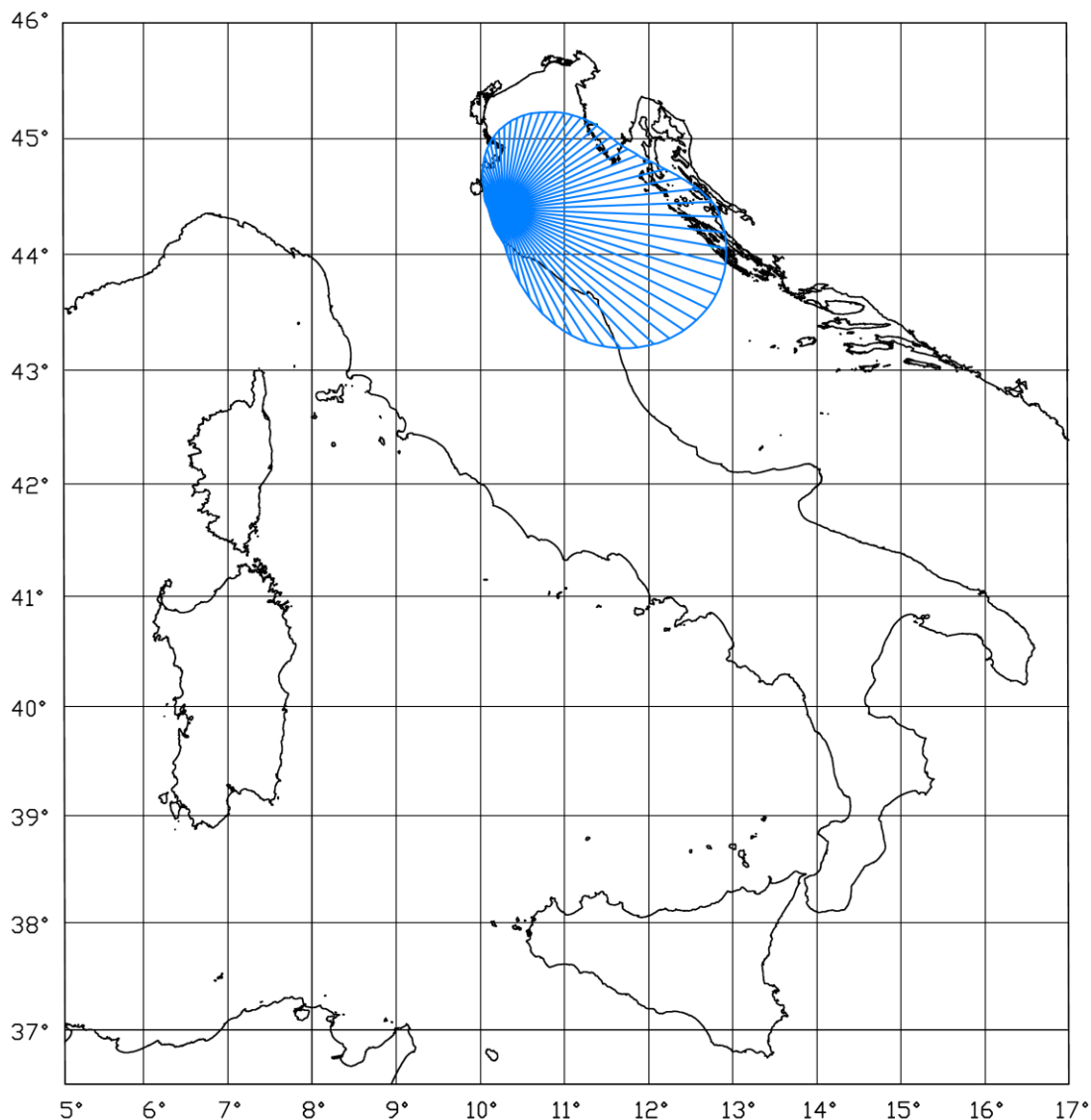
**Tabella 4-2** Fetch geografico ed efficace con deviazione direzionale vento/mare nel punto ERA5

Direzione media settore di traversia (°Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (°)	Direzione media settore di traversia (°Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (°)
0	60.88	83.85	17.0	180	31.59	35.43	-35.0
10	135.36	94.61	17.0	190	26.79	28.11	-40.0
20	156.38	103.19	14.0	200	23.89	23.90	-47.0
30	142.97	111.96	13.0	210	21.07	20.70	-50.0
40	126.82	119.50	7.0	220	18.68	18.47	-58.0
50	116.85	125.82	34.0	230	16.77	16.91	-63.0
60	115.68	132.16	29.0	240	16.05	15.93	-21.0
70	153.88	148.84	19.0	250	15.57	15.46	-8.0
80	145.66	180.38	14.0	260	15.43	15.51	28.0
90	168.54	213.38	9.0	270	15.83	16.11	26.0
100	209.72	226.19	4.0	280	17.31	17.56	45.0
110	342.93	229.59	-1.0	290	19.18	20.16	44.0
120	500.00	222.50	-6.0	300	21.60	23.21	43.0
130	397.41	206.50	-11.0	310	24.34	26.78	37.0
140	101.03	181.76	-15.0	320	32.50	33.24	33.0
150	58.23	150.57	-20.0	330	44.62	43.77	28.0
160	49.66	111.55	-25.0	340	44.00	57.04	24.0
170	37.44	67.65	-30.0	350	54.83	71.28	20.0




	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 21 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



**Figura 4.9 Estensione del fetch efficace al largo di Ravenna calcolato nel punto ERA5 Ravenna.**

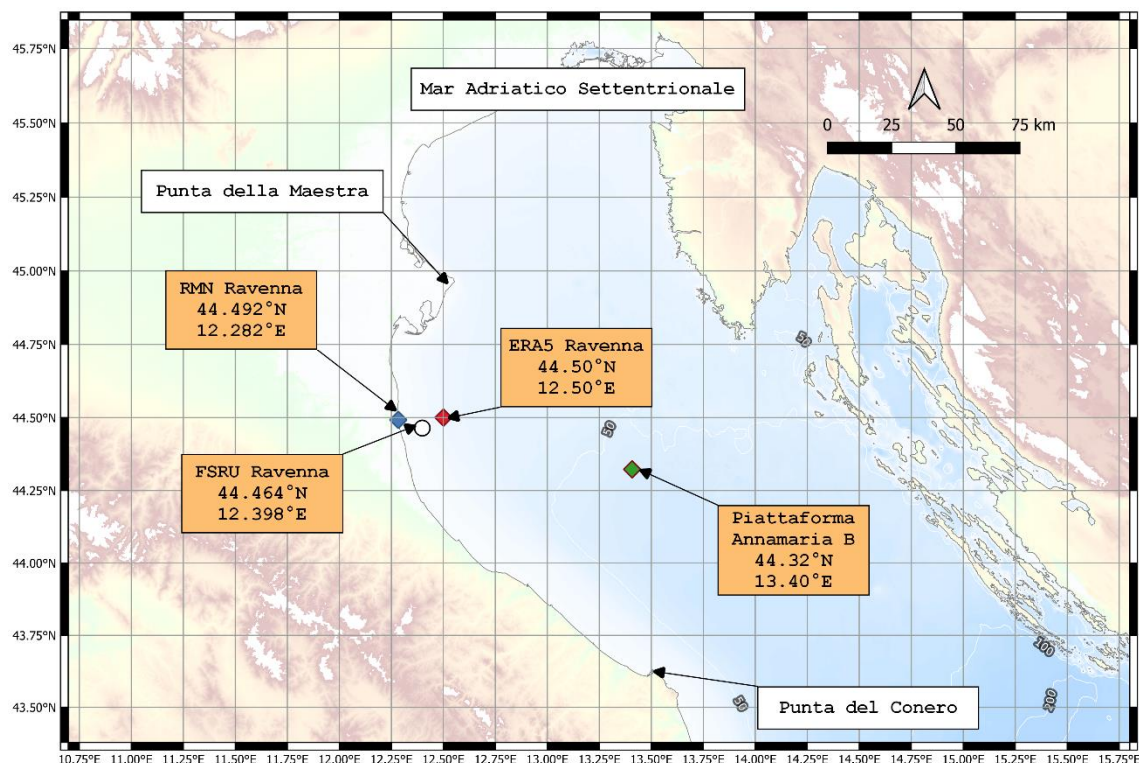
Il confronto tra la Tabella 4-1 e la Tabella 4-2 mostra ovviamente che i fetch geografici ed i fetch efficaci spostandosi da largo verso riva si riducono sensibilmente sia per il settore settentrionale che per quello occidentale.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 22 di 72</b>	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

## 5 CLIMA ANEMOMETRICO

Per l'analisi del regime dei venti si è fatto riferimento alle tre fonti di dati riportate in Tabella 3-1 e posizionate geograficamente nella seguente Figura 5.1.



**Figura 5.1 Localizzazione geografica dei dati anemometrici utilizzati e del sito dove sorgerà il nuovo terminale marittimo indicato nella figura con FSRU Ravenna.**

Per analizzare il clima anemometrico al largo si è fatto riferimento:

- alla serie storica oraria dei dati di vento ricostruiti in ri-analisi dall'ECMWF e riportati nel database ERA5 sviluppato nell'ambito del Progetto Europeo Copernicus sul nodo di griglia di coordinate 44.50°N-12.50°E (vedi Figura 3.1), posto poco a Est del sito oggetto di studio;
- ai risultati di analisi eseguite sulla base di misure di vento acquisite in corrispondenza della Piattaforma Annamaria B, la quale si trova nella zona centrale del Mar Adriatico Settentrionale (tra le coste Italiane e Croate), a Est del sito di interesse. Di questi dati si dispone solo dei risultati delle analisi eseguite e non della serie storica misurata.

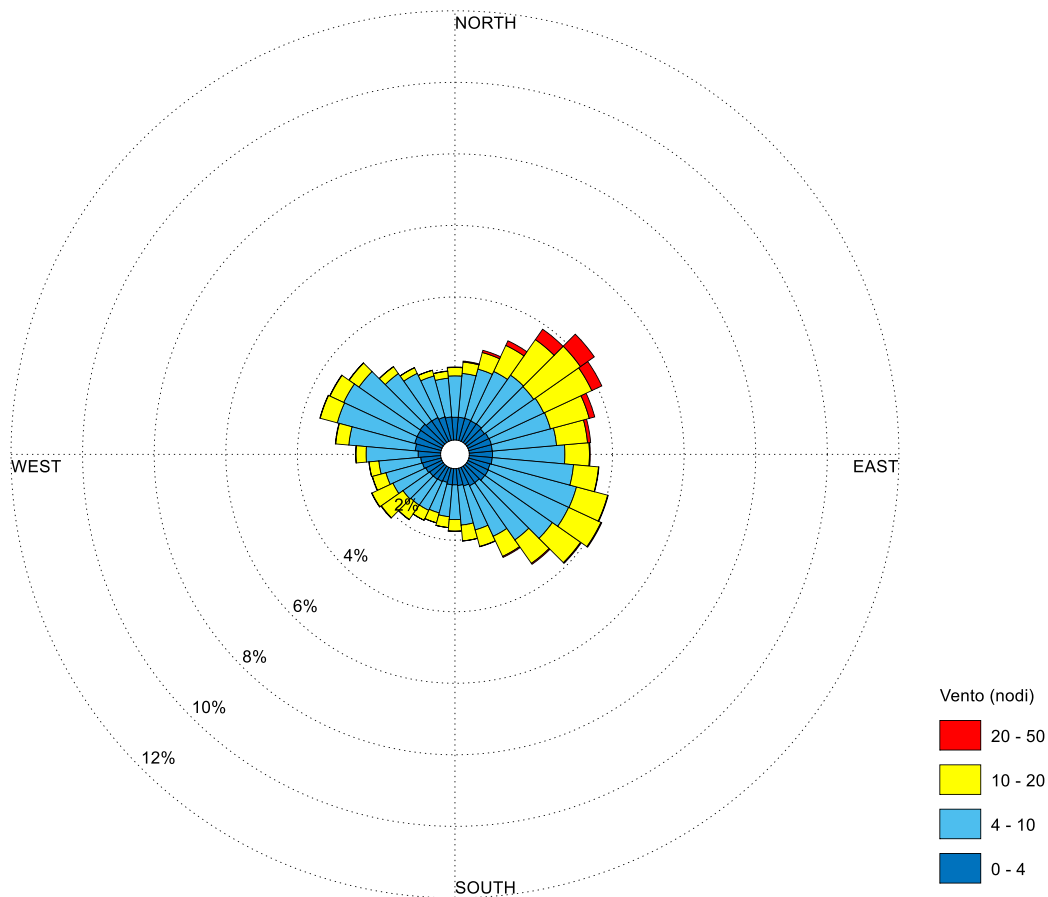
La caratterizzazione del clima anemometrico a terra è stata effettuata tramite l'analisi dei dati di vento misurati dalla stazione RMN Ravenna. La stazione, di cui si dispone della serie storica misurata, ha lavorato con continuità dal 2010 fino alla data odierna.

### 5.1 Regime anemometrico nel punto ERA5 Ravenna

Nella Figura 5.2 è riportata in forma polare la rosa direzionale degli eventi anemometrici ottenuta sulla base della serie storica oraria acquisita nel punto ERA5 Ravenna di coordinate 44.50°N – 12.50°E e relativo al periodo 1979-2021.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 23 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



**Figura 5.2 Distribuzione direzionale del regime anemometrico  
punto ERA5 44.50°N – 12.50°E.**

Nella Tabella 5-1 è riportato il clima anemometrico ottenuto classificando gli eventi anemometrici in classi di direzione di provenienza e di velocità.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 24 di 72	<b>Rev.</b> 1


Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

**Tabella 5-1 – Frequenza di accadimento dei venti ricostruiti nel punto ERA5 Ravenna 44.50°N – 12.50°E.**

Direzione °N	Classi di velocità del vento (nodi)											Tot
	da 1 a 4	4 7	7 11	11 17	17 22	22 28	28 34	34 41	41 48	48 56	56 63	
10	0.642	0.793	0.517	0.213	0.034	0.015	0.002					2.217
20	0.643	0.868	0.674	0.297	0.089	0.034	0.006					2.611
30	0.634	0.873	0.804	0.528	0.174	0.080	0.010	0.001				3.103
40	0.641	0.910	0.955	0.785	0.364	0.188	0.027	0.001				3.870
50	0.605	0.928	0.953	1.006	0.567	0.250	0.042	0.001				4.352
60	0.639	0.942	0.949	0.961	0.466	0.157	0.013	0.001				4.126
70	0.652	0.970	0.903	0.770	0.259	0.083	0.005					3.641
80	0.646	1.023	0.931	0.583	0.184	0.037						3.405
90	0.649	1.113	1.065	0.469	0.075	0.009						3.379
100	0.645	1.187	1.298	0.450	0.051	0.006	0.000					3.638
110	0.615	1.272	1.514	0.571	0.057	0.004						4.033
120	0.627	1.270	1.503	0.643	0.069	0.010	0.001					4.124
130	0.621	1.176	1.398	0.622	0.084	0.006	0.002					3.909
140	0.565	1.025	1.127	0.537	0.087	0.013						3.353
150	0.568	0.867	0.841	0.418	0.077	0.009	0.000					2.780
160	0.515	0.702	0.679	0.331	0.047	0.003						2.276
170	0.474	0.600	0.636	0.297	0.026	0.001						2.033
180	0.453	0.531	0.523	0.228	0.014	0.001						1.750
190	0.456	0.477	0.500	0.210	0.014							1.655
200	0.413	0.478	0.488	0.192	0.013							1.584
210	0.439	0.484	0.485	0.216	0.011							1.635
220	0.455	0.469	0.531	0.349	0.024	0.004						1.831
230	0.461	0.486	0.567	0.531	0.073	0.005	0.001					2.123
240	0.497	0.558	0.589	0.461	0.063	0.003	0.001					2.171
250	0.538	0.599	0.570	0.261	0.022	0.001	0.000					1.991
260	0.561	0.701	0.572	0.162	0.012	0.003						2.011
270	0.629	0.899	0.652	0.174	0.017	0.001						2.371
280	0.713	1.198	0.784	0.223	0.033	0.003						2.954
290	0.764	1.389	1.005	0.306	0.039	0.003	0.000					3.507
300	0.769	1.399	0.998	0.261	0.028	0.006						3.462
310	0.791	1.311	0.881	0.209	0.024	0.004						3.219
320	0.739	1.062	0.631	0.145	0.015	0.002						2.595
330	0.734	0.921	0.505	0.106	0.008	0.000						2.273
340	0.682	0.807	0.437	0.098	0.011	0.000						2.035
350	0.651	0.732	0.417	0.118	0.019	0.002	0.001					1.940
360	0.637	0.762	0.467	0.147	0.023	0.005	0.002	0.000				2.043
% di eventi	21.763	31.777	28.347	13.877	3.172	0.949	0.111	0.004	0	0	0	100.00

Analizzando la frequenza di accadimento degli eventi è possibile osservare che:

- le calme di vento che si verificano per velocità inferiori a circa 4 kn, sono pari a circa il 22% degli eventi;
- il regime dei venti è contraddistinto in prevalenza da brezze, da leggere a vivaci, appartenenti alla classe di velocità compresa tra 4.0 nodi e 17.0 nodi, le quali hanno una frequenza di accadimento di circa il 73%; le brezze tese e il vento fresco, aventi velocità comprese tra 17.0 nodi e 28.0 nodi, che hanno una frequenza di accadimento di circa il 4.0%; i venti forti, aventi velocità superiore a 28.0 nodi, che si verificano in media con una frequenza pari a 0.115%;
- il regime dei venti risulta distribuito principalmente su tre settori. I settori prevalenti sono quelli di Grecale (Nord-Est) e di Scirocco (Sud-Est), mentre il terzo è costituito dal Maestrale.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 25 di 72	<b>Rev.</b> 1

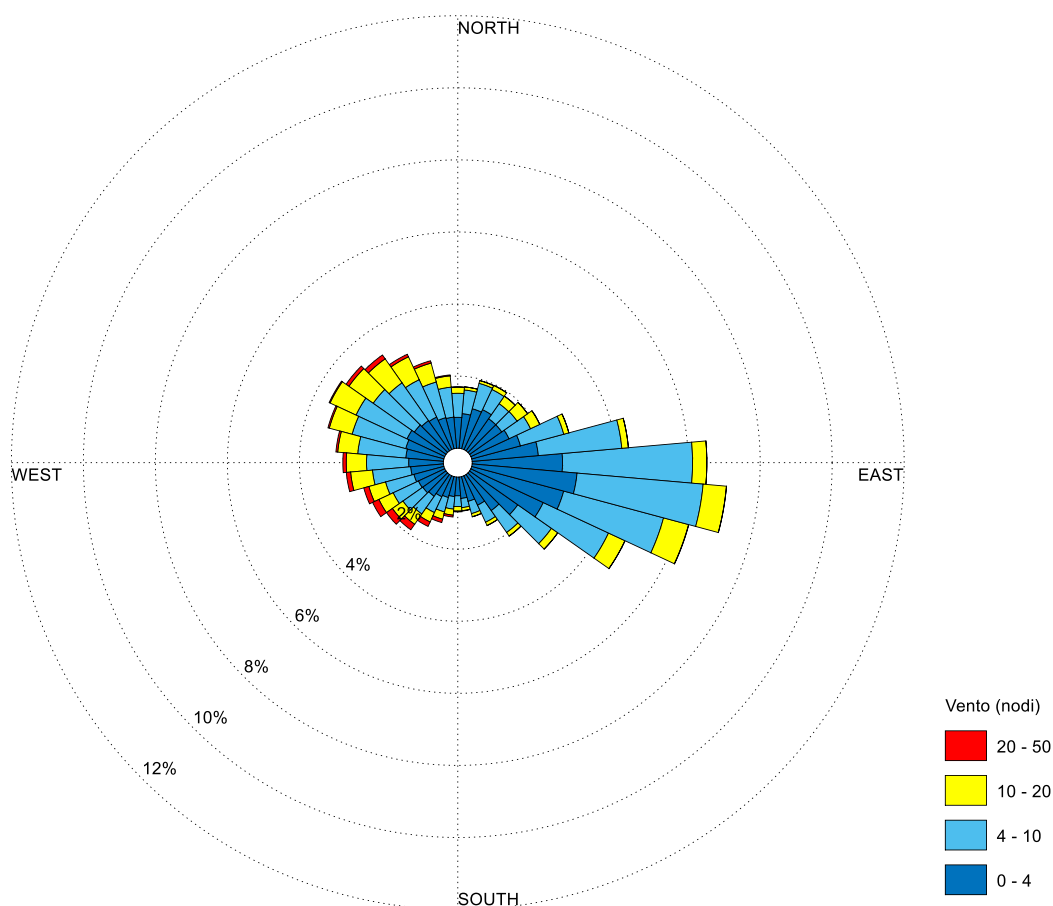
Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

- i venti di maggiore intensità provengono dal settore di Nord-Est (Grecale), e sono seguiti da quelli provenienti da Sud-Est (Scirocco). I venti di Maestrale e di Libeccio sono meno frequenti e meno intensi rispetto agli altri.

## 5.2 Regime anemometrico nel punto RMN Ravenna

Per l'analisi del regime dei venti a terra si è fatto riferimento ai dati di vento misurati dalla stazione anemometrico di Ravenna, gestita dall'ISPRA e posta nel punto di coordinate geografiche 44.492°N – 12.282°E.

In Figura 5.3 si riporta in forma polare la rosa direzionale degli eventi anemometrici ottenuta sulla base della serie storica misurata dal 2010 al 2022.



**Figura 5.3 Distribuzione direzionale del regime anemometrico punto RMN Ravenna 44.492°N – 12.282°E.**

Nella Tabella 5-2 è riportato il clima anemometrico ottenuto classificando gli eventi anemometrici in classi di direzione di provenienza e di velocità.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 26 di 72</b>	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

**Tabella 5-2 Frequenza di accadimento dei venti misurati dalla stazione RMN Ravenna**

Direzione °N	Classi di velocità del vento (nodi)											Tot
	da 1 a 4	4 7	7 11	11 17	17 22	22 28	28 34	34 41	41 48	48 56	56 63	
10	0.9999	0.5065	0.1995	0.0620	0.0027	0.0004						1.771
20	1.1901	0.5677	0.2158	0.0509	0.0025	0.0002		0.0002				2.027
30	1.2663	0.4542	0.2230	0.0843	0.0074	0.0006						2.036
40	1.1297	0.3293	0.2584	0.1894	0.0146	0.0004						1.922
50	1.1285	0.2994	0.3151	0.2714	0.0221	0.0008						2.037
60	1.2124	0.4293	0.3192	0.2061	0.0225	0.0002	0.0002					2.190
70	1.4516	0.9010	0.4356	0.0944	0.0107	0.0004						2.894
80	1.9112	1.5227	0.9708	0.1004	0.0068	0.0002						4.512
90	2.5982	2.1671	1.7580	0.2186	0.0066	0.0006						6.749
100	3.0283	2.1683	1.7440	0.3882	0.0155	0.0008						7.345
110	2.7396	1.7900	1.4475	0.4542	0.0324	0.0027						6.466
120	2.2976	1.2898	0.9513	0.3343	0.0198	0.0014						4.894
130	1.6942	0.8033	0.4375	0.1574	0.0047	0.0006						3.098
140	1.2651	0.5451	0.2679	0.0785	0.0031	0.0006		0.0002				2.161
150	0.9329	0.3749	0.1941	0.0705	0.0076	0.0010						1.581
160	0.7363	0.2632	0.1255	0.0594	0.0099	0.0027	0.0008					1.198
170	0.6178	0.1943	0.0876	0.0581	0.0165	0.0062		0.0002				0.981
180	0.5385	0.2090	0.1216	0.0849	0.0293	0.0155	0.0023	0.0004				1.001
190	0.5649	0.2252	0.1663	0.1158	0.0453	0.0225	0.0097	0.0035				1.153
200	0.6238	0.2595	0.2077	0.1410	0.0635	0.0478	0.0175	0.0052	0.0004			1.366
210	0.6681	0.3079	0.2312	0.2044	0.0818	0.0678	0.0342	0.0099	0.0014			1.607
220	0.7683	0.3833	0.2842	0.2333	0.1201	0.0849	0.0530	0.0109	0.0016			1.940
230	0.8159	0.4344	0.3153	0.2335	0.1259	0.1059	0.0439	0.0128	0.0006			2.088
240	0.8348	0.4973	0.3779	0.2801	0.1527	0.0884	0.0462	0.0117				2.289
250	0.8933	0.4929	0.4288	0.3237	0.1457	0.0674	0.0276	0.0060				2.386
260	0.9473	0.6234	0.5966	0.3897	0.1756	0.0546	0.0152	0.0012				2.804
270	0.9987	0.6584	0.6660	0.3794	0.1438	0.0381	0.0070	0.0002				2.892
280	1.0877	0.7005	0.8157	0.3678	0.1067	0.0239	0.0025					3.105
290	1.1367	0.7994	0.9622	0.4548	0.0820	0.0148	0.0016					3.452
300	1.1992	0.8033	1.0087	0.5395	0.1074	0.0103	0.0006					3.669
310	1.1141	0.6780	0.9519	0.5591	0.1473	0.0550	0.0047					3.510
320	1.0588	0.6325	0.8744	0.5568	0.1607	0.0694	0.0091	0.0002				3.362
330	1.0298	0.5735	0.7736	0.4919	0.1065	0.0433	0.0031					3.022
340	0.9249	0.5603	0.6283	0.3751	0.0901	0.0332	0.0035					2.615
350	0.8979	0.5082	0.4377	0.2166	0.0441	0.0107	0.0010					2.116
360	0.8880	0.4664	0.2704	0.1181	0.0175	0.0004						1.761
% di eventi	43.190	24.419	20.069	8.944	2.151	0.874	0.284	0.063	0.004	0	0	100.00

Analizzando la frequenza di accadimento degli eventi è possibile osservare che:

- le calme di vento, che si verificano per velocità inferiori a circa 4 kn, sono pari a circa il 43% degli eventi;
- il regime dei venti è contraddistinto in prevalenza da brezze, da leggere a vivaci, appartenenti alla classe di velocità compresa tra 4.0 nodi e 17.0 nodi, le quali hanno una frequenza di accadimento di circa il 55%; le brezze tese e il vento fresco, aventi velocità comprese tra 17.0 nodi e 28.0 nodi, che hanno una frequenza di accadimento di circa il 3.0%; i venti forti, aventi velocità superiore a 28.0 nodi, che si verificano in media con una frequenza pari a circa 0.35%;
- il regime dei venti risulta distribuito principalmente su due settori. I settori prevalenti sono quelli di Levante-Scirocco (Est-SudEst) e di Maestrale (Nord-Ovest);
- i venti di maggiore intensità provengono dal settore di Sud-Ovest e di Nord-Ovest.



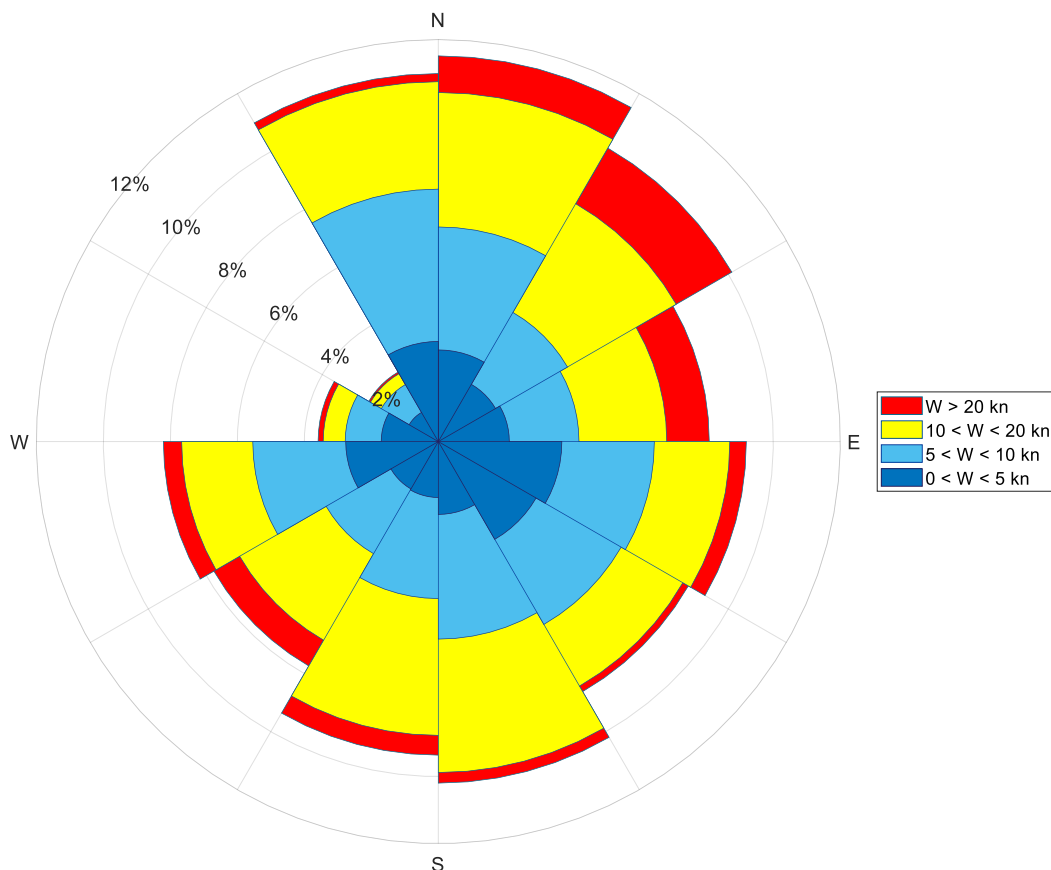
	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 27 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

### 5.3 Regime anemometrico per la Piattaforma Annamaria B

A completamento dei risultati ottenuti sui dati anemometrici presentati nei paragrafi precedenti, si riporta la sintesi del clima anemometrico ottenuto dai valori di vento misurati presso la Piattaforma Annamaria B, posta nel punto di coordinate 44.322°N – 13.407°E. Si evidenzia che, a differenza degli altri dati anemometrici, in questo caso non si dispone della serie storica misurata ma solo dei risultati dell'analisi climatica riportati di seguito.

In Figura 5.4 si riporta la rosa anemometrica annuale dei dati misurati dalla stazione. Come è possibile osservare, i dati risultano uniformemente distribuiti lungo tutte le direzioni eccezion fatta per il settore compreso tra 270°N e 330°N.



**Figura 5.4 Distribuzione direzionale dei venti misurati presso la piattaforma Annamaria B.**

Nella Tabella 5-3 è riportato il clima anemometrico ottenuto classificando gli eventi anemometrici in classi di direzione di provenienza e di velocità.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 28 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

**Tabella 5-3 Frequenza di accadimento dei venti misurati presso la piattaforma Annamaria B.**

Dir. °N	Classi di velocità del vento (kn)															Tot
	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0	> 65.0	
	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0			
0	2.736	3.67	2.601	1.413	0.586	0.279	0.127	0.058	0.03	0.012	0.001	0	0	0	11.5	
30	1.973	2.478	2.245	1.503	0.93	0.55	0.274	0.121	0.038	0.005	0	0	0	0	10.1	
60	2.119	2.079	1.523	1.097	0.642	0.35	0.164	0.099	0.013	0.002	0	0	0	0	8.1	
90	3.687	2.761	1.546	0.706	0.337	0.107	0.033	0.016	0.001	0	0	0	0	0	9.2	
120	3.37	2.932	1.561	0.565	0.137	0.034	0.013	0.006	0	0	0	0	0	0	8.6	
150	2.174	3.722	2.777	1.206	0.238	0.063	0.015	0	0	0	0	0	0	0	10.2	
180	1.669	3.017	2.587	1.497	0.493	0.083	0.01	0.004	0	0	0	0	0	0	9.4	
210	1.634	2.231	1.671	1.311	0.692	0.162	0.027	0.006	0.001	0	0	0	0	0	7.7	
240	2.764	2.774	1.368	0.755	0.38	0.112	0.035	0.015	0.002	0.001	0.001	0	0	0	8.2	
270	1.704	1.075	0.456	0.201	0.103	0.037	0.01	0.003	0	0	0	0	0	0	3.6	
300	1.005	0.96	0.284	0.092	0.038	0.012	0.004	0.003	0	0	0	0	0	0	2.4	
330	2.989	4.547	2.441	0.766	0.17	0.052	0.017	0.004	0	0	0	0	0	0	11.0	
% di eventi	27.824	32.246	21.06	11.112	4.746	1.841	0.729	0.335	0.085	0.02	0.002	0	0	0	100	

- le calme di vento, che si verificano per velocità inferiori a circa 5 kn, sono pari a circa il 27% degli eventi;
- il regime dei venti è contraddistinto in prevalenza da brezze, da leggere a vivaci, appartenenti alla classe di velocità compresa tra 5.0 nodi e 25.0 nodi, che hanno una frequenza di accadimento di circa il 69%; le brezze tese e il vento fresco, aventi velocità comprese tra 25.0 nodi e 30.0 nodi, che hanno una frequenza di accadimento di circa il 2%; i venti forti, aventi velocità superiore a 30.0 nodi, si verificano in media con una frequenza pari a circa l'1%;
- il regime dei venti risulta abbastanza ben distribuito in tutte le direzioni di provenienza ad eccezione del settore di maestrale che risulta poco frequente;
- i venti di maggiore intensità provengono abbastanza uniformemente da tutti i settori.

#### 5.4 Confronto tra i risultati ottenuti dalle tre stazioni

L'analisi dei risultati ottenuti mostra chiaramente che la stazione installata sulla Piattaforma Annamaria B risultano in forte disaccordo rispetto ai risultati relativi alle altre due sorgenti di dati specialmente per quanto riguarda la direzione di provenienza de vento.

In particolare la totale mancanza di venti provenienti da Maestrale lascia pensare che l'anemometro sia stato affetto da ostacoli presenti sulla piattaforma.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE</b> <b>NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 29 di 72</b>	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

## 6 ANALISI STATISTICA DEI VALORI ESTREMI CALIBRATI DELLA VELOCITÀ DEL VENTO

Per il presente progetto, la definizione dei valori estremi della velocità del vento svolge un ruolo rilevante sia in relazione alle azioni che il vento può trasmettere alle navi ormeggiate e quindi ai loro sistemi di ormeggio, sia in relazione al moto ondoso generato con venti provenienti da terra che agisce direttamente sulle navi ormeggiate.

Per questa ragione si è deciso di eseguire una analisi di dettaglio in relazione alle condizioni anemometriche estreme.

Per condurre questa analisi si è puntata l'attenzione ai dati di vento disponibili a largo ricostruiti in re-analisi (vento ERA 5 Ravenna) e ai dati misurati nel Porto di Ravenna dalla stazione RMN Ispra. In entrambi i casi, come detto, si dispone di serie storiche che presentano un periodo di misura comune.

Per quanto riguarda i dati di vento misurati in corrispondenza della Piattaforma Annamaria B, non è risultato possibile utilizzarli poiché, come detto, non si dispone della serie storica delle misure. Inoltre si ritiene che questi dati, come già accennato, siano poco significativi in relazione al parametro che definisce la direzione del vento.

Delle due serie storiche quella ricostruita a largo (ERA5 Ravenna) è la più lunga e quindi anche la più robusta dal punto di vista statistico oltre ad essere quella maggiormente significativa per il nuovo terminale.

Pertanto l'analisi condotta, come di seguito illustrato, è stata svolta con l'obiettivo di verificare se sussiste la necessità o meno di calibrare i valori estremi del vento ricostruiti a largo dal Centro Meteorologico Europeo (ECMWF).

### 6.1 Calibrazione del vento ERA5 Ravenna

I dati anemometrici ricostruiti in ri-analisi dai principali centri meteorologici mondiali possono essere soggetti ad errori che dipendono dalla ricostruzione dei campi di pressione atmosferica.

Mentre dal punto di vista climatico questi errori sono generalmente poco significativi per definire le condizioni medie di esposizione anemometrica di un sito, invece, gli eventuali errori possono condizionare in modo la statistica dei venti estremi. Come di seguito illustrato, si sono utilizzati due approcci differenti per confrontare i dati di moto ondoso ricostruiti ERA5 con quelli misurati dalla stazione anemometrica di Ravenna.

Il primo confronto, di seguito indicato come "confronto sincrono", fornisce delle indicazioni sull'errore che viene mediamente commesso con la tecnica di ricostruzione del vento in ri-analisi. La seconda metodologia di confronto, di seguito indicata come "confronto asincrono", è di interesse per valutare l'eventuale necessità di calibrare i valori di W10 (vento totale sul piano orizzontale calcolato alla quota +10 m sul l.m.m.) raggiunti al culmine dei singoli eventi estremi di vento per definire la correlazione W10 – Tempo di ritorno (Tr).

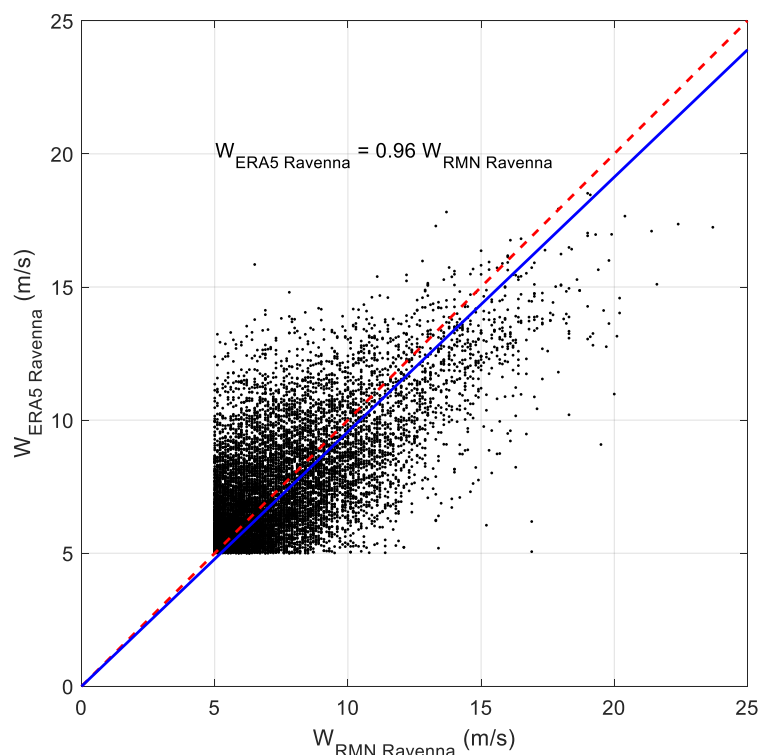
	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 30 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

### 6.1.1 Metodo sincrono

Per quanto riguarda la prima metodologia di analisi (confronto sincrono), i dati di vento ricostruiti ERA5 al largo di Ravenna sono stati posti a confronto con i dati sincroni estratti dalla serie storica misurata dalla stazione di Ravenna della RMN.


I risultati del confronto sincrono sono mostrati nel grafico di Figura 6.1. I dati selezionati risultano essere caratterizzati da una velocità del vento superiore a 5.0 m/s. Come è possibile osservare dalla figura, i dati ERA5 tendono a sottostimare leggermente quelli misurati. Tale sottostima può essere identificata con un valore pari 0.96 (pendenza della retta blu evidenziata in Figura 6.1).



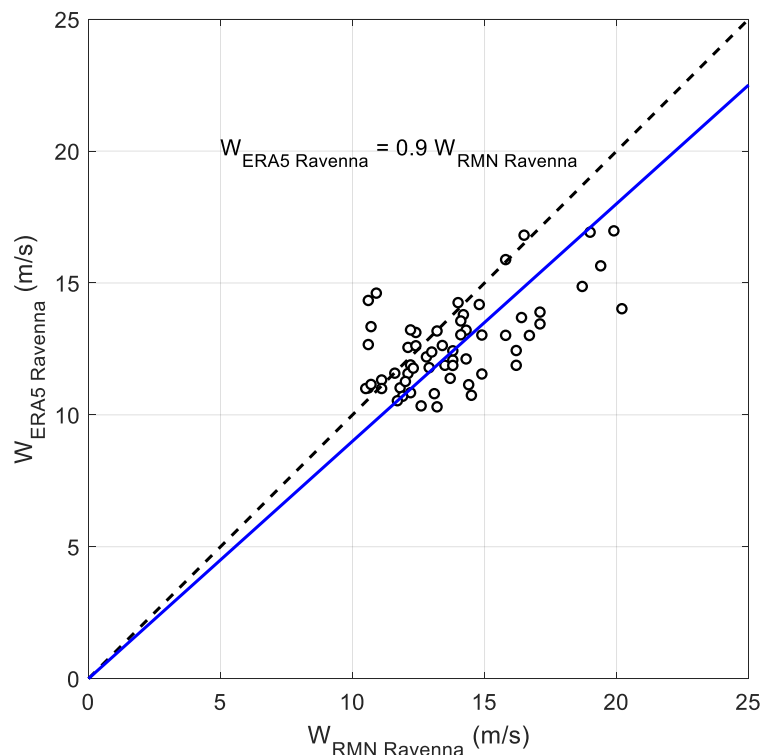
**Figura 6.1 – Confronto dei dati di vento ricostruiti nel punto ERA5 Ravenna e misurati dalla stazione anemometrica di Ravenna.**

### 6.1.2 Metodo asincrono

Per la selezione dei dati estremi di vento si è usata la tecnica POT (Peak Over Threshold) descritta in dettaglio nel paragrafo relativo alla statistica delle onde estreme, dove la soglia di troncamento è stata posta a 10 m/s. Gli eventi che risultano effettivamente estremi per entrambi i campioni (ricostruiti e misurati) sono riportati in Figura 6.2. Su tale campione di dati è stata imposta una legge di correlazione lineare. Anche in questo caso i dati ricostruiti tendono a sottostimare il valore di vento se confrontato con quello misurato. La correlazione trovata indica una sottostima pari a 0.9. Risulta quindi necessario incrementare i dati anemometrici ERA5 di un fattore pari a circa l'11%.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 31 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



**Figura 6.2 - Confronto asincrono tra i valori estremi W10 registrati dalla stazione anemometrica di Ravenna tra il 2010 e il 2022 e quelli ricostruiti dall'ECMWF nel punto ERA5 Ravenna.**

Tale calibrazione è stata applicata solo nell'analisi degli estremi del vento riporta nel paragrafo successivo.

## 6.2 Statistica dei dati di vento estremi

I dati anemometrici ricostruiti in re-analisi per il punto ERA5 Ravenna e calibrati rispetto a quelli misurati dalla stazione anemometrica di Ravenna sono stati analizzati statisticamente per definire la correlazione velocità del vento (W10) tempo di ritorno (Tr). W10 è il valore di velocità del vento alla quota +10.0m sul l.m.m.

I risultati ottenuti per i tempi di ritorno 2, 5 10, 20, 25, 50 e 100 anni sono mostrati in Tabella 6-1 dove la velocità del vento è fornita alla quota +10.0 m sul l.m.m. ed è espressa in nodi (kn).

Il pannello di sinistra della tabella mostra la correlazione Tr-Velocità del vento omnidirezionale ottenuta dal punto ERA5 Ravenna. Il secondo e il terzo pannello mostrano invece la correlazione rispettivamente per il settore di traversia principale (settore di Grecale) e per il settore secondario (settore di Scirocco). Infine l'ultimo pannello sulla destra mostra la correlazione per le restanti direzioni comprese tra le direzioni 180°N e 360°N che racchiudono tutti gli eventi provenienti da terra per il sito di interesse.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 32 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

**Tabella 6-1 – Valori estremi di vento derivati con una funzione di distribuzione di probabilità del tipo alla Weibull con coefficiente k = 1.**

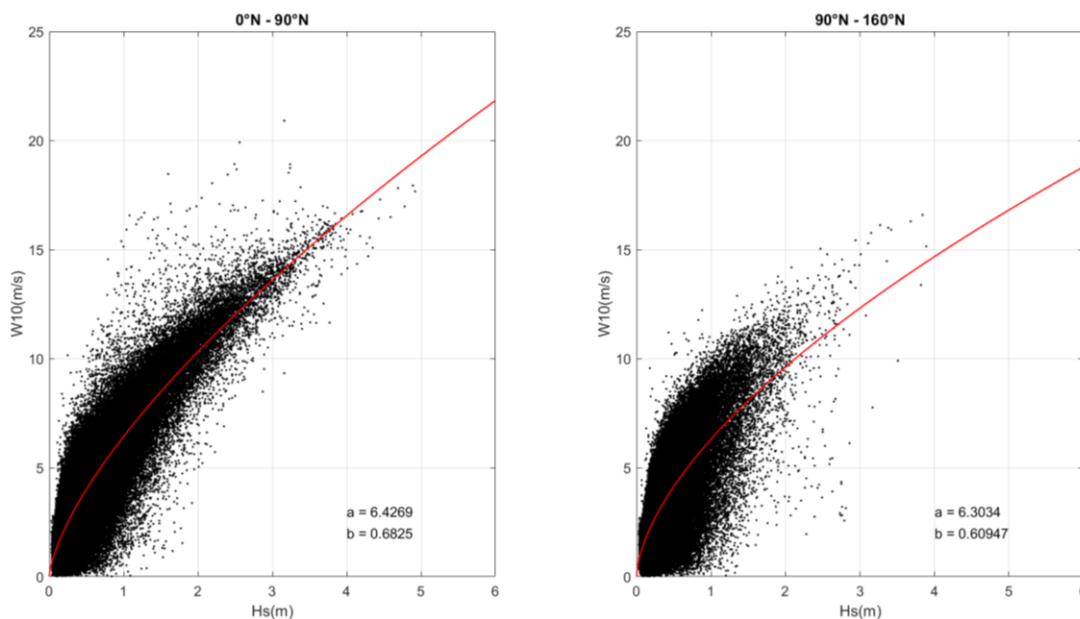
SETTORE OMNIDIREZIONALE [0°N - 360°N]		SETTORE I [10°N - 90°N]		SETTORE II [90°N - 180°N]		SETTORE III [180°N-360°N]	
Tr (anni)	W10 (kn)	Tr (anni)	W10 (kn)	Tr (anni)	W10 (kn)	Tr (anni)	W10 (kn)
2	34.82	2	34.47	2	24.48	2	24.04
5	37.87	5	37.54	5	27.79	5	25.71
10	40.19	10	39.88	10	30.30	10	26.98
20	42.51	20	42.23	20	32.83	20	28.26
25	43.27	25	42.99	25	33.66	25	28.67
50	45.61	50	45.36	50	36.19	50	29.61
100	47.97	100	47.73	100	38.74	100	31.24

### 6.3 Correlazione altezza d'onda significativa $H_s$ e velocità del vento W10


Al fine di correlare i valori di altezza d'onda significativa  $H_s$  con quelli relativi al vento W10 si è ricavata una legge esponenziale del tipo:

$$W10 = a \cdot H_s^b$$

Tale correlazione è riferita a due settori distinti. In Figura 6.3 sono riportati i risultati. Nel grafico di sinistra i dati si riferiscono al settore compreso tra 0°N e 90°N mentre nel grafico di destra i risultati fanno riferimento al settore compreso tra 90°N e 160°N.



**Figura 6.3** Grafico di sinistra: correlazione  $H_s$ -W10 per il settore Nord/Nord-Est. Grafico di destra: correlazione  $H_s$ -W10 per il settore di Sud-Est-

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 33 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

## 7 CLIMA ONDAMETRICO A LARGO

Per la definizione delle caratteristiche del moto ondoso al largo di Ravenna si è fatto riferimento alla serie storica dei dati ondametrici ERA5, acquisiti come detto dal Centro meteorologico europeo (ECMWF). Nel dettaglio ERA5 rende disponibili i dati meteomarinari orari (moto ondoso, vento e pressione atmosferica) ricostruiti in rianalisi dal 1979 al 2021, con un passo di discretizzazione spaziale LAT/LON di 0.25°N e una discretizzazione temporale oraria.

Questi dati sono stati acquisiti sul punto di griglia indicato nella Figura 7.1 ERA5 Ravenna. Il punto è stato scelto con l'obiettivo di utilizzare il punto ERA5 Ravenna come condizione di largo per il sito in esame.

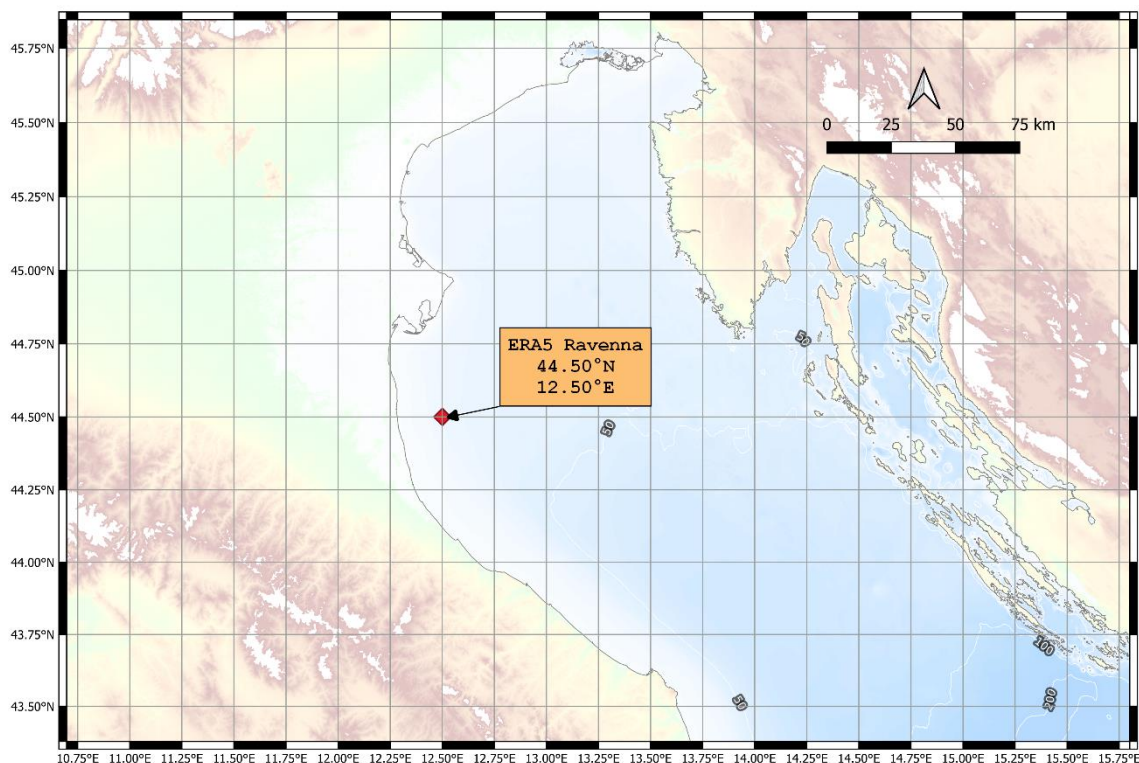



Figura 7.1 - Localizzazione del punto ERA5 Ravenna utilizzato per la caratterizzazione del moto ondoso a largo.

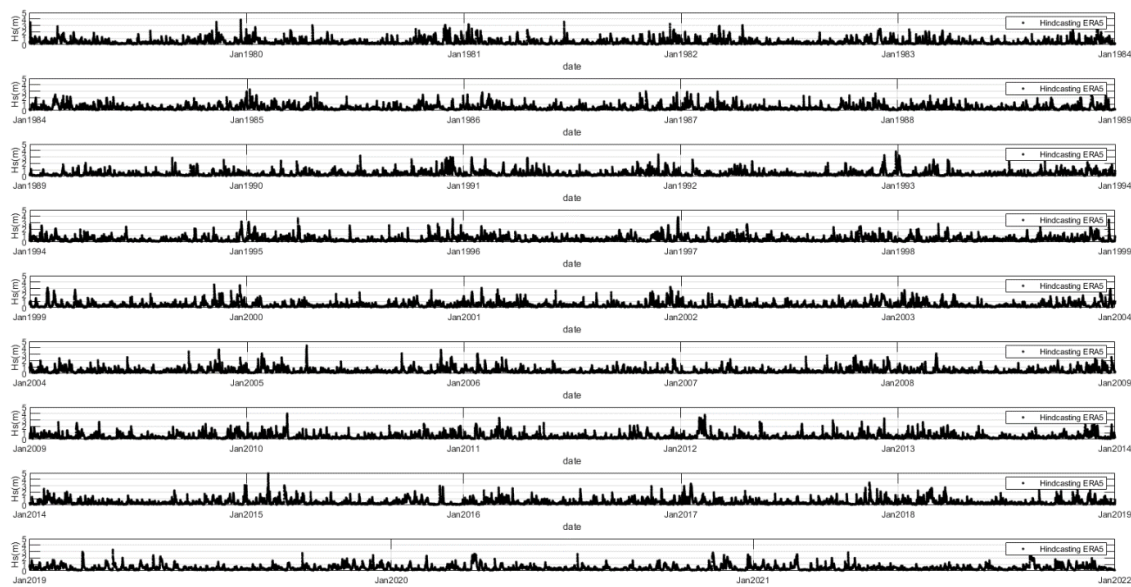
### 7.1 Dati di moto ondoso in ricostruzione ERA5 Ravenna

La serie storica ondametrica oraria che copre con continuità 43 anni relativa al punto ERA5 di coordinate 44.50°N-12.50 °E è costituita da 376944 stati di mare. La serie storica dell'altezza d'onda significative  $H_s$  relativa a tale punto è riportata a titolo di esempio graficamente nella Figura 7.2.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 34 di 72	<b>Rev.</b> 1

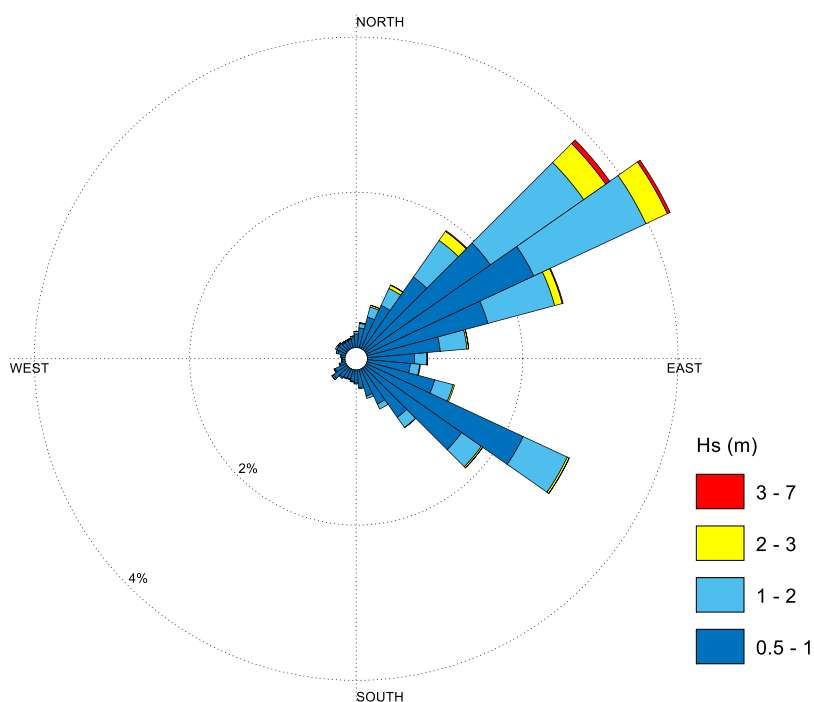
Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



**Figura 7.2 - Serie storica dei valori di Hs ricostruiti dall'ECMWF nel punto ERA5 Ravenna di coordinate 44.50°N 12.50°E nel periodo 1979-2021.**

Nella Figura 7.3, nelle Tabella 7-1 e nella Tabella 7-2, è riportato il clima ondometrico relativo al punto ERA5 sia in forma grafica, sia in forma numerica.

In particolare, mentre in ciascuna casella della Tabella 7-1 è riportato il numero degli eventi osservati (classificati in termini di Hs e di direzione di provenienza), nella Tabella 7-2 gli stessi eventi sono forniti in percentuale la quale coincide con la loro frequenza di accadimento media annuale.




**Figura 7.3 - Distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso con Hs>0.5 m nel punto ERA5 Ravenna di coordinate 44.50°N, 12.50°E**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 35 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

**Tabella 7-1 - Numero di eventi di moto ondoso al largo di Ravenna suddivisi per classi di altezza d'onda significativa e direzione, ricostruiti dall'ECMWF. Punto di acquisizione ERA5 Ravenna 44.50°N - 12.50°E. Periodo di riferimento 1979 - 2021.**

	Numero di eventi (Hs)												
Direzione d'onda °N	Altezza d'onda (m)												Tot
	0.00	0.25	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	> 4.50		
	0.25	0.50			2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50			
10	3771	2474	1014	143	75	21	6	2					7506
20	4523	3411	1648	336	169	66	18	2	1				10174
30	5028	5014	2435	604	302	139	31	11	10				13574
40	5738	7098	4476	1471	700	372	165	45	0				20065
50	5749	8164	7642	3654	1879	908	392	182	57	3			28630
60	5781	8633	9231	3983	2023	842	307	98	34	9	5		30946
70	6062	7226	6252	2470	886	298	83	32	10	3			23322
80	5835	5233	3685	1064	237	72	5	3					16134
90	6808	4561	2381	506	91	28	5	1					14381
100	7705	5369	2187	381	75	30	6						15753
110	9967	8505	3547	741	187	48	16						23011
120	11227	14335	8744	1907	454	69	30	6	5				36777
130	8399	10971	5956	947	223	58	19	3					26576
140	5203	6486	3076	537	68	12	1						15383
150	3397	4126	1978	243	19								9763
160	2376	3028	1386	122	5								6917
170	1873	2314	903	57	2								5149
180	1644	1891	677	47	1								4260
190	1411	1598	595	35	0								3639
200	1140	1377	511	28	0								3056
210	1116	1233	537	33	6								2925
220	1095	1278	610	53	8								3044
230	964	1120	842	77	2	3							3008
240	1038	1002	615	46	1	2							2704
250	1078	824	313	27									2242
260	1150	737	163	14	1								2065
270	1138	679	159	21	5								2002
280	1336	743	211	37	2								2329
290	1919	851	412	57	14	2							3255
300	2982	1123	521	72	4								4702
310	3434	1358	509	53	8	2							5364
320	3702	1378	440	55	7	1							5583
330	3675	1462	433	51	9	3							5633
340	3550	1387	451	41	6	2							5437
350	3280	1572	513	76	7	2							5450
360	3453	1919	686	89	30	7	1						6185
N° di eventi	138547	130480	75739	20078	7506	2987	1085	385	117	15	5		376944

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 36 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

**Tabella 7-2 - Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso al largo di Ravenna suddivisi per classi di altezza d'onda significativa e direzione, ricostruiti dall'ECMWF. Punto di acquisizione ERA5 Ravenna 44.50°N – 12.50°E. Periodo di riferimento 1979 – 2021.**

Ravenna 44.50° N - 12.50° E - Periodo di riferimento 1979 - 2021		Frequenza di accadimento dell'altezza d'onda significativa												
Direzione d'onda °N	Altezza d'onda (m)												Tot	
	0.00 0.25	0.25 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 4.50	> 4.50			
10	1.000	0.656	0.269	0.038	0.020	0.006	0.002	0.001					1.991	
20	1.200	0.905	0.437	0.089	0.045	0.018	0.005	0.001	0.000				2.699	
30	1.334	1.330	0.646	0.160	0.080	0.037	0.008	0.003	0.003				3.601	
40	1.522	1.883	1.187	0.390	0.186	0.099	0.044	0.012					5.323	
50	1.525	2.166	2.027	0.969	0.498	0.241	0.104	0.048	0.015	0.001			7.595	
60	1.534	2.290	2.449	1.057	0.537	0.223	0.081	0.026	0.009	0.002	0.001		8.210	
70	1.608	1.917	1.659	0.655	0.235	0.079	0.022	0.008	0.003	0.001			6.187	
80	1.548	1.388	0.978	0.282	0.063	0.019	0.001	0.001					4.280	
90	1.806	1.210	0.632	0.134	0.024	0.007	0.001	0.000					3.815	
100	2.044	1.424	0.580	0.101	0.020	0.008	0.002						4.179	
110	2.644	2.256	0.941	0.197	0.050	0.013	0.004						6.105	
120	2.978	3.803	2.320	0.506	0.120	0.018	0.008	0.002	0.001				9.757	
130	2.228	2.911	1.580	0.251	0.059	0.015	0.005	0.001					7.050	
140	1.380	1.721	0.816	0.142	0.018	0.003	0.000						4.081	
150	0.901	1.095	0.525	0.064	0.005								2.590	
160	0.630	0.803	0.368	0.032	0.001								1.835	
170	0.497	0.614	0.240	0.015	0.001								1.366	
180	0.436	0.502	0.180	0.012	0.000								1.130	
190	0.374	0.424	0.158	0.009									0.965	
200	0.302	0.365	0.136	0.007									0.811	
210	0.296	0.327	0.142	0.009	0.002								0.776	
220	0.290	0.339	0.162	0.014	0.002								0.808	
230	0.256	0.297	0.223	0.020	0.001	0.001							0.798	
240	0.275	0.266	0.163	0.012	0.000	0.001							0.717	
250	0.286	0.219	0.083	0.007									0.595	
260	0.305	0.196	0.043	0.004	0.000								0.548	
270	0.302	0.180	0.042	0.006	0.001								0.531	
280	0.354	0.197	0.056	0.010	0.001								0.618	
290	0.509	0.226	0.109	0.015	0.004	0.001							0.864	
300	0.791	0.298	0.138	0.019	0.001								1.247	
310	0.911	0.360	0.135	0.014	0.002	0.001							1.423	
320	0.982	0.366	0.117	0.015	0.002	0.000							1.481	
330	0.975	0.388	0.115	0.014	0.002	0.001							1.494	
340	0.942	0.368	0.120	0.011	0.002	0.001							1.442	
350	0.870	0.417	0.136	0.020	0.002	0.001							1.446	
360	0.916	0.509	0.182	0.024	0.008	0.002	0.000						1.641	
Freq. Accadimento	36.755	34.615	20.093	5.327	1.991	0.792	0.288	0.102	0.031	0.004	0.001		100	

Il diagramma polare di Figura 7.3 (clima ondametrico medio annuale) mostra che il punto in esame posto a largo del sito di interesse, presenta due settori di traversia, ricadenti nel I quadrante (settore Nord-Est - Grecale) e nel II quadrante (settore Sud-Est - Scirocco).

Gli stati di mare provenienti dal I quadrante risultano sia di maggiore intensità, sia di maggiore frequenza rispetto a quelli provenienti dal II quadrante e pertanto il settore di Grecale può essere considerato il settore di traversia principale.

Il settore di Scirocco è compreso tra le direzioni 100° e 160°N, mentre quello di Grecale è compreso tra le direzioni 0° e 90°N.

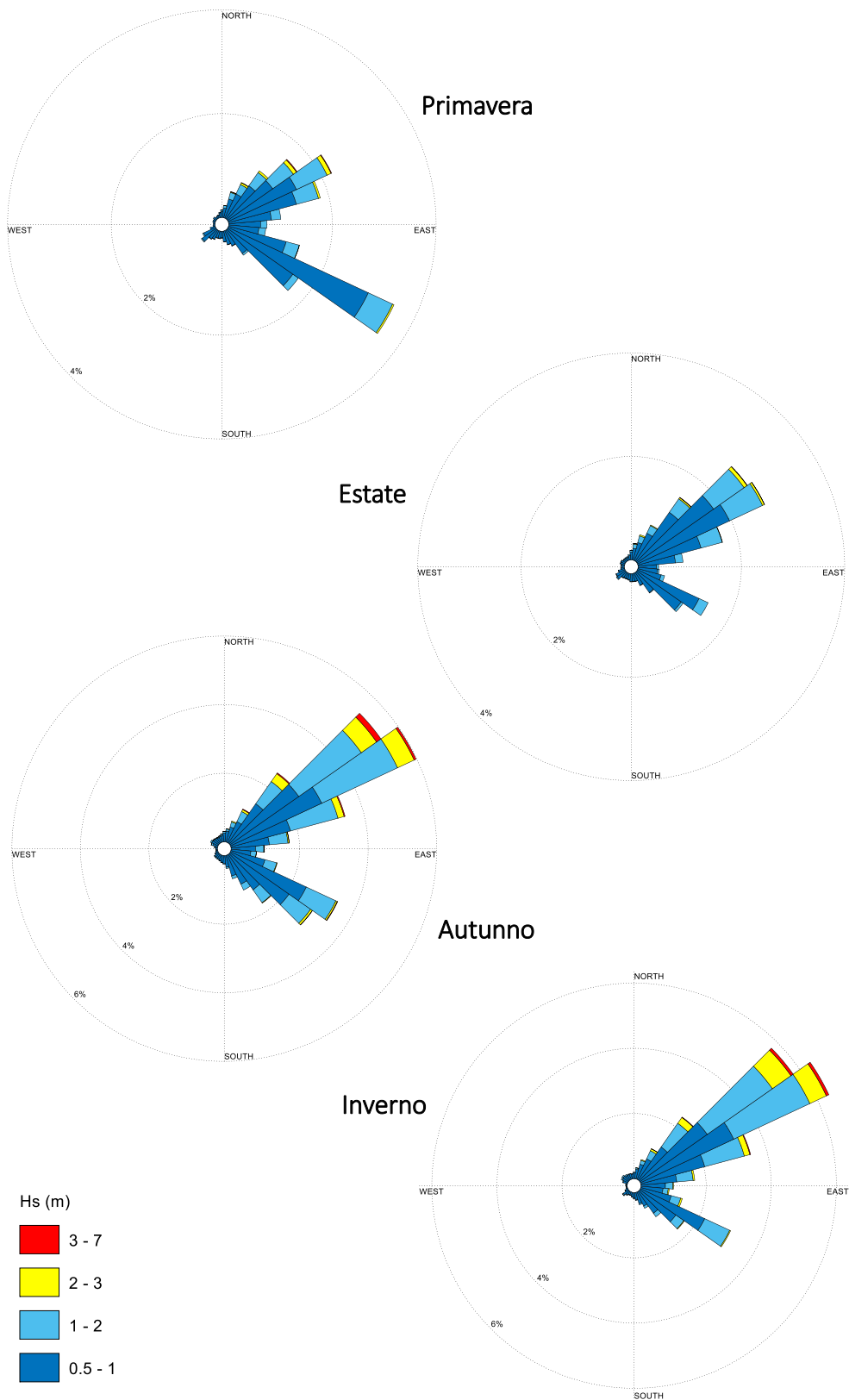
In Figura 7.4 sono riportate le rose ondametriche medie stagionali desunte sempre dalla serie storica. La figura mostra che la frequenza delle onde provenienti da Grecale risulta in generale prevalente durante l'anno rispetto alle onde provenienti da Scirocco, le quali si verificano più frequentemente durante la primavera.

Comunque le onde di maggiore altezza provengono tutto l'anno dal settore di Grecale.




	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 37 di 72	<b>Rev.</b> 1

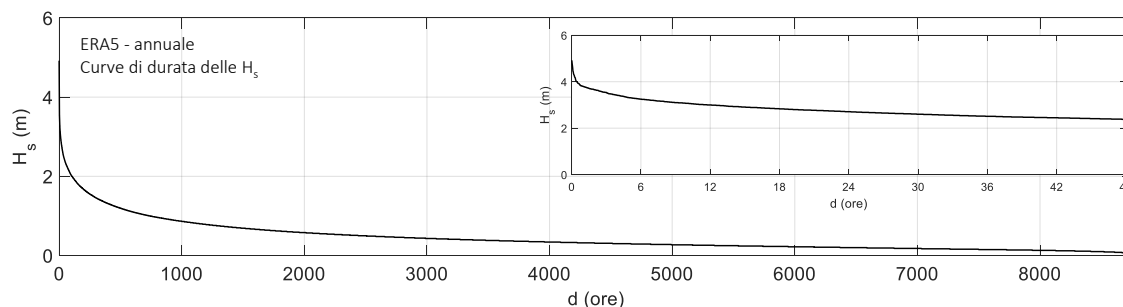
Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



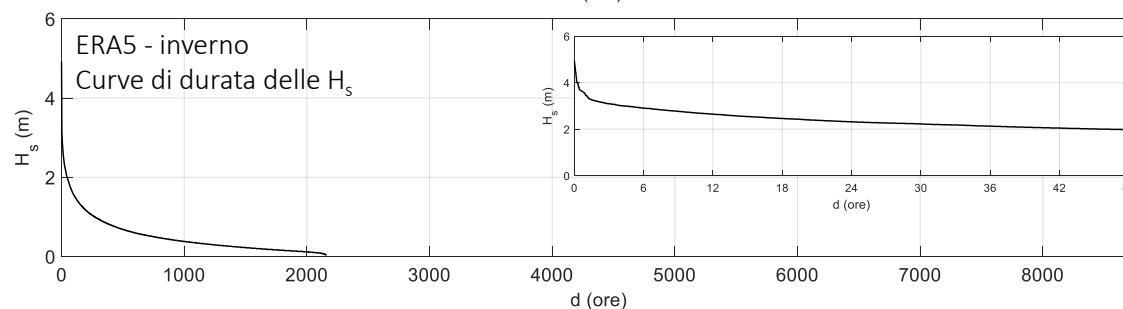
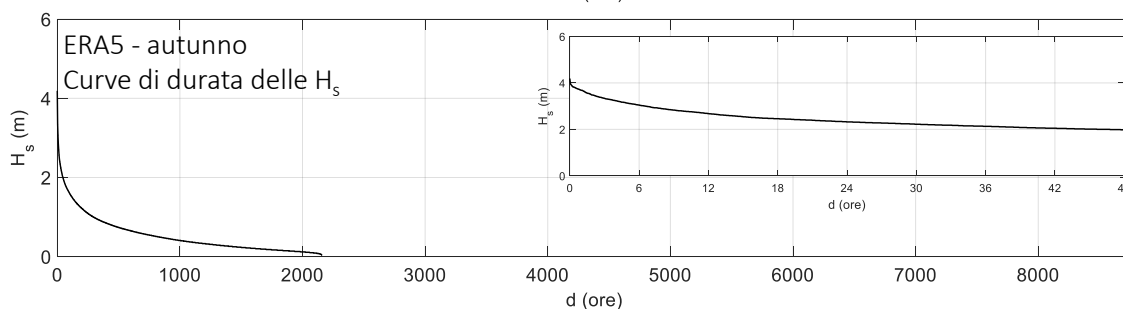
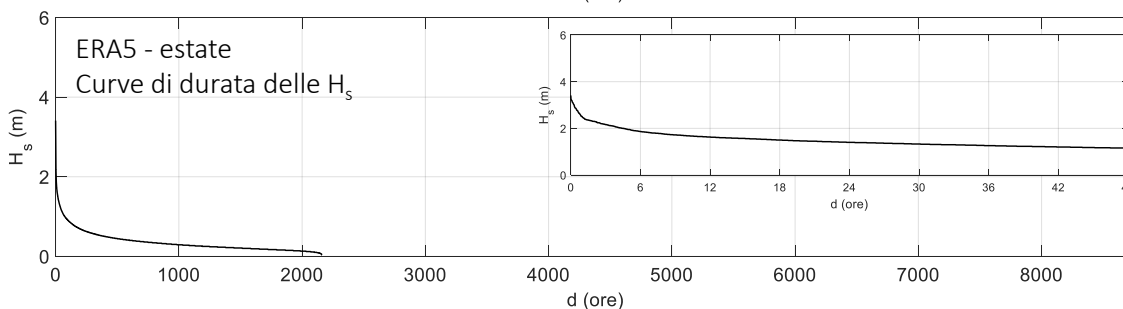
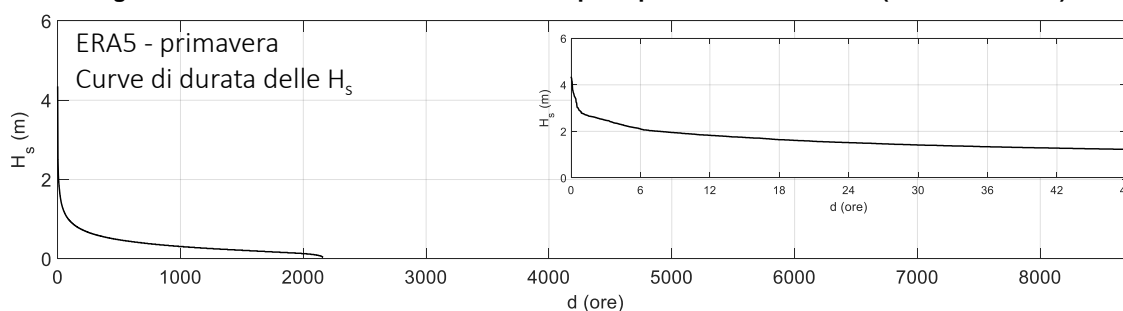
**Figura 7.4 - Rose di distribuzione direzionale su base stagionale degli eventi di moto ondoso con  $H_s > 0.5\text{m}$  nel punto ERA 5 Ravenna di coordinate 44.50°N- 12.50°E**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 38 di 72</b>	<b>Rev.</b> <b>1</b>


Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



**Figura 7.5 - Curva di durata annuale delle Hs per il punto ERA5 Ravenna. (44.50°N-12.50°E)**



**Figura 7.6 - Curve di durata stagionali delle Hs per il punto ERA5 Ravenna (44.50°N-12.50°E).**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 39 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

Nella Figura 7.5 e nella Figura 7.6 sono riportate rispettivamente le curve di durata delle altezze d'onda significative  $H_s$  medie annuali e stagionali per il punto ERA5 Ravenna calcolate sulla base della serie storica ECMWF.

Nella Tabella 7-3 infine sono riportate le frequenze di superamento medie annuali e stagionali (esprese rispettivamente in ore/anno e in giorni/anno), di prefissate soglie di  $H_s$ .

**Tabella 7-3 - Frequenze medie annuali e stagionali di superamento di soglie di  $H_s$  per il punto ERA5 Ravenna.**

ANNUALE - ERA5		
$H_s$ (m)	Durata (ore)	Durata (giorni)
0.5	2474.59	103.1
1.0	747.78	31.2
1.5	277.58	11.6
2.0	106.74	4.4
2.5	35.83	1.5
3.0	12.11	0.5
3.5	2.79	0.1
> 4	0.44	0.0

PRIMAVERA - ERA5		
$H_s$ (m)	Durata (ore)	Durata (giorni)
0.5	471.85	19.7
1.0	89.47	3.7
1.5	25.18	1.0
2.0	7.72	0.3
2.5	2.83	0.1
> 3	0.62	0.0

AUTUNNO - ERA5		
$H_s$ (m)	Durata (ore)	Durata (giorni)
0.5	833.81	34.7
1.0	298.48	12.4
1.5	122.23	5.1
2.0	46.75	1.9
2.5	16.38	0.7
3.0	6.59	0.3
3.5	1.84	0.1
> 4	0.12	0.0

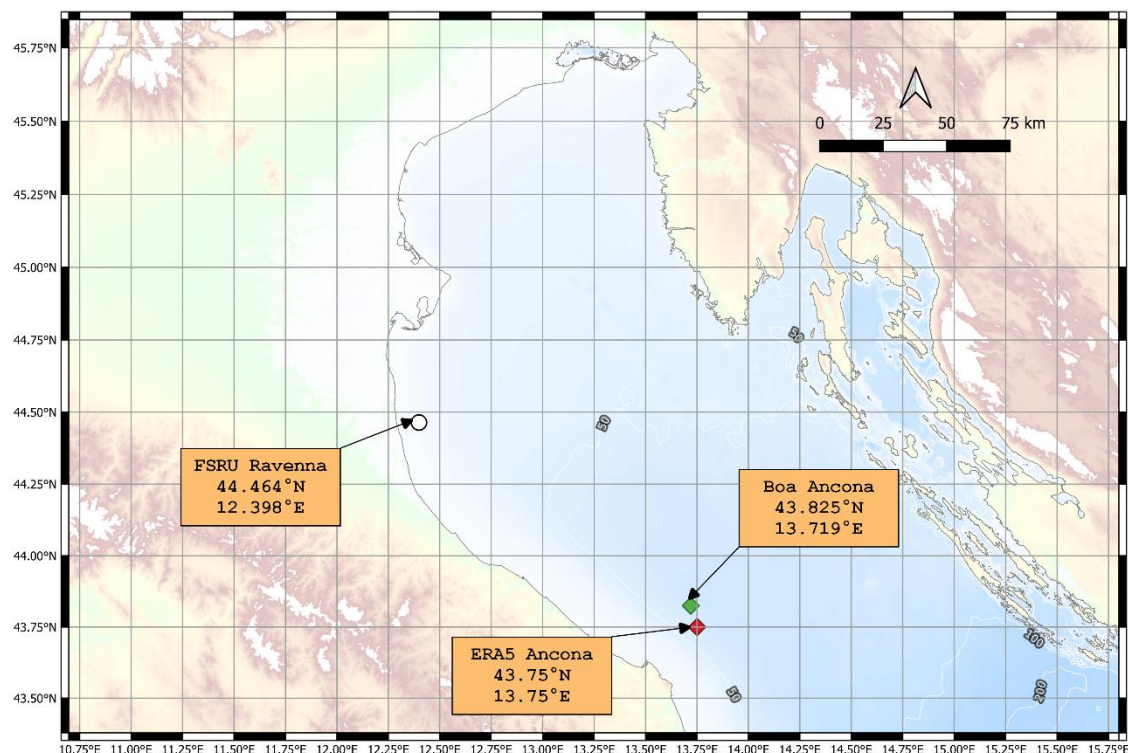
ESTATE - ERA5		
$H_s$ (m)	Durata (ore)	Durata (giorni)
0.5	409.09	17.0
1.0	76.12	3.2
1.5	18.21	0.8
> 2	4.55	0.2

INVERNO - ERA5		
$H_s$ (m)	Durata (ore)	Durata (giorni)
0.5	759.84	31.7
1.0	283.06	11.8
1.5	111.96	4.7
2.0	47.35	2.0
2.5	16.62	0.7
3.0	5.05	0.2
3.5	0.95	0.0
> 4	0.28	0.0

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 40 di 72</b>	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

## 8 CALIBRAZIONE DEI DATI ONDAMETRICI PER LA VALUTAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI



**Figura 8.1 – Localizzazione geografica dei dati ondametrici utilizzati per la calibrazione degli eventi estremi.**

I dati ondametrici ricostruiti in ri-analisi dai principali centri meteorologici mondiali sono inevitabilmente soggetti ad errori, i quali dipendono dagli errori commessi nel ricostruire i campi di vento che si ripercuotono sulla ricostruzione del moto ondoso.

Mentre dal punto di vista climatico questi errori sono generalmente poco significativi per definire le condizioni medie di esposizione ondametrica di un sito, invece, gli eventuali errori possono condizionare in modo rilevante la statistica delle onde estreme le quali svolgono un ruolo fondamentale per il dimensionamento strutturale delle opere marittime.

Pertanto, risulta sempre di estrema importanza confrontare i dati ondametrici ricostruiti in ri-analisi con dati provenienti da misure dirette per verificare o meno la necessità di effettuare una calibrazione dei dati ricostruiti in condizioni estreme.

Con riferimento alla Figura 8.1, nel caso in esame la stazione di misura diretta selezionata per la calibrazione degli eventi estremi è quella di Ancona facente parte della rete ondametrica nazionale (RON) oggi gestita dall'ISPRA. La Boa di Ancona è stata operativa con intervalli non regolari dal 1999 fino ad oggi.

Tenuto conto che la boa ondametrica di Ancona ricade nella stessa area di generazione delle onde che appartengono a largo al settore di traversia principale del sito di interesse, si è deciso di determinare la necessità o meno di effettuare una

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 41 di 72</b>	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

calibrazione dei dati ERA5 per il sito di interesse, effettuando un confronto tra i dati ERA5 e i dati misurati della boa di Ancona.

Per effettuare il confronto in modo corretto si sono quindi acquisiti i dati ERA5 per il punto di griglia più vicino alla posizione dove la boa ondometrica di Ancona è stata operativa tra il 1999 e il 2022 (vedi Figura 8.1). Questo punto è stato definito ERA5 Ancona.

Come di seguito illustrato, si sono utilizzati due approcci differenti per confrontare i dati di moto ondoso ricostruiti ERA5 con quelli osservati dall'ondametro di Ancona.

Il primo confronto, di seguito indicato come "confronto sincrono", fornisce delle indicazioni sull'errore che viene mediamente commesso con la tecnica di ricostruzione del moto ondoso in ri-analisi. La seconda metodologia di confronto, di seguito indicata come "confronto asincrono", è di interesse per valutare l'eventuale necessità di calibrare i valori di Hs raggiunti al culmine delle singole mareggiate necessari per analizzare gli stati di mare estremi e quindi per definire la correlazione Hs – Tempo di ritorno (Tr).

Queste tecniche di confronto, sviluppate teoricamente da De Girolamo et al. (2017), si basano sul concetto che gli errori, tra le misure e i dati ricostruiti, valutati nello stesso istante, errori sincroni, risentono spesso di un errore legato alla tempistica (timing) con cui si sviluppa l'evento meteomarinico. Tale errore può essere eliminato facendo ricorso al confronto asincrono, ovvero confrontando i valori di Hs al culmine delle mareggiate, i quali possono avvenire anche in tempi leggermente diversi, purché appartenenti allo stesso evento meteorologico estremo. L'applicazione di questa tecnica consente di confrontare e quindi di calibrare agevolmente i dati da utilizzare per effettuare la statistica degli eventi estremi.

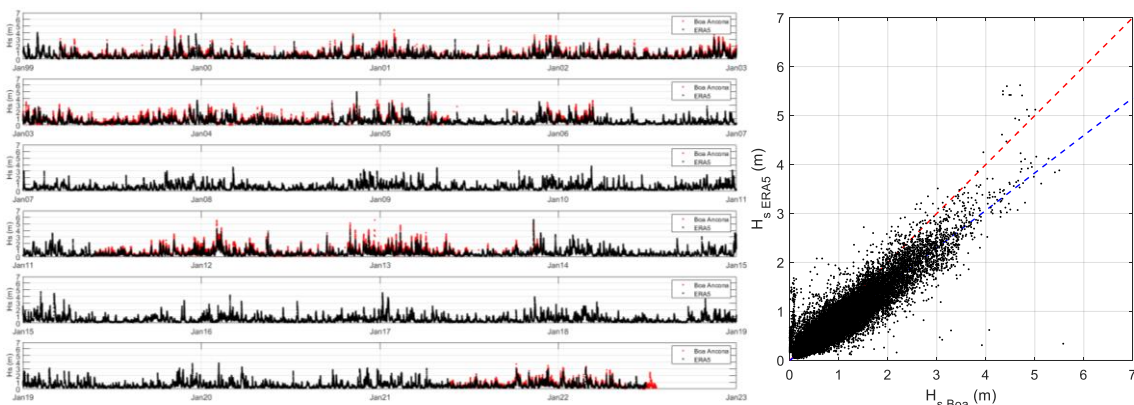
## 8.1 Confronto degli eventi sincroni al largo di Ancona

Per quanto riguarda la prima metodologia di analisi (confronto sincrono), i dati ricostruiti ERA5 al largo di Ancona sono stati posti a confronto con i dati sincroni estratti dalle due serie storiche, per i periodi di tempo in comune.

I risultati del confronto sincrono, mostrati nel grafico di destra della Figura 8.2, evidenziano che mediamente i dati ricostruiti ERA5 tendono a sottostimare i dati misurati.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 42 di 72</b>	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



**Figura 8.2 – Confronto dei dati di moto ondoso ricostruita dall'ECMWF (ERA5 Ancona) con i dati sincroni registrati dalla boa ondometrica di Ancona per il periodo 1999-2022.**

## 8.2 Confronto degli eventi estremi asincroni al largo di Ancona

Nei grafici polari di Figura 8.3 sono riportati i valori di altezza significativa e direzione di provenienza al colmo delle mareggiate, definite secondo quanto specificato nel seguito, estratte dalla serie storica di misure di moto ondoso effettuate dalla boa ondometrica di Ancona (pannello di sinistra) e dalla serie di dati ricostruiti di moto ondoso ERA5 Ancona (pannello di destra).


I dati fanno riferimento alle stesse mareggiate ma come detto non sono sincroni, ovvero si accetta che i colmi delle singole mareggiate possano avvenire in istanti diversi pur appartenendo allo stesso evento meteorologico.

La singola mareggiata è stata identificata in base al soddisfacimento contemporaneo dei seguenti requisiti:

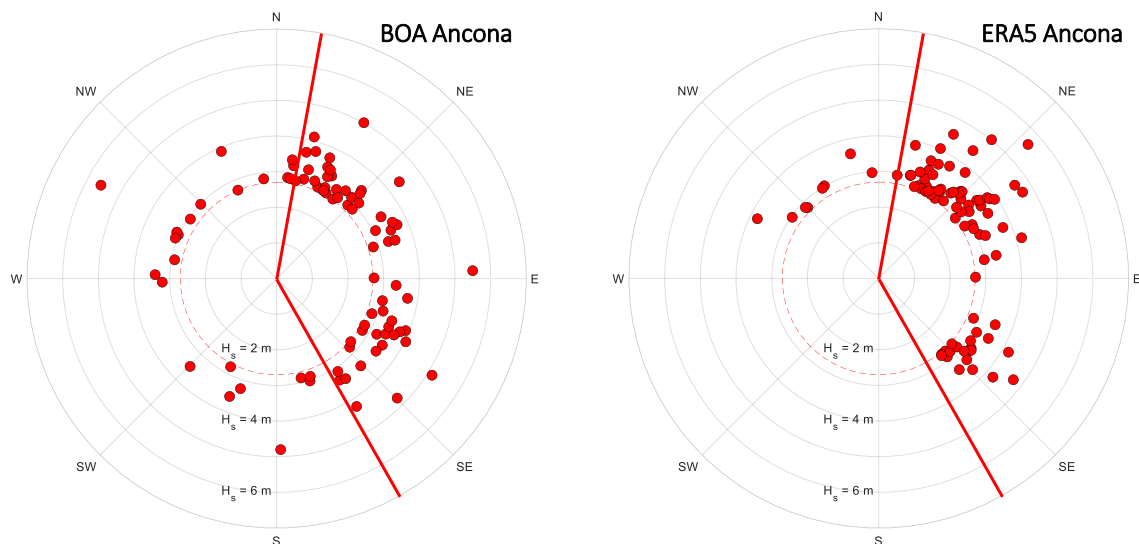
- altezza d'onda  $H_s$  sopra la soglia di 1.0 m per più di 12 ore;
- altezza d'onda  $H_s$  al colmo dell'evento meteorologico uguale o superiore alla soglia 2.0 m;
- distanza tra due mareggiate pari ad almeno 48 ore.

Il soddisfacimento di questi requisiti consente di definire i valori estremi di moto ondoso raggiunti al culmine delle mareggiate che risultano statisticamente indipendenti l'uno dall'altro.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 43 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



**Figura 8.3 – Distribuzione dei valori di altezza d'onda  $H_s$  al colmo delle mareggiate registrate dalla boa di Ancona (sinistra) e ricostruiti dall'ECMWF (ERA5 Ancona) nel medesimo periodo.**

Il campione delle mareggiate coesistenti è stato ulteriormente ristretto limitando il confronto agli eventi che presentano al loro culmine valori  $H_s > 2.6$  m, ottenendo un totale di circa 50 eventi.


I grafici polari di Figura 8.3 mostrano che dal punto di vista direzionale i due set di dati risultano molto simili.

Nella Figura 8.4 gli stessi dati sono confrontati prendendo in esame solo i valori di  $H_s$  riportando in ordinata i valori ERA5 Ancona e in ascissa i valori misurati dalla boa ondometrica. Il confronto mostra di nuovo una sottostima dei valori ricostruiti.

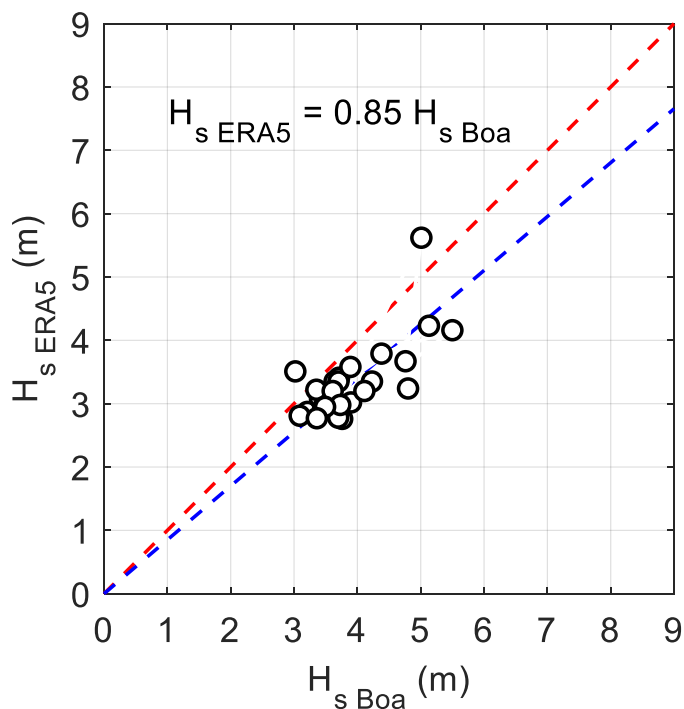
Per calcolare un coefficiente di calibrazione medio da applicare solo agli eventi estremi di moto ondoso ricostruiti in re-analisi, è stata presa in esame la retta di interpolazione di equazione  $HP = A+B \cdot HM$ . Imponendo alla stessa retta il passaggio per l'origine ( $A=0$ ), si è calcolato applicando il metodo dei minimi quadrati il coefficiente  $B$  per il quale si è ottenuto  $B = 0.85$ . Sostanzialmente per correggere la sottostima degli eventi estremi individuata nel database ERA5 è necessario incrementare i valori di  $H_s$  ricostruiti di circa il 17% (coefficiente di calibrazione 1.17).

Ipotizzando che anche il punto ERA5 Ravenna di coordinate 44.50°N-12.50°E, posto a largo di Ravenna e ricadente nella stessa area di generazione delle onde di Ancona sia soggetto ad un errore uguale a quello individuato per Ancona, si è deciso di introdurre nella analisi delle onde estreme del punto ERA5 lo stesso coefficiente di calibrazione determinato per Ancona.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 44 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



**Figura 8.4 Confronto asincrono tra i valori al colmo delle mareggiate (con  $H_s$  maggiore di 2.6 m) registrati dalla boa di Ancona tra il 1999 e il 2022 e quelli ricostruiti dall'ECMWF con il modello WAM in prossimità della boa ondamentrica.**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 45 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

## 9 ANALISI STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDO SO A LARGO

### 9.1 Individuazione del modello probabilistico per i dati selezionati

Per determinare la correlazione  $H_s - T_r$  ( $T_r$  = tempo di ritorno) a largo di Ravenna, è stata eseguita l'analisi statistica degli eventi estremi utilizzando come campione di dati la serie dei colmi delle mareggiate estratti dalle serie storiche ERA5 Ravenna calibrati come descritto nel capitolo precedente.

Per eseguire l'analisi statistica delle altezze d'onda risulta necessario selezionare preliminarmente dei campioni di dati che rispondano al doppio requisito di risultare tra di loro statisticamente **indipendenti ed omogenei**.

Per quanto riguarda l'indipendenza statistica si è utilizzato il metodo POT (Peaks Over Threshold) che consiste nel prendere in esame il solo valore massimo di altezza d'onda significativa (valore di picco) che si verifica al culmine di una singola mareggiata. L'individuazione di ciascuna mareggiata nell'ambito della serie storica viene effettuata introducendo una soglia di altezza d'onda e considerando che il singolo evento (mareggiata) abbia inizio quando l'altezza d'onda significativa superi per la prima volta il valore della soglia prestabilito.

Conseguentemente si ipotizza che l'evento termini quando l'altezza d'onda significativa assume per la prima volta un valore inferiore a quello di soglia oppure quando si verifica un forte scarto della direzione del moto ondo so.

Selezionati gli "eventi di picco", l'omogeneità dei dati di solito viene assicurata raggruppando gli stessi dati in eventi caratterizzati da una simile genesi meteorologica. Ciò normalmente si traduce nel separare i valori massimi di altezze d'onda registrati in distinti settori di provenienza degli stati di mare.

Gli stati di mare, caratterizzati da una altezza d'onda significativa ( $H_s$ ) superiore alla soglia individuata, sono quindi oggetto di una elaborazione statistica al fine di ricavare le caratteristiche del moto ondo so da associare ad assegnati tempi di ritorno  $T_R$  (o probabilità di occorrenza).

Le leggi di distribuzione di probabilità cumulata di non superamento (funzione di ripartizione) utilizzate sono:

Distribuzione di Weibull:

$$P_{X_{max}}(x) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{x - B}{A} \right)^k \right]$$

Distribuzione di Gumbel:

$$P_{X_{max}}(x) = \exp \left[ - \exp \left( \frac{x - B}{A} \right) \right]$$

dove  $X_{max}$  è la variabile aleatoria,  $x$  il valore di non superamento mentre  $A$ ,  $B$  e  $k$  sono le costanti delle distribuzioni, che rappresentano rispettivamente il parametro di scala, di posizione e di forma. Il parametro  $k$  per la distribuzione di Weibull è assunto pari a 0.75, 1.0, 1.4 e 2.0.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 46 di 72</b>	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

La valutazione dei parametri della distribuzione richiede la preliminare stima della frequenza campionaria dei dati. Il campione dei dati viene ordinato in senso decrescente e per ogni m-esimo evento viene calcolata la frequenza campionaria di non superamento utilizzando la seguente formula di generale (plotting position):

$$\widehat{F}_m = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta}, m = 1, 2, K, \dots, N$$

Introducendo la variabile ridotta:

$$y_{(m)} = [-\ln(1 - \widehat{F}_m)]^{\frac{1}{k}}$$

viene applicato il metodo dei minimi quadrati per determinare i parametri A e B della retta:

$$x_{(m)} = B + A \times y_{(m)}$$

Definita la funzione di probabilità di non superamento e tenendo conto che la probabilità cumulata di non superamento è legata al tempo di ritorno dell'evento dalla relazione:

$$T_r(X \leq x) = \frac{1}{(1 - P(X \leq x))}$$

è possibile valutare il valore massimo dell'altezza d'onda significativa, corrispondente ad un tempo di ritorno assegnato.

Una volta eseguite le elaborazioni di regolarizzazione statistica (Gumbel e Weibull), occorre verificare la bontà dei risultati ottenuti. A tale scopo, Goda definisce due diversi criteri da seguire per scartare le distribuzioni statistiche non adatte:

1. Deviation of OutLier (DOL) - dove si controlla che l'evento con il maggiore valore di  $H_s$  ricada all'interno di un determinato campo di validità;
2. REsidue of Correlation coefficent (REC) - il coefficiente di correlazione residuo ( $\Delta r = 1 - r$ ) deve essere inferiore ad una determinata soglia definita come  $\Delta r = 95\%$ .


Il criterio MIR (MInimum ratio of Residual correlation coefficient), proposto sempre da Goda, consente infine di selezionare, tra le distribuzioni rimaste valide, quella che meglio si adatta al campione esaminato; tale criterio si basa sul rapporto tra il coefficiente di correlazione residuo ( $\Delta r$ ) e quello medio, che può essere stimato attraverso una relazione empirica (funzione della numerosità del campione e della distribuzione); la distribuzione di migliore adattamento è quella che presenta il minimo valore di tale rapporto.

Il metodo POT prevede che le sole mareggiate che hanno all'interno del settore di competenza un'altezza significativa massima superiore ad una certa soglia vengano utilizzate per la successiva analisi statistica degli eventi estremi; viene quindi definito il parametro di taglio (censoring parameter):

$$v = \frac{N}{N_{tot}}$$

con  $N$  = numero degli eventi sopra la soglia e  $N_{tot}$  = numero totale delle mareggiate.

La scelta del valore di soglia rappresenta uno dei limiti nell'uso del metodo POT, infatti considerare una soglia eccessivamente piccola comporta di dare maggiore peso agli eventi di modesta entità (mareggiate frequenti), mentre con una soglia eccessivamente elevata

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 47 di 72	<b>Rev.</b> 1

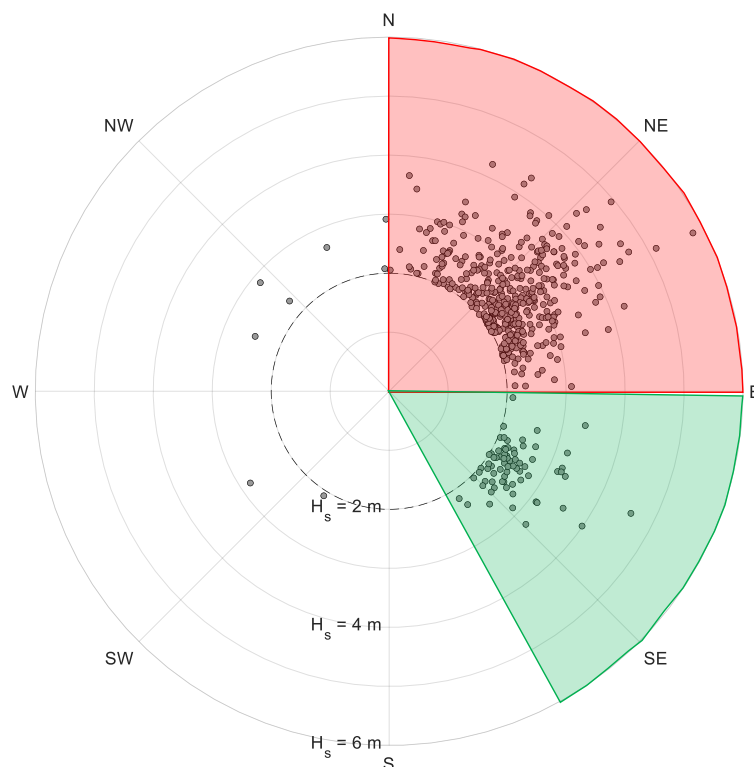
Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

viene selezionato un numero di eventi che può risultare piccolo a discapito della bontà della regolarizzazione statistica.

Per la definizione della soglia si è fatto riferimento al metodo di Goda il quale prevedere di scegliere un valore di soglia tale da poter includere nel campione un numero di eventi compreso tra 2 e 5 per anno.

## 9.2 Statistica degli eventi estremi per il punto ERA5 Ravenna 44.50°N-12.50°E


Come precedentemente esposto, l'analisi degli estremi è stata effettuata tramite l'utilizzo del metodo POT. Il risultato dell'analisi condotta prendendo in considerazione tutte le direzioni (0°N-360°N) ha portato all'individuazione di due settori di traversia, come riportato in Figura 9.1. Nella figura ogni singolo punto rappresenta il valore di  $H_s$  al culmine di un evento estremo di moto ondoso al quale è stato applicato il coefficiente di calibrazione determinato in precedenza.



**Figura 9.1 - Individuazione dei settori di traversia per il punto di acquisizione ERA5 Ravenna 44.50°N-12.50°E**

Il primo settore risulta compreso tra 0°N e 90°N, individuato come settore di Grecale. Questo risulta essere il settore con il più alto numero di eventi. Il secondo settore di traversia viene individuato come compreso tra le direzioni 91°N e 160°N (settore di Scirocco). Data l'esposizione geografica del punto di acquisizione, è possibile osservare che questo sia schermato a Nord da punta della Maestra (costa veneta del delta del Po) e a sud dal Promontorio del Conero dove sorge il Porto di Ancona (costa marchigiana).

Ponendo una soglia pari a  $H_s = 2.7$  m, si sono individuati in totale circa 160 eventi estremi per il settore di grecale (come mostrato in Figura 9.2) compreso tra 0°N e 90°N. Gli eventi

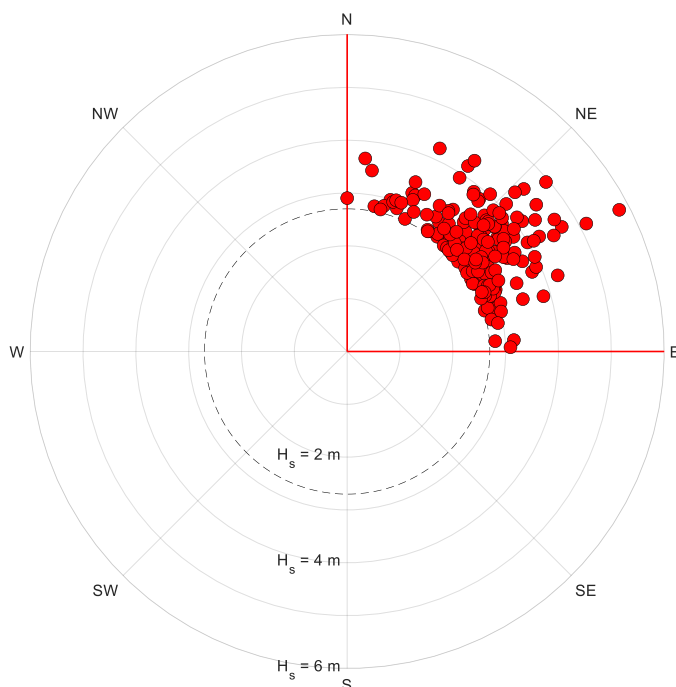
	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 48 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

estremi caratterizzate dai valori più elevati di altezza d'onda significativa  $H_s$  per il settore di Grecale sono riportati in Tabella 9-1.


**Tabella 9-1 Elenco dei 15 eventi estremi di maggiore intensità per il settore di Nord-Est (Grecale).**

N° Eventi	Data	$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	Dir (°N)
1	2015-02-06 05:00	5.8	9.3	62.5
2	2005-04-11 07:00	5.1	9.0	61.9
3	1983-12-02 09:00	4.9	8.5	49.6
4	2010-03-10 05:00	4.7	8.5	59.9
5	2013-11-11 18:00	4.6	8.6	57.5
6	1996-12-26 18:00	4.5	8.3	47.4
7	1992-12-28 09:00	4.5	8.2	52.2
8	2012-02-10 21:00	4.5	8.5	60.7
9	2004-11-14 09:00	4.4	8.1	46.5
10	1995-03-28 05:00	4.3	7.2	33.7
11	2005-11-23 09:00	4.3	8.3	55.0
12	1995-12-13 19:00	4.2	8.5	70.1
13	1999-11-07 08:00	4.2	7.7	59.1
14	1981-06-18 05:00	4.2	7.4	24.5
15	1979-11-11 05:00	4.2	7.7	33.1



**Figura 9.2 - Individuazione tramite metodo POT degli eventi estremi per il punto ERA5 Ravenna 30°N – 90°N. La soglia scelta risulta pari a 2.7 m**

Al fine di ottenere lo stesso numero di eventi per il settore di scirocco (91°N-160°N), si è posta una soglia per il troncamento degli estremi pari a  $H_s = 1.9$  m. Il risultato è riportato in Figura 9.3. Gli eventi estremi caratterizzate dai valori più elevati di altezza d'onda

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 49 di 72	<b>Rev.</b> 1


Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

significativa Hs per il settore di Scirocco, sono riportati in Tabella 9-2. Con riferimento alla Tabella 9-2, si osserva che l'evento n. 2 proveniente da Scirocco e avvenuto alla fine del mese di ottobre del 2018, coincide con l'evento meteorologico caratterizzato da intensi venti di Scirocco che interessarono tutta l'Italia, che causò in Veneto numerosi danni, a Venezia una marea meteorologica particolarmente rilevante e in Liguria numerosi danni ai Porti di Rapallo e Santa Margherita Ligure.

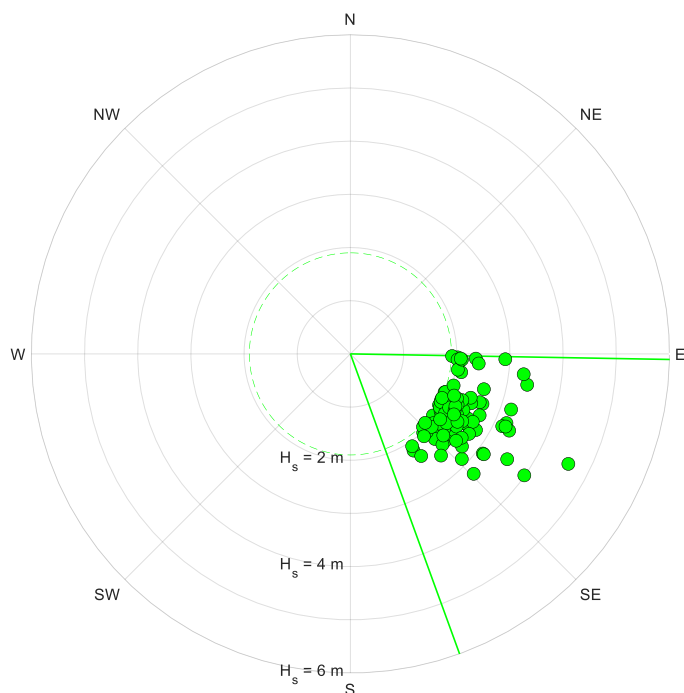
**Tabella 9-2 Elenco dei 15 eventi estremi di maggiore intensità per il settore di Sud-Est (Scirocco).**

N° Eventi	Data	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)
1	1979-12-22 08:00	4.6	9.2	116.8
2	2018-10-29 17:00	4.0	8.5	124.9
3	1990-12-09 18:00	3.6	7.9	123.9
4	1979-02-17 00:00	3.4	7.8	99.9
5	1986-02-01 00:00	3.3	9.4	115.8
6	1992-12-08 15:00	3.3	8.3	96.7
7	2000-11-06 20:00	3.2	7.7	134.2
8	2012-10-31 21:00	3.2	7.5	115.1
9	1980-01-15 18:00	3.2	8.3	113.9
10	2016-02-29 02:00	3.2	8.3	109.1
11	2009-04-27 21:00	3.2	8.1	115.5
12	2013-02-11 18:00	3.1	7.7	127.0
13	1987-11-24 17:00	3.1	8.1	127.0
14	1996-12-10 07:00	2.9	7.0	92.0
15	1980-10-11 15:00	2.9	6.5	133.3



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 50 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

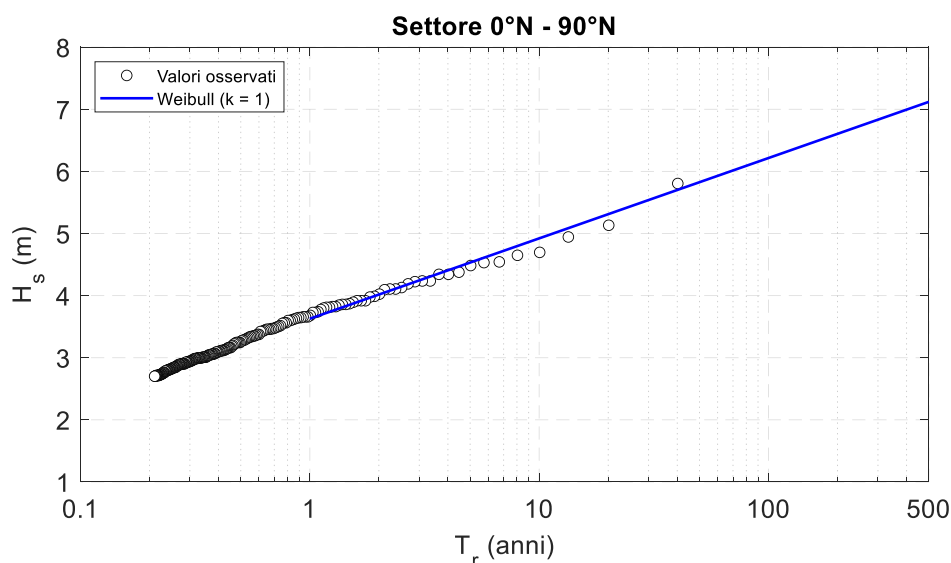


**Figura 9.3 - Individuazione tramite metodo POT degli eventi estremi per il punto ERA5 Ravenna 91°N-160°N. La soglia scelta risulta pari a 1.9 m**

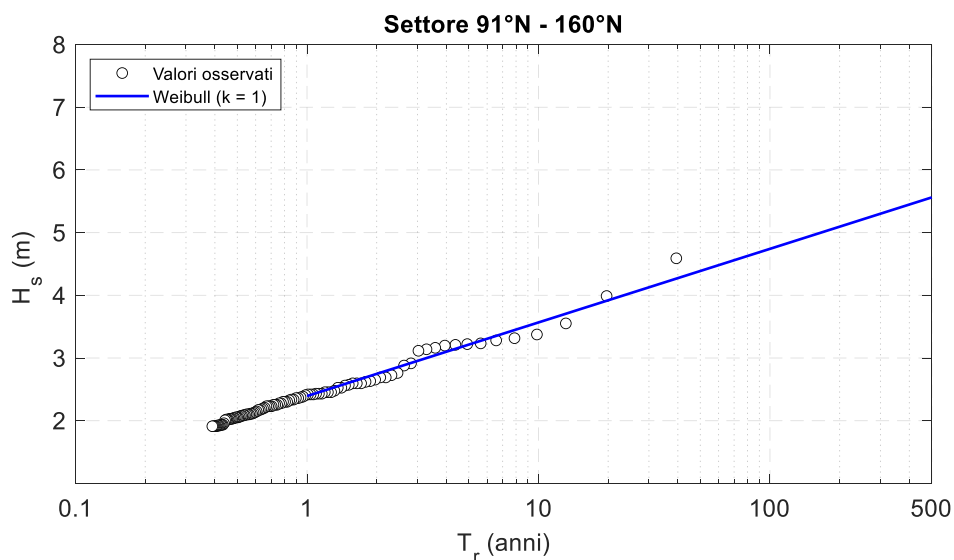
Su tali campioni statistici si è quindi applicata una funzione di probabilità alla Weibull con fattore  $k = 1$  che è risultata la più adatta a rappresentare gli eventi estremi, i cui risultati sono riportati in Figura 9.4 e Figura 9.5.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 51 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



**Figura 9.4 - Altezze d'onda estreme - metodo POT (soglia posta uguale a 2.7 m) Legge Weibull (k=1.00)**  
– Settore di grecale 0°N-90°N per il punto ERA5 Ravenna 44.50°N-12.50°E.




**Figura 9.5 - Altezze d'onda estreme - metodo POT (soglia posta uguale a 1.9 m) Legge Weibull (k=1.00)**  
– Settore di scirocco 91°N-160°N per il punto ERA5 Ravenna 44.50°N-12.50°E.

Nella Tabella 9-3 e Tabella 9-4 sono riportati, per i due settori di traversia, i valori di  $H_s$  e  $T_p$  relativi ai tempi di ritorno  $T_r$  di 2, 10, 25, 50 e 100 anni. Ai valori estremi di  $H_s$  determinati, si sono associati i valori del periodo di picco spettrale  $T_p$  tramite la legge esponenziale:

$$T = aH_s^b$$

I risultati ottenuti, applicando il metodo dei minimi quadrati ai soli eventi estremi sopra soglia, sono riportati in Figura 9.6 nel pannello di sinistra per il settore di maestrale e nel pannello di destra per quello di Scirocco.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 52 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

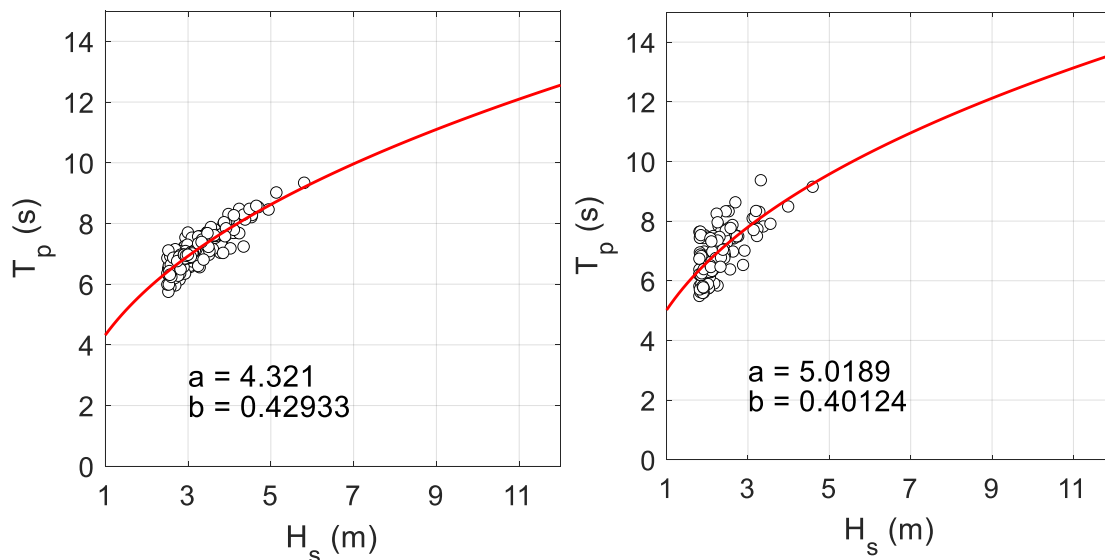


Figura 9.6 Legge  $H_s$ - $T_p$  per il settore di Grecale (sinistra) e il settore di Scirocco (destra).

Tabella 9-3 Eventi estremi – Settore di Grecale

Tr (anni)	Hs (m)	Tp (s)
2	4.02	7.85
5	4.53	8.27
10	4.92	8.57
20	5.31	8.85
25	5.44	8.94
50	5.83	9.21
100	6.22	9.47
500	7.12	10.04

Tabella 9-4 Eventi estremi – Settore di Scirocco

Tr (anni)	Hs (m)	Tp (s)
2	2.75	7.53
5	3.21	8.02
10	3.57	8.36
20	3.92	8.68
25	4.03	8.78
50	4.39	9.08
100	4.74	9.37
500	5.56	9.99

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 53 di 72	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

## 10 PROPAGAZIONE LARGO-RIVA DEL MOTO ONDOSI

### 10.1 Introduzione

La propagazione largo-riva della serie storica ERA5 ha permesso di definire il clima ondametrico medio annuale in prossimità della zona di ormeggio della FSRU in funzione delle analoghe caratteristiche definite al largo e descritte nei paragrafi precedenti.

Per effettuare la propagazione dell'intera serie storica si è applicato il modello numerico di propagazione inversa spettrale MEROPE, sviluppato dalla società Modimar S.r.l.

### 10.2 Applicazione del modello numerico propagazione del moto ondoso

Il modello numerico MEROPE risolve la rifrazione inversa spettrale di stati di mare e consente di determinare in un punto posizionato in costa (denominato punto d'inversa) le caratteristiche spettrali del moto ondoso che si propagano da largo a riva utilizzando una griglia di calcolo costruita sulla base dei dati batimetrici del paraggio d'interesse.

Il modello simula l'evoluzione spaziale di stati di mare rappresentati da uno spettro con energia distribuita in frequenza e direzione e riproduce gli effetti indotti sul moto ondoso dalla rifrazione e dallo shoaling causati dal fondale senza tenere conto degli effetti dissipativi dovuti al frangimento e dall'attrito sul fondo, utilizzando pertanto un approccio conservativo.

Il punto di inversa è stato posizionato nella zona dove verrà realizzata la diga foranea su un fondale naturale di circa 14 m.

Come descritto nel seguito, l'applicazione del modello numerico ha consentito di propagare in costa l'intera serie storica oraria ondametrica ricostruita in ri-analisi a largo su un arco di tempo di 43 anni.

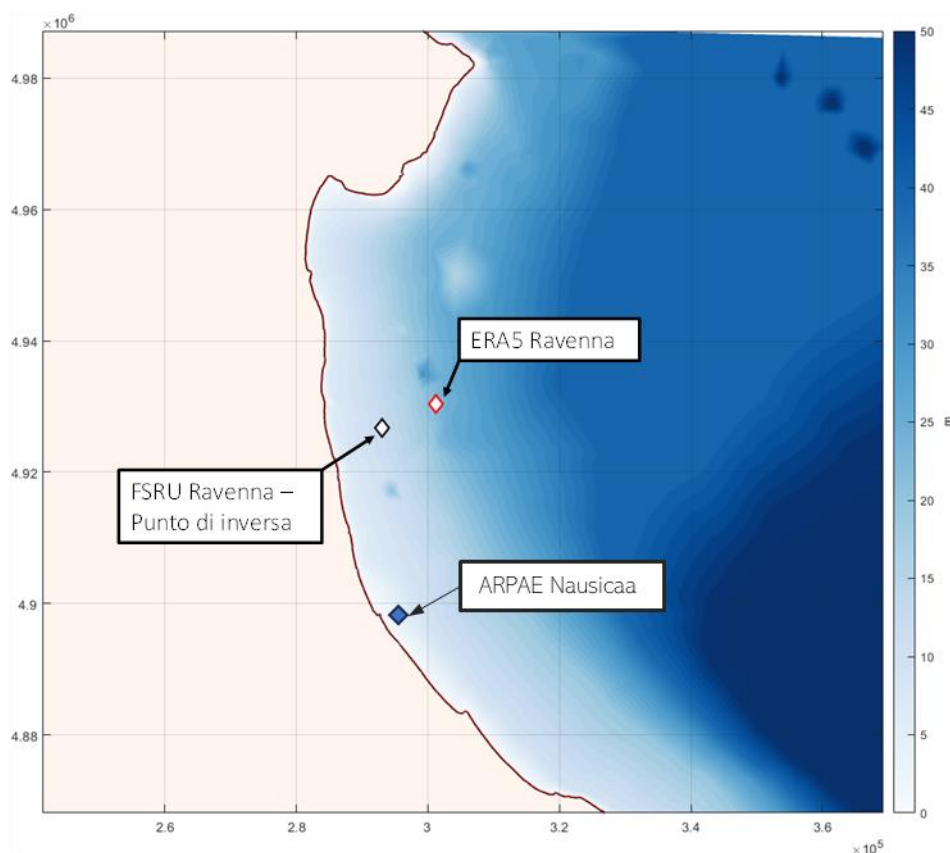
In Figura 10.1 è rappresentato il dominio di calcolo utilizzato per le simulazioni effettuate con il modello MEROPE, definito sulla base dei dati batimetrici forniti integrati con quelli delle carte nautiche disponibili e del database opensource EMODNET.

Il suddetto dominio di calcolo ha dimensioni 65000 m x 125000 m ed è numericamente definito da una griglia di calcolo rettangolare con passo di discretizzazione di 50 m in entrambe le direzioni.

All'interno della griglia di calcolo è stato selezionato un punto di propagazione, indicato in Figura 10.1 come "Punto di inversa". La posizione è stata scelta in modo tale che il punto si trovasse nella zona dove verrà realizzata la nuova diga foranea ad una profondità di circa -14 m sul l.m.m. In Figura 10.1 è rappresentato inoltre il punto di ricostruzione del moto ondoso (hindcasting) indicato come "ERA5 Ravenna" il quale come detto è posizionato ad una profondità di circa -25 m sul l.m.m.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 54 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



**Figura 10.1 Griglia di calcolo utilizzata dal modello di inversa spettrale MEROPE.**



Per i punti scelti sono stati calcolati 20 piani d'onda d'inversa per altrettanti periodi compresi tra 2 e 22 secondi, tracciando una serie di raggi (ortogonali ai fronti d'onda), spaziatissimi di  $0.5^\circ$ , sino a coprire l'intero settore (geografico) di traversia effettivo sotto costa. In Figura 10.2 sono rappresentati, a titolo di esempio, i raggi dell'inversa spettrale centrati nel punto di propagazione sotto costa ottenuti per il periodo di 5 s.

I 4000 piani d'onda inversi ( $20 \times 200$ ) così calcolati hanno consentito di costruire un database di correlazione largo-riva. Mediante questo database l'intera serie storica dei dati ERA5 al largo di Ravenna è stata propagata nel punto di ormeggio della FSRU ("Punto d'inversa").

Per simulare la dispersione dell'energia in frequenza e direzione si è utilizzata la funzione di densità spettrale:

$$S(f, \theta) = S(f)G(f, \theta)$$

dove la funzione  $S(f)$  è stata espressa con uno spettro JONSWAP con  $\gamma = 3.3$ .

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 55 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

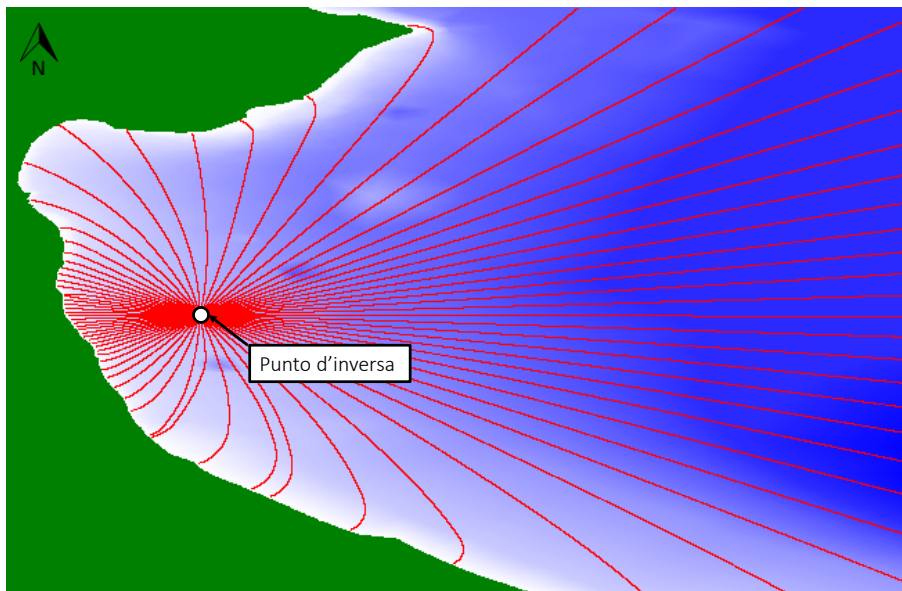


Figura 10.2 Esempio di tracciamento inverso dei raggi eseguito mediante il modello MEROPE per onde caratterizzate dal periodo di 5 s.

La funzione  $G(f, \theta)$  viene esplicitata nel modello MEROPE sulla base dell'equazione fornita da Goda ponendo  $s_{max} = 18$  (onde di mare vivo). Si ricorda che le “onde di mare vivo” (sea), tipiche dell'area di generazione (fetch), hanno una elevata dispersione direzionale dell'energia e per tale ragione vengono anche chiamate “onde a cresta corta”.

Per il punto di inversa spettrale, la Figura 10.3 (grafico superiore) riporta in forma grafica l'andamento del coefficiente  $K = H_s/H_{so} = K_r \cdot K_s$  rispetto alla direzione di incidenza a largo, dove:

- $H_s$  è l'altezza d'onda significativa in costa;
- $H_{so}$  è l'altezza d'onda significativa a largo;
- $K_r$  è il coefficiente di rifrazione;
- $K_s$  è il coefficiente di shoaling.

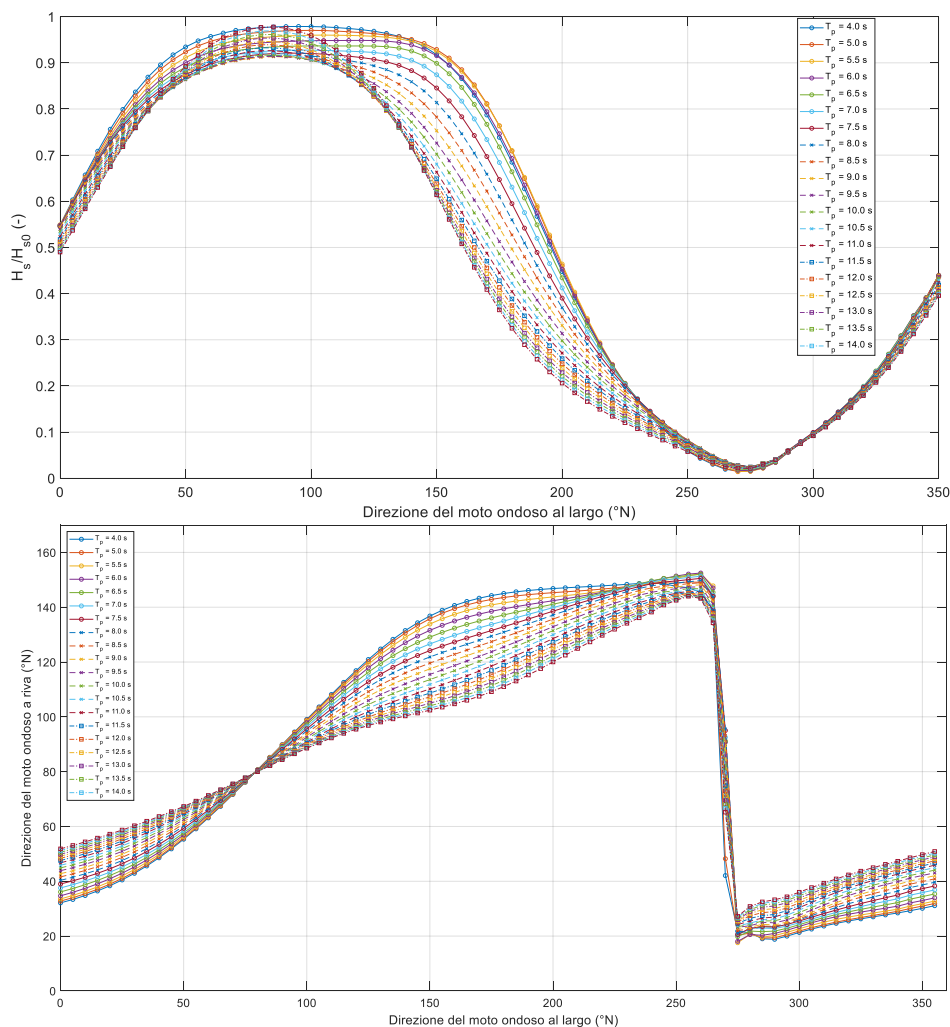
Nella stessa figura è rappresentata anche la corrispondenza calcolata tra le direzioni del moto ondoso al largo e i corrispondenti valori di direzione calcolati a riva (grafico inferiore di Figura 10.3).

I grafici di Figura 10.3, ottenuti dall'applicazione del modello Merope per il caso in questione, consentono di calcolare facilmente le caratteristiche del moto ondoso a riva in funzione di quelle a largo.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 56 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



**Figura 10.3 - Codice di calcolo MEROPE. Andamento del rapporto  $H_s/H_{s0}$  in funzione delle direzioni del moto ondoso al largo e del periodo (grafico superiore) e corrispondenza delle direzioni del moto ondoso a riva in funzione della direzione a largo al variare del periodo delle onde (grafico inferiore).**

### 10.3 Clima ondametrico in corrispondenza del terminale

L'applicazione del modello MEROPE ha consentito di propagare nel punto di inversa spettrale tutti gli stati di mare della serie storica 1979-2021 ricostruita al largo e di valutare pertanto le caratteristiche di clima di moto ondoso in prossimità della zona di ormeggio della FSRU Ravenna.

In totale sono stati propagati da largo a riva 376944 stati di mare.

La serie storica propagata in costa è stata quindi analizzata per definire il clima ondametrico medio nel punto di inversa.

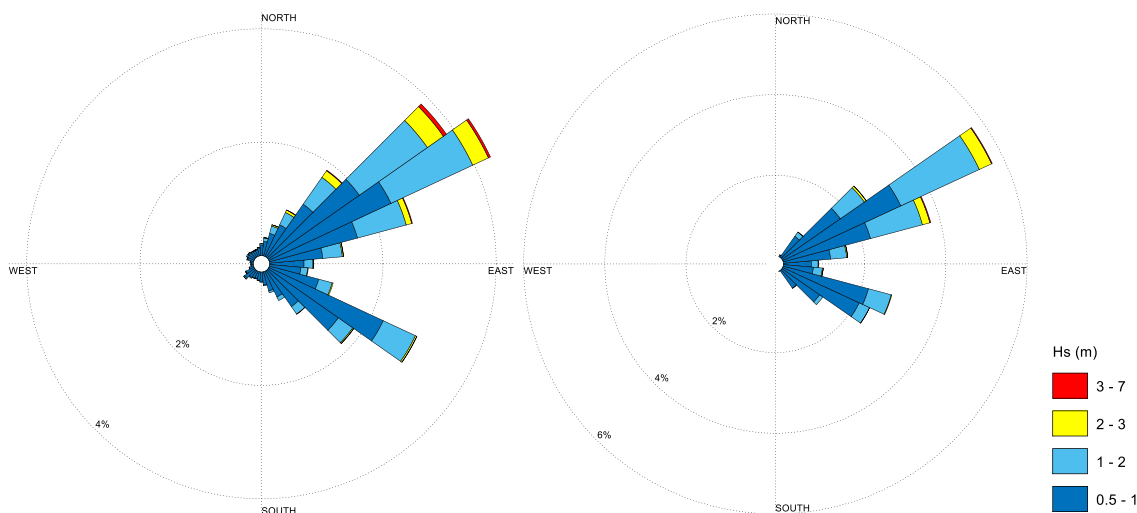
In Figura 10.4 è possibile apprezzare il confronto tra il regime ondametrico annuale al largo e quello a riva. Come è possibile notare, gli eventi durante il processo di propagazione largo/riva, subiscono una rotazione.

In particolare, gli stati di mare provenienti dal I quadrante subiscono una modesta rotazione oraria, essendo influenzati dalla rifrazione e dalla presenza di Punta della

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 57 di 72	<b>Rev.</b> 1


Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

Maestra posta a Nord del sito di interesse, mentre gli stati di mare provenienti dal II quadrante subiscono una modesta rotazione antioraria.



**Figura 10.4 - Rose ondamiche a largo e propagate in prossimità della zona di ormeggio della FSRU Ravenna.**


Con riferimento alla serie storica ondamica propagata in costa, si riporta rispettivamente nella Tabella 10-1 e nella Tabella 10-2 il numero di eventi registrati e le relative frequenze di accadimento classati per altezza d'onda  $H_s$  e direzione di provenienza.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 58 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

**Tabella 10-1 - Numero di eventi suddivisi per classi di direzione e altezza d'onda appartenenti alla serie temporale di dati di moto ondoso propagati nel punto FSRU Ravenna.**

	Numero di eventi (Hs)												
Direzione d'onda °N	Altezza d'onda (m)												Tot
	0.00	0.25	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	> 4.50	
	0.25	0.50			2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50			
10	820												820
20	17468	1											17469
30	28736	2092	187	2									31017
40	14066	7455	2404	409	74	2							24410
50	10531	11063	6613	2037	689	167	40	1					31141
60	8115	11320	12102	5527	2520	937	313	67	2				40903
70	7611	8916	8393	3530	1465	550	165	53	16	5			30704
80	6896	5890	4399	1232	269	77	16	2					18781
90	7917	4832	2607	515	98	31	4						16004
100	9380	6055	2796	674	162	75	2	6					19150
110	13395	12891	8201	1801	388	45	10						36731
120	15092	16034	7845	953	104	9							40037
130	10847	10384	4277	346	10								25864
140	11147	6913	2022	17									20099
150	22249	1538	27										23814
160													0
170													0
180													0
190													0
200													0
210													0
220													0
230													0
240													0
250													0
260													0
270													0
280													0
290													0
300													0
310													0
320													0
330													0
340													0
350													0
360													0
N° di eventi	184270	105384	61873	17043	5779	1893	550	129	18	5	0		376944

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 59 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

**Tabella 10-2 - Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso propagati nel punto FSRU Ravenna suddivisi per classi di direzione e altezza.**

	Frequenza di accadimento dell'altezza d'onda significativa												
Direzione d'onda °N	Altezza d'onda (m)												Tot
	0.00	0.25	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	> 4.50		
	0.25	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50			
10	0.218												0.22
20	4.634	0.000											4.63
30	7.623	0.555	0.050	0.001									8.23
40	3.732	1.978	0.638	0.109	0.020	0.001							6.48
50	2.794	2.935	1.754	0.540	0.183	0.044	0.011	0.000					8.26
60	2.153	3.003	3.211	1.466	0.669	0.249	0.083	0.018	0.001				10.85
70	2.019	2.365	2.227	0.936	0.389	0.146	0.044	0.014	0.004	0.001			8.15
80	1.829	1.563	1.167	0.327	0.071	0.020	0.004	0.001					4.98
90	2.100	1.282	0.692	0.137	0.026	0.008	0.001						4.25
100	2.488	1.606	0.742	0.179	0.043	0.020	0.001	0.002					5.08
110	3.554	3.420	2.176	0.478	0.103	0.012	0.003						9.74
120	4.004	4.254	2.081	0.253	0.028	0.002							10.62
130	2.878	2.755	1.135	0.092	0.003								6.86
140	2.957	1.834	0.536	0.005									5.33
150	5.902	0.408	0.007										6.32
160													0
170													0
180													0
190													0
200													0
210													0
220													0
230													0
240													0
250													0
260													0
270													0
280													0
290													0
300													0
310													0
320													0
330													0
340													0
350													0
360													0
Freq. Accadimento	48.885	27.957	16.414	4.521	1.533	0.502	0.146	0.034	0.005	0.001	0.000		100

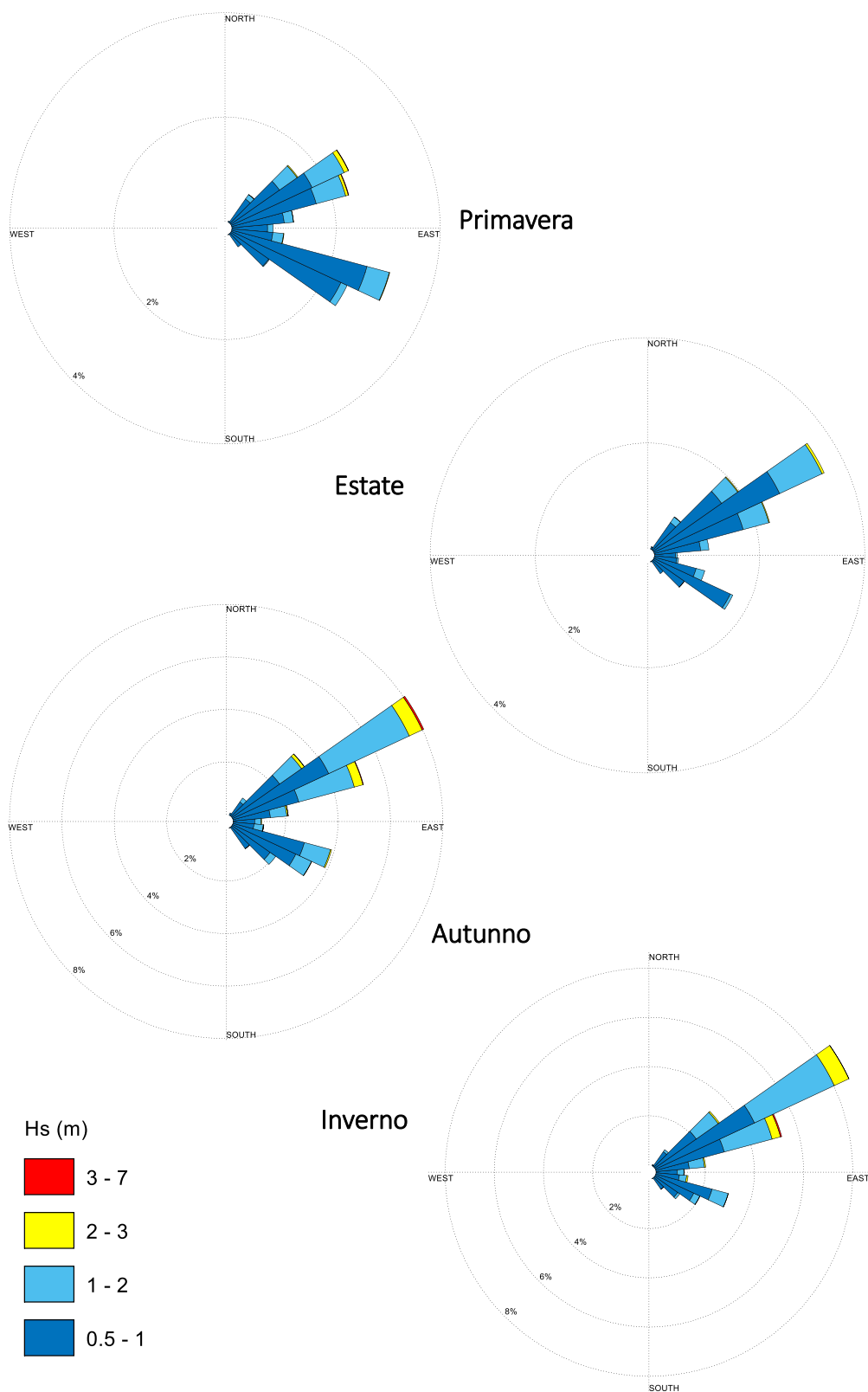
Nella Figura 10.5 si riportano in forma grafica le rose ondamiche stagionali relative alla serie storica propagata in costa.

Le rose stagionali mostrano che gli stati di mare di maggiore intensità si verificano nel periodo autunnale e invernale e provengono sempre dal I quadrante.


Nella Figura 10.6 e nella Figura 10.7 sono riportate rispettivamente le curve di durata delle altezze d'onda significative  $H_s$  medie annuali e stagionali per la serie storica propagata nel punto d'inversa spettrale.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 60 di 72	<b>Rev.</b> 1

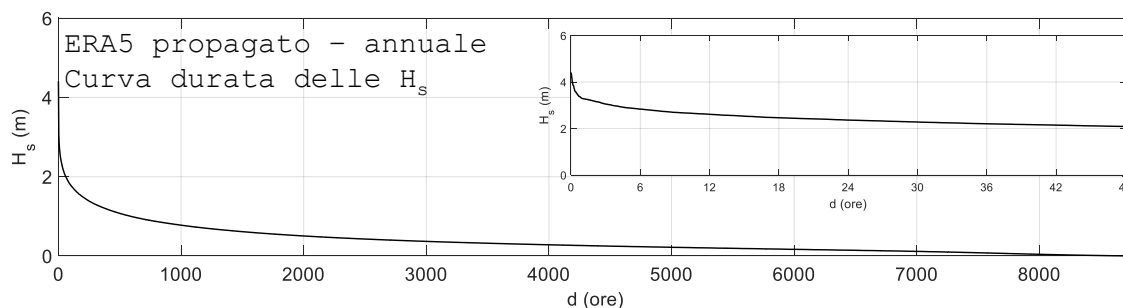
Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



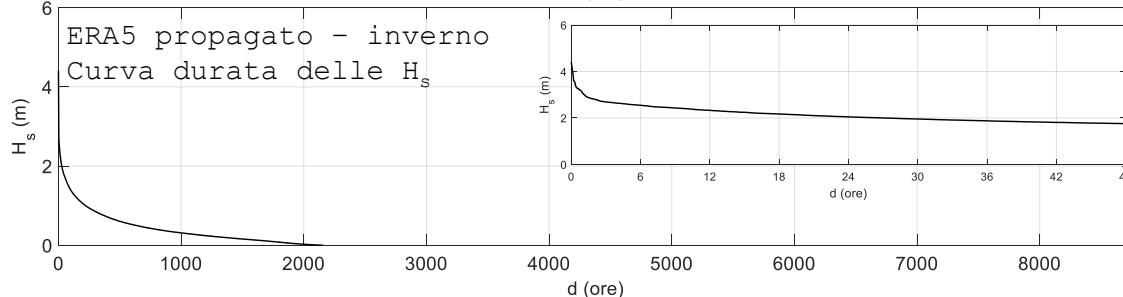
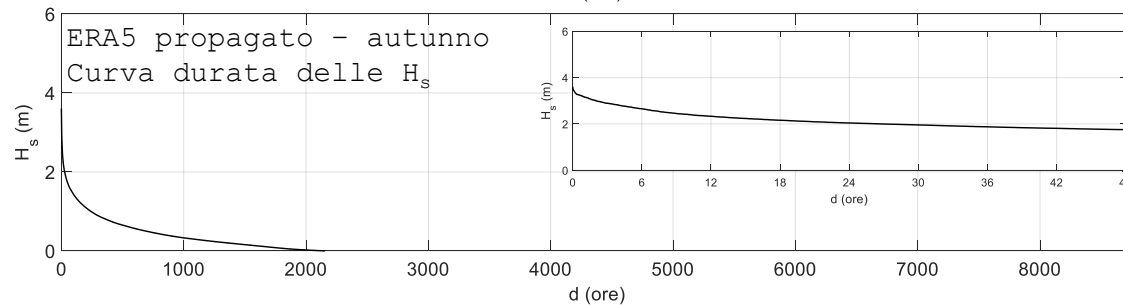
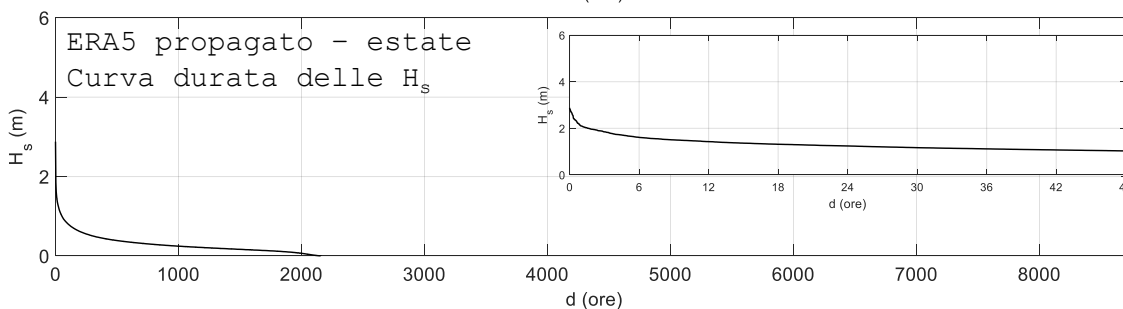
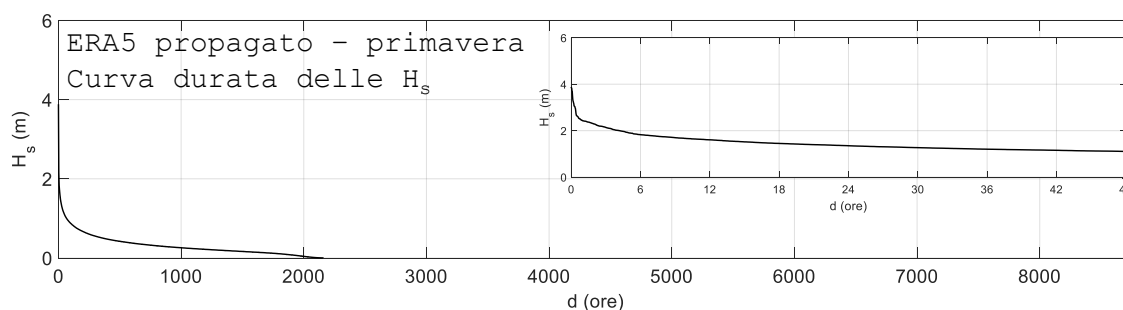
**Figura 10.5** Rose ondametrichi stagionali nel punto di propagazione FSRU Ravenna.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 61 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001




**Figura 10.6 - Curva di durata media annuale delle  $H_s$  per il punto di propagazione d'inversa spettrale posizionato in prossimità della zona di ormeggio della FSRU Ravenna.**



**Figura 10.7 - Curve di durata stagionali delle  $H_s$  per il punto di propagazione d'inversa spettrale posizionato in prossimità della zona di ormeggio della FSRU Ravenna.**



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 62 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

Nella Tabella 10-3 infine sono riportate le frequenze di superamento medie annuali e stagionali (esprese rispettivamente in ore/anno e in giorni/anno), di prefissate soglie di Hs.

**Tabella 10-3 - Frequenze medie annuali e stagionali di superamento di soglia di Hs per il punto di propagazione d'inversa spettrale per la FSRU Ravenna.**

ANNUALE - ERA5			PRIMAVERA - ERA5			AUTUNNO - ERA5		
Hs (m)	Durata (ore)	Durata (giorni)	Hs (m)	Durata (ore)	Durata (giorni)	Hs (m)	Durata (ore)	Durata (giorni)
0.5	1956.8	81.5	0.5	364.6	15.2	0.5	649.4	27.1
1.0	590.0	24.6	1.0	66.1	2.8	1.0	242.5	10.1
1.5	194.6	8.1	1.5	15.8	0.7	1.5	85.9	3.6
2.0	60.3	2.5	> 2	4.2	0.2	2.0	36.8	1.5
2.5	16.3	0.7				2.5	8.1	0.3
> 3	3.5	0.1				> 3	3.4	0.1

ESTATE - ERA5			INVERNO - ERA5		
Hs (m)	Durata (ore)	Durata (giorni)	Hs (m)	Durata (ore)	Durata (giorni)
0.5	307.5	12.8	0.5	635.3	26.5
> 1.0	52.0	2.2	1.0	229.4	9.6
			1.5	81.3	3.4
			> 2	19.2	0.8

L'analisi della Tabella 10-3 mostra che mediamente durante l'anno la frequenza di superamento della soglia Hs=2,0 m risulta di circa 60 ore all'anno (circa 3 giorni), mentre la soglia Hs=3,0 m viene superata solo per circa 3,5 ore/anno.

Nel periodo estivo mediamente non si verificano mai onde con Hs>2,0 m.

Se si paragonano questi risultati con quelli ottenuti a largo e riportati nella Tabella 7-3 si evince che il sito in esame dove è localizzato il pontile PIR presenta condizioni ondamiche mediamente inferiori rispetto alla corrispondente di largo.

La riduzione calcolata, non essendo dovuta a fenomeni dissipativi quali il frangimento del moto ondoso e all'attrito sul fondo, che non sono stati tenuti in conto a favore di sicurezza, è da imputare esclusivamente ai fenomeni di rifrazione e alla protezione offerta prevalentemente dal Delta del Po.

#### 10.4 Confronto con dati misurati sottocosta dalla boa ARPAE Nausicaa

La boa ondometrica Nausicaa2 di Arpa Emilia-Romagna è installata al largo di Cesenatico.

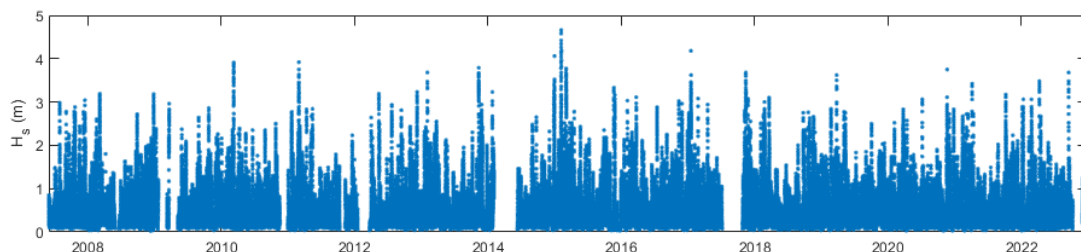
La boa è il modello DWR-4 ACM della ditta olandese Datawell e misura in tempo reale le caratteristiche del moto ondoso, della corrente superficiale e della temperatura dell'acqua e dell'aria.

La boa è collocata a circa 8 km al largo di Cesenatico su un fondale di 10 metri di profondità.

La serie storica di misure semi-orarie di moto ondoso analizzata (Hs, Tp, Tm e Dir) si estende da Giugno 2007 a Dicembre 2022 e, come mostrato in Figura 10.8, presenta poche interruzioni con un adeguato rendimento (circa l'88%).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 63 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



**Figura 10.8 – Misure di altezza d'onda significativa  $H_s$  effettuate dalla boa ondometrica ARPAE Nausicaa tra giugno 2007 e dicembre 2022.**

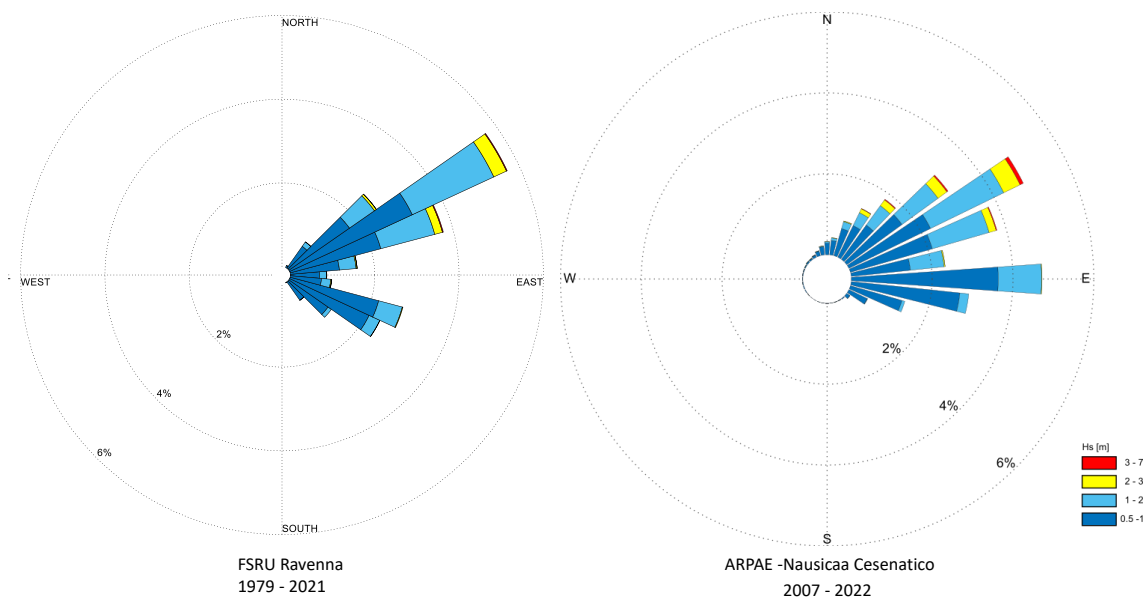
Il regime di moto ondoso osservato dalla boa risulta relativamente mite, oltre il 70% degli stati di mare presentano un'altezza d'onda significativa  $H_s$  inferiore a 0.5 m. Circa il 28% degli stati di mare osservati ricade nella classe  $0.5 < H_s < 2.0$  m.

Solo occasionalmente si verificano stati di mare con altezze d'onda superiore a 2.0 m (freq. cum. di superamento 1.4% ~5 giorni anno).

Il valore massimo  $H_s = 4.66$  m è stato osservato durante la mareggiata da grecale del 5-7 Febbraio 2015 (direzione al colmo  $65^\circ$ N).

In termini di distribuzione direzionale degli stati di mare risultano prevalenti gli stati di mare provenienti da grecale e da levante che complessivamente rappresentano il 26% degli stati di mare con  $H_s > 0.5$  m.

In Figura 10.9 è mostrato il confronto tra il regime di moto ondoso ricostruito nel punto FSRU Ravenna e quello osservato dalla boa ondometrica ARPAE Nausicaa al largo di Cesenatico.



**Figura 10.9 – Confronto tra la distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso propagati nel punto FSRU Ravenna (sinistra) e la distribuzione direzionale degli eventi osservati dalla boa ondometrica ARPAE Nausicaa a largo di Cesenatico (destra).**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 64 di 72	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001


Il confronto dei due diagrammi polari riportati in figura conferma che per il paraggio in esame risultano prevalenti gli stati di mare provenienti dal settore di Grecale.

Rispetto al punto FSRU la boa di Cesenatico rileva una maggiore frequenza di stati di mare provenienti da levante, questo è dovuto al fatto che gli eventi di scirocco si presentano sottocosta ruotati verso levante a causa dei processi di rifrazione.

Non è trascurabile inoltre l'effetto schermo dovuto al promontorio del Conero che protegge la boa per gli stati di mare scirocco con direzione superiore a 120°N che invece possono raggiungere il punto FSRU Ravenna.

Si osserva inoltre una maggiore frequenza di accadimento di stati di mare appartenenti alla classe  $3.0 < H_s < 7.0$  m provenienti da grecale. Questo è dovuto in parte al fatto che la boa presenta un fetch più esteso per gli stati di mare da grecale.

Inoltre, come evidenziato al paragrafo 8.1 i dati del modello ECMWF presentano una sistematica sottostima rispetto ai dati osservati dalle boe, tuttavia per le finalità del presente progetto non si è provveduto a calibrare tutti i dati della serie storica bensì solo gli eventi estremi di progetto (vedi 8.2).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 65 di 72</b>	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

## 11 VARIAZIONI DEL LIVELLO DEL MARE

Le variazioni del livello del mare in prossimità della costa sono dovute a varie cause, tra le quali risultano prevalenti le seguenti:

- maree astronomiche: variazioni del livello del mare dovute all'interazione tra le masse oceaniche e il campo gravitazionale degli astri posti in prossimità della terra tra i quali quelli della luna e del sole risultano i più importanti. Poiché si può assumere che i moti relativi degli astri e della terra e le loro periodicità siano note con ottima approssimazione, si può assumere che le maree astronomiche siano ricostruibili e prevedibili in senso deterministico;
- maree meteorologiche: variazioni del livello del mare dovute a perturbazioni atmosferiche (processo stocastico). La componente meteorologica della marea è indotta essenzialmente da due fenomeni che si esplicano contemporaneamente:
  - (i) l'effetto barometrico inverso;
  - (ii) l'azione esercitata dal vento sulle masse oceaniche ("wind set-up").


In presenza di perturbazioni meteorologiche di tipo ciclonico (depressioni atmosferiche) con vento che spira verso la costa, si verifica un aumento del livello del mare comunemente indicato con il termine sovrizzo di tempesta ("storm surge").

In presenza di alte pressioni (anticicloni) i venti sono generalmente deboli per cui prevale l'effetto barometrico inverso che dà origine ad un abbassamento del livello medio marino.

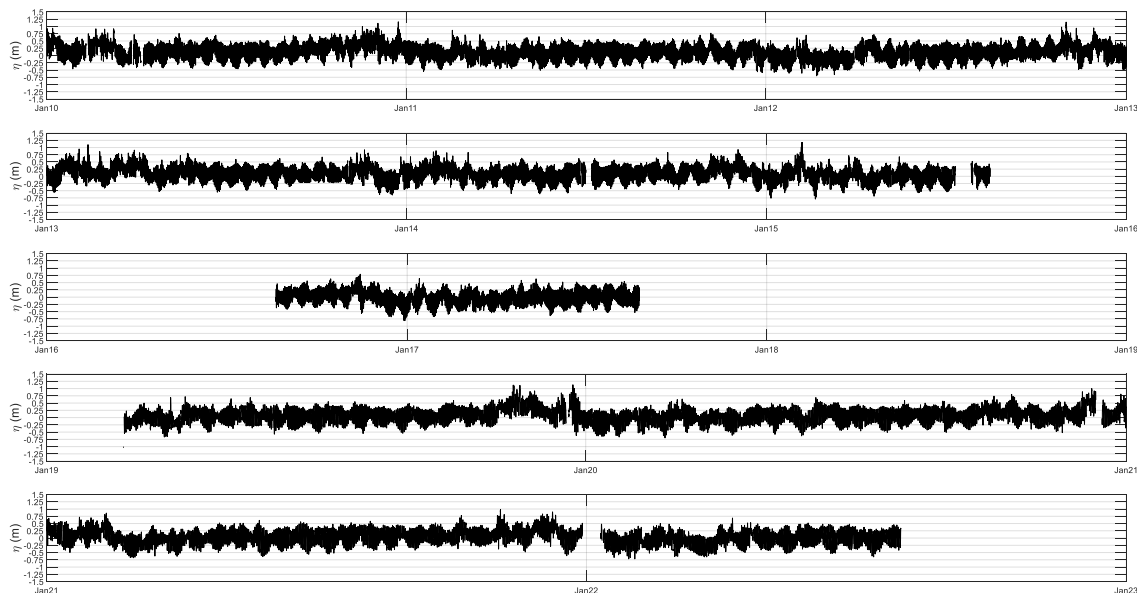
Per analizzare le variazioni del livello del mare si è fatto riferimento ai dati registrati dalla stazione mareografica di Ravenna, appartenente alla Rete Mareografica Nazionale (RMN) gestita da ISPRA. La stazione acquisisce, oltre alla misura del livello idrometrico, anche i valori di temperatura e pressione atmosferica, nonché i venti (velocità e direzione).

I grafici di Figura 11.1 riportano i livelli idrometrici registrati dalla stazione mareografica di Ravenna nel periodo 2010-2022. Da osservare che lo zero dello strumento non coincide con il livello medio del mare.

La marea astronomica a Ravenna è di tipo misto semidiurno (periodo 12 ore e 30 minuti) con due alte e due basse maree, di diversa ampiezza. L'ampiezza di marea risulta rilevante, con escursioni di livello comprese mediamente tra +0.35 m e -0.44 m. Durante le fasi sizigiali si ha un aumento dell'ampiezza della marea che può superare i 50 cm.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 66 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



**Figura 11.1 – Livelli idrometrici osservati dalla stazione mareografica RMN di Ravenna nel periodo 2010-2022.**

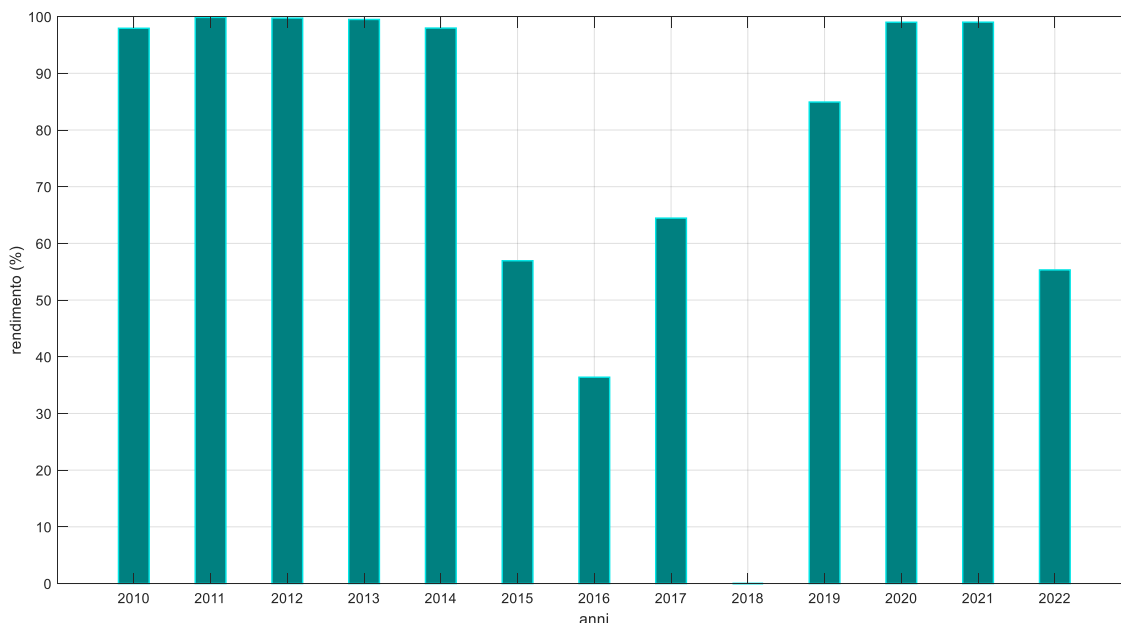
Per la valutazione della componente astronomica della marea, le misure mareografiche effettuate dalla stazione di Ravenna sono più che sufficienti per valutare le costanti armoniche di marea.

I livelli rappresentati in Figura 11.1 sono riferiti allo zero dello strumento (zero idrometrico) che in generale non è detto che coincida con il livello medio del mare.

Come è desumibile dalla Figura 11.2, il rendimento della stazione mareografica si può considerare sufficientemente elevato, escludendo però completamente il 2018, anno in cui la stazione non ha mai funzionato.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 67 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001




**Figura 11.2 Rendimento annuale della stazione mareografica RMN di Ravenna per il periodo di riferimento 2010-2022.**

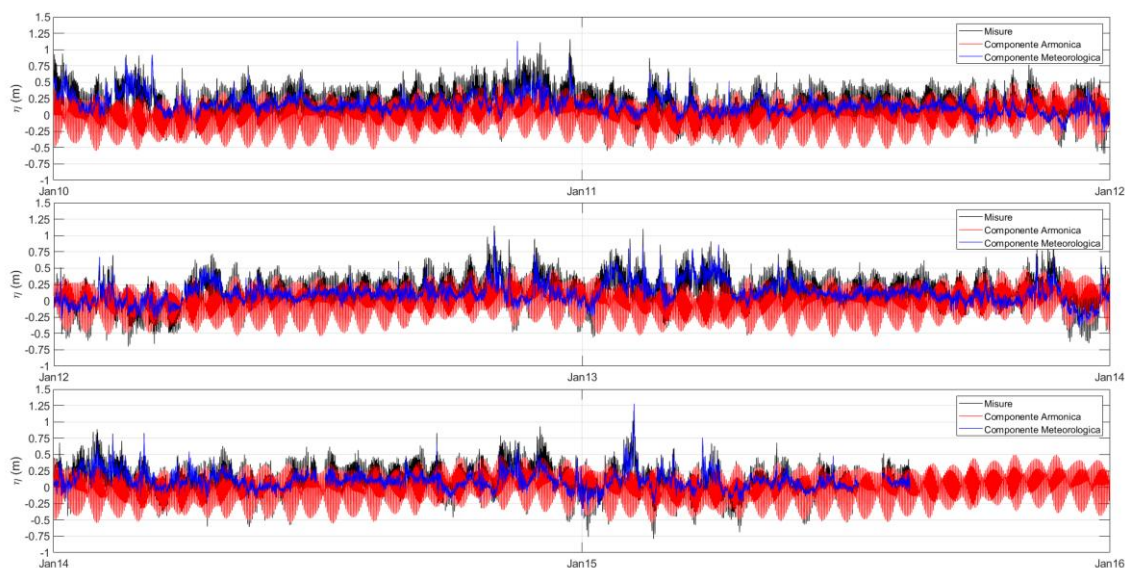
Le misure acquisite dallo strumento sono state processate mediante l'algoritmo di Pawlowicz et al., 2002, comunemente utilizzato a livello mondiale, al fine di ottenere le costanti armoniche relative alla marea astronomica.

Una volta determinato il segnale di livello dovuto alla sola marea astronomica, i livelli indotti dalla sola componente meteorologica (residuo) sono stati ottenuti sottraendo alle misure la componente astronomica.

La Figura 11.3 mostra a titolo di esempio una porzione del risultato dell'analisi condotta. Nel grafico sono rappresentate: le misure di livello (in nero), la componente armonica (in rosso) e la componente residua dovuta prevalentemente alla marea meteorologica (in blu).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 68 di 72</b>	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



**Figura 11.3 – Analisi di una porzione della serie storica delle misure di livello misurate presso la stazione RMN di Ravenna: identificazione della componente armonica e meteorologica.**

I valori caratteristici della marea astronomica a Ravenna sono sintetizzati in Tabella 11-1 dove si è utilizzata la nota simbologia internazionale per la loro caratterizzazione.

**Tabella 11-1 Livelli caratteristici della marea astronomica per la stazione mareografica RMN di Ravenna. Ricostruzione basata su circa undici anni di misura.**

	Zero-Strumento (m)	L.M.M. (m)
HAT	0.61	0.52
MHWS	0.45	0.35
MHWN	0.32	0.23
MSL	0.09	0.00
MLWN	-0.13	-0.23
MLWS	-0.34	-0.44
LAT	-0.47	-0.56

Una volta identificata la serie storica della sola componente meteorologica (residuo) è stata effettuata l'analisi dei valori estremi dei valori massimi del segnale ottenuto. L'analisi degli eventi estremi è stata effettuata utilizzando il metodo dei picchi sopra soglia (POT) con valore di soglia del sovrizzo meteorologico pari a +0.3 m sul l.m.m.

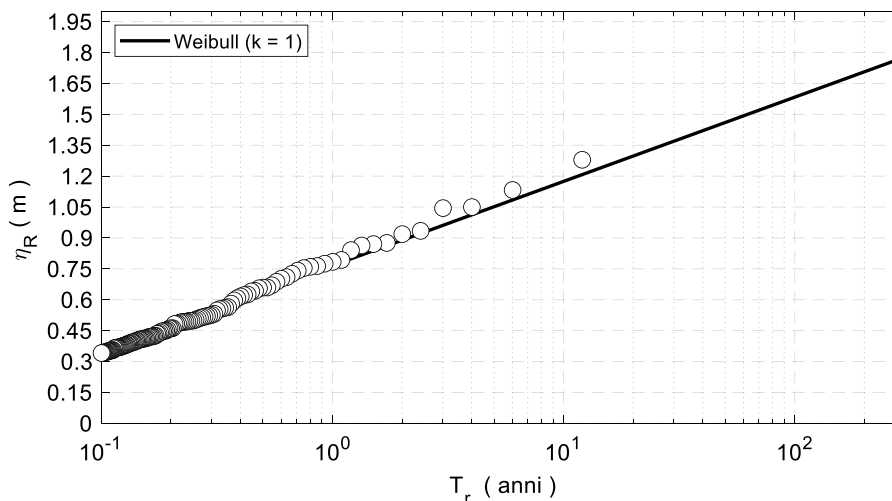
La distribuzione di probabilità che meglio approssima i dati è risultata essere la distribuzione di Weibull ( $k = 1$ ).

In Figura 11.4 viene riportato l'andamento del sovrizzo meteorologico in funzione del tempo di ritorno  $T_r$ , mentre la Tabella 11-2 mostra i valori numerici associati ad alcuni tempi di ritorno selezionati.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	<b>Fg. 69 di 72</b>	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001




**Figura 11.4 – Analisi dei valori estremi del sovrizzo misurati dalla stazione mareografica RMN di Ravenna (soglia 0.3 m).**

**Tabella 11-2 Valori estremi del sovrizzo del livello marino previsti nel porto di Ravenna in funzione del tempo di ritorno  $T_r$**

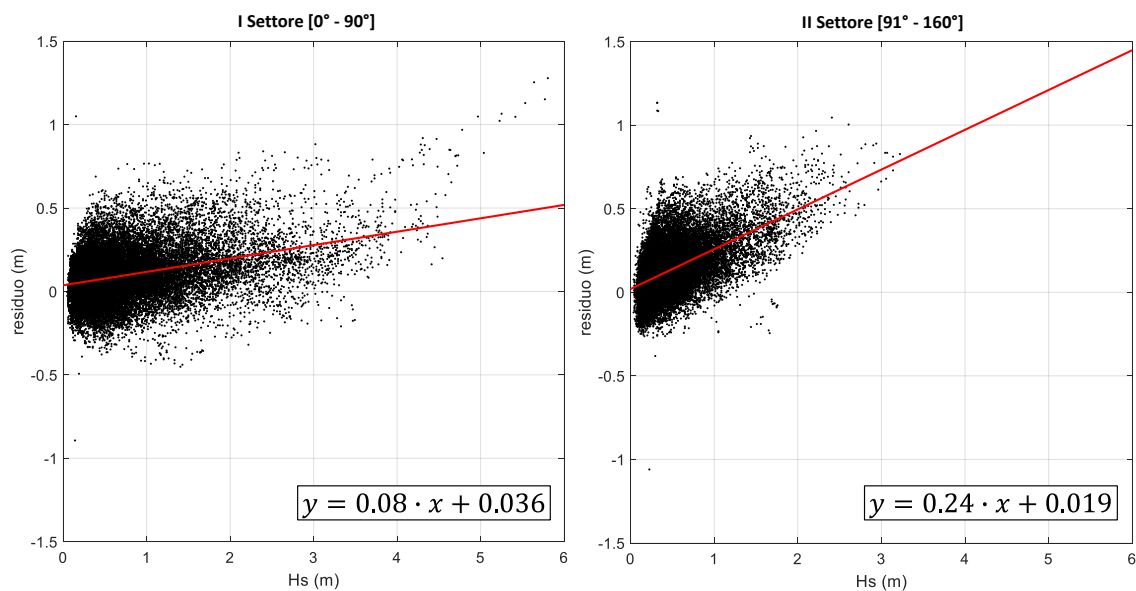
$T_r$ (anni)	Sovralzo (m)
2	0.89
5	1.05
10	1.17
20	1.30
25	1.34
50	1.46
100	1.58

### 11.1 Correlazione tra i valori di altezza d'onda significativa $H_s$ e livelli residui

Al fine di correlare i valori dell'altezza d'onda significativa  $H_s$  con il livello residuo di marea si sono ricavate due leggi lineari per il settore di Nord/Nord-Est e per il settore Sud-Est, rispettivamente compresi tra  $0^\circ\text{N}$ - $90^\circ\text{N}$  e  $90^\circ\text{N}$ - $160^\circ\text{N}$ . Tali correlazioni sono riportate in Figura 11.5.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 70 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



**Figura 11.5** Correlazione tra l'altezza d'onda significativa  $H_s$  e i livello residuo di marea per i due settori di Nord/Nord-Est e Sud-Est.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22199</b>	<b>UNITA'</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 71 di 72	<b>Rev.</b> <b>1</b>

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001

## 12 CAMBIAMENTI CLIMATICI

È noto che le analisi statistiche dei vari fenomeni meteomarinari che condizionano il progetto per un'opera marittima (in particolare onde e livelli) devono tenere conto delle possibili tendenze attese nel prossimo futuro in un arco temporale comparabile con la vita utile delle opere in progetto. È anche noto che negli ultimi anni molti studiosi hanno indicato scenari futuri con variazioni significative, legate in gran parte alle interferenze antropiche sulla climatologia terrestre.

È abbastanza certo che nei prossimi decenni si avrà un aumento delle temperature medie e un conseguente aumento dei livelli marini, anche se è ancora piuttosto incerta l'entità di questi innalzamenti, in relazione ai possibili scenari di emissione di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera terrestre.

Più incerte sono invece le previsioni relative alle eventuali modifiche delle statistiche relative alle eventuali modifiche delle statistiche relative al regime dei venti e delle onde nei diversi mari e oceani. Tuttavia si può affermare che in base a recenti studi eseguiti per il Mar Mediterraneo e in particolare per i mari che bagnano le coste italiane, allo stato attuale non si prevedono incrementi significativi delle condizioni di moto ondoso.


### 12.1 Variazioni a lungo termine dei livelli del mare a Ravenna

Per quanto riguarda le variazioni del livello medio del mare, le previsioni al futuro del tasso di incremento dovuto all'eustatismo sono sicuramente più elevato a causa dei cambiamenti climatici.

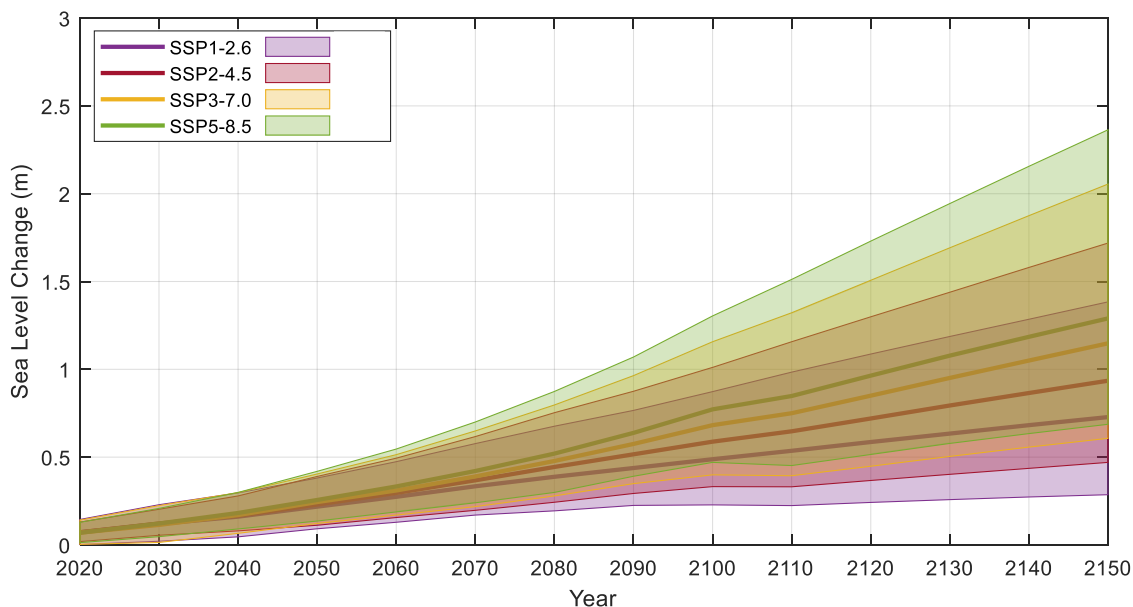
È noto che tali stime sono periodicamente aggiornate dalla commissione internazionale di scienziati che fanno parte dell'International Panel on Climate Change (IPCC) dell'Unesco. In relazione ai possibili scenari sulle emissioni di anidride carbonica: lo scenario più ottimista è denominato SSP1-2.6, mentre quello più pessimista SSP5-8.5.

La Figura 12.1 mostra la previsione di innalzamento del livello del mare per il secolo corrente e parte di quello futuro fornita dall'IPCC per il Mar Adriatico Settentrionale. Le linee colorate presenti nella figura mostrano gli scenari in termini di innalzamento di livello forniti da diversi modelli climatologici in relazione ad emissioni variabili.

Per una previsione a breve termine, con un tempo di riferimento di circa 25 anni, è possibile affermare che l'innalzamento del livello medio del mare in Adriatico sia nell'ordine dei 20 cm.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17075</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 72 di 72	<b>Rev.</b> 1

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-001



**Figura 12.1 – Previsione per il Global Sea Level Rise fornita dall'IPCC (2022) per il Mar Adriatico Settentrionale.**