

FIUMICINO
WATERFRONT

SOGGETTO ESECUTORE E FINANZIATORE



INTERVENTO N. 146



CITTÀ DI
FIUMICINO

SOGGETTO PROPONENTE ED ATTUATORE



RINA CONSULTING S.P.A.

Via Antonio Cecchi 6, 16129 Genova

tel +39 010 31961

www.rina.org

Registro imprese di Genova: 03476550102

Partita IVA: 03476550102



Atelier(s) Alfonso Femia s.r.l.

Via Interiano 3/11, 16124 Genoa

tel. +39 010.540095 fax 010.5702094

Via Cadolini 32/38, 20137 Milan

tel. +39 02.54019701 fax 010.54115512

55 rue des petites écuries, 75010 Paris

tel +331.42462894

genova@atelierfemia.com - www.atelierfemia.com

Registro imprese di Genova: 01601780990

Partita IVA: 01601780990



RESPONSABILE COORDINAMENTO
DELLE DISCIPLINE SPECIALISTICHE

Ing. **ALESSANDRO ODASSO**

Direttore Tecnico - Rina Consulting S.p.A.

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Arch. Alfonso FEMIA - Architettura e Landscape

Ing. Marco COMPAGNINO - Studio di impatto ambientale

Dott. Sandro LORENZATTI - Archeologia

Ing. Michele DI LAZZARO - Studio Idraulico e idrologico

Arch. Riccardo COCCIA - Prevenzione incendi

Ing. Alessandro VITA - Studio Geotecnico

Dott. Geol. Roberto SALUCCI - Geologia

Ing. Federico BARABINO - Sicurezza

Dott. Geol. Paolo RAVASCHIO - Rilievi e indagini

Ing. Flavio MARANGON - Studio trasportistico

Ing. Bruno RAMPINELLI ROTA - Compatibilità vincoli aeronautici

COORDINAMENTO DELLA PROGETTAZIONE

Ing. Marino BALZARINI - Project Management Consultancy

Arch. Paola DEL BIANCO - Project Manager Deputy

Ing. Alessandro PIAZZA - Coordinamento Opere Civili

Ing. Damiano SCARCELLA - Coordinamento Opere Marittime

Arch. Sara GOTTARDO - Coordinamento Architettura e Landscape

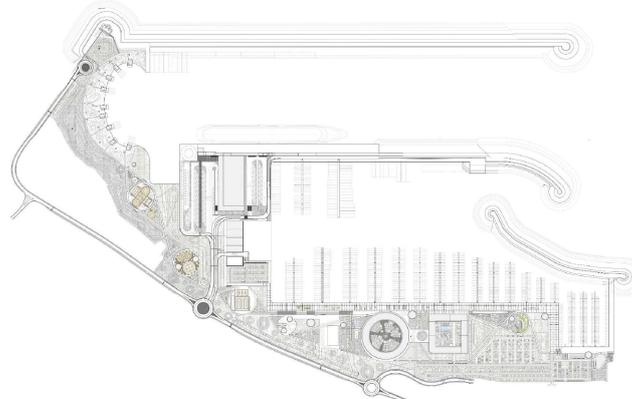
UNITÀ DI PROGETTO

Ing. Massimo GUIDI - Dirigente Comune di Fiumicino

PORTO TURISTICO-CROCIERISTICO DI FIUMICINO ISOLA SACRA

CUP:F1122000320007

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA



OM00 - OPERE MARITTIME
RELAZIONI SPECIALISTICHE
STUDIO METEOMARINO

COMMESSA	SERVIZIO LOTTO	OPERA	DISCIPLINA	TIPO	PROG.	REV.	SCALA
P0031150	D0	OM00	RS	REL	01	00	-

REV.	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	DATA
00	Emissione per approvazione	M. FRUZZETTI	E. DUCHINI	A. ODASSO	31/07/2023
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

NOME FILE: P0031150-D-0-OM00-RS-REL-01_00

INDICE

		Pag.
1	INTRODUZIONE	8
2	SCOPO DEL DOCUMENTO	11
3	AREA DI STUDIO	12
4	DATI DISPONIBILI	13
4.1	DATI DI VENTO	13
4.1.1	Dati Era5	13
4.1.2	Dati RMN	13
4.2	VALIDAZIONE DEI DATI DI VENTO	14
4.2.1	Considerazioni riguardo ai Cambiamenti Climatici	14
4.2.2	Conclusioni validazione della serie ERA5 a Fiumicino	17
4.3	DATI DI ONDA	17
4.3.1	Dati CMEMS	17
4.3.2	Dati RON	17
4.4	VALIDAZIONE DEI DATI DI ONDA	17
4.4.1	Confronto delle mareggiate tra RON e CMEMS (Ponza)	20
4.4.2	Confronto delle mareggiate tra RON e CMEMS (Offshore Fiumicino)	24
4.4.3	Confronto tra gli estremi tra serie RON trasposta e CMEMS (Offshore Fiumicino)	25
4.4.4	Considerazioni riguardo ai Cambiamenti Climatici	29
4.4.5	Conclusioni validazione della serie CMEMS al largo di Fiumicino:	31
4.5	DATI DI LIVELLO	32
4.6	DATI DI CORRENTE	32
4.7	BATIMETRIA	33
5	CRITERI METODOLOGICI	34
5.1	CRITERI GENERALI	34
5.2	STIMA DEI VALORI ESTREMI	34
5.3	VENTO	35
5.3.1	Profilo della Velocità del Vento	35
5.3.2	Durata del Vento	36
5.4	MOTO ONDOSO	36
5.4.1	Relazioni fra le Grandezze Caratteristiche del Moto Ondoso	36
5.5	LIVELLO MARINO	38
5.6	CORRENTI	39
5.6.1	Profilo Verticale di Corrente	39
6	REGIME ANEMOLOGICO	40
6.1	CONDIZIONI TIPICHE	40
6.2	FREQUENZA DI SUPERAMENTO	50
6.3	PERSISTENZA DEL VENTO	51
6.4	NUMERO DI GIORNI DI VENTO SOPRA SOGLIA	58
6.5	CONDIZIONI ESTREME	59
7	CARATTERIZZAZIONE DEL MOTO ONDOSO	61
7.1	ONDE AL LARGO	61
7.1.1	Condizioni Tipiche	61
7.1.2	Condizioni Estreme	63
7.2	PROPAGAZIONE DELLE ONDE TRAMITE MODELLO NUMERICO SWAN	65
7.3	ONDE A COSTA	68

7.3.1	Condizioni Tipiche	68
7.3.2	Frequenze di Superamento	79
7.3.3	Persistenze	80
7.3.4	Condizioni Estreme	87
8	LIVELLO DEL MARE	89
8.1	MAREA	89
8.2	STORM SURGE	90
8.3	EFFETTO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI	91
8.4	VALORI ESTREMI	93
9	CORRENTI	94
9.1	CONDIZIONI TIPICHE	94
9.2	VALORI ESTREMI	104
10	CONCLUSIONI	105

LISTA DELLE APPENDICI

Appendice A: MODELLO SWAN

LISTA DELLE TABELLE

Tabella 4.1:	Confronto Valori Estremi di Vento per Decadi	16
Tabella 4.2:	Confronto tra le principali mareggiate tra dati misurati di onda e di hindcast – Ponza (Continua nelle Pagine Successive)	20
Tabella 4.3:	Confronto Valori Estremi tra serie RON trasposta e CMEMS (Offshore Fiumicino) (Continua nelle Pagine Successive)	26
Tabella 4.4:	Confronto Valori Estremi di Onda per Decadi	31
Tabella 5.1:	Coefficienti per Lognomale	37
Tabella 6.1:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Annuale	40
Tabella 6.2:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Gennaio	42
Tabella 6.3:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Febbraio	42
Tabella 6.4:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Marzo	43
Tabella 6.5:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Aprile	43
Tabella 6.6:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Maggio	44
Tabella 6.7:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Giugno	44
Tabella 6.8:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Luglio	45
Tabella 6.9:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Agosto	45
Tabella 6.10:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Settembre	46
Tabella 6.11:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Ottobre	46
Tabella 6.12:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Novembre	47
Tabella 6.13:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Dicembre	47
Tabella 6.14:	Frequenza di Eccedenza (%) della Velocità del Vento: Eventi sopra Soglia	50
Tabella 6.15:	Persistenza del Vento – Annuale	51
Tabella 6.16:	Persistenza del Vento – Gennaio	52
Tabella 6.17:	Persistenza del Vento – Febbraio	52
Tabella 6.18:	Persistenza del Vento – Marzo	53
Tabella 6.19:	Persistenza del Vento – Aprile	53
Tabella 6.20:	Persistenza del Vento – Maggio	54
Tabella 6.21:	Persistenza del Vento – Giugno	54
Tabella 6.22:	Persistenza del Vento – Luglio	55
Tabella 6.23:	Persistenza del Vento – Agosto	55
Tabella 6.24:	Persistenza del Vento – Settembre	56
Tabella 6.25:	Persistenza del Vento – Ottobre	56
Tabella 6.26:	Persistenza del Vento – Novembre	57
Tabella 6.27:	Persistenza del Vento – Dicembre	57
Tabella 6.28:	Numero di giorni in cui il Vento supera le Soglie	58
Tabella 6.29:	Valori Estremi Omnidirezionali della Velocità del Vento (nodi) a 10 m di Quota sul Livello Medio del Mare – Valori Rappresentativi del Vento dei 10 Minuti	60

Tabella 7.1:	Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Dati CMEMS al largo- Annuale	61
Tabella 7.2:	Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Periodo di Picco (s) – Dati CMEMS a largo – Annuale	62
Tabella 7.3:	Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Periodo Medio (s) – Dati CMEMS a largo - Annuale	62
Tabella 7.4:	Onde Estreme di Largo - Omnidirezionali	64
Tabella 7.5:	Onde Estreme di Largo - Direzionali	65
Tabella 7.6:	Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Annuale	68
Tabella 7.7:	Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Periodo di Picco (s) – Profondità 12.5 m – Annuale	69
Tabella 7.8:	Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Periodo Medio (s) – Profondità 12.5 m – Annuale	69
Tabella 7.9:	Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Gennaio	71
Tabella 7.10:	Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Febbraio	71
Tabella 7.11:	Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Marzo	72
Tabella 7.12:	Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Aprile	72
Tabella 7.13:	Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Maggio	73
Tabella 7.14:	Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Giugno	73
Tabella 7.15:	Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Luglio	74
Tabella 7.16:	Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Agosto	74
Tabella 7.17:	Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Settembre	75
Tabella 7.18:	Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Ottobre	75
Tabella 7.19:	Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Novembre	76
Tabella 7.20:	Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Dicembre	76
Tabella 7.21:	Frequenza di Eccedenza (%) dell'Altezza d'Onda: Eventi sopra Soglia	79
Tabella 7.22:	Persistenza delle Onde – Annuale	80
Tabella 7.23:	Persistenza delle Onde – Gennaio	81
Tabella 7.24:	Persistenza delle Onde – Febbraio	81
Tabella 7.25:	Persistenza delle Onde – Marzo	82
Tabella 7.26:	Persistenza delle Onde – Aprile	82
Tabella 7.27:	Persistenza delle Onde – Maggio	83
Tabella 7.28:	Persistenza delle Onde – Giugno	83
Tabella 7.29:	Persistenza delle Onde – Luglio	84
Tabella 7.30:	Persistenza delle Onde – Agosto	84
Tabella 7.31:	Persistenza delle Onde – Settembre	85
Tabella 7.32:	Persistenza delle Onde – Ottobre	85
Tabella 7.33:	Persistenza delle Onde – Novembre	86
Tabella 7.34:	Persistenza delle Onde – Dicembre	86

Tabella 7.35:	Onde Estreme Omnidirezionali a Costa (25 m e 12.5 m di profondità) nello scenario di Livello Minimo	87
Tabella 7.36:	Onde Estreme Omnidirezionali a Costa (25 m e 12.5 m di profondità) nello scenario di Livello Massimo	87
Tabella 7.37:	Onde Estreme Direzionali a Costa (Turning Basin, 12.5 m di profondità) nello scenario di Livello Minimo	88
Tabella 7.38:	Onde Estreme Direzionali a Costa (Turning Basin, 12.5 m di profondità) nello scenario di Livello Massimo	88
Tabella 8.1:	Costanti Armoniche per la Stazione di Civitavecchia	89
Tabella 8.2:	Livelli di Marea per la Stazione di Civitavecchia, rispetto al Chart Datum	90
Tabella 8.3:	Valori Estremi del Livello Indotti dalle Forzanti Atmosferiche	91
Tabella 8.4:	Valori Estremi del Livello	93
Tabella 9.1:	Regime Tipico delle Correnti a Largo di Fiumicino	94
Tabella 9.2:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Gennaio	96
Tabella 9.3:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Febbraio	96
Tabella 9.4:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Marzo	97
Tabella 9.5:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Aprile	97
Tabella 9.6:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Maggio	98
Tabella 9.7:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Giugno	98
Tabella 9.8:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Luglio	99
Tabella 9.9:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Agosto	99
Tabella 9.10:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Settembre	100
Tabella 9.11:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Ottobre	100
Tabella 9.12:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Novembre	101
Tabella 9.13:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Dicembre	101
Tabella 9.14:	Valori Estremi Omnidirezionali della Velocità di Corrente (m/s) a -6 m di Quota sul Livello Medio del Mare per Periodi di Ritorno di 1, 10, 100 e 350 Anni	104

LISTA DELLE FIGURE

Figura 3.1:	Unità Fisiografica	12
Figura 4.1:	Punti di Misura della Rete Mareografica Nazionale e Punti di Estrazione della Serie Temporale ERA5 di Vento	13
Figura 4.2:	Confronto tra dati misurati di vento e di hindcast – Anzio	14
Figura 4.3:	Confronto tra dati misurati di vento e di hindcast – Civitavecchia	14
Figura 4.4:	Confronto tra dati misurati di vento e di hindcast – Ponza	14
Figura 4.5:	Analisi del Trend dei Massimi Annuali di Velocità del Vento	15
Figura 4.6:	Analisi del Trend della Percentuale di Venti sopra Soglie	15
Figura 4.7:	Confronto tra dati misurati di onda e di hindcast – Civitavecchia	18
Figura 4.8:	Confronto tra scatter Hs-Tm e Hs-Tp tra dati misurati di onda e di hindcast – Civitavecchia	18

Figura 4.9:	Confronto tra dati misurati di onda e di hindcast – Ponza	19
Figura 4.10:	Confronto tra scatter Hs-Tm e Hs-Tp tra dati misurati di onda e di hindcast – Ponza	19
Figura 4.11:	Confronto tra le direzioni delle principali mareggiate tra dati misurati di onda e di hindcast – Ponza	24
Figura 4.12:	Confronto tra dati misurati e trasposti di onda e di hindcast – Fiumicino	25
Figura 4.13:	Confronto tra scatter Hs-Tm e Hs-Tp tra dati misurati e trasposti di onda e di hindcast – Fiumicino	25
Figura 4.14:	Analisi del Trend dei Massimi Annuali di Altezza d'Onda	30
Figura 4.15:	Analisi del Trend della Percentuale di Onde sopra Soglie	30
Figura 4.16:	Confronto tra Misure di Livello del Mare delle Stazioni di Anzio e Civitavecchia	32
Figura 4.17:	Posizione dei Dati di Corrente Hycom	33
Figura 4.18:	Batimetria dell'Area di Studio	33
Figura 5.1:	Distribuzione Altezza d'Onda Significativa VS Periodo di Picco Omnidirezionale – Offshore Fiumicino	38
Figura 6.1:	Rosa Annuale del Vento	41
Figura 6.2:	Rose Mensili del Vento – Gennaio, Febbraio, Marzo, Aprile, Maggio, Giugno	48
Figura 6.3:	Rose Mensili del Vento – Luglio Agosto, Settembre, Ottobre, Novembre, Dicembre	49
Figura 6.4:	Numero di giorni in cui il Vento supera le Soglie	58
Figura 6.5:	Fitting dei Dati di Vento con Distribuzione Biparametrica di Weibull	59
Figura 7.1:	Rosa delle Onde a Largo - Annuale	63
Figura 7.2:	Fitting dei Dati di Altezza d'Onda Significativa con Distribuzione Biparametrica di Weibull	64
Figura 7.3:	Batimetria del modello d'onda	66
Figura 7.4:	Scatter Hs – Tp, Hs-Dir, W - DirW (blu) e triplette (rosso)	67
Figura 7.5:	Rosa delle Onde a 12.5 m di Profondità – Annuale	70
Figura 7.6:	Rose Mensili delle Onde a 12.5 m di Profondità - Gennaio, Febbraio, Marzo, Aprile, Maggio, Giugno	77
Figura 7.7:	Rose Mensili delle Onde a 12.5 m di Profondità - Luglio Agosto, Settembre, Ottobre, Novembre, Dicembre	78
Figura 8.1:	Oscillazione della marea – Stazione di Civitavecchia	89
Figura 8.2:	Istogramma della Serie Residua di Livello del Mare a Civitavecchia	90
Figura 8.3:	Fitting dei Dati di Livello (Serie Residua) con Distribuzione Biparametrica di Weibull	91
Figura 8.4:	Aumento del Livello Marino e Scenari Previsti	92
Figura 8.5:	Distribuzione Spaziale del Trend Medio di Aumento del Livello del Mare nel Mediterraneo	92
Figura 9.1:	Rosa Annuale della Corrente	95
Figura 9.2:	Rose Mensili di Corrente – Gennaio, Febbraio, Marzo, Aprile, Maggio, Giugno	102
Figura 9.3:	Rose Mensili di Corrente – Luglio Agosto, Settembre, Ottobre, Novembre, Dicembre	103
Figura 9.4:	Fitting dei Dati di Corrente con Distribuzione Biparametrica di Weibull	104

ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

CMEMS	Copernicus Marine Environment Monitoring Service
ECMWF	European Center of Medium-range Weather Forecast
ERA5	ECMWF Reanalysis 5th generation
Imm	Livello medio mare
RCG	Royal Caribbean Cruises Ltd
SLR	Sea level rise

1 INTRODUZIONE

Il **Mediterraneo** rappresenta il primo mercato a livello mondiale per il settore diportistico ed il secondo per traffico crocieristico. Con quasi 7.500 km di costa, l'Italia ospita oltre 575 mila imbarcazioni (di cui circa 100 mila registrate) a fronte di meno di 160 mila posti barca disponibili. Di questi circa un terzo sono in grado di ospitare solo piccoli natanti ed imbarcazioni, mentre i circa 100 mila posti barca disponibili all'interno di "Marine" capaci di offrire servizi di media e alta qualità, sono distribuiti disomogeneamente sul territorio nazionale, concentrati per oltre il 70% in Liguria, Sardegna, Sicilia, Toscana, Friuli-Venezia Giulia e Campania.

In questo contesto, **Fiumicino** si trova in posizione strategica dal punto di vista marittimo, infrastrutturale e turistico, per la vicinanza alla città di Roma e per uno scenario territoriale ricco di storia e di altissimo interesse storico, archeologico, paesaggistico e gastronomico, per i collegamenti internazionali e nazionali favoriti dalla presenza dell'aeroporto di Fiumicino e dei collegamenti ferroviari e autostradali con Roma e con il resto d'Italia, per la posizione centrale sul versante tirrenico italiano e quindi nel Mediterraneo.

L'area di **Isola Sacra** è una delle 6 aree in cui è suddiviso il Comune di Fiumicino ed è compresa tra i due rami di foce del Tevere: Fiumara Grande in sinistra, che costeggia le rovine dell'antica Ostia e forma la bocca naturale del fiume, ed il canale artificiale di Fiumicino o Fossa Traiana in destra, che costituisce l'entrata del porto fluviale. Ospita circa 15 mila degli oltre 70 mila abitanti del comune ed in essa si è consolidata in questi ultimi anni la sua espansione edilizia, generando un tessuto edilizio è fortemente disomogeneo, con la presenza sia di una serie di nuclei edilizi già consolidati, sia di altri in via di consolidamento.

Il **porto turistico di Fiumicino Isola Sacra** si trova nella parte meridionale dell'area, in adiacenza della Foce di Fiumara Grande. La concessione demaniale per la sua costruzione, di durata novantennale, è stata affidata alla società Iniziative Portuali S.p.a. (IP) nel febbraio 2010 dal Comune di Fiumicino, sulla base di un *Accordo di Programma* sottoscritto con lo stesso comune e con la Regione Lazio.

Il progetto sviluppato da IP prevedeva la realizzazione di 1,400 posti barca e di un cantiere nautico da 10,300 mq. A questi si aggiungevano oltre 40,000 mq di edilizia, destinata in gran parte a residenze, ma anche ad un albergo e superfici commerciali, di ristorazione e di servizio.

Le attività di costruzione del Porto, cominciate nel 2010, sono state interrotte dal concessionario dopo pochi mesi e ad oggi risulta realizzata solo una parte della diga foranea, senza che siano state realizzate né la marina, né le opere edili, né le opere necessarie all'urbanizzazione dell'area in concessione, al soddisfacimento degli standard urbanistici, né quelle aggiuntive previste a servizio di Isola Sacra, lasciando le aree di progetto in un generale stato di degrado.

Credendo nelle potenzialità di questo progetto, il fondo *iCON Infrastructure LLP* (ICON, specializzato in investimenti azionari a lungo termine in attività infrastrutturali private in Europa e Nord America con una raccolta di 3,6 miliardi di USD) e la *Royal Caribbean Group* (RCG, secondo gruppo crocieristico mondiale con base a Miami, US) hanno costituito la *Fiumicino Waterfront s.r.l.* ed attraverso di essa, in qualità di nuovo concessionario subentrato ad IP, si sono impegnati alla realizzazione dell'opera e al suo aggiornamento in termini di fruibilità e sostenibilità in un quadro di rinnovata compatibilità finanziaria.

L'iniziativa si basa sull'opportunità individuata dal RCG di introdurre una funzione crocieristica all'interno del *Porto di Fiumicino Isola Sacra* come variante al progetto del già approvato (Progetto IP2009), mantenendo prevalente la funzione di navigazione da diporto e riducendo al tempo stesso la superficie edilizia a vantaggio di una più estesa fruibilità pubblica dell'area concessa.

Lo *Studio di Fattibilità* completato nel 2018 (SDF2018), ha esaminato preliminarmente tutti i necessari profili amministrativi, economici, progettuali e di mercato ed è stato sottoposto volontariamente a *Conferenza dei Servizi Preliminare* e *Scoping Ambientale* nel 2019 (CSP2019, SA2019). Il procedimento si è concluso con alcune prescrizioni, ma senza evidenziare cause ostative allo sviluppo della Variante e all'introduzione della funzione crocieristica, confermando la preliminare fattibilità amministrativa del progetto ed il suo allineamento con il contesto di sviluppo previsto per le aree da parte degli Enti coinvolti. Le osservazioni e le prescrizioni indicate da CSP2019 e SA2019, insieme ad ulteriori affinamenti tecnici e di layout sono stati infine recepiti e sviluppati nel nuovo *Masterplan* del progetto, completato a ottobre 2022 (MP2022).

Nel corso di questo processo RCG ha:

- ✓ acquisito la concessione a febbraio 2022, ceduta poi alla *Fiumicino Waterfront s.r.l.*
- ✓ commissionato a *RINA Consulting S.p.a.* in associazione con *Alfonso Femia AF517 Atelier(s)* e con il contributo di *EY Italia* e *Telos S.r.l.* l'esecuzione del progetto fino alla consegna della variante al *Progetto Definitivo IP2009* ed al completamento dell'iter approvativo composto da *Valutazione di Impatto Ambientale* nazionale e *Conferenza dei Servizi*.

✓ Ceduto la quota di maggioranza ed il controllo della *Fiumicino Waterfront s.r.l.* al fondo *ICON*.

A Giugno 2023, l'opera veniva identificata dal Governo Italiano come strategica per il *Giubileo 2025* nell'ambito di intervento "Accoglienza per i pellegrini e i visitatori" in ragione della sua funzione di ulteriore via di pellegrinaggio e "porta" di accesso a Roma, ed inserita con la denominazione *Porto turistico-crociéristico di Fiumicino Isola Sacra* nella relativa lista del *Dpcm 8 giugno 2023* come scheda n.146, indicando il *Comune di Fiumicino* nel ruolo di "soggetto attuatore". L'iter approvativo dell'opera sarà quindi svolto nell'alveo delle procedure speciali stabilite dal decreto, che risultano in un sostanziale contingentamento dei tempi per le procedure *VIA-VAS* e *Conferenza dei Servizi* per garantire l'esecuzione della stessa nei tempi necessari.

La proposta, si propone di rinnovare ed aggiornare l'immagine del progetto, di allineare l'offerta alle mutate condizioni del mercato nautico e di quello immobiliare, e prevede uno sviluppo ecosostenibile dell'area portuale, nonché la realizzazione di aree verdi e di interventi di rinaturalizzazione, con conseguente miglioramento della qualità ambientale e paesistica di un'area degradata ed occupata dal cantiere di costruzione. Oltre ai ritorni economici ed occupazionali legati al mix di produzioni e servizi che si propone di attivare, il progetto contribuisce alla riqualificazione dell'area e rappresenta un elemento di attrattività e di qualità sia per gli utenti, che per gli abitanti dell'area.

Il **porto turistico**, improntato a principi di ecosostenibilità e integrazione con il territorio, concorre a qualificare la rete del diportismo nazionale. La struttura offrirà un ormeggio stanziale e stagionale, servizi di cantieristica, di sorveglianza, di connessione in rete, di banchine attrezzate per l'accoglienza e l'assistenza al cliente tutto l'anno. La struttura amplia la sua offerta ad utenti di una tipologia di imbarcazione medio-alta. Infatti, dei 1200 posti barca previsti almeno il 10% saranno rivolti a imbarcazioni superiori ai 40 m e con lunghezza fino a 110 m (super, mega e giga yacht). Il **cantiere navale** costituirà uno dei tratti essenziali dell'identità del porto, in grado di garantire tanto assistenza "a secco" (per imbarcazioni fino a 40 m), quanto "a bordo".

L'esistente porticciolo in subconcessione verrà spostato nell'area nord del porto, dove sorgerà anche la scuola velica. Il **vecchio faro** sarà ristrutturato e messo a disposizione del Comune di Fiumicino come area espositiva, i **bilancioni** verranno rivisitati mantenendone la peculiare tipologia architettonica e convertiti in spazi ricreativi, associativi e di ristorazione.

I volumi edilizi sono ora costituiti da un **hotel** da 250 stanze con aparthotel per soggiorni di maggiore durata e dagli edifici di servizio alla marina e alla crocieristica, ai quali si aggiungono una grande piazza pubblica coperta, luogo di ritrovo, spazio per eventi o mercato cittadino ed un'area a verde destinata a **parco pubblico** pari a 150,000 mq, disseminata di aree e edifici minori attrezzati per lo sport e attività ricreative intergenerazionali, ristoro e vita associativa (community hubs). E' stata invece del tutto rimossa dal progetto la funzione residenziale, riducendo in modo sostanziale i volumi e la pressione urbanistica rispetto a quanto autorizzato per il progetto originale.

Via del Faro viene interamente adeguata e dotata di **parcheeggi** pubblici nel tratto tra il faro e la Rotatoria Falcone, mentre ampie aree parcheggio sono previste nell'area in concessione, applicando un concetto *green* caratterizzato da superfici permeabili e alberature per ombreggiamento. Il drenaggio dell'area in concessione è improntato strettamente ai criteri dell'invarianza idraulica e del riuso. In generale, la progettazione è orientata alla conservazione delle risorse naturali attraverso strategie *net-carbon* e di **autosufficienza energetica** ed alla minimizzazione degli impatti residui. Oltre 12 milioni di euro sono previsti quale contributo speciale per interventi nell'area di Isola Sacra prevalentemente dedicati alla **viabilità**, da concordare con il Comune di Fiumicino in sede di *Convenzione Urbanistica*.

Per quanto riguarda il **settore crocieristico**, il progetto è altamente compatibile con il contesto attuale: il nuovo porto, insieme al porto commerciale di Fiumicino Nord e a quello di Civitavecchia, può rappresentare un nuovo sistema di porti con offerta crocieristica complementari e non in competizione. In particolare, l'investimento prevede la realizzazione di un impianto di *shore-power* (o *cold ironing*), che consente di spegnere i motori della nave ormeggiata, azzerandone le emissioni, per un importo di circa 20 milioni di euro. Tale intervento che normalmente viene realizzato con fondi governativi dalle Autorità Portuali o dall'ente pubblico competente, in questo caso sarà parte dell'investimento del concessionario e quindi a totale carico di FW.

L'investimento previsto è di quasi 600 Milioni di Euro coperti da capitali interamente privati, dei quali oltre la metà entro il 2025 per la realizzazione dell'infrastruttura complessiva e delle opere funzionali agli obiettivi Giubileo 2025 ed il resto nel decennio 2025-2035 per il completamento dell'opera. Alla luce di quanto sopra, il *Progetto di Fattibilità Tecnico Economica* (PFTE) e *Studio di Impatto Ambientale* (SIA) del *Porto Turistico-Crociéristico di Fiumicino Isola Sacra* relativi al nuovo assetto proposto per l'area in concessione verranno sottoposti a processo di approvazione secondo le procedure previste dal *Dpcm 8 giugno 2023*.

Il *Comune di Fiumicino*, come soggetto promotore e attuatore, e *Fiumicino Waterfront*, come soggetto esecutore e finanziatore, provvederanno quindi a dare seguito agli obblighi derivanti dalla concessione come aggiornati dalla procedura approvativa, sottoponendo a *Verifica di Ottemperanza* il PFTE adeguato sulla base delle

prescrizioni ricevute e ad elaborare il *Progetto Esecutivo*, eventualmente per lotti, in modo da affidare e completare i lavori di costruzione delle opere funzionali agli obiettivi del Giubileo nei tempi previsti.

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente studio si pone l'obiettivo di definire le condizioni meteo-marine tipiche ed estreme al largo e a costa dell'area del porto di Porto di Fiumicino Isola Sacra in corrispondenza del turning basin.

Sono stati pertanto analizzati i dati disponibili, in modo da definire in maniera sintetica, attraverso opportune tabelle e grafici, le condizioni meteo-marine tipiche, vale a dire il regime anemologico, il regime del moto ondoso al largo e nei pressi del pontile, le variazioni del livello del mare e il regime idrodinamico.

Sono state stimate le condizioni estreme, direzionali e omnidirezionali, dei parametri meteo-marini per differenti periodi di ritorno.

Nel seguito vengono elencati i dati disponibili e sinteticamente descritti i criteri metodologici adottati. Successivamente, vengono presentati i risultati delle analisi effettuate.

Nello studio si è fatto uso di modellistica numerica allo stato dell'arte, i cui lineamenti essenziali sono riportati nell'Appendice.

3 AREA DI STUDIO

L'unità fisiografica in cui ricade il tratto di costa oggetto di studio è compresa tra Capo Linaro a Nord e Capo Anzio a Sud e si estende per circa 90 km; la foce del F. Tevere è situata nel tratto centrale di tale unità; il paraggio in esame risulta, pertanto, esposto ad un ampio settore di traversia, tutto principale, di ampiezza pari a circa 150°, compreso tra 160°N (Capo Anzio) e 310°N (Capo Linaro).

Ponendosi al largo di tali estremi geografici, ad una profondità di circa 100 m e ad una distanza di circa 13 Km dalla costa, il paraggio è geograficamente esposto ad un settore di traversia più ampio che si estende tra 120°N (Capo Circeo) e 320°N (Porto S. Stefano).

Il sito in esame si affaccia quindi sul mar Tirreno centrale ed è limitato dalla costa ligure a Nord –Nord Ovest (300°N- 310°N), dalla costa orientale della Corsica a Nord-Ovest (DD 270°N- 300°N), dalla costa orientale della Sardegna a Ovest (220°N-270°N), dalla costa nord africana della Tunisia a sud-ovest (180°N- 220°N) ed infine dalla costa settentrionale della Sicilia a Sud- Sud Est (150°N- 180°N).

Per quanto concerne la circolazione d'insieme relativa all'unità fisiografica in esame, i dati reperiti, provenienti dal database HYCOM, confermano quanto riportato nell'Atlante delle correnti superficiali dell'Istituto Idrografico della Marina, dove si riscontra nel medio alto Tirreno, una prevalenza delle correnti dirette da Sud verso Nord (prevalentemente verso 330°N) con intensità variabili da 0.50 a 0.80 nodi.



Figura 3.1: Unità Fisiografica

4 DATI DISPONIBILI

4.1 DATI DI VENTO

4.1.1 Dati Era5

I dati del vento sono stati estratti dal database globale ECMWF ERA5. Il database è pubblicato dall'European Centre for Medium-Range Weather Forecast, un'organizzazione intergovernativa che utilizza modelli numerici all'avanguardia per fornire previsioni meteorologiche globali / hindcast a supporto dei servizi meteorologici nazionali. Sono disponibili i seguenti parametri:

- ✓ Velocità del vento W (m/s) ad un'altezza di 10 m sopra la superficie della Terra;
- ✓ Direzione del vento ($^{\circ}N$) ad un'altezza di 10 m sopra la superficie della Terra.

I dati raccolti sono disponibili ad una risoluzione spaziale di 0,25 gradi x 0,25 gradi e si riferiscono al punto griglia: 12.25°E, 41.75°N.

I dati coprono il periodo 1/1/1979 – 23/05/2022 (circa 44 anni).

4.1.2 Dati RMN

Le misure di vento sono state rilevate dalle stazioni di Civitavecchia, Anzio e Ponza della Rete Mareografica Nazionale (RMN), ubicate rispettivamente alle seguenti coordinate e per i seguenti periodi:

- ✓ Civitavecchia: 42° 05' 38.25"N 11° 47' 22.73"E, 01.01.2010 - 05.09.2022;
- ✓ Anzio: 41° 26' 48.69"N 12° 38' 05.27" E, 01.12.2011 - 05.09.2022;
- ✓ Ponza: 40° 53' 42,64"N 12° 57' 56,12"E, 10.07.2011 - 05.09.2022;

Per quanto riguarda i dati di vento, sono disponibili i dati orari della velocità e direzione del vento calcolati come media vettoriale degli ultimi 10 minuti di ogni ora.

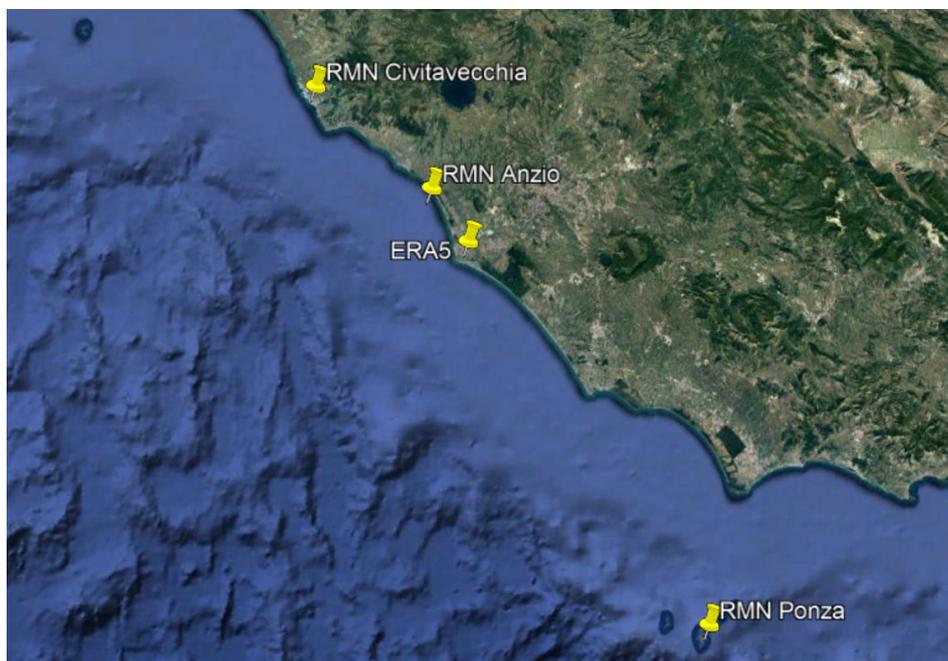


Figura 4.1: Punti di Misura della Rete Mareografica Nazionale e Punti di Estrazione della Serie Temporale ERA5 di Vento

4.2 VALIDAZIONE DEI DATI DI VENTO

I Dati RMN sono stati validati tramite eliminazione dei dati misurati non validi presenti nei periodi di malfunzionamento dell'anemometro. La serie è stata controllata mese per mese confrontando gli istogrammi direzionali e delle intensità di vento di anni diversi in modo da individuare eventuali anomalie riconducibili a registrazione di dati non validi.

Successivamente sono stati confrontati direttamente i dati misurati di ogni stazione (RMN) con i dati di hindcast ERA5 estratti di volta in volta nel punto corrispondente alle misure. Le figure seguenti mostrano, per ogni stazione analizzata, il qqplot tra dati di hindcast e misurati (blu), il qqplot post calibrazione tra dati di hindcast e misurati (rosso), e lo scatter tra direzione dei dati di hindcast e misurati.

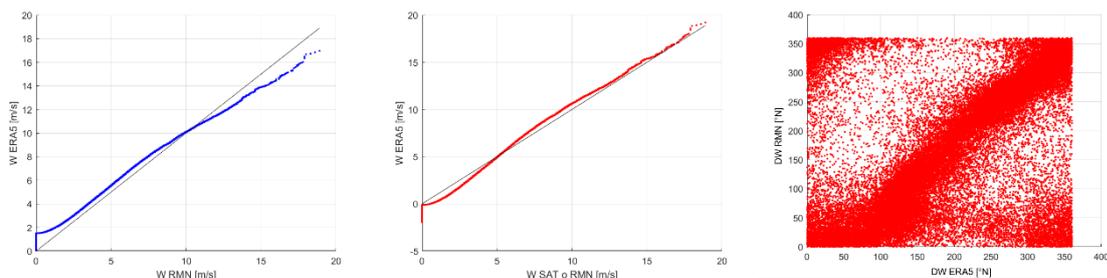


Figura 4.2: Confronto tra dati misurati di vento e di hindcast – Anzio

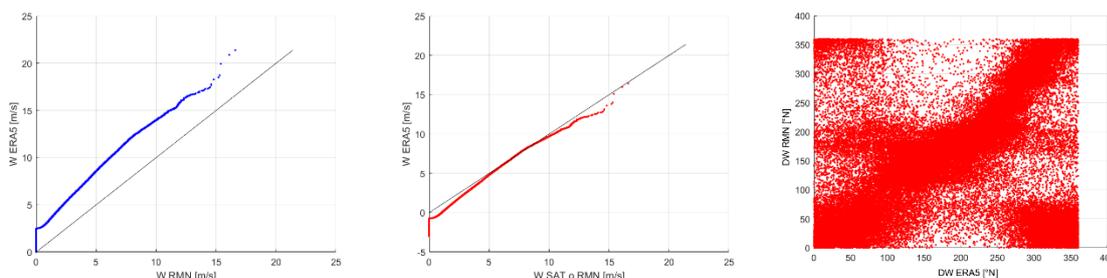


Figura 4.3: Confronto tra dati misurati di vento e di hindcast – Civitavecchia

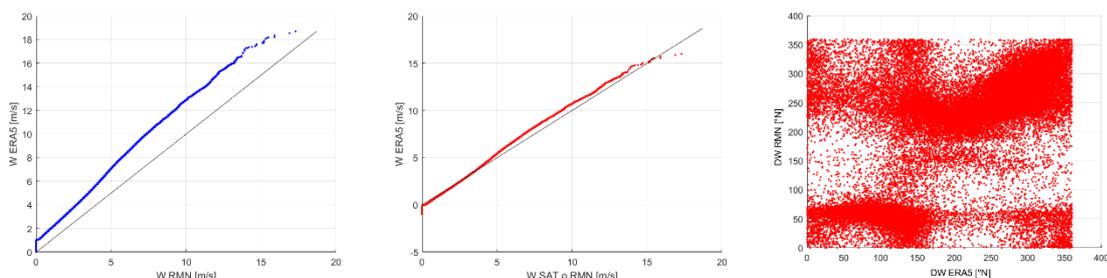


Figura 4.4: Confronto tra dati misurati di vento e di hindcast – Ponza

La stazione più vicina all'area di studio e con uno scatter direzionale più correlato risulta quella di Anzio. La relazione utilizzata per correggere i dati di hindcast con quelli misurati trovata per questa stazione, è stata utilizzata per calibrare i dati ERA5 estratti nell'area di studio.

4.2.1 Considerazioni riguardo ai Cambiamenti Climatici

E' stata inizialmente effettuata una semplice analisi dei massimi annuali (con la verifica che essi non si verificano a cavallo di due anni successivi e appartengano quindi allo stesso evento): in Figura 4.5 è mostrato l'andamento dei massimi annuali lungo i 44 anni di cui si hanno i dati ERA5. Il trend è decrescente, ma l'evento del 2018 mostra intensità sensibilmente più elevate rispetto agli anni precedenti.

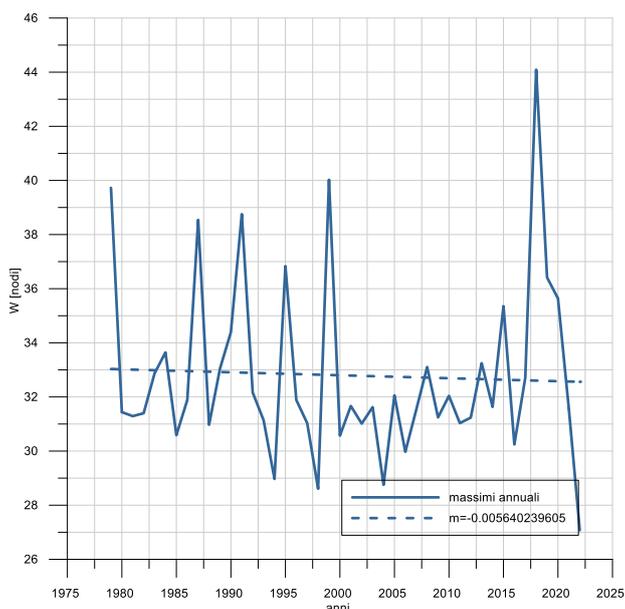


Figura 4.5: Analisi del Trend dei Massimi Annuali di Velocità del Vento

La Figura 4.6 seguente invece mostra la variazione negli anni della percentuale di eventi di intensità del vento sopra le soglie di 5, 10, 15, 20 e 25 nodi, e con la retta tratteggiata il trend, crescente o decrescente della percentuale di superamento.

Si evidenzia un generale trend crescente in quanto il numero di eventi sopra la soglia di 5 e 10 nodi è crescente. Gli articoli riportati in bibliografia evidenziano per il Mediterraneo una riduzione in frequenza degli eventi soprannominati Medicanes ma un loro aumento in intensità. Questo sembra confermato dall'aumento del numero di eventi superiori a 5 e 10 nodi mentre una diminuzione degli eventi sopra una soglia media (15, 20 e 25 nodi) che tendono a diminuire in frequenza.

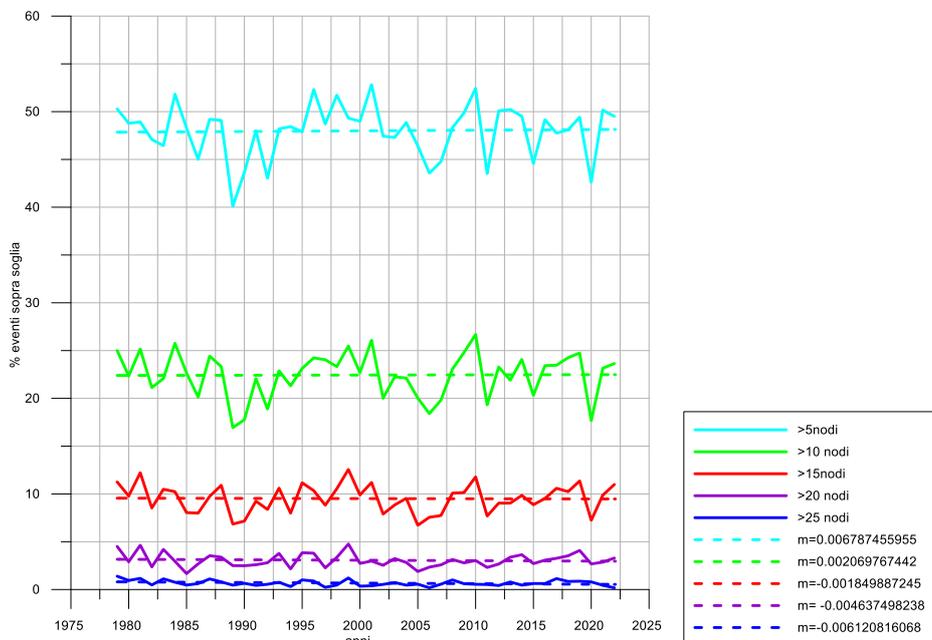


Figura 4.6: Analisi del Trend della Percentuale di Venti sopra Soglie

È stata successivamente svolta un'analisi statistica volta a individuare il trend dei valori estremi, considerando 4 periodi:

- ✓ 1982-1992;
- ✓ 1982-2002;
- ✓ 1982-2012;
- ✓ 1982-2022.

I risultati di quest'analisi sono riportati in Tabella 4.1. Mentre i risultati della GM con tutti i dati portano a un trend decrescente, in contrapposizione con quanto riporta la bibliografia, i risultati del confronto tra estremi centennali considerando i vari periodi selezionati si ottiene un trend medio del 6%.

Tabella 4.1: Confronto Valori Estremi di Vento per Decadi

Metodo	Info	Periodo considerato	Valore estremo dei 10 anni	Valore estremo dei 100 anni	Trend
GM WEIBULL	Classi da 1 nodo soglia 25 nodi	1982-1992	38.85	42.79	45.88/42.79=1.07
		1982-2002	39.94	44.42	
		1982-2012	39.02	43.2	
		1982-2022	40.89	45.88	
GM WEIBULL	Tutti I dati soglia 20 nodi	1982-1992	40.47	45.01	44.24/45.01=0.98
		1982-2002	39.64	43.9	
		1982-2012	39.39	43.63	
		1982-2022	39.89	44.24	
GM GUMBEL	Classi da 1 nodo soglia 35 nodi	1982-1992	40.09	46.66	49.29/46.66=1.06
		1982-2002	40.34	45.51	
		1982-2012	39.47	44.63	
		1982-2022	41.78	49.29	
GM LOGNORMALE	Classi da 1 nodo soglia 35 nodi	1982-1992	40.17	47.23	49.78/47.23=1.05
		1982-2002	40.38	45.73	
		1982-2012	39.49	44.83	
		1982-2022	41.77	49.78	

4.2.2 Conclusioni validazione della serie ERA5 a Fiumicino

A conclusione della validazione dei dati di vento si suggerisce di calibrare la serie temporale ERA5 a Fiumicino moltiplicando l'intera serie temporale per 1.06 per tenere in considerazione l'effetto dei cambiamenti climatici.

4.3 DATI DI ONDA

4.3.1 Dati CMEMS

I dati di onda sono stati ottenuti da CMEMS MED - Waves, il database di hindcast del Mediterranean Sea Waves forecasting system (WAM 4.5.4). Tale database viene aggiornato annualmente e consiste in dati di onda orari aventi una risoluzione spaziale di $1/24^\circ$ (circa 7 km) nel Mar Mediterraneo. Si estende inoltre all'Oceano Atlantico fino alla longitudine 18.125° W.

I dati orari di onda comprendono i seguenti parametri:

- ✓ Altezza significativa H_s (m);
- ✓ Periodo di Picco T_p (s);
- ✓ Periodo medio T_m (s);
- ✓ Direzione di picco D_p ($^\circ$ N).

Tali dati sono disponibili con una discrezione spaziale di 0.042° e si riferiscono al periodo gennaio 1993 – maggio 2020 (28 anni). I punti considerati hanno le seguenti coordinate (Figura 2.1):

- ✓ 12.21° E 41.69° N al largo di Fiumicino e a circa 67 m di profondità.

4.3.2 Dati RON

Le misure di onda sono state rilevate dalle stazioni di Civitavecchia e Ponza della Rete Ondametrica Nazionale (RON), ubicate rispettivamente alle seguenti coordinate e per i seguenti periodi:

- ✓ Civitavecchia: $42^\circ 00' 00''$ N $11^\circ 46' 12''$ E, 02.01.2004 - 12.09.2006;
- ✓ Ponza: $40^\circ 52' 00''$ N $12^\circ 57' 00''$ E, 1.07.1989 - 31.03.2008.

Il sistema RON dispone di dati rilevati in termini di altezza d'onda significativa spettrale, direzione media di provenienza dell'onda, periodo di picco e periodo medio. I dati sono disponibili sia sottoforma di serie temporali che di distribuzioni statistiche. I dati sono orari, e nei casi di mareggiate significative con valori di altezza d'onda maggiori di 4.5 m l'acquisizione dei dati avviene in continuo e i dati sono registrati ogni mezz'ora.

4.4 VALIDAZIONE DEI DATI DI ONDA

I Dati RON sono stati validati tramite eliminazione dei dati misurati non validi presenti nei periodi di malfunzionamento dell'ondametro. La serie è stata controllata mese per mese confrontando gli istogrammi direzionali e delle altezze d'onda di anni diversi in modo da individuare eventuali anomalie riconducibili a registrazione di dati non validi.

Successivamente sono stati confrontati direttamente dati misurati di ogni stazione (RON) con i dati di hindcast CMEMS estratti di volta in volta nel punto corrispondente alle misure. Le figure seguenti mostrano, per ogni stazione analizzata, qqplot tra dati di hindcast e misurati (blu), il qqplot post calibrazione tra dati di hindcast e misurati (rosso), e lo scatter tra direzione dei dati di hindcast e misurati. Inoltre, vengono mostrati gli scatter H_s - T_m e H_s - T_p dei dati misurati RON (blu) e dati di hindcast CMEMS calibrati (rossi).

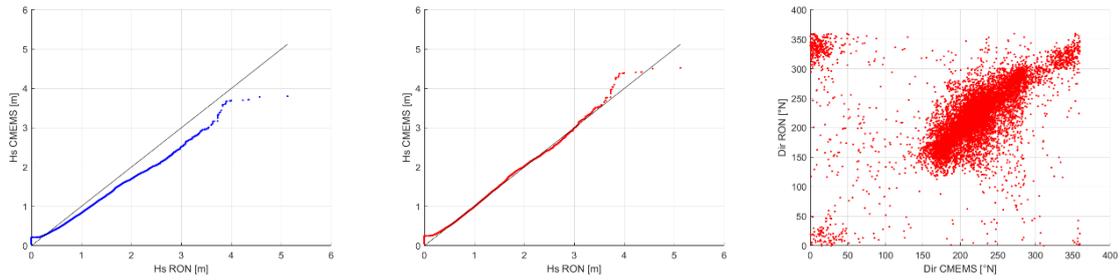


Figura 4.7: Confronto tra dati misurati di onda e di hindcast – Civitavecchia

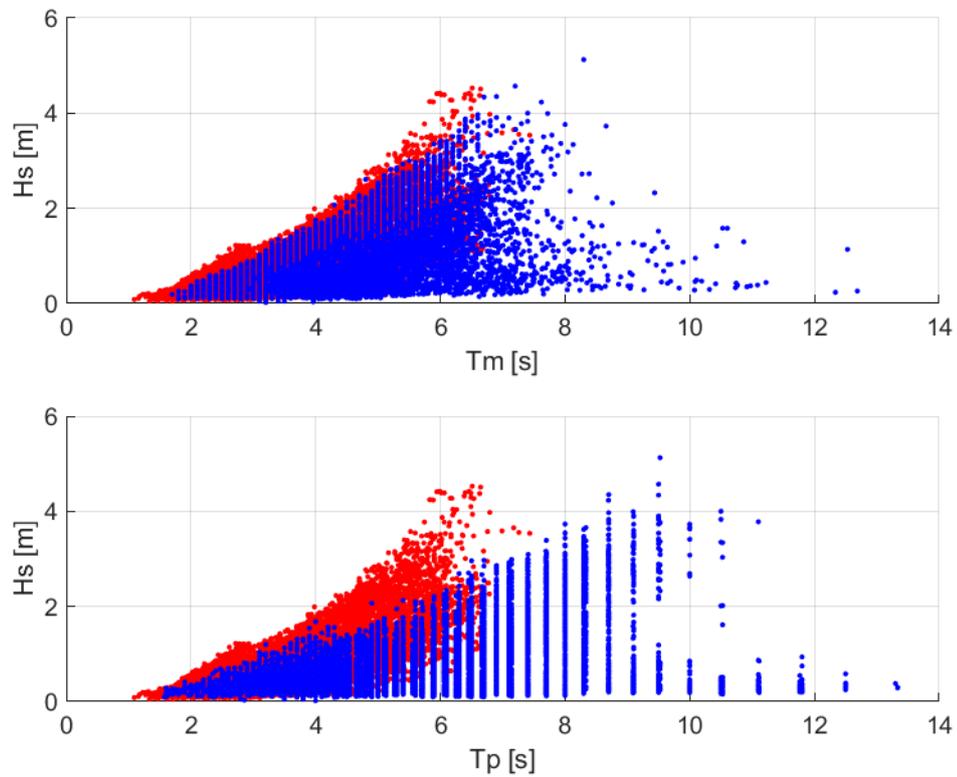


Figura 4.8: Confronto tra scatter Hs-Tm e Hs-Tp tra dati misurati di onda e di hindcast – Civitavecchia

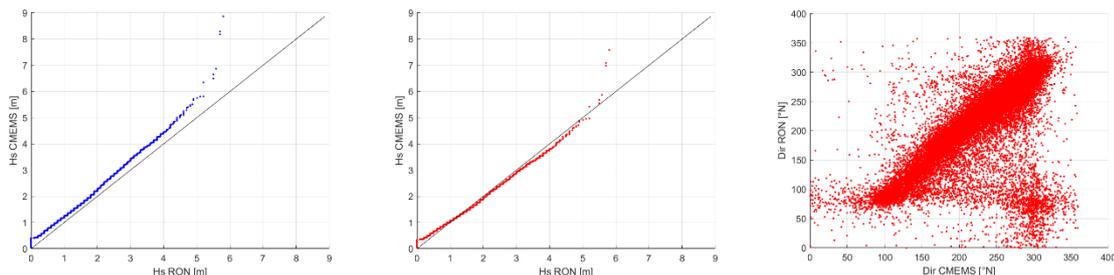


Figura 4.9: Confronto tra dati misurati di onda e di hindcast – Ponza

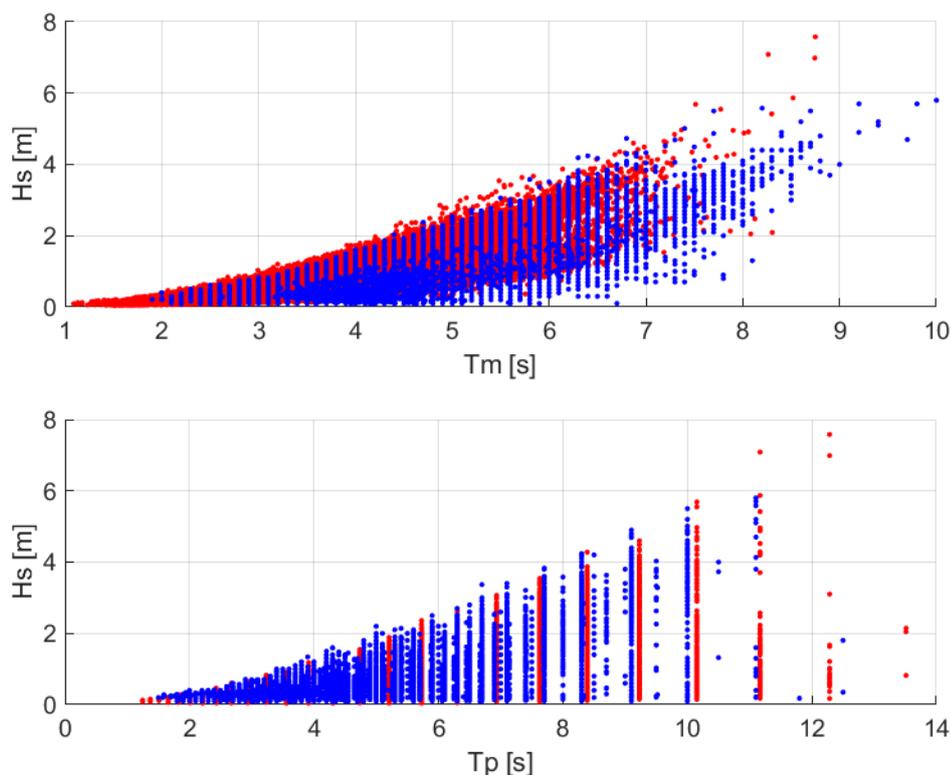


Figura 4.10: Confronto tra scatter Hs-Tm e Hs-Tp tra dati misurati di onda e di hindcast – Ponza

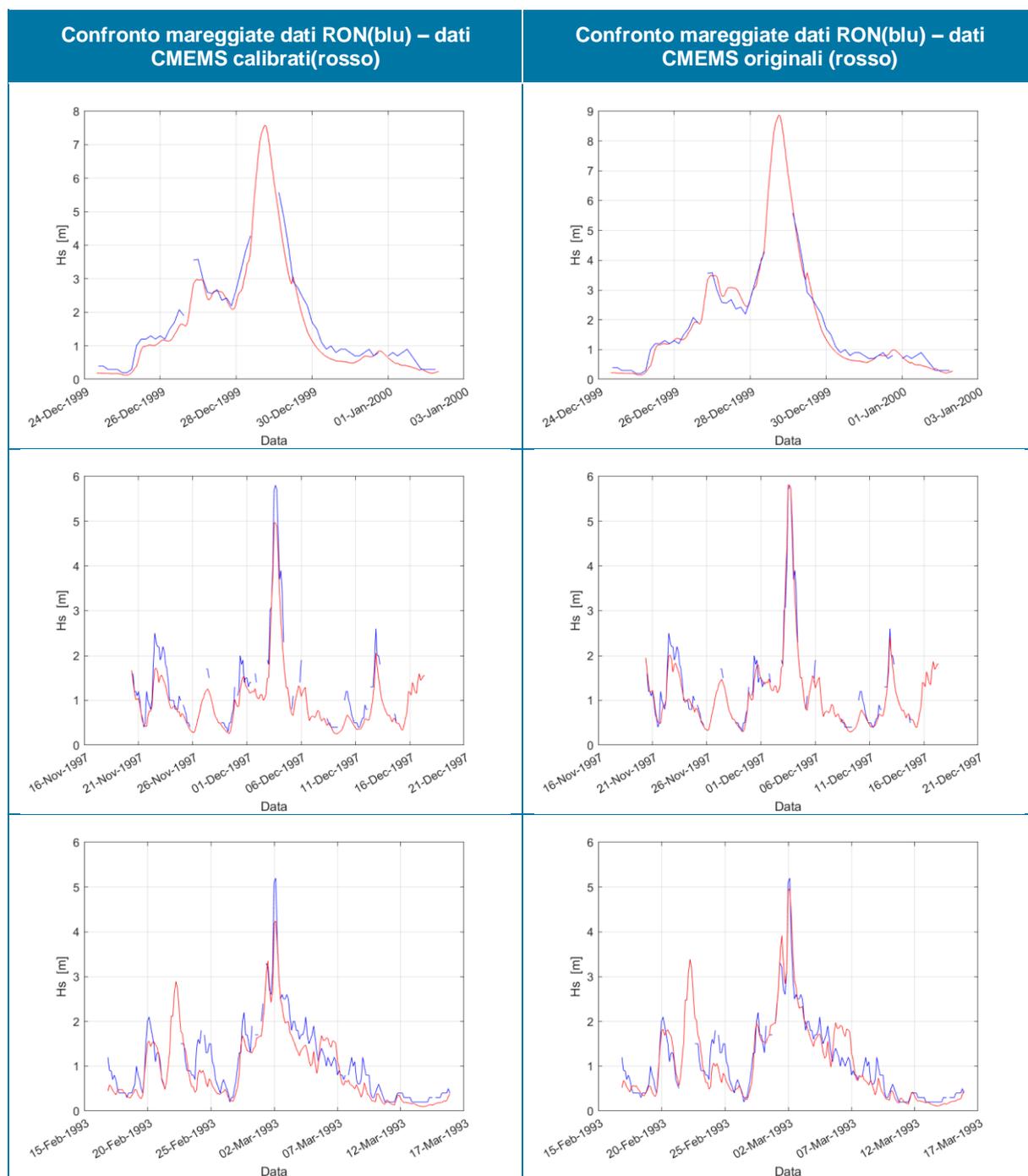
Da queste analisi si evince che:

- ✓ I dati CMEMS di Civitavecchia sottostimano i dati di misura, e avrebbero bisogno di essere alzati (dividendo per 0.84) per essere confrontabili con i dati misurati dalla stazione RON di Civitavecchia. Pur applicando il fattore correttivo ricavato dai qqplot, gli scatter Hs-Tm e Hs-Tp mostrano che i dati CMEMS di Civitavecchia presentano periodi più corti di quelli misurati. Mentre la sottostima del periodo medio è limitata, il periodo di picco dei dati CMEMS mostra valori più bassi di 3-4 secondi. Inoltre, la serie di Civitavecchia contiene solo due anni di dati;
- ✓ I dati CMEMS di Ponza invece sovrastimano i dati di misura, e dovrebbero essere corretti dividendoli per 1.17 per essere confrontabili con i dati misurati. Applicando il fattore correttivo ricavato dai qqplot gli scatter Hs-Tm e Hs-Tp mostrano però un'ottima corrispondenza nella distribuzione Hs-periodo tra dati CMEMS di Ponza e quelli misurati a Ponza. La serie di Ponza viene quindi ritenuta più affidabile proseguendo l'analisi dei dati con il confronto delle mareggiate.

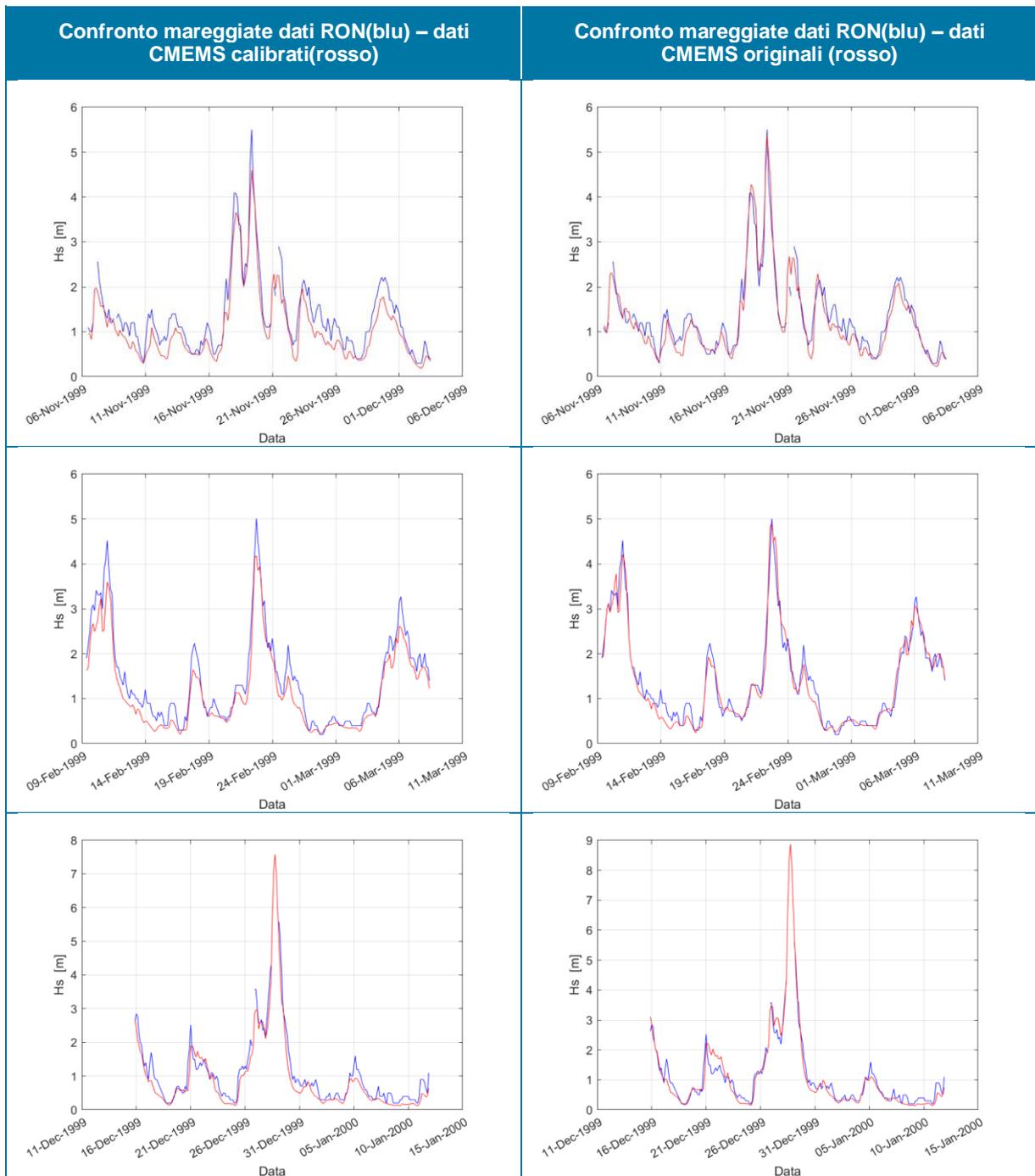
4.4.1 Confronto delle mareggiate tra RON e CMEMS (Ponza)

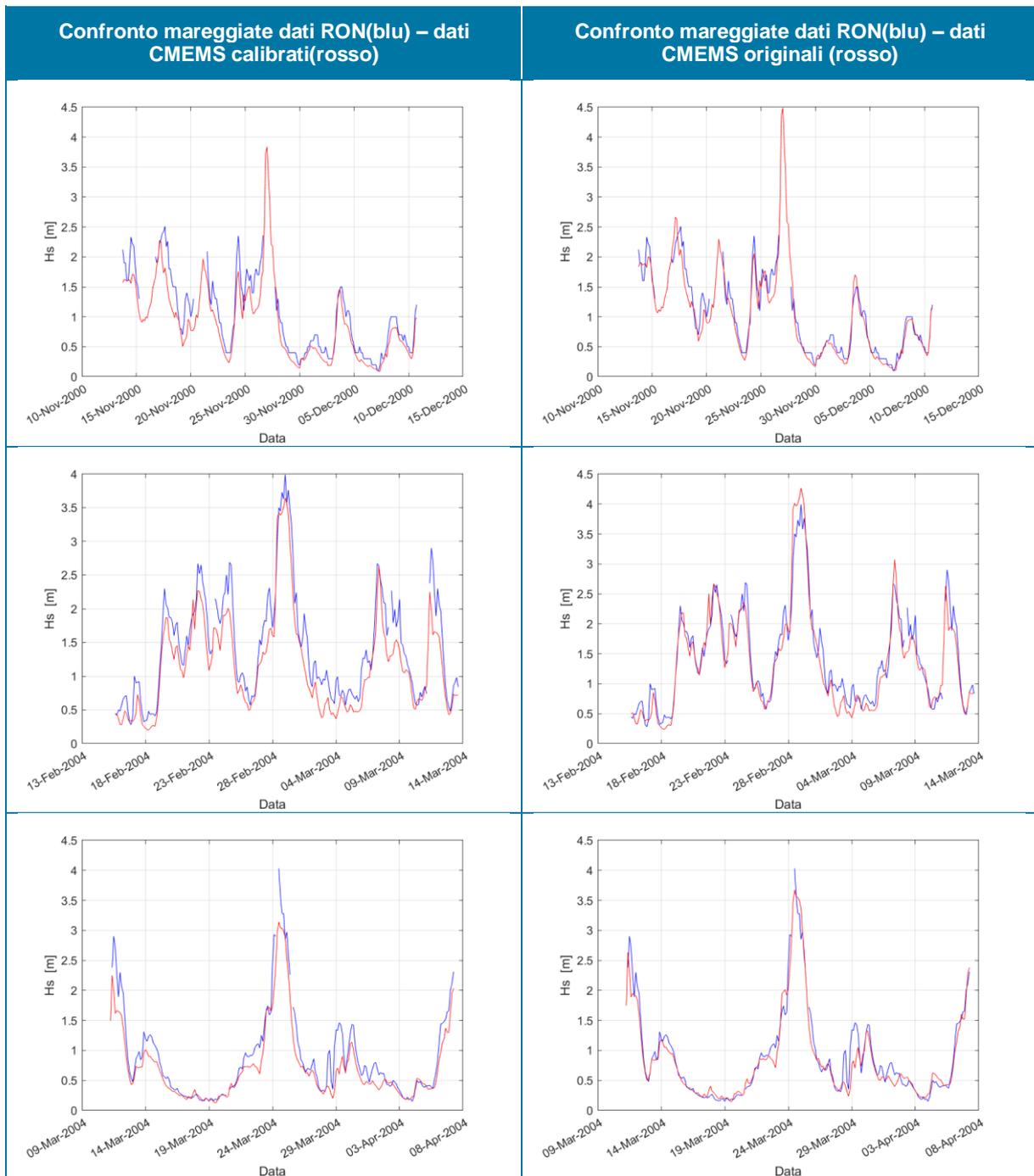
Successivamente sono stati confrontati i dati misurati delle principali mareggiate di Ponza con i dati di hindcast calibrati con la relazione trovata. Dato che questo confronto ha evidenziato una sottostima dei picchi sono state confrontate le mareggiate misurate con i dati CMEMS senza applicare la correzione trovata tramite i qqplot. Il confronto tra le mareggiate misurate RON con la serie originale CMEMS è ottimo.

Tabella 4.2: Confronto tra le principali mareggiate tra dati misurati di onda e di hindcast – Ponza (Continua nelle Pagine Successive)









Anche il confronto delle direzioni delle mareggiate mostra un'ottima ricostruzione del modello di hindcast CMEMS. Qui di seguito vengono riportati alcuni esempi delle mareggiate precedentemente mostrate.

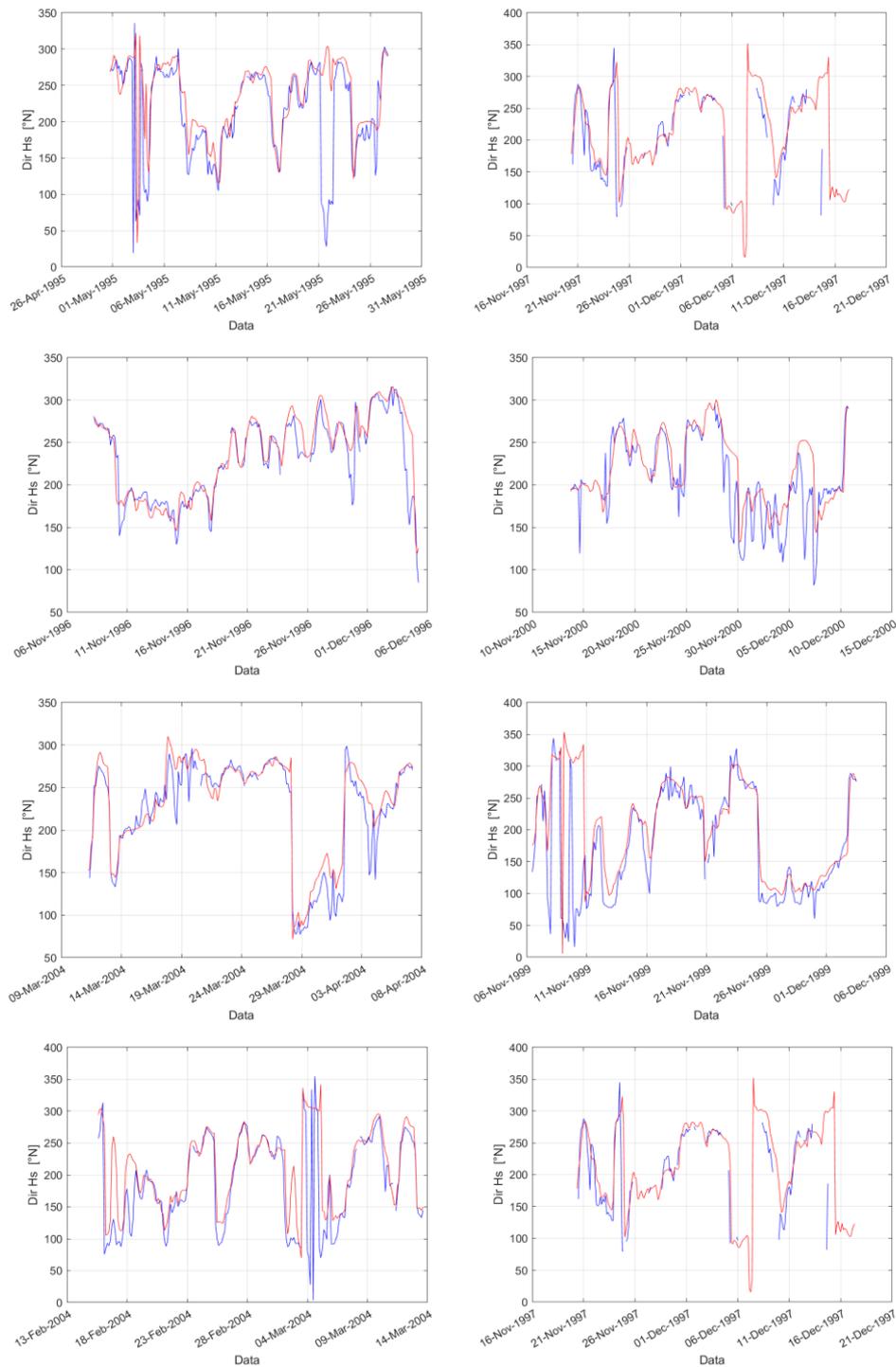


Figura 4.11: Confronto tra le direzioni delle principali mareggiate tra dati misurati di onda e di hindcast – Ponza

4.4.2 Confronto delle mareggiate tra RON e CMEMS (Offshore Fiumicino)

Successivamente la serie misurata a Ponza è stata trasposta in modo analitico al largo di Fiumicino. Per la trasposizione analitica è stata effettuata una trasposizione geografica, basata sulla similitudine dei fetches efficaci. L'ipotesi di base della metodologia applicata consiste nell'ipotizzare che lo stesso evento climatico che ha

generato il modo ondoso registrato a Ponza abbia interessato anche l'area di generazione delle mareggiate che investono il paraggio di Fiumicino.

Quindi sono stati confrontati i dati della serie CMEMS al largo di Fiumicino con la serie RON misurata a Ponza e trasposta al largo di Fiumicino. Vengono presentati: il qqplot tra dati di hindcast e misurati&trasposti (blu) e lo scatter tra direzione dei dati di hindcast e misurati&trasposti. Il qqplot mostra un ottimo accordo tra dati misurati&trasposti e dati di hindcast CMEMS offshore Fiumicino, confermando di non dover necessariamente calibrare i dati CMEMS. Inoltre, vengono mostrati gli scatter Hs-Tm e Hs-Tp dei dati misurati&trasposti RON (blu) e dati di hindcast CMEMS (rossi).

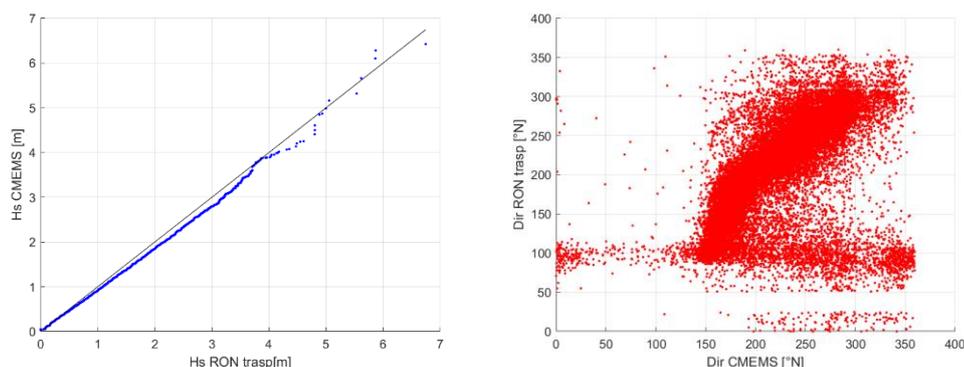


Figura 4.12: Confronto tra dati misurati e trasposti di onda e di hindcast – Fiumicino

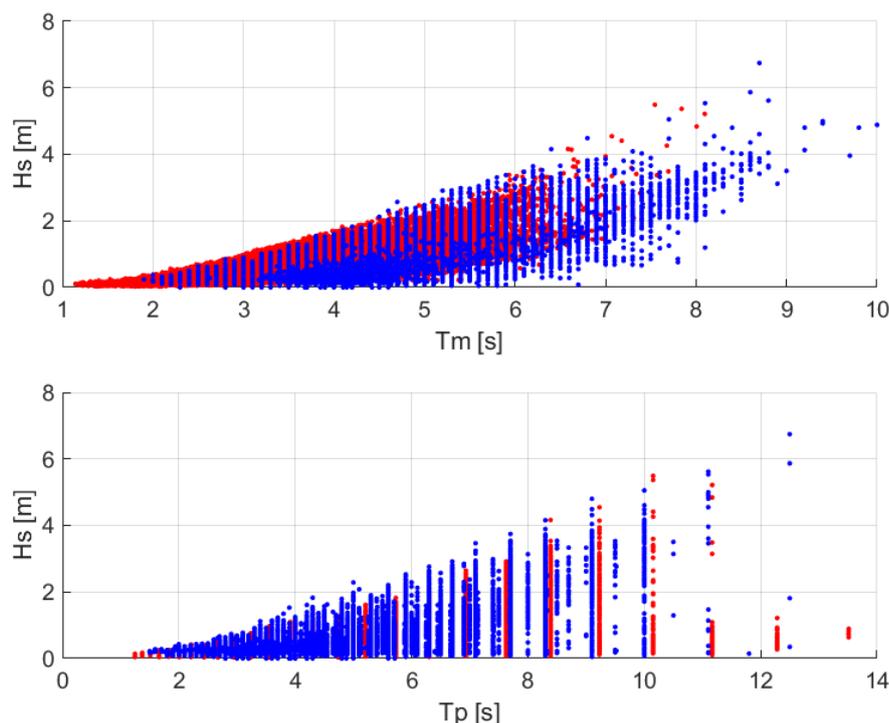


Figura 4.13: Confronto tra scatter Hs-Tm e Hs-Tp tra dati misurati e trasposti di onda e di hindcast – Fiumicino

4.4.3 Confronto tra gli estremi tra serie RON trasposta e CMEMS (Offshore Fiumicino)

Di seguito alla validazione della serie temporale è stato effettuato anche un confronto della statistica del lungo periodo confrontando i valori estremi che si ottengono dalla serie RON trasposta a largo di Fiumicino e i dati CMEMS estratti nello stesso punto. I confronti degli estremi si basano su valori ottenuti da varie metodologie

(Global Method, Peak Over Threshold) applicati alle due diverse serie temporali, considerando un periodo di 10 anni, in cui entrambe contenessero dati.

Di seguito vengono mostrati i valori estremi e le distribuzioni ottenute per ogni metodo applicato e i fattori correttivi trovati.

Tabella 4.3: Confronto Valori Estremi tra serie RON trasposta e CMEMS (Offshore Fiumicino) (Continua nelle Pagine Successive)

METODO	ESTREMI RON (max 10 anni = 6.74 m)	ESTREMI CMEMS (max 10 anni = 6.42 m)												
GM Weibull Classi 0.5 m No soglia														
OMNI	<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>10</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>4.89</td> <td>6.14</td> <td>7.36</td> </tr> </table>	1	10	100	4.89	6.14	7.36	<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>10</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>4.74</td> <td>6.02</td> <td>7.28</td> </tr> </table>	1	10	100	4.74	6.02	7.28
1	10	100												
4.89	6.14	7.36												
1	10	100												
4.74	6.02	7.28												
Fattore correttivo	<table border="1"> <tr> <td>$4.89/4.74=1.03$</td> </tr> <tr> <td>$6.14/6.02=1.02$</td> </tr> <tr> <td>$7.36/7.28=1.01$</td> </tr> </table>	$4.89/4.74=1.03$	$6.14/6.02=1.02$	$7.36/7.28=1.01$										
$4.89/4.74=1.03$														
$6.14/6.02=1.02$														
$7.36/7.28=1.01$														

METODO	ESTREMI RON (max 10 anni = 6.74 m)	ESTREMI CMEMS (max 10 anni = 6.42 m)												
GM Weibull All data >0.5														
OMNI	<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>10</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>4.60</td> <td>5.73</td> <td>6.82</td> </tr> </table>	1	10	100	4.60	5.73	6.82	<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>10</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>4.31</td> <td>5.39</td> <td>6.43</td> </tr> </table>	1	10	100	4.31	5.39	6.43
1	10	100												
4.60	5.73	6.82												
1	10	100												
4.31	5.39	6.43												
Fattore correttivo	<table border="1"> <tr> <td>$4.60/4.31=1.07$</td> </tr> <tr> <td>$5.73/5.39=1.06$</td> </tr> <tr> <td>$6.82/6.43=1.06$</td> </tr> </table>	$4.60/4.31=1.07$	$5.73/5.39=1.06$	$6.82/6.43=1.06$										
$4.60/4.31=1.07$														
$5.73/5.39=1.06$														
$6.82/6.43=1.06$														

METODO	ESTREMI RON (max 10 anni = 6.74 m)	ESTREMI CMEMS (max 10 anni = 6.42 m)												
POT EXPON Soglia=2m 48h														
OMNI	<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>10</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>3.89</td> <td>5.49</td> <td>7.09</td> </tr> </table>	1	10	100	3.89	5.49	7.09	<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>10</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>3.70</td> <td>5.34</td> <td>6.98</td> </tr> </table>	1	10	100	3.70	5.34	6.98
1	10	100												
3.89	5.49	7.09												
1	10	100												
3.70	5.34	6.98												
Fattore correttivo	<table border="1"> <tr> <td>$3.89/3.70=1.05$</td> </tr> <tr> <td>$5.49/5.34=1.03$</td> </tr> <tr> <td>$7.09/6.98=1.02$</td> </tr> </table>	$3.89/3.70=1.05$	$5.49/5.34=1.03$	$7.09/6.98=1.02$										
$3.89/3.70=1.05$														
$5.49/5.34=1.03$														
$7.09/6.98=1.02$														

METODO	ESTREMI RON (max 10 anni = 6.74 m)	ESTREMI CMEMS (max 10 anni = 6.42 m)
POT EXPON Soglia=2 m 72h		
OMNI	1 10 100 3.88 5.51 7.14	1 10 100 3.69 5.34 7.00
Fattore correttivo	3.88/3.69=1.05 5.51/5.34=1.03 7.14/7.00=1.02	

Dato che la distribuzione mostra un andamento che devia nella coda troppo sensibile ai pochi valori più alti è stato scelto di fittare la parte centrale della distribuzione (con GM). Con POT si ottengono valori estremi più alti.

I fattori correttivi per i dati CMEMS (tra 1% e il 7%) rientrano nell'intervallo di confidenza trovato con un'analisi di sensitività ottenuta con il metodo POT (5-13%).

Si suggerisce di applicare un coefficiente correttivo a tutta la serie CMEMS al largo di fiumicino del 3%.

4.4.4 Considerazioni riguardo ai Cambiamenti Climatici

E' stata inizialmente effettuata una semplice analisi dei massimi annuali (con la verifica che essi non si verificano a cavallo di due anni successivi e appartengano quindi alla stessa mareggiata): in Figura 4.14 è mostrato l'andamento dei massimi annuali nei 28 anni in cui si hanno i dati CMEMS. Il trend di 0.003 mm all'anno in 100 anni porta ad un incremento di 0.3 m.

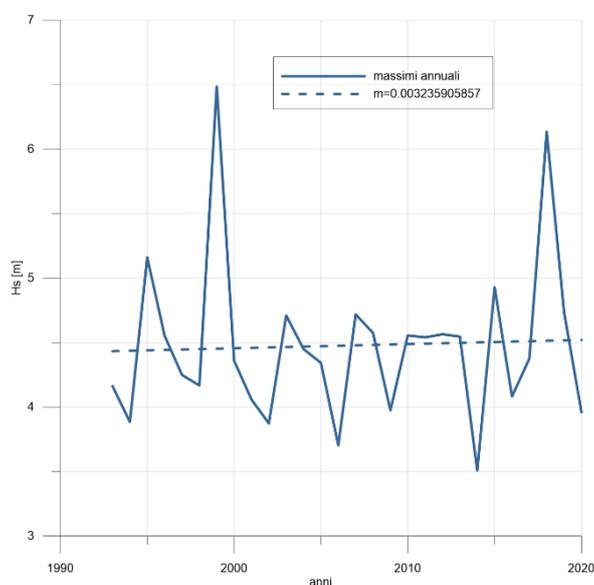


Figura 4.14: Analisi del Trend dei Massimi Annuali di Altezza d'Onda

La Figura 4.15 seguente invece mostra la variazione negli anni della percentuale di onde sopra le soglie di 0.5, 1,1.5, 2 e 2.5 m, e con la retta tratteggiata il trend, crescente o decrescente della percentuale di superamento.

Si evidenzia un generale trend crescente in quanto il numero di eventi sopra la soglia di 0.5 m è crescente. Gli articoli riportati in bibliografia evidenziano per il Mediterraneo una riduzione in frequenza degli eventi soprannominati Medicanes ma un loro aumento in intensità. Questo sembra confermato dall'aumento del numero di eventi superiori a 0.5 m, 2 m e 2.5m mentre una diminuzione degli eventi sopra una soglia media (1m e 1.5 m) che tendono a diminuire in frequenza.

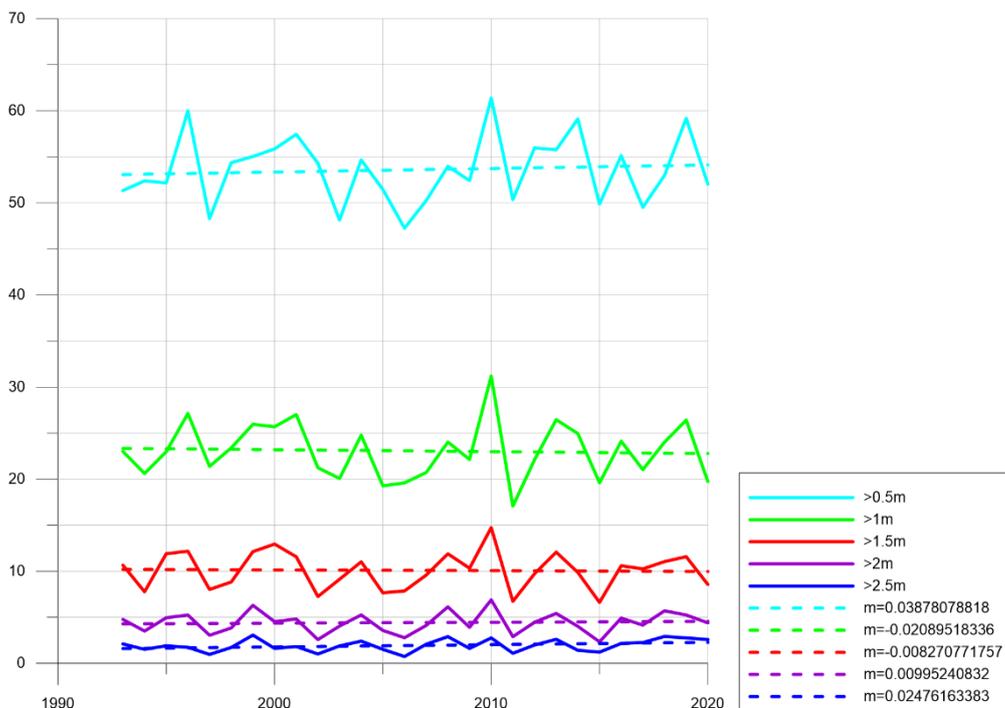


Figura 4.15: Analisi del Trend della Percentuale di Onde sopra Soglie

È stata successivamente svolta un'analisi statistica volta a individuare il trend dei valori estremi, considerando 3 periodi:

- ✓ 1994-2002;
- ✓ 1994-2011;
- ✓ 1994-2020.

I risultati di quest'analisi sono riportati in Tabella 4.4. Mentre i risultati della POT e del GM con i dati suddivisi in classi portano a un trend decrescente, in contrapposizione con quanto riporta la bibliografia, i risultati del confronto tra estremi centennali considerando i vari periodi selezionati si ottiene un trend dell'8% (ottenuto con estremi eccessivamente alti rispetto ai valori trovati dal confronto tra metodi già descritto) e un trend del 3% (questo trend è stato ottenuto con il confronto con il valore estremo centennale di 7.24m considerato attendibile in quanto molto simile agli estremi trovati anche con POT e AM).

Si noti che in bibliografia si trova conferma di trend di quest'ordine di grandezza per il Tirreno. I valori estremi centennali calcolati dal periodo 1961-1990, la proiezione 2021-2051 e 2071-2100 risultano di circa 8.4, 8.6 e 8.9 rispettivamente. I trend ottenuti sono del 2% tra primo e secondo periodo e di 3% tra secondo e terzo periodo.

Si ritiene che il trend trovato del 3% sia da considerare accettabile, in quanto conferma quanto ottenuto anche dall'analisi del trend dei massimi annuali (incremento di 30 cm in 100 anni): gli estremi trovati con la serie temporale solo del periodo 1994-2002 danno un estremo centennale di 7 metri. Gli estremi ottenuti dalla serie temporale completa 1994-2020 danno un estremo centennale di 7.24 metri. Il trend dei massimi annuali dell'intera serie (stimato in 30 cm di incremento in 100 anni) riflette l'incremento degli estremi (24 cm) ottenuto considerando la serie temporale di soli 9 anni rispetto alla serie totale.

Tabella 4.4: Confronto Valori Estremi di Onda per Decadi

Metodo	Info	Periodo	10	100	trend
GM WEIBULL	Tutti I dati soglia 1m	1994-2002	6.13	7.20	7.80/7.20= 1.08
		1994-2011	6.46	7.64	
		1994-2020	6.21	7.80	
	Tutti I dati soglia 0.5m	1994-2002	5.98	7.00	7.24/7.00= 1.03
		1994-2011	6.13	7.21	
		1994-2020	6.15	7.24	
	Classi da 0.5 No soglia	1994-2002	6.57	7.76	7.39/7.76= 0.95
		1994-2011	6.35	7.48	
		1994-2020	6.28	7.39	
	Classi da 0.1 Soglia 1m	1994-2002	6.68	7.94	7.49/7.94= 0.94
		1994-2011	6.41	7.58	
		1994-2020	6.35	7.49	
POT EXP	Soglia 1.2 – 12h	1994-2002		7.89	Le prove fatte con il POT mostrano sempre un trend descrescente.
	Soglia 1.6 – 24h			7.68	
	Soglia 1.4 – 48h			7.61	
	Soglia 1.8 – 72h			7.62	
	Soglia 2.0 – 12h	1994-2011		7.27	
	Soglia 2.0 – 24h			7.29	
	Soglia 2.2 – 48h			7.32	
	Soglia 2.0 – 72h			7.43	
	Soglia 1.8 – 48h	1994-2020		7.48	
	Soglia 2.2 – 12h			7.23	
	Soglia 2.2 – 24h			7.17	
	Soglia 2.4 – 48h			7.17	
	Soglia 2.4 – 72h			7.22	
	Soglia 1.8 – 48h			7.36	

4.4.5 Conclusioni validazione della serie CMEMS al largo di Fiumicino:

A conclusione della validazione dati di onda si suggerisce di calibrare la serie temporale CMEMS al largo di Fiumicino moltiplicando l'intera serie temporale per 1.06 (3% per ottimizzazione calibrazione in seguito ad analisi statistica tra RON e CMEMS +3% per tenere in considerazione l'effetto dei cambiamenti climatici).

4.5 DATI DI LIVELLO

Informazioni riguardo alla marea sono state estratte da Admiralty Tide Tables [1], per la stazione di Civitavecchia.

Le misure di livello sono state rilevate dalle stazioni di Anzio e Civitavecchia della Rete Mareografica Nazionale (RMN), ubicate rispettivamente alle seguenti coordinate e per i seguenti periodi:

- ✓ Civitavecchia: 42° 05' 38.25"N 11° 47' 22.73"E, 01.01.2010 - 05.09.2022;
- ✓ Anzio: 41° 26' 48.69"N 12° 38' 05.27" E, 01.12.2011 - 05.09.2022.

Per quanto riguarda i dati di livello, sono disponibili i dati ogni 10 minuti del livello del mare dal 03/12/2011 ad oggi.

Dal confronto delle due stazioni di misura (Figura 4.16) risulta evidente che i livelli misurati siano confrontabili. È stata selezionata e analizzata nelle fasi successive la serie di Anzio che risulta leggermente più cautelativa.

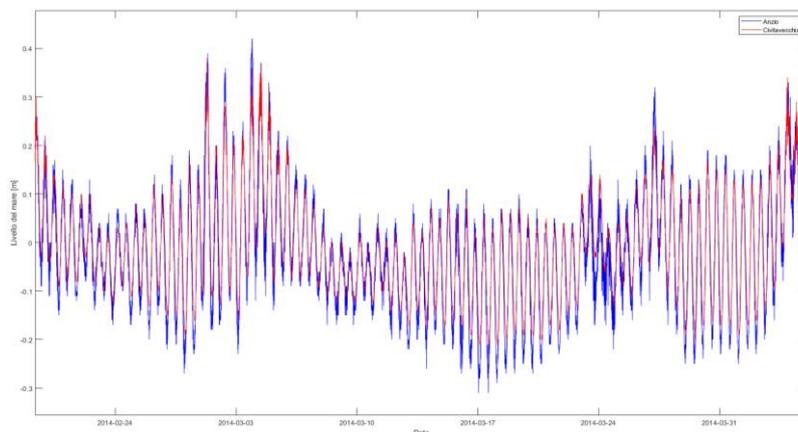


Figura 4.16: Confronto tra Misure di Livello del Mare delle Stazioni di Anzio e Civitavecchia

4.6 DATI DI CORRENTE

I dati di corrente sono stati estratti dagli archivi storici del modello numerico HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model). Il consorzio HYCOM fa parte di NOPP (National Ocean Partnership Program) del Global Ocean Data Assimilation Experiment (GODAE) degli Stati Uniti.

HYCOM è un modello di circolazione generale di equazioni primitive con caratteristiche isopiche nell'oceano aperto e stratificato, ma che utilizza l'equazione di continuità stratificata per effettuare una transizione dinamicamente liscia avvicinandosi alle zone costiere, e coordinate di livello z nello strato mescolato e / o nei mari non stratificati. Mantiene i vantaggi significativi di un modello isopico nelle regioni stratificate consentendo al contempo una maggiore risoluzione verticale vicino alla superficie e nelle aree costiere poco profonde, fornendo quindi una migliore rappresentazione della fisica dello strato superiore dell'oceano.

I dati coprono l'intero globo e includono i seguenti parametri a vari livelli lungo la colonna d'acqua:

- ✓ V_x componente est della velocità corrente;
- ✓ V_y componente nord della velocità attuale.

I dati sono disponibili su un grigliato di $1/12^\circ$, dal 01/2002 al 12/2012 (10 anni di valori giornalieri).

I dati raccolti si riferiscono alla corrente superficiale (6 m sotto il livello medio del mare) e alle coordinate $12^\circ 9.600'E$ $41^\circ 40.800'N$.

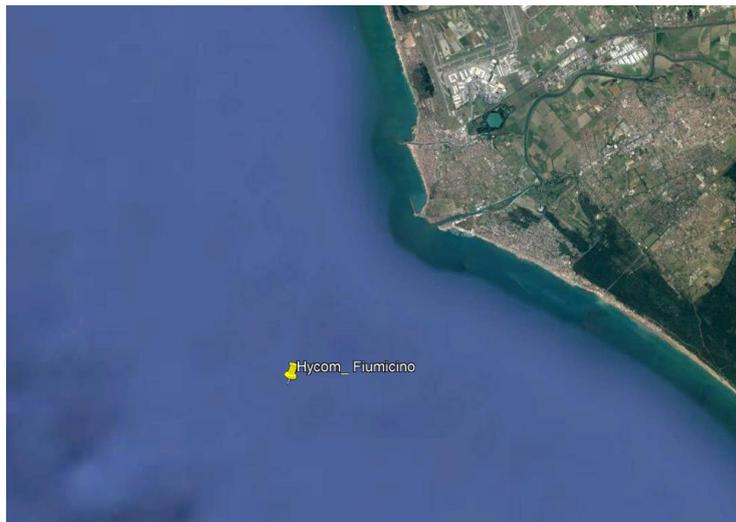


Figura 4.17: Posizione dei Dati di Corrente Hycom

4.7 BATIMETRIA

La batimetria dell'area di studio (Figura 4.16) è stata reperita da:

- ✓ Carte nautiche dal software IMC;
- ✓ Dati misurati forniti dal Cliente (campagna di misure 2022);
- ✓ Aree oggetto di dragaggio dagli schemi progettuali.

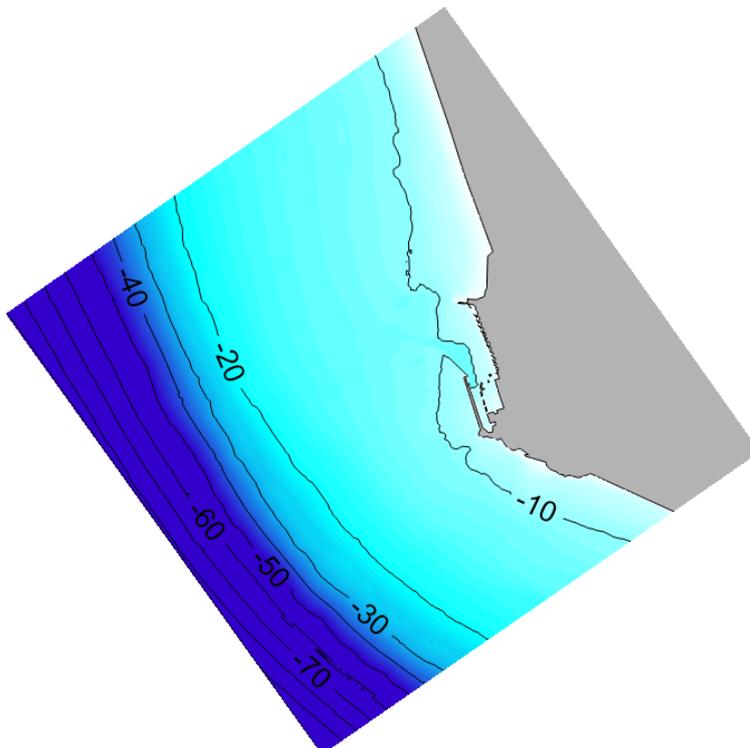


Figura 4.18: Batimetria dell'Area di Studio

5 CRITERI METODOLOGICI

Nel seguito vengono presentati i principali criteri metodologici utilizzati.

5.1 CRITERI GENERALI

La metodologia applicata nel presente studio consiste in un'analisi finalizzata alla definizione del clima tipico e dei valori estremi. I dati meteo-marini debbono essere rappresentativi dei fenomeni meteorologici che possono avvenire in periodi di tempo molto lunghi e quindi essere rappresentativi del clima medio del luogo a lungo termine e delle sue variabilità annuali e stagionali.

La metodologia descritta dipende quindi fortemente dal tipo e dalla quantità dei dati disponibili, dall'attendibilità del data-base, dalla conoscenza delle caratteristiche dinamiche dell'area, dalla disponibilità di tecniche numeriche per l'elaborazione dei dati e le successive simulazioni, dalle capacità interpretative dei fenomeni simulati.

La metodologia generale che viene adottata segue le linee guida delineate nelle principali normative nazionale e internazionali per la progettazione off-shore e consiste in:

- ✓ raccolta dei dati storici relativi all'area di studio: con "dati storici" ci si riferisce generalmente a serie temporali di dati anemologici (intensità e direzione del vento), di moto ondoso (altezza, periodo e direzione delle onde), di livello marino e di corrente;
- ✓ analisi dei dati storici ed individuazione delle caratteristiche del clima del luogo e del regime idrodinamico;
- ✓ comprensione dei fenomeni fisici tipici dell'area;
- ✓ stima dei valori estremi nell'area di studio;
- ✓ validazione dei dati di vento e valutazione del regime e dei valori estremi del vento per l'area di studio mediante analisi statistiche;
- ✓ validazione dei dati delle onde a largo mediante dati misurati e valutazione delle condizioni tipiche ed estreme delle onde a largo;
- ✓ propagazione del clima delle onde a costa tramite il modello spettrale di terza generazione SWAN (Simulating Waves Nearshore, **Appendice A**);
- ✓ valutazione delle onde estreme a costa, in termini di Hs e periodi d'onda associate.

Dopo aver fornito alcune informazioni generali sulla stima di valori estremi (nota anche come "analisi a lungo termine"), l'analisi dei diversi parametri (onde, vento, correnti) viene descritta in modo più dettagliato.

5.2 STIMA DEI VALORI ESTREMI

Nell'ambito dell'ingegneria off-shore e costiera, la definizione dei parametri meteo-marini di progetto è basata sulla stima dei valori estremi di una grandezza (vento, moto ondoso, livello del mare, corrente), cioè di valori che abbiano associato un rischio di superamento nelle varie fasi di messa in opera e vita operativa delle strutture in progetto.

L'assunzione di base è che la sequenza temporale misurata dei valori di una data grandezza possa venire estrapolata, entro certe ipotesi, al di là del periodo di misura per valutarne i valori estremi.

La stima degli estremi comporta la definizione dei parametri caratteristici della distribuzione statistica dei valori rilevati, caratteristiche a priori ignote sia per quanto riguarda la forma funzionale che per quanto riguarda i parametri della distribuzione che descrive tale forma funzionale.

A posteriori la scelta può essere giustificata con i metodi di analisi di "bontà del fitting" tra la distribuzione dedotta dai dati misurati e distribuzioni di probabilità che, negli anni, sono state proposte ed utilizzate. La consuetudine ha portato poi ad una certa standardizzazione nell'uso di tali distribuzioni teoriche: in tal senso la stima dei valori estremi di vento, onde e correnti viene effettuata con la distribuzione di Weibull o, più raramente, con quella di Gumbel, quest'ultima utilizzata soprattutto quando siano disponibili solo i massimi rilevati.

La teoria dei valori estremi fornisce dunque stime della probabilità che si verifichino, in un certo periodo temporale, valori estremi di un determinato parametro.

Dato un insieme N di valori estremi di una grandezza, sia $F(x)$ la distribuzione estrema che meglio si adatta ad essi (il ragionamento è comunque indipendente dal tipo di distribuzione considerato).

Il periodo di ritorno $T(x)$ dell'evento x è definito come il numero di anni entro i quali x viene superato mediamente una volta. Allora $T(x)$ è collegato a $F(x)$ da:

$$T(x) = \frac{1}{[1 - F(x)]\lambda} \quad (5.1)$$

dove λ è il numero medio di eventi annui.

La probabilità che il superamento di x avvenga entro un anno è $1/T(x)$, la probabilità di non superamento è $[1 - 1/T(x)]$, e quindi la probabilità che x non sia superato entro t anni è data da:

$$P^-(x) = \left[1 - \frac{1}{T(x)}\right]^t \quad (5.2)$$

(Si indica con P^- la probabilità di non-superamento, con P^+ quella di superamento. È evidente che $P^- + P^+ = 1$). Con l'esclusione dei più bassi valori di T , la (5.2) è sostituibile con ottima precisione [2] con:

$$P^-(x) = e^{-\frac{t}{T(x)}} \quad (5.3)$$

È evidente che per applicare la (4.3) è necessario conoscere $T(x)$, e quindi $F(x)$.

Per $t=T$ si ottiene $P=63.2\%$: tale valore è dunque la probabilità media o "rischio medio" associato ad x nel tempo T .

Per $t < T$ tale rischio è ovviamente ridotto: ad es. per $t=30$ anni e $T=100$ anni la probabilità di superamento è del 25.9% e così via.

Nel caso attuale si è ritenuto utile fornire i valori estremi per i periodi di ritorno di 1, 5, 10, 100 e 350 anni, tipicamente utilizzati nella progettazione di opere costiere e offshore.

5.3 VENTO

Nel seguito si riportano alcune considerazioni. Le serie temporali del vento ECMWF-ERA5 contengono dati orari (24 dati al giorno) e sono da considerarsi rappresentative dei valori di vento medi su 10 minuti a 10 m s.l.m..

5.3.1 Profilo della Velocità del Vento

Secondo lo standard di riferimento ISO 19901-1 [3], il profilo della velocità media del vento $U_w(z)$ è descritto più accuratamente da un profilo logaritmico piuttosto che da una legge di potenza. In riferimento alla velocità del vento orario $U_w,1h(z)$, il profilo logaritmico che si raccomanda 'è il seguente:

$$U_w,1h(z) = U_{w0} \left[1 + C \ln \frac{z}{z_r}\right] \quad (5.4)$$

dove

$U_w,1h(z)$ velocità del vento orario alla quota z al di sopra del livello del mare

U_{w0} velocità del vento orario alla quota di riferimento z_r e velocità di riferimento

C è un coefficiente dimensionale il cui valore è dipendente dalla quota di riferimento e dalla velocità del vento U_{w0} . Per $z_r = 10$ m:

$$C = (0.0573) (1 + 0.15 U_{w0})^{1/2}$$

dove U_{w0} è espresso in metri al secondo (m/s)

z quota sul livello del mare

z_r quota di riferimento sul livello del mare ($z_r = 10$ m)

Le equazioni sono valide con le unità di misura del SI, metri e secondi.

5.3.2 Durata del Vento

Nell'ingegneria offshore è usuale fornire le velocità medie del vento associate a diverse durate medie (cioè 1 ora, 10 e 1 minuto, 3 secondi). In questo studio abbiamo seguito ISO [3]: per calcolare i venti rappresentativi di durate inferiori a 1 ora, partendo dalla velocità oraria del vento $U_{w,1h}(z)$ derivata da eq. [5. 4], la velocità media del vento per tempi medi inferiori a 1 ora può essere derivata come segue:

$$U_{w,T}(z) = U_{w,1h}(z) [1-0.41 I_u(z) \ln(T/T_0)] \quad (5.5)$$

in cui:

$U_{w,T}(z)$ è la velocità del vento all'altezza z sopra il livello medio del mare, mediata su un intervallo di tempo $T < 3600$ s

$U_{w,1h}(z)$ è la velocità del vento oraria all'altezza z sopra il livello medio del mare (vedi eq. 5.4)

T è l'intervallo di calcolo medio temporale con $T < T_0 = 3600$ s

T_0 è l'intervallo medio del tempo di riferimento standard per la velocità del vento di 1 h = 3600 s

$I_u(z)$ è l'intensità della turbolenza del vento ad un'altezza z sopra il livello medio del mare che dipende dalla velocità media del vento di 1 ora a 10 m a. s. l. e qui indicato come U_{w0} :

$$I_u(z) = (0.06) [1 + 0.043 U_{w0}] (z/z_0)^{-0.22} \quad (5.6)$$

Le equazioni di cui sopra sono valide solo nelle unità SI di metri e secondi.

5.4 MOTO ONDOSO

5.4.1 Relazioni fra le Grandezze Caratteristiche del Moto Ondoso

Generalmente i periodi associati all'altezza d'onda significativa H_s sono il "periodo significativo" T_s , calcolato come media dei periodi associati alle altezze con cui viene calcolata l'altezza d'onda significativa, e il periodo di picco T_p .

L'altezza d'onda significativa H_s è solitamente definita nel "dominio del tempo", attraverso l'analisi di "zero-crossing", come media di 1/3 delle onde più alte ($H_{1/3}$).

Ai fini pratici $H_s = H_{1/3}$ può essere sostituita, senza grandi differenze, con H_{m0} , l'altezza d'onda calcolata dal momento spettrale di ordine 0 e, quindi, rappresentativa dell'energia dello spettro.

La definizione dell'altezza d'onda massima H_{max} da associare all'onda significativa estrema H_s viene in generale effettuata secondo la relazione:

$$H_{max} = 1.81 H_s \quad (5.7)$$

Tale relazione deriva dal considerare valida la distribuzione teorica di Rayleigh [4]. La natura "random" dell'onda massima è tale che records di onde individuali caratterizzati dallo stesso valore di H_s possono contenere valori di H_{max} differenti. La stima deterministica dei valori di H_{max} da treni d'onde individuali è quindi impossibile.

Si utilizza allora la distribuzione di Rayleigh per stimare il valore più probabile di H_{max} contenuto in un record, valore dato dalla (5.7).

La casualità delle onde massime può indurre incertezze nell'ingegneria delle strutture; per evitare tale fatto è d'uso, nella progettazione, stimare un valore di H_{max} sulla base sia della durata di un particolare stato di mare che sul numero di onde singole.

L'analisi dei dati d'onda CMEMS mostra che il periodo di picco T_p associato a H_s può essere assunto con una distribuzione lognormale con parametri di distribuzione che dipendono da H_s , come suggerito dagli standard internazionali [3].

La funzione di densità di probabilità condizionale $f(T_p | H_s)$ è quindi:

$$f_{Tp|Hs}(t|h) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (5.8)$$

con parametri di distribuzione μ e σ^2 che variano con h [5] I parametri di distribuzione sono prima stimati dalle serie temporali T_p per diverse classi di H_s (in questo studio 0,25 m di larghezza) separatamente, come suggerito da Haver & Winterstein [6].

Per calcolare la media dell'errore di stima statistica nelle singole classi ed estrapolare oltre l'intervallo di valori osservati, vengono applicate le seguenti relazioni:

$$\mu(h) = a_1 + a_2 h^{a_3} \quad (5.9)$$

$$\sigma^2(h) = b_1 + b_2 \exp[-b_3 h^{b_4}] \quad (5.10)$$

Dall'ipotesi della distribuzione lognormale, segue che la media e la moda del periodo di picco corrispondono a:

$$T_{mean} = e^{(\mu + \sigma^2/2)} \quad T_{mode} = e^{(\mu - \sigma^2)} \quad (5.11)$$

$$T_{mode} = e^{(\mu - \sigma^2)} \quad T_{mode} = e^{(\mu - \sigma^2)} \quad (5.12)$$

L'intervallo di variabilità del 90% del periodo di picco per un valore fisso di H_s si trova tra i valori dei corrispondenti frattili del 5% e del 95%. Tali valori sono calcolati mediante la funzione di distribuzione cumulativa lognormale $FT_p|H_s$ è uguale a 0,05 e 0,9:

$$T_{5\%} = \exp(\mu - 1.96\sigma) \quad (5.13)$$

$$T_{95\%} = \exp(\mu + 1.96\sigma)$$

I coefficienti corrispondenti di eq. [5.11-5.13] sono riassunti nella Tabella 5.1.

Tabella 5.1: Coefficienti per Lognormale

Offshore Fiumicino			
$a_1=$	-1212.152	$b_1=$	0.003725
$a_2=$	1213.8653	$b_2=$	0.33692
$a_3=$	0.00027353	$b_3=$	2.0255
		$b_4=$	0.7793

Nella Figura 5.1 sono riportate le equazioni trovate dalla relazione H_s - T_p .

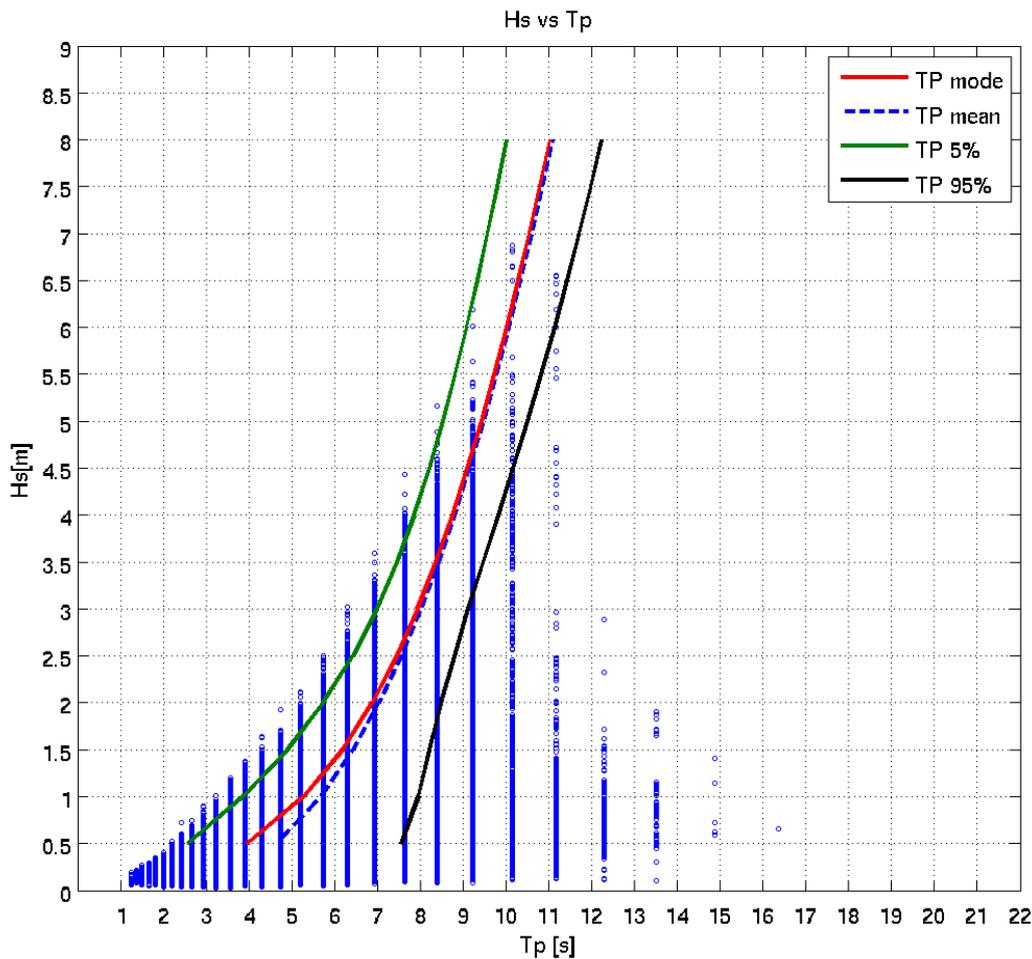


Figura 5.1: Distribuzione Altezza d’Onda Significativa VS Periodo di Picco Omnidirezionale – Offshore Fiumicino

5.5 LIVELLO MARINO

La genesi delle variazioni del livello marino è piuttosto complessa, poiché molteplici sono i fenomeni che possono generare o modificare il movimento delle masse d’acqua. Supponendo che ogni fenomeno causi un singolo effetto possiamo pensare al livello come una semplice sovrapposizione di più vettori del tipo:

$$V = \sum \eta_i \tag{5.14}$$

La serie temporale $\eta(t)$ del livello può essere considerata, ad ogni istante, il risultato della sovrapposizione lineare di due parti fra loro indipendenti, vale a dire la parte deterministica e la parte stocastica:

$$\eta(t) = \eta_T(t) + \eta_S(t) \tag{5.15}$$

La parte deterministica è costituita dall’oscillazione di marea, mentre la parte stocastica η_S è dovuta principalmente agli effetti indotti dal vento e dai gradienti barici.

5.6 CORRENTI

Non esistendo misure di corrente, il regime dinamico può essere ricostruito a partire dai dati di vento e di marea. Analogamente a quanto descritto per il livello del mare, la corrente totale può essere rappresentata come una sovrapposizione di vettori del tipo:

$$V = \sum V_i \quad (5.16)$$

Questa rappresentazione, che presuppone la linearità e l'indipendenza dei differenti fenomeni, non è ovviamente rigorosa: essa, tuttavia, rappresenta un mezzo valido, sufficientemente attendibile e ragionevolmente approssimato, per impostare lo studio delle correnti marine. Nel caso specifico, i tipi di corrente possono essere fatti derivare da due gruppi completamente diversi di cause, ed essere di conseguenza raggruppati in due categorie fondamentali:

- ✓ la componente deterministica della corrente;
- ✓ la componente non deterministica o stocastica della corrente.

Ad un dato istante il valore $V(t)$ della corrente supponendo trascurabili i termini d'interazione, può quindi essere considerato il risultato della sovrapposizione lineare di due parti fra loro indipendenti:

$$V(t) = V_T(t) + V_S(t) \quad (5.17)$$

La parte deterministica è costituita dalla corrente di marea. La parte stocastica V_S è a sua volta esprimibile come somma di due termini:

$$V_S(t) = V_{Wind}(t) + V_{Slope}(t) \quad (5.18)$$

vale a dire le componenti dovute al vento e quelle da pendenza (slope), dovute alla presenza della costa.

5.6.1 Profilo Verticale di Corrente

La definizione di un profilo di velocità tipico valido in tutte le condizioni non è certo possibile in generale, in quanto l'andamento verticale del campo di velocità è strettamente legato alle caratteristiche circolatorie generali dell'area in esame, alla stagione considerata, alla presenza o meno di stratificazioni del campo di densità, alle continue variazioni dovute all'oscillazione di marea, a fenomeni transienti quali le perturbazioni meteorologiche, fenomeni a piccola scala, etc.

Di conseguenza andrebbe valutato un profilo tipico, o meglio un insieme di profili tipici, per ogni profondità e per ogni mese.

Poiché localmente, alle basse profondità d'interesse, il sistema è essenzialmente barotropico, ci si limita quindi a prendere in esame un profilo verticale di tipo barotropico, caratterizzato cioè da omogeneità verticale del campo di densità (tale situazione corrisponde, ai fini pratici, alla condizione più energetica).

Per quanto concerne il profilo verticale della corrente, essendo in acque costiere si può utilizzare un "power profile" [4] caratterizzato cioè da una relazione del tipo:

$$\frac{V_{z1}}{V_{z2}} = \left(\frac{z_1}{z_2}\right)^{1/n} \quad (5.19)$$

dove V_{z1} è la velocità di corrente al livello z_1 e V_{z2} è la velocità di corrente al livello z_2 , ed n un valore desumibile dai dati sperimentali. Tale coefficiente, per acque basse o intermedie (<100 m) assume in generale valori di n variabili da 4 a 7.

Tenuto conto che non esistono dati locali sul decadimento verticale della velocità di corrente è preferibile adottare il valore $n = 7$, leggermente più cautelativo rispetto agli altri.

6 REGIME ANEMOLOGICO

Di seguito sono riportati i climi anemologici annuali e mensili, le frequenze di superamento di predeterminate soglie di velocità del vento, le persistenze e i valori estremi.

6.1 CONDIZIONI TIPICHE

La Tabella 6.1 e la Figura 6.1 riportano la distribuzione di frequenze (%) annuali di accadimento della velocità del vento (espressa in nodi) rispetto alla direzione di provenienza. Circa il 99% degli eventi è caratterizzato da una velocità inferiore o al più uguale a 25 nodi. Gli eventi che ricadono nelle classi di velocità massime 40 – 50 nodi hanno invece frequenze di accadimento minori di 0.01%. I venti prevalenti provengono dai settori direzionali 150°N (circa l'11%), 0°N (circa il 9%) e 270°N (circa il 9%).

Le frequenze di accadimento mensili sono riportate da Tabella 6.2 a Tabella 6.13 e da Figura 6.2 a Figura 6.3. Ottobre è il mese che presenta i massimi valori di velocità del vento ricadenti nella classe 45 – 50 nodi, agosto è invece il mese più calmo. Nel periodo novembre – marzo il vento proviene prevalentemente da nord - nord est e da sud est, nel resto dell'anno da ponente, con esclusione di ottobre che presenta un'accentuata provenienza di eventi da sud est.

Tabella 6.1: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Annuale

Dir [N]	Velocità del vento (nodi) - Annuale ERA5 12.25°E 41.75°N											TOT.
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	>50	
0	4.42	1.67	1.37	1.11	0.59	0.19	0.02	*	*			9.36
30	4.93	2.35	1.51	0.77	0.22	0.05	*					9.83
60	4.85	1.05	0.18	0.02	0.01	*						6.12
90	4.12	0.88	0.29	0.10	0.03	*	*					5.42
120	3.92	2.07	1.48	0.96	0.42	0.09	0.01	*				8.97
150	3.64	3.06	2.50	1.47	0.61	0.13	0.03	*	*	*		11.43
180	3.40	2.48	1.07	0.45	0.16	0.07	0.02	*				7.64
210	3.53	2.25	0.89	0.38	0.15	0.05	0.02	*				7.27
240	3.72	2.62	1.17	0.80	0.47	0.16	0.04	*				8.98
270	4.27	3.04	1.20	0.45	0.23	0.10	0.02	*	*			9.31
300	4.75	2.37	1.10	0.30	0.08	0.03	0.01	*				8.64
330	4.52	1.56	0.65	0.21	0.06	0.02	*	*	*			7.03
TOT.	50.08	25.41	13.41	7.00	3.02	0.89	0.16	0.01	*	*		100.00

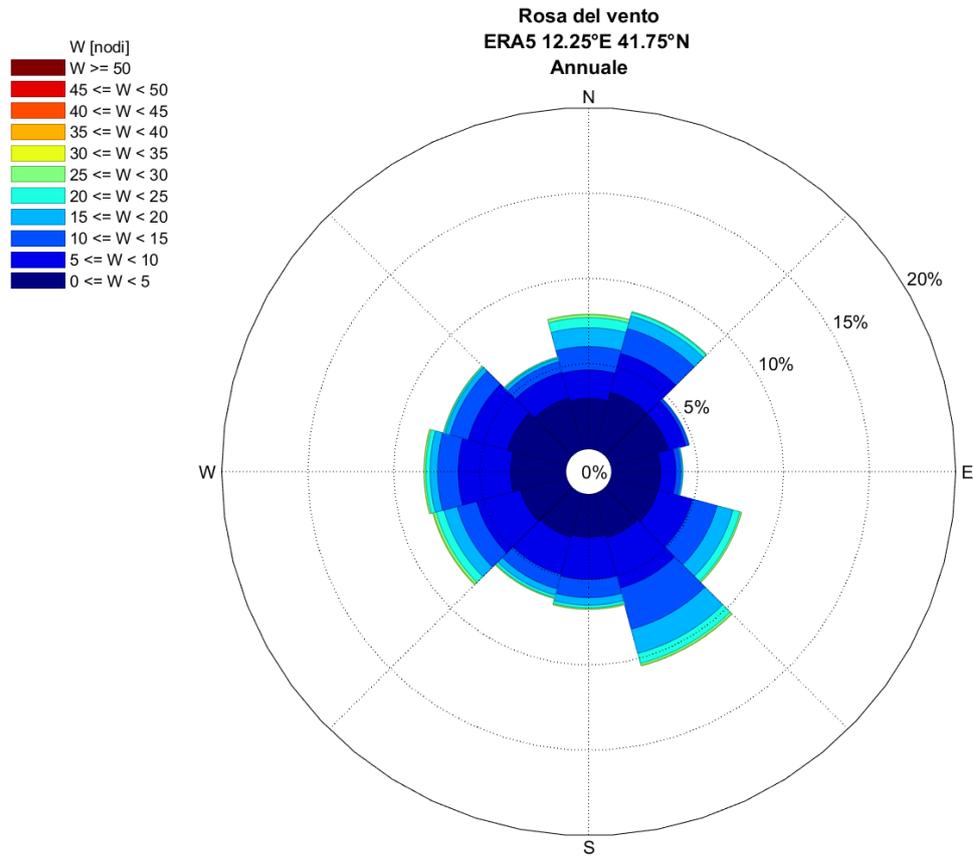


Figura 6.1: Rosa Annuale del Vento

Tabella 6.2: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Gennaio

Dir [N]	Velocità del vento (nodi) - Gennaio ERA5 12.25°E 41.75°N											TOT.
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	>50	
0	5.39	2.53	1.87	1.60	1.44	0.58	0.04					13.45
30	6.93	4.67	2.96	1.62	0.58	0.15	*					16.92
60	6.31	2.11	0.51	0.02	*							8.95
90	4.80	1.62	0.71	0.18	0.01	*						7.31
120	3.37	2.91	2.50	1.59	0.63	0.11	*					11.11
150	3.14	2.28	2.27	1.82	0.71	0.20	0.04					10.45
180	2.20	1.41	0.90	0.51	0.22	0.05	0.01					5.29
210	1.87	1.24	1.31	0.65	0.32	0.06	0.01					5.46
240	1.43	1.07	1.15	0.87	0.57	0.24	0.13	0.01				5.47
270	1.47	0.38	0.52	0.46	0.43	0.22	0.07	*				3.55
300	2.45	0.99	0.54	0.29	0.17	0.11	0.05	0.01				4.62
330	3.90	2.01	0.89	0.38	0.15	0.07	*					7.40
TOT.	43.26	23.23	16.11	10.00	5.25	1.78	0.35	0.02				100.00

Tabella 6.3: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Febbraio

Dir [N]	Velocità del vento (nodi) - Febbraio ERA5 12.25°E 41.75°N											TOT.
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	>50	
0	4.02	2.65	2.54	2.24	1.13	0.46	0.03					13.06
30	5.01	4.06	2.63	1.35	0.33	0.03						13.42
60	5.11	1.59	0.21	0.04								6.95
90	4.54	1.33	0.40	0.23	0.06							6.56
120	3.66	2.22	1.67	1.32	0.85	0.14	0.02					9.89
150	3.11	2.77	2.64	1.63	0.57	0.15	0.03					10.90
180	2.94	2.04	1.38	0.74	0.28	0.10	0.01					7.51
210	2.50	1.58	1.02	0.55	0.24	0.08	0.05					6.01
240	2.24	1.24	1.06	1.06	0.62	0.30	0.03					6.54
270	2.92	0.83	0.46	0.45	0.35	0.25	0.06	*				5.31
300	3.42	2.02	0.63	0.30	0.12	0.11	0.02	0.01				6.63
330	3.46	2.24	1.00	0.38	0.11	0.04	0.01					7.22
TOT.	42.93	24.57	15.63	10.27	4.66	1.66	0.26	0.01				100.00

Tabella 6.4: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Marzo

Dir [N]	Velocità del vento (nodi) - Marzo ERA5 12.25°E 41.75°N											TOT.
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	>50	
0	3.71	1.94	1.93	1.87	1.11	0.37	0.05					10.98
30	4.27	2.78	2.25	0.97	0.32	0.07	*					10.68
60	4.73	1.18	0.15	0.04	0.03	0.01						6.14
90	3.88	0.93	0.22	0.14	0.10	0.01	0.01					5.29
120	3.64	2.17	1.53	1.10	0.63	0.32	0.02					9.41
150	3.16	3.23	2.81	1.46	0.78	0.21	0.05					11.71
180	3.30	2.54	1.25	0.54	0.18	0.07	0.03					7.91
210	3.42	2.03	1.18	0.42	0.16	0.05	*					7.27
240	3.38	1.91	1.11	0.99	0.62	0.19	0.04	0.01				8.25
270	3.67	2.37	0.86	0.55	0.26	0.09	0.02					7.83
300	3.91	2.57	1.22	0.31	0.08	0.03	*					8.13
330	3.59	1.44	0.87	0.38	0.08	0.06	*					6.41
TOT.	44.67	25.11	15.37	8.77	4.36	1.49	0.22	0.01				100.00

Tabella 6.5: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Aprile

Dir [N]	Velocità del vento (nodi) - Aprile ERA5 12.25°E 41.75°N											TOT.
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	>50	
0	3.52	1.50	1.40	1.08	0.29							7.79
30	4.09	1.74	1.15	0.51	0.05							7.54
60	3.98	0.75	0.12	0.04								4.90
90	3.78	0.58	0.29	0.09	0.03							4.76
120	4.09	2.31	1.61	1.11	0.48	0.15	0.01					9.77
150	3.70	3.79	3.16	2.17	0.89	0.09						13.79
180	3.60	3.15	1.26	0.31	0.08	0.02						8.42
210	4.09	2.49	0.76	0.39	0.13	0.03						7.89
240	3.86	2.67	1.54	1.05	0.59	0.09						9.80
270	4.19	3.26	1.34	0.57	0.21	0.05	*					9.62
300	4.06	2.82	1.70	0.42	0.04	*						9.04
330	3.62	1.84	0.88	0.24	0.09							6.67
TOT.	46.58	26.91	15.21	7.98	2.89	0.42	0.02					100.00

Tabella 6.6: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Maggio

Dir [N]	Velocità del vento (nodi) - Maggio ERA5 12.25°E 41.75°N											TOT.
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	>50	
0	4.46	1.31	1.31	0.51	0.08	0.01						7.66
30	4.19	1.33	0.63	0.11	0.01							6.27
60	3.84	0.41	0.06	*								4.33
90	3.41	0.42	0.14		*							3.97
120	4.04	1.83	0.95	0.40	0.10	0.01	*					7.34
150	4.13	3.80	2.45	1.07	0.22	0.01	*					11.69
180	4.18	3.59	1.30	0.26	0.04	0.01						9.38
210	4.54	2.80	0.66	0.17	0.06	0.01						8.24
240	4.99	3.26	1.31	0.46	0.24	0.20	0.03					10.49
270	5.86	4.82	1.53	0.24	0.12	0.04	0.01					12.63
300	5.94	3.07	1.61	0.26	0.06							10.94
330	4.87	1.40	0.62	0.17	*							7.06
TOT.	54.45	28.05	12.58	3.66	0.93	0.29	0.05					100.00

Tabella 6.7: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Giugno

Dir [N]	Velocità del vento (nodi) - Giugno ERA5 12.25°E 41.75°N											TOT.
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	>50	
0	4.18	1.15	0.70	0.35	0.01							6.39
30	3.56	0.66	0.28	0.06	0.01							4.57
60	3.07	0.12	0.03									3.22
90	3.04	0.22	0.06	0.01								3.33
120	3.64	1.04	0.41	0.17	0.02							5.28
150	4.14	2.79	2.22	1.12	0.28	0.03						10.58
180	4.37	3.27	0.91	0.14	*							8.69
210	5.20	3.49	0.67	0.11	*							9.47
240	6.16	4.93	0.90	0.38	0.13	0.02	*					12.52
270	6.90	5.99	2.09	0.35	0.09	*						15.43
300	7.18	3.46	1.73	0.32	0.02							12.70
330	6.03	1.24	0.46	0.09								7.82
TOT.	57.46	28.36	10.47	3.10	0.57	0.05	*					100.00

Tabella 6.8: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Luglio

Dir [N]	Velocità del vento (nodi) - Luglio ERA5 12.25°E 41.75°N											TOT.
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	>50	
0	4.16	0.93	0.64	0.27	0.05							6.07
30	3.39	0.73	0.36	0.04								4.51
60	2.85	0.17	0.01									3.02
90	2.69	0.14	*									2.84
120	3.48	0.73	0.28	0.06	0.01							4.56
150	4.29	2.81	1.71	0.80	0.13							9.74
180	4.08	3.04	0.89	0.13	0.01							8.14
210	4.47	3.48	0.45	0.03								8.43
240	5.73	5.43	0.71	0.18	0.08	0.03	0.01					12.18
270	7.46	6.75	2.63	0.37	0.11	0.01						17.34
300	8.59	3.80	1.99	0.51	0.03							14.92
330	6.27	1.53	0.38	0.07	0.02							8.26
TOT.	57.45	29.56	10.04	2.45	0.44	0.04	0.01					100.00

Tabella 6.9: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Agosto

Dir [N]	Velocità del vento (nodi) - Agosto ERA5 12.25°E 41.75°N											TOT.
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	>50	
0	4.76	1.03	0.68	0.27	0.03	0.01						6.78
30	3.91	0.84	0.40	0.09								5.25
60	3.06	0.28										3.35
90	3.02	0.12	0.01									3.14
120	3.92	0.87	0.31	0.09	0.02							5.21
150	4.04	2.53	1.59	0.64	0.23	0.02						9.07
180	4.33	2.79	0.84	0.12	0.01							8.10
210	5.12	3.59	0.56	0.04	0.01	0.01						9.32
240	5.77	4.50	0.83	0.34	0.09	0.02						11.55
270	7.19	6.43	2.20	0.37	0.11	0.03						16.33
300	8.10	3.72	1.52	0.22	0.01							13.57
330	6.67	1.20	0.41	0.05		*						8.33
TOT.	59.90	27.91	9.36	2.23	0.52	0.09						100.00

Tabella 6.10: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Settembre

Dir [N]	Velocità del vento (nodi) - Settembre ERA5 12.25°E 41.75°N											TOT.
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	>50	
0	5.01	1.32	0.88	0.60	0.22	0.01						8.05
30	5.51	1.77	0.94	0.31	0.03							8.56
60	5.46	0.63	0.03									6.11
90	4.36	0.40	0.10	0.03								4.89
120	4.51	1.61	1.20	0.75	0.17	0.01						8.24
150	4.11	3.15	2.56	1.55	0.40	0.02	*					11.80
180	3.94	2.54	0.90	0.26	0.04							7.68
210	4.23	2.09	0.62	0.17	0.02							7.13
240	5.01	2.74	1.26	0.79	0.36	0.05	0.01					10.22
270	5.18	3.64	1.02	0.46	0.15	0.05	0.01					10.52
300	5.65	2.97	0.96	0.22	0.04							9.83
330	5.24	1.20	0.42	0.08	0.04	*						6.99
TOT.	58.21	24.06	10.88	5.22	1.45	0.15	0.02					100.00

Tabella 6.11: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Ottobre

Dir [N]	Velocità del vento (nodi) - Ottobre ERA5 12.25°E 41.75°N											TOT.
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	>50	
0	4.21	1.07	0.97	0.95	0.64	0.02	0.01					7.86
30	5.47	1.89	1.30	0.95	0.15							9.76
60	6.57	0.98	0.22	0.03	*							7.80
90	5.58	0.91	0.23	0.09	0.02							6.83
120	4.81	3.33	2.49	1.56	0.67	0.09	0.01	*				12.97
150	4.21	4.16	3.67	1.96	0.89	0.15	0.01		0.01	0.01		15.07
180	4.07	2.48	0.92	0.59	0.18	0.08	0.02					8.34
210	3.70	1.72	0.93	0.39	0.15	0.04	0.03	*				6.96
240	3.35	1.28	1.19	0.75	0.54	0.10	0.01					7.23
270	3.69	0.89	0.48	0.43	0.19	0.05	0.01					5.75
300	3.66	1.54	0.45	0.14	0.03							5.83
330	3.70	1.20	0.53	0.14	0.02							5.58
TOT.	53.04	21.44	13.39	7.99	3.49	0.54	0.09	0.01	0.01	0.01		100.00

Tabella 6.12: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Novembre

Dir [N]	Velocità del vento (nodi) - Novembre ERA5 12.25°E 41.75°N											TOT.
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	>50	
0	4.67	1.86	1.35	1.28	0.79	0.20	0.01					10.16
30	5.90	3.52	2.21	1.22	0.52	0.06	*					13.45
60	6.29	1.90	0.43	0.03	0.01							8.66
90	5.13	1.89	0.57	0.21	0.05							7.84
120	4.18	2.86	2.90	2.04	1.01	0.17	0.04	0.01				13.21
150	3.07	3.22	2.67	2.00	1.24	0.40	0.08	0.01	*			12.69
180	2.20	1.58	1.27	1.09	0.44	0.26	0.07	0.01				6.90
210	1.90	1.34	1.21	0.64	0.36	0.19	0.05	*				5.70
240	1.50	1.30	1.74	1.40	0.76	0.27	0.07	0.03				7.06
270	1.78	0.64	0.72	0.50	0.36	0.18	0.03					4.21
300	2.63	0.73	0.31	0.24	0.11	0.03						4.04
330	3.84	1.39	0.61	0.18	0.06	0.01						6.09
TOT.	43.09	22.21	15.99	10.83	5.70	1.77	0.36	0.05	*			100.00

Tabella 6.13: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – Dicembre

Dir [N]	Velocità del vento (nodi) - Dicembre ERA5 12.25°E 41.75°N											TOT.
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	>50	
0	4.93	2.83	2.18	2.30	1.27	0.58	0.07		*			14.15
30	6.93	4.22	3.04	1.96	0.64	0.23	0.01					17.03
60	6.98	2.53	0.39	0.06	0.02							9.98
90	5.21	2.02	0.79	0.22	0.06	*						8.29
120	3.78	2.94	1.94	1.38	0.47	0.13	0.02	0.01				10.66
150	2.53	2.19	2.26	1.45	0.92	0.30	0.09	0.01	*			9.76
180	1.64	1.26	0.98	0.70	0.42	0.24	0.13	0.03				5.39
210	1.27	1.16	1.27	1.03	0.35	0.18	0.06	0.01				5.32
240	1.15	1.09	1.30	1.31	1.03	0.46	0.10	0.01				6.45
270	0.92	0.45	0.51	0.58	0.43	0.19	0.04	0.01	0.01			3.14
300	1.46	0.73	0.47	0.32	0.26	0.07	0.03	*				3.33
330	3.03	2.05	0.77	0.31	0.21	0.06	0.05	0.01	0.01			6.50
TOT.	39.83	23.45	15.90	11.61	6.05	2.45	0.59	0.09	0.03			100.00

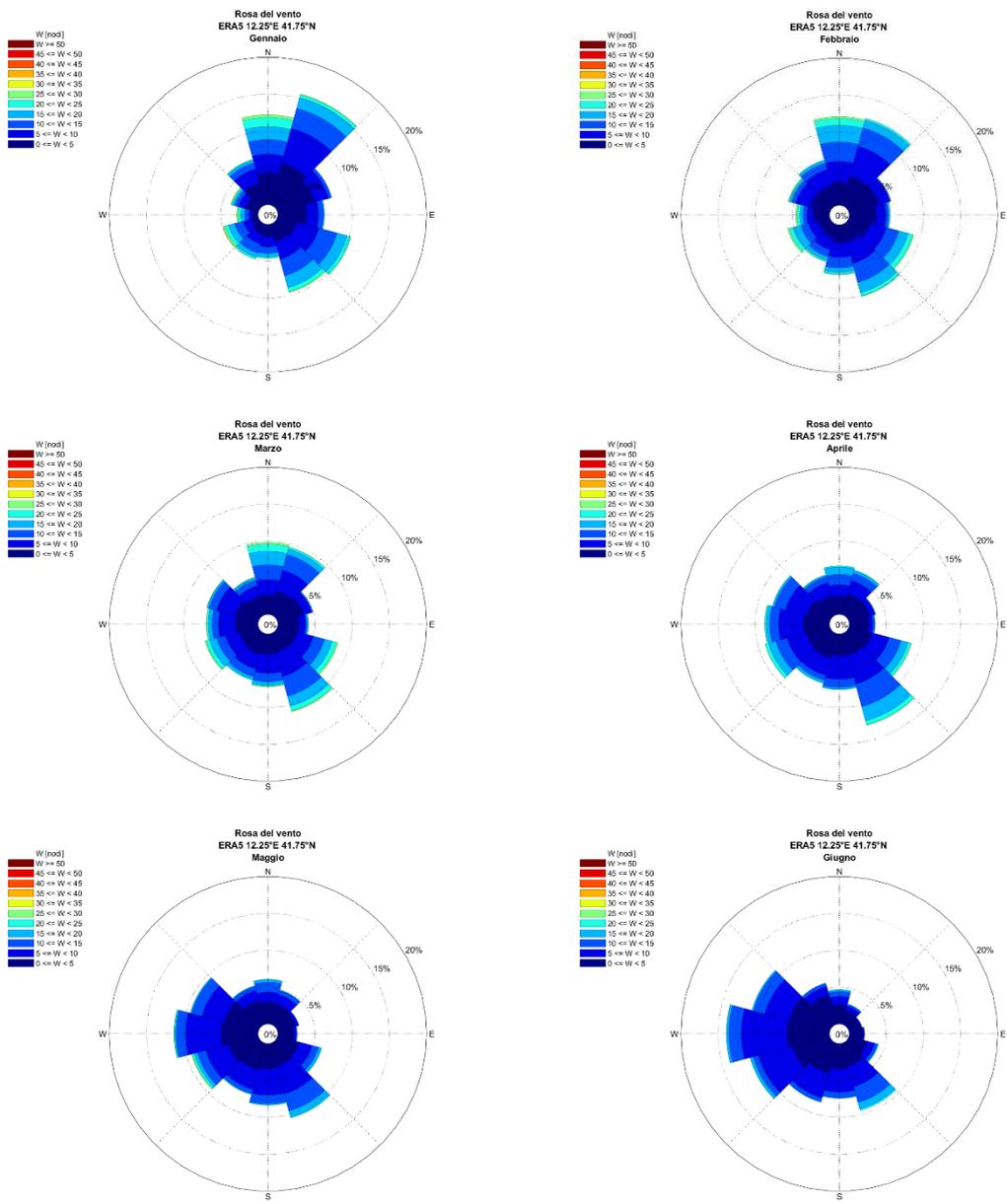


Figura 6.2: Rose Mensili del Vento – Gennaio, Febbraio, Marzo, Aprile, Maggio, Giugno

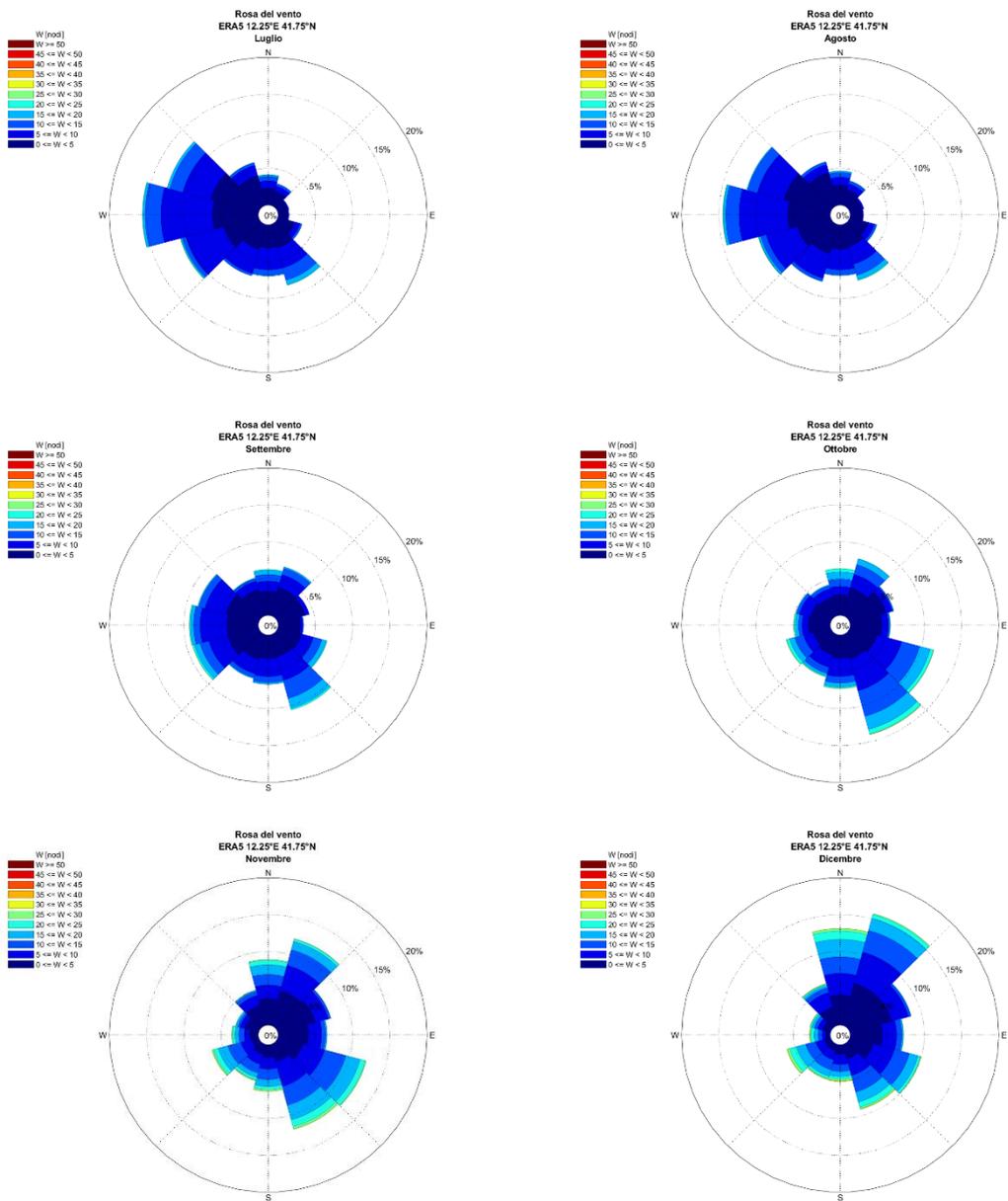


Figura 6.3: Rose Mensili del Vento –Luglio Agosto, Settembre, Ottobre, Novembre, Dicembre

6.2 FREQUENZA DI SUPERAMENTO

In questo paragrafo sono riportate le eccedenze percentuali, annuali e mensili, di velocità del vento (nodi) rispetto a diverse soglie. A titolo di esempio, la velocità del vento si trova al di sopra della soglia di 20 nodi per circa il 4% dell'anno. I mesi da ottobre ad aprile sono caratterizzati da valori maggiori di eccedenze.

Tabella 6.14: Frequenza di Eccedenza (%) della Velocità del Vento: Eventi sopra Soglia

Periodo	Frequenze di Eccedenza del Vento (nodi)(%)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Annuale	49.92	24.51	11.10	4.10	1.08	0.18	0.02	0.00	0.00	0.00
Gennaio	56.74	33.51	17.39	7.40	2.15	0.37	0.02	0.00	0.00	0.00
Febbraio	57.07	32.51	16.87	6.60	1.93	0.27	0.01	0.01	0.01	0.01
Marzo	55.33	30.22	14.85	6.07	1.71	0.23	0.01	0.01	0.01	0.01
Aprile	53.42	26.51	11.30	3.32	0.43	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Maggio	45.55	17.50	4.93	1.27	0.34	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Giugno	42.54	14.18	3.71	0.62	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Luglio	42.55	12.99	2.95	0.49	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Agosto	40.10	12.19	2.84	0.61	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Settembre	41.79	17.73	6.84	1.62	0.17	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Ottobre	46.96	25.52	12.13	4.14	0.66	0.12	0.02	0.02	0.01	0.01
Novembre	56.91	34.70	18.71	7.88	2.18	0.41	0.05	0.00	0.00	0.00
Dicembre	60.17	36.71	20.81	9.21	3.15	0.71	0.12	0.03	0.03	0.03

6.3 PERSISTENZA DEL VENTO

In questo paragrafo sono riportate le persistenze percentuali, annuali e mensili, del vento sopra e sotto soglia.

Tabella 6.15: Persistenza del Vento – Annuale

SOTTO	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Annuale						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
10	34.68	73.93	71.19	67.64	63.13	58.36	51.94	42.69
15	76.44	88.12	87.02	85.86	84.52	82.24	79.43	74.24
20	159.50	95.51	95.10	94.63	94.19	93.19	92.10	90.05
25	447.95	98.80	98.71	98.58	98.46	98.26	98.02	97.63
30	1702.58	99.80	99.76	99.75	99.73	99.72	99.68	99.62
SOPRA	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Annuale						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
10	11.26	21.77	18.07	15.08	12.21	7.76	4.71	1.47
15	9.54	9.61	7.52	5.70	4.14	2.00	0.94	0.15
20	6.83	3.21	2.12	1.30	0.81	0.28	0.04	0.00
25	4.88	0.71	0.37	0.17	0.07	0.00	0.00	0.00
30	3.13	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 6.16: Persistenza del Vento – Gennaio

SOTTO	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Gennaio						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
Soglia (nodi)								
10	29.57	64.63	61.06	58.28	54.45	47.49	42.97	35.46
15	51.31	81.62	80.25	78.38	75.82	71.17	66.43	56.70
20	86.86	91.77	91.08	90.35	89.89	87.72	85.33	80.88
25	180.97	97.61	97.27	96.82	96.34	95.46	94.68	93.65
30	383.69	99.61	99.47	99.34	99.16	98.96	98.46	98.27
SOPRA	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Gennaio						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
Soglia (nodi)								
10	15.15	31.11	27.68	24.09	19.51	13.55	9.20	2.93
15	11.37	15.70	12.91	10.36	8.19	4.33	1.74	0.22
20	7.81	6.01	4.38	2.72	1.67	0.83	0.31	0.00
25	5.25	1.49	0.82	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
30	2.95	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 6.17: Persistenza del Vento – Febbraio

SOTTO	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Febbraio						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
Soglia (nodi)								
10	28.28	65.66	61.53	57.65	53.94	48.34	42.48	34.21
15	48.72	82.09	80.04	78.12	76.14	71.42	66.41	58.84
20	85.74	92.74	92.21	90.93	89.89	87.21	84.99	81.42
25	181.71	97.88	97.60	97.30	96.98	96.26	95.40	94.30
30	391.46	99.69	99.57	99.57	99.29	99.29	99.00	98.82
SOPRA	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Febbraio						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
Soglia (nodi)								
10	13.83	30.12	26.11	22.08	18.31	11.43	6.23	2.25
15	10.42	14.86	12.16	9.07	6.40	2.98	1.50	0.75
20	6.88	5.19	3.42	1.77	0.74	0.47	0.19	0.00
25	4.90	1.26	0.54	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
30	2.53	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 6.18: Persistenza del Vento – Marzo

SOTTO	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Marzo						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
Soglia (nodi)								
10	28.20	67.85	64.25	60.71	55.73	49.65	43.59	34.93
15	52.60	83.93	82.06	80.90	79.09	75.14	71.42	63.98
20	99.51	93.26	92.60	91.93	91.26	89.62	87.44	82.12
25	189.26	98.00	97.76	97.50	97.19	96.73	96.24	93.97
30	447.42	99.71	99.71	99.71	99.71	99.62	98.90	97.78
SOPRA	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Marzo						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
Soglia (nodi)								
10	12.41	27.48	23.09	19.43	16.32	10.05	5.63	2.06
15	9.68	12.77	9.96	7.64	5.69	2.54	1.14	0.23
20	7.34	4.88	3.38	2.25	1.39	0.25	0.00	0.00
25	4.42	1.01	0.42	0.20	0.09	0.00	0.00	0.00
30	2.55	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 6.19: Persistenza del Vento – Aprile

SOTTO	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Aprile						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
Soglia (nodi)								
10	27.36	71.60	67.96	62.42	56.97	49.55	42.74	31.34
15	59.66	87.74	86.60	85.18	84.26	80.90	76.30	67.45
20	127.09	96.35	95.78	95.37	94.79	93.26	91.88	89.61
25	358.44	99.49	99.38	99.38	99.32	99.02	99.02	98.47
30	659.90	99.98	99.98	99.98	99.98	99.88	99.88	99.67
SOPRA	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Aprile						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
Soglia (nodi)								
10	10.17	23.07	18.16	14.18	10.81	6.27	3.05	0.73
15	8.25	9.29	6.78	4.87	2.93	1.09	0.16	0.00
20	5.29	2.37	1.09	0.33	0.20	0.00	0.00	0.00
25	3.11	0.14	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 6.20: Persistenza del Vento – Maggio

SOTTO	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Maggio						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
Soglia (nodi)								
10	33.73	80.90	77.83	74.34	68.21	62.53	54.83	43.86
15	98.22	94.59	93.62	92.65	92.34	90.99	88.45	83.07
20	254.99	98.61	98.55	98.29	98.17	97.97	97.83	96.51
25	470.01	99.59	99.57	99.52	99.40	99.40	99.40	99.04
30	663.78	99.94	99.94	99.94	99.94	99.94	99.94	99.73
SOPRA	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Maggio						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
Soglia (nodi)								
10	7.47	13.97	9.91	6.92	4.83	2.44	1.19	0.57
15	5.89	3.59	2.20	1.09	0.60	0.32	0.21	0.00
20	5.02	0.88	0.58	0.24	0.10	0.00	0.00	0.00
25	4.40	0.24	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	2.83	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 6.21: Persistenza del Vento – Giugno

SOTTO	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Giugno						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
Soglia (nodi)								
10	39.48	84.76	82.44	78.42	73.24	68.13	58.60	47.79
15	123.69	95.97	95.36	94.75	93.84	92.78	91.40	89.13
20	334.45	99.27	99.15	99.03	99.03	98.84	98.84	98.28
25	631.51	99.95	99.95	99.89	99.89	99.89	99.89	99.50
30	703.61	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
SOPRA	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Giugno						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
Soglia (nodi)								
10	6.88	11.03	6.97	5.28	3.84	1.29	0.76	0.00
15	5.78	2.77	1.54	0.86	0.46	0.13	0.00	0.00
20	3.90	0.33	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	2.67	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 6.22: Persistenza del Vento – Luglio

SOTTO Soglia (nodi)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Luglio						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
10	38.55	85.98	83.72	79.14	71.70	67.17	57.25	44.13
15	140.49	96.81	96.41	95.77	94.71	93.79	92.65	89.54
20	408.13	99.47	99.44	99.26	99.13	99.13	99.13	98.95
25	666.17	99.94	99.94	99.94	99.94	99.94	99.94	99.94
30	710.87	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
SOPRA Soglia (nodi)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Luglio						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
10	6.05	9.54	5.54	3.24	1.64	0.81	0.00	0.00
15	5.27	2.01	0.97	0.45	0.32	0.23	0.00	0.00
20	4.51	0.28	0.16	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
25	3.20	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 6.23: Persistenza del Vento – Agosto

SOTTO Soglia (nodi)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Agosto						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
10	42.95	86.86	84.90	81.15	74.50	71.24	61.95	51.24
15	151.63	96.91	96.59	96.25	95.61	94.89	93.76	89.18
20	361.33	99.33	99.23	99.23	99.23	99.23	98.86	97.87
25	591.91	99.87	99.87	99.87	99.87	99.87	99.87	99.47
30	744.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
SOPRA Soglia (nodi)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Agosto						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
10	6.29	9.05	5.16	3.22	1.85	0.81	0.45	0.29
15	5.56	2.04	1.15	0.68	0.25	0.00	0.00	0.00
20	4.33	0.33	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	2.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 6.24: Persistenza del Vento – Settembre

SOTTO	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Settembre						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
Soglia (nodi)								
10	40.89	80.85	78.54	75.38	71.22	66.81	62.16	52.90
15	88.20	92.43	91.59	90.81	89.49	88.12	86.09	81.35
20	186.86	98.18	97.78	97.75	97.42	96.67	96.00	95.05
25	506.67	99.81	99.77	99.68	99.68	99.68	99.54	99.33
30	658.57	99.98	99.98	99.94	99.94	99.94	99.94	99.94
SOPRA	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Settembre						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
Soglia (nodi)								
10	9.29	15.11	12.16	9.79	7.36	3.47	1.66	0.00
15	7.38	5.46	3.74	2.43	1.40	0.42	0.17	0.00
20	4.18	0.92	0.43	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00
25	2.94	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 6.25: Persistenza del Vento – Ottobre

SOTTO	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Ottobre						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
Soglia (nodi)								
10	35.04	72.63	70.19	67.29	65.14	61.30	56.57	46.54
15	63.31	86.89	85.46	84.05	82.96	80.76	77.61	72.35
20	119.32	95.46	94.94	94.59	93.90	92.31	90.67	87.65
25	308.56	99.25	99.14	99.04	98.92	98.55	98.16	97.81
30	550.95	99.86	99.81	99.81	99.81	99.73	99.60	99.27
SOPRA	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Ottobre						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
Soglia (nodi)								
10	12.39	23.24	19.87	16.91	13.46	7.65	4.31	1.09
15	9.50	10.62	8.37	5.74	3.79	1.38	0.50	0.00
20	6.06	3.16	1.59	0.81	0.37	0.00	0.00	0.00
25	3.44	0.30	0.13	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00
30	2.47	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 6.26: Persistenza del Vento – Novembre

SOTTO	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Novembre						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
Soglia (nodi)								
10	29.05	63.36	60.12	56.64	54.02	47.74	42.65	34.19
15	44.78	79.80	77.90	75.87	73.65	69.77	65.68	58.57
20	76.46	91.43	90.21	88.94	88.13	85.45	83.60	77.76
25	181.35	97.63	97.45	97.17	96.90	96.11	95.14	93.11
30	390.30	99.56	99.49	99.39	99.39	99.30	99.05	98.22
SOPRA	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Novembre						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
Soglia (nodi)								
10	15.82	32.66	29.31	25.20	20.98	14.50	10.43	3.29
15	10.99	16.79	13.73	10.68	7.57	4.67	2.74	0.35
20	7.22	6.31	4.18	2.73	1.64	0.70	0.00	0.00
25	5.24	1.55	0.93	0.46	0.33	0.00	0.00	0.00
30	3.41	0.20	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 6.27: Persistenza del Vento – Dicembre

SOTTO	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Dicembre						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
Soglia (nodi)								
10	28.12	61.31	58.03	54.09	51.88	46.11	41.56	33.53
15	46.83	78.02	76.20	74.09	71.79	67.71	62.55	53.46
20	75.84	90.05	89.05	87.83	86.51	85.06	82.08	75.41
25	151.14	96.56	96.21	95.91	95.65	95.28	94.29	91.64
30	334.38	99.18	99.11	99.07	99.00	99.00	99.00	98.82
SOPRA	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Dicembre						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
Soglia (nodi)								
10	16.66	34.58	31.67	28.47	24.65	17.75	11.29	3.19
15	13.11	19.40	16.33	13.72	11.15	5.23	2.60	0.26
20	8.51	7.75	5.70	4.34	3.30	0.94	0.00	0.00
25	6.12	2.43	1.42	0.79	0.34	0.00	0.00	0.00
30	4.26	0.42	0.21	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00

6.4 NUMERO DI GIORNI DI VENTO SOPRA SOGLIA

In questo paragrafo è riportato il numero medio di giorni al mese in cui il vento supera anche di un solo step temporale i valori soglia riportati. Per esempio, in media all'anno il vento può superare i 20 nodi (anche per un numero limitato di ore al giorno) in media 49 giorni all'anno: il mese peggiore è dicembre, con circa 8 giorni al mese, mentre luglio ed agosto solitamente sperimentano meno di un giorno al mese di vento superiore a 20 nodi.

Tabella 6.28: Numero di giorni in cui il Vento supera le Soglie

	Numero di Giorni con Vento sopra Soglie												
	Annuale	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
W > 20 nodi	49.1	6.5	6.1	5.7	4.1	1.8	1.0	0.8	0.9	2.2	4.7	7.3	8.1
W > 25 nodi	18.2	2.9	2.6	2.5	0.8	0.5	0.2	0.1	0.2	0.4	1.3	3.0	3.8
W > 30 nodi	4.9	0.9	0.7	0.6	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.3	0.8	1.2



Figura 6.4: Numero di giorni in cui il Vento supera le Soglie

6.5 CONDIZIONI ESTREME

I valori estremi del vento, rappresentativo dei 10 minuti, sono riportati in Figura 6.5 e Tabella 6.29 per differenti periodi di ritorno (1, 5, 10, 100 e 350 anni). Differenti durate possono essere calcolate con le equazioni riportate nel capitolo 5.3.2 .

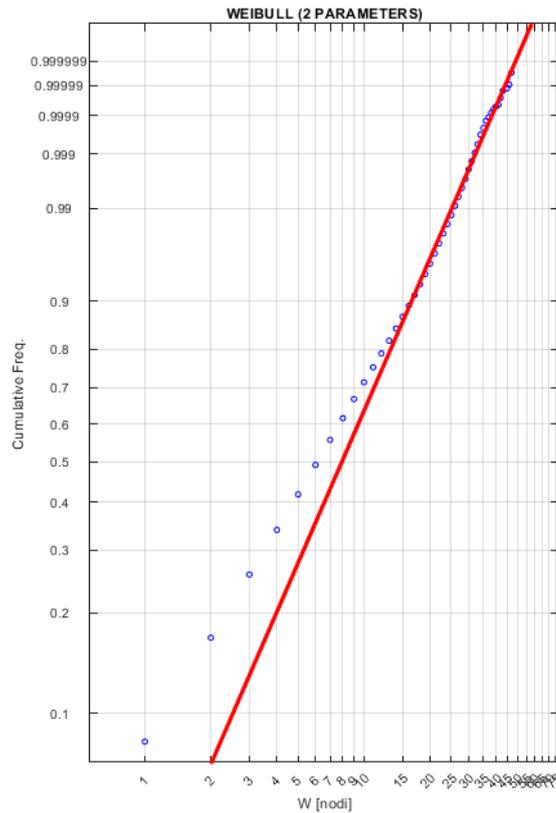


Figura 6.5 Fitting dei Dati di Vento con Distribuzione Biparametrica di Weibull

Tabella 6.29: Valori Estremi Omnidirezionali della Velocità del Vento (nodi) a 10 m di Quota sul Livello Medio del Mare – Valori Rappresentativi del Vento dei 10 Minuti

	Periodi di ritorno (anni)					
	1	5	10	50	100	350
OMNI	42.4	46.2	47.7	51.2	52.6	55.2
0°N	33.4	35.4	36.2	38.0	38.7	39.9
30°N	30.4	32.3	33.1	34.8	35.5	36.7
60°N	22.5	26.2	27.8	31.4	32.9	35.6
90°N	26.7	30.3	31.8	35.2	36.7	39.2
120°N	35.2	38.5	39.8	42.8	44.1	46.2
150°N	42.4	46.2	47.7	51.2	52.6	55.2
180°N	36.1	39.4	40.8	43.8	45.0	47.1
210°N	34.8	38.2	39.5	42.5	43.7	45.8
240°N	37.1	40.2	41.4	44.1	45.3	47.2
270°N	38.1	42.4	44.2	48.2	49.8	52.8
300°N	35.7	40.8	43.0	47.9	50.0	53.7
330°N	42.4	46.2	47.7	51.2	52.6	55.2

7 CARATTERIZZAZIONE DEL MOTO ONDOSO

Il capitolo 7.1 riporta le condizioni tipiche ed estreme delle onde a largo (estratte dalla serie temporale del database CMEMS).

Al fine di caratterizzare il clima ondoso tipico nell'area di studio, le onde sono state propagate a costa a mezzo di un modello numerico di propagazione (SWAN) (capitolo 7.2).

Nel capitolo 7.3 vengono riportate le condizioni tipiche, annuali e mensili, delle onde a costa, le frequenze di superamento di predeterminate soglie, le persistenze e i valori estremi.

7.1 ONDE AL LARGO

7.1.1 Condizioni Tipiche

La Tabella 7.1 e la Figura 7.1 riportano la distribuzione di frequenze (%) annuali di accadimento dell'altezza d'onda significativa rispetto alla direzione di provenienza. Il clima ondoso al largo di Fiumicino mostra che le onde più frequenti provengono da 180 ° - 270 ° N (circa il 78% degli eventi totali) e appartengono alle classi di altezza delle onde di 0,5-1,5 m (circa il 88% degli eventi totali) e 1,5-2,5 m (circa il 9% degli eventi totali). Le onde più energiche (superiori a 4,5 m) provengono da 150 ° -270 ° N.

La Tabella 7.2 riporta la distribuzione delle altezze d'onda rispetto ai periodi di picco. I periodi caratterizzati da una maggior frequenza di accadimento sono compresi tra 2 e 8 s, per un totale di circa il 93% degli eventi. I periodi di picco associati alle onde più alte ricadono nella classe dei 12 s. Sono stati rilevati periodi di picco anche superiori ai 12 s associati ad altezze d'onda molto basse.

La Tabella 7.3 riporta la distribuzione delle altezze d'onda rispetto ai periodi medi. I periodi caratterizzati da una maggior frequenza di accadimento sono compresi tra 2 e 7 s, per un totale di circa il 96% degli eventi. I periodi di picco associati alle onde più alte ricadono nella classe dei 10 s.

Tabella 7.1: Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Dati CMEMS al largo- Annuale

Dir [N]	Hs(m) - Annuale Offshore Fiumicino															TOT.
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	>7	
0	0.35	0.69	0.20	0.01												1.26
30	0.11	0.10	0.02	*												0.22
60	0.07	0.05	0.01													0.13
90	0.08	0.06	0.01	*												0.14
120	0.19	0.14	0.03	*												0.37
150	2.32	2.79	1.53	0.70	0.23	0.08	0.02	0.01	*	*	*					7.68
180	5.78	6.42	3.16	1.38	0.54	0.21	0.08	0.05	0.01	*		*	*	*		17.63
210	8.27	4.28	1.49	0.70	0.35	0.18	0.08	0.05	0.03	0.01	*					15.44
240	10.83	8.29	4.76	2.65	1.36	0.71	0.32	0.14	0.06	0.02	0.01	*	*			29.15
270	9.95	3.91	1.12	0.44	0.28	0.20	0.09	0.04	0.03	*	*	*	*	*		16.08
300	4.95	2.69	0.57	0.16	0.06	0.03	*	*								8.46
330	0.82	1.50	0.83	0.26	0.02	*										3.44
TOT.	43.72	30.92	13.73	6.29	2.85	1.41	0.60	0.29	0.12	0.04	0.01	*	*	*		100.00

Tabella 7.2: Distribuzione di frequenza– Altezza d’onda significativa (m) vs. Periodo di Picco (s) – Dati CMEMS a largo – Annuale

Tp (s)	Hs (m) - Annuale Offshore Fiumicino															TOT.
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	>7	
1																
2	0.39															0.39
3	8.79	0.45														9.24
4	14.71	4.69	0.17													19.56
5	9.94	6.56	1.66	0.04												18.19
6	5.46	11.07	3.26	0.87	0.06	*										20.72
7	2.55	5.73	6.84	3.10	1.04	0.24	0.02	*								19.52
8	0.72	0.90	1.23	1.74	1.10	0.62	0.18	0.03	*							6.53
9	0.43	0.49	0.35	0.42	0.54	0.44	0.29	0.15	0.05	*	*					3.17
10	0.33	0.33	0.11	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09	0.06	0.03	0.01	*	*			1.33
11	0.24	0.32	0.05	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	*	*	*	*		0.72
12	0.13	0.26	0.04	0.01	0.01	*	*	*	*	*	*	*	*	*		0.45
13	0.03	0.10	0.02	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		0.15
14	*	0.02	0.01	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		0.03
15		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*
16																
>16.00		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*
TOT.	43.72	30.92	13.73	6.29	2.85	1.41	0.60	0.29	0.12	0.04	0.01	*	*	*		100.00

Tabella 7.3: Distribuzione di frequenza– Altezza d’onda significativa (m) vs. Periodo Medio (s) – Dati CMEMS a largo - Annuale

Tm (s)	Hs (m) - Annuale Offshore Fiumicino															TOT.
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	>7	
1																
2	0.28															0.28
3	11.71	0.49														12.21
4	19.79	8.56	0.60													28.95
5	9.25	11.40	4.06	0.66	0.01											25.39
6	2.26	8.31	5.26	2.33	0.57	0.05	*									18.78
7	0.36	1.91	3.37	2.69	1.67	0.85	0.18	0.02	*							11.06
8	0.05	0.20	0.42	0.59	0.54	0.47	0.37	0.22	0.08	0.01	*					2.96
9	0.01	0.04	0.01	0.03	0.05	0.04	0.04	0.06	0.04	0.03	0.01	*	*	*		0.35
10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0.03
11		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
12																
13																
14																
15																
16																
>16.00																
TOT.	43.72	30.92	13.73	6.29	2.85	1.41	0.60	0.29	0.12	0.04	0.01	*	*	*		100.00

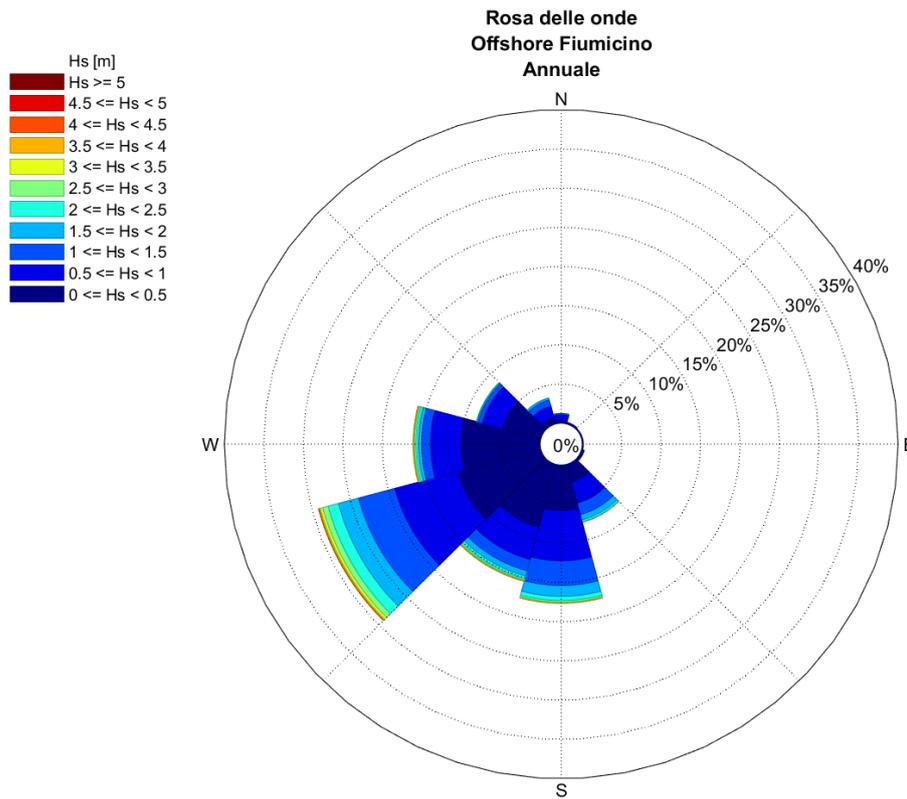


Figura 7.1: Rosa delle Onde a Largo - Annuale

7.1.2 Condizioni Estreme

Le Tabella 7.4 e Tabella 7.5 riportano i valori estremi omnidirezionali e direzionali dell'altezza d'onda significativa ottenuti utilizzando l'intera serie di onda (i.e. Global Method) e la distribuzione di Weibull bi-parametrica (Figura 7.2), relativi ai periodi di ritorno di 1, 5, 10, 50, 100 e 350 anni. I periodi di picco sono stati associati considerando le relazioni riportate nel capitolo 5.4.1, in cui il T_p corrisponde al $T_p-95\%$.

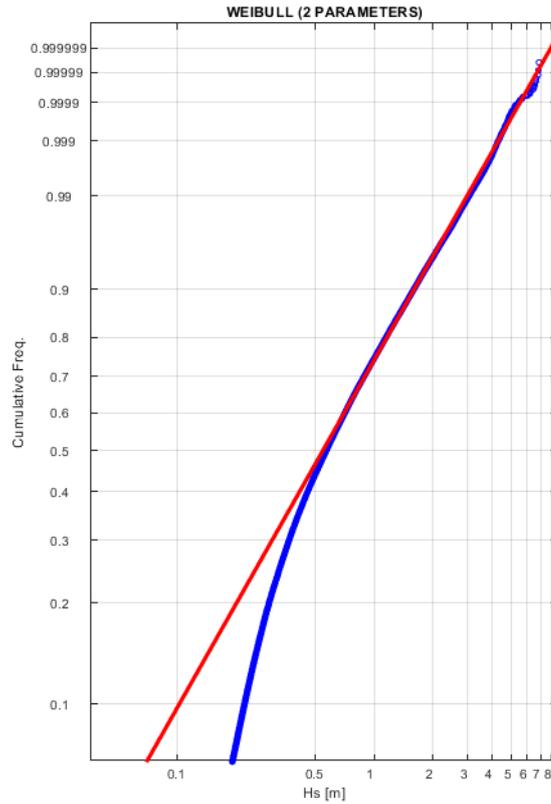


Figura 7.2 Fitting dei Dati di Altezza d'Onda Significativa con Distribuzione Biparametrica di Weibull

Tabella 7.4: Onde Estreme di Largo - Omnidirezionali

Omnidirezionali	Hs	Tp
Periodo di Ritorno-	m	s
frequente (superata per 5 giorni all'anno)	2.9	9.1
1	5.4	10.8
5	6.3	11.3
10	6.7	11.5
50	7.5	12.0
100	7.9	12.2
350	8.5	12.5

Tabella 7.5: Onde Estreme di Largo - Direzionali

Dir (°N)	Periodo di Ritorno (Anni)											
	1		5		10		50		100		350	
	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)
120	0.5	7.5	1.0	8.0	1.2	8.1	1.8	8.4	2.1	8.5	2.6	8.8
150	3.6	9.5	4.3	10.0	4.6	10.2	5.3	10.7	5.6	10.9	6.1	11.2
180	5.4	10.8	6.3	11.3	6.7	11.5	7.5	12.0	7.9	12.2	8.5	12.5
210	4.5	10.2	5.2	10.7	5.5	10.8	6.2	11.2	6.5	11.4	7.0	11.7
240	5.1	10.6	5.9	11.1	6.3	11.3	7.1	11.8	7.4	11.9	8.0	12.2
270	4.9	10.5	5.8	11.0	6.2	11.3	7.1	11.8	7.5	12.0	8.2	12.3
300	2.8	9.0	3.8	9.7	4.3	10.0	5.5	10.8	6.0	11.1	7.0	11.7
330	1.9	8.5	2.2	8.6	2.3	8.7	2.5	8.8	2.6	8.9	2.7	8.9

7.2 PROPAGAZIONE DELLE ONDE TRAMITE MODELLO NUMERICO SWAN

Al fine di caratterizzare il clima tipico e gli estremi delle onde nella zona costiera, le onde di largo sono state propagate verso costa utilizzando il modello spettrale di terza generazione SWAN. Nella sezione seguente viene fornita una breve descrizione delle impostazioni e delle ipotesi del modello.

Per la ricostruzione del clima tipico, la simulazione delle onde è condotta attraverso gli ultimi 5 anni coperti dai dati offshore CMEMS, forzati sia dalle onde offshore definite ai confini che dalle velocità e direzioni del vento.

Le simulazioni vengono eseguite in modalità stazionaria (come triplette di altezza dell'onda, periodo di picco e direzione media) sulla batimetria mostrata in Figura 7.3.

L'uso di un approccio stazionario è raccomandato nel caso di onde con tempo di permanenza relativamente breve all'interno dell'area computazionale in esame (ad esempio, il tempo di percorrenza delle onde attraverso la regione è inferiore rispetto alla scala temporale delle condizioni geografiche). Inoltre, l'opzione non stazionaria è più adatta per l'uso in grandi aree geografiche. In caso contrario, il modello d'onda non stazionario applicato sulle zone costiere potrebbe essere troppo diffusivo.

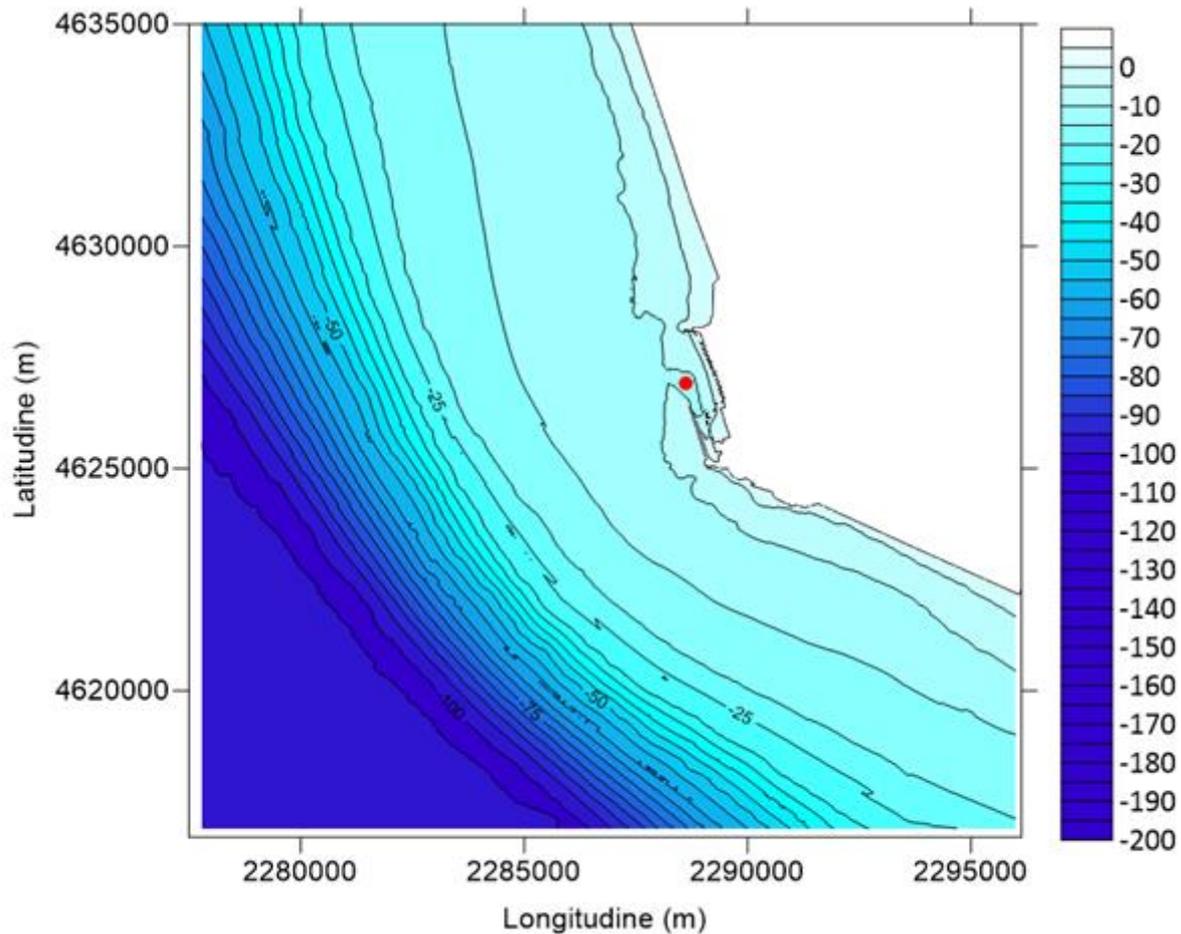


Figura 7.3: Batimetria del modello d'onda

Il clima delle onde di largo è stato diviso in 11184 triplette che descrivono le condizioni totali del mare. Ad ogni tripletta sono state associate le condizioni medie di velocità e direzione del vento associate alla tripletta offshore. Per la divisione della serie temporale in triplette (classi) sono state considerate le seguenti ampiezze: classi da 0.25 m per l'altezza significativa, 1 s per il periodo di picco e 10° per la direzione di provenienza dell'onda. Alle onde da propagare è associato un vento anch'esso diviso in classi da 2.5 m/s per la velocità e 30° per quanto riguarda la direzione di provenienza. Nella Figura 7.4 i punti blu rappresentano tutti gli eventi delle serie temporali (come diagramma a dispersione Hs-Tp e Hs-Dir), mentre i cerchi rossi rappresentano le 11184 triplette modellate. Queste simulazioni sono state condotte in caso di livello medio di marea.

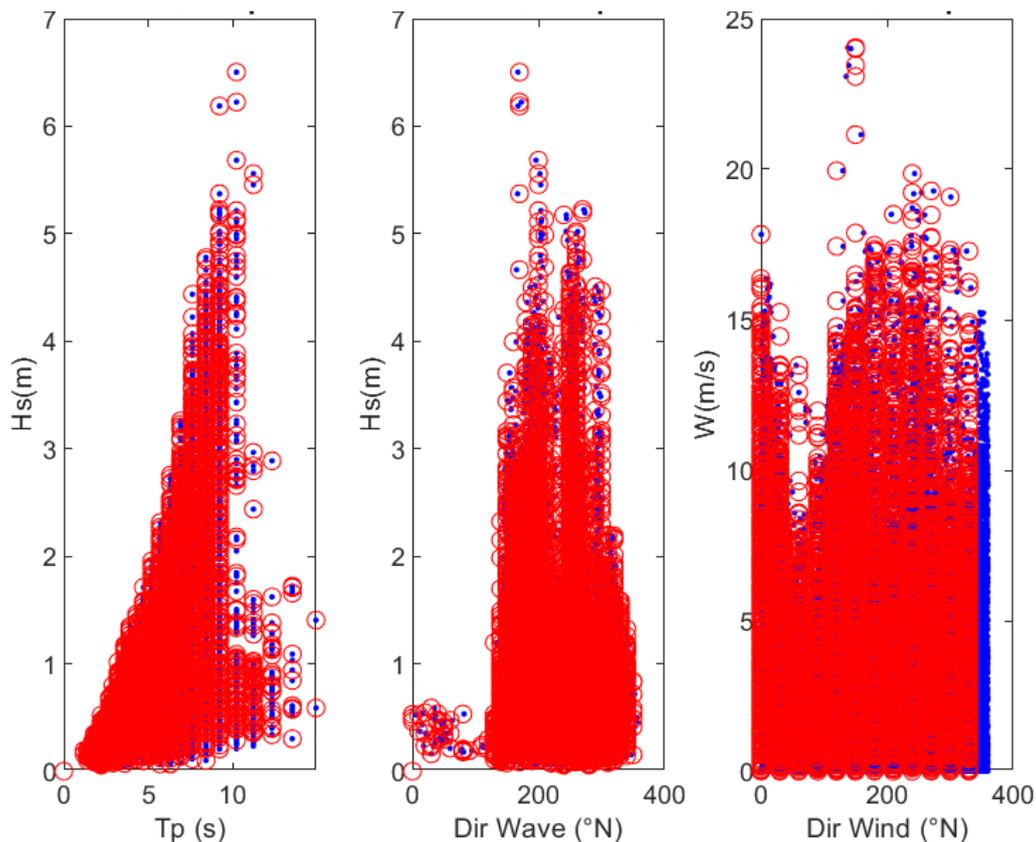


Figura 7.4: Scatter Hs – Tp, Hs-Dir, W - DirW (blu) e triplette (rosso)

Il risultato di tale applicazione è un database pluriennale delle onde, che include serie temporali di 5 anni di parametri d'onda sull'intera griglia computazionale. È possibile estrarre le serie temporali ovunque nel dominio, anche in località intermedie e poco profonde, e descrivere correttamente le condizioni del moto ondoso utilizzando dati sicuramente più rappresentativi dei dati offshore.

Per stimare i valori estremi delle onde a costa, i valori estremi del vento e delle onde offshore vengono utilizzati come input per il modello di propagazione. Queste simulazioni sono state condotte sia in caso di livello minimo che di livello massimo (si veda Tabella 8.4).

I dati retrospettivi si riferiscono ai seguenti parametri di 1 ora:

- ✓ Hs: altezza significativa dell'onda (m) calcolata dal momento spettrale m_0 – mare totale;
- ✓ Tp: periodo di picco dello spettro (s) – mare totale;
- ✓ Tm: periodo d'onda medio (s) – mare totale;
- ✓ DM: direzione media dell'onda entrante ($^{\circ}$ N) – mare totale.

Per questo modello nearshore abbiamo scelto come input le seguenti serie temporali:

1. Vento (ERA5) 12.25°E, 41.75°N;
2. Onda (CMEMS) 12.21°E 41.69°N.

Altre ipotesi sono qui riassunte:

- ✓ Confine laterale e offshore considerato costante;
- ✓ Risoluzione spaziale della griglia del modello 240x400m.

7.3 ONDE A COSTA

7.3.1 Condizioni Tipiche

La Tabella 7.6 e la Figura 7.5 riportano la distribuzione di frequenze (%) annuali di accadimento dell'altezza d'onda significativa rispetto alla direzione di provenienza. Le condizioni tipiche si riferiscono al punto griglia indicato in Figura 7.3, che corrisponde al Turning basin. Il clima ondoso mostra che le onde più frequenti provengono da 210 ° - 300 ° N (circa l'88% degli eventi totali). La classe massima di Hs è 3.5 - 4 m a cui appartengono circa lo 0.18 degli eventi totali, mentre circa il 98% degli eventi è caratterizzato da un'altezza maggiore o al più uguale a 2.5 m.

La Tabella 7.7 riporta la distribuzione delle altezze d'onda rispetto ai periodi di picco. I periodi caratterizzati da una maggior frequenza di accadimento sono compresi tra 3 e 9 s, per un totale di circa il 97% degli eventi. I periodi di picco associati alle onde più alte ricadono nella classe 8 - 12 s. Sono stati rilevati periodi di picco anche superiori ai 12 s associati ad altezze d'onda molto basse.

La Tabella 7.8 riporta la distribuzione delle altezze d'onda rispetto ai periodi medi. I periodi caratterizzati da una maggior frequenza di accadimento sono compresi tra 2 e 7 s, per un totale di circa il 99% degli eventi. I periodi medi associati alle onde più alte ricadono nella classe 7 - 8 s.

Le frequenze di accadimento mensili sono riportate da Tabella 7.11 a Tabella 7.20 e da Figura 7.6 a Figura 7.7. Il periodo da ottobre a marzo presenta i massimi valori altezza d'onda ricadenti nella classe 3.5 – 4 m, giugno è invece il mese più calmo.

Tabella 7.6: Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Annuale

Dir [N]	Hs (m) - Annuale Turning Basin															TOT.
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	> 7.00	
0	0.02															0.02
30																
60	0.05															0.05
90	*															*
120	0.05															0.05
150	0.24															0.24
180	5.88	2.29	0.30	*	*											8.47
210	13.46	9.46	3.93	1.39	0.50	0.27	0.15	0.01								29.17
240	6.44	4.40	3.07	1.63	0.65	0.34	0.19	0.10								16.82
270	10.53	9.10	3.41	1.21	0.47	0.18	0.20	0.07								25.18
300	10.46	4.92	1.41	0.15	0.03	0.02										16.98
330	1.38	1.52	0.11													3.02
TOT.	48.51	31.70	12.23	4.38	1.66	0.81	0.55	0.18								100.00

Tabella 7.7: Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Periodo di Picco (s) – Profondità 12.5 m – Annuale

Tp (s)	Hs (m) - Annuale Turning Basin														TOT.	
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7		> 7.00
1																
2	0.26															0.26
3	7.46	*														7.47
4	18.00	3.22														21.22
5	10.88	8.46	0.50													19.85
6	6.15	11.62	2.36	0.08	*											20.21
7	3.87	5.82	6.87	1.97	0.26	0.02										18.81
8	1.04	1.32	1.66	1.59	0.79	0.22	0.03	*								6.65
9	0.35	0.47	0.60	0.59	0.50	0.41	0.29	0.03								3.23
10	0.28	0.25	0.15	0.11	0.10	0.14	0.21	0.09								1.33
11	0.15	0.21	0.04	0.02	0.02	0.01	0.03	0.05								0.52
12	0.06	0.23	0.03	*	*	0.01		*								0.35
13	*	0.05	0.02	*		*										0.08
14		0.02	*	0.01												0.03
15		*														*
16																
>16.00																
TOT.	48.51	31.70	12.23	4.38	1.66	0.81	0.55	0.18								100.00

Tabella 7.8: Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Periodo Medio (s) – Profondità 12.5 m – Annuale

Tm (s)	Hs (m) - Annuale Turning Basin														TOT.	
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7		> 7.00
1	0.05															0.05
2	13.52	0.07														13.59
3	27.54	9.86	0.08													37.47
4	6.67	14.01	2.63	0.03												23.33
5	0.59	6.46	4.41	0.79	*											12.25
6	0.11	1.07	4.33	2.06	0.72	0.14	0.03									8.47
7	0.02	0.21	0.74	1.45	0.93	0.62	0.51	0.16								4.64
8		0.02	0.05	0.04	0.01	0.05	0.01	0.02								0.20
9				*												*
10																
11				*												*
12																
13																
14																
15																
16																
>16.00																
TOT.	48.51	31.70	12.23	4.38	1.66	0.81	0.55	0.18								100.00

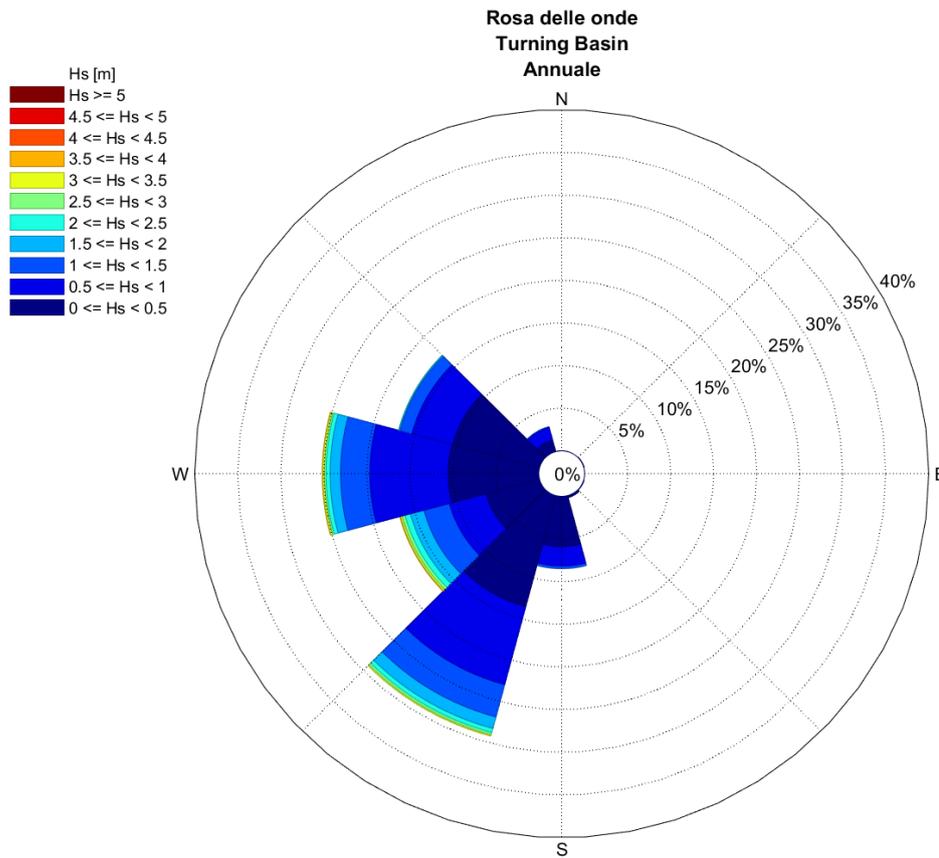


Figura 7.5: Rosa delle Onde a 12.5 m di Profondità – Annuale

Tabella 7.9: Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Gennaio

Dir [N]	Hs (m) -Gennaio Turning Basin															TOT.
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	> 7.00	
0	0.03															0.03
30																
60	0.05															0.05
90																
120																
150	0.62															0.62
180	7.18	2.80	0.73													10.70
210	6.02	8.44	5.99	0.91	0.22	0.13	0.08									21.80
240	4.44	3.20	3.92	3.25	1.48	0.86	0.48	0.08								17.72
270	9.54	9.11	6.34	2.20	1.05	0.91	0.67	0.24								30.08
300	3.06	5.54	4.01	0.38		0.03										13.01
330	1.64	3.74	0.62													5.99
TOT.	32.58	32.82	21.61	6.75	2.74	1.94	1.24	0.32								100.00

Tabella 7.10: Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Febbraio

Dir [N]	Hs (m)- Febbraio Turning Basin															TOT.
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	> 7.00	
0																
30																
60																
90																
120	0.03															0.03
150	0.18															0.18
180	6.71	5.20	0.56		0.03											12.50
210	10.25	10.99	9.87	3.87	1.54	0.56	0.47	0.03								37.59
240	2.54	3.13	3.22	1.80	0.47	0.35	0.12	0.03								11.67
270	5.50	6.86	3.63	1.48	0.65	0.15	0.38	0.06								18.71
300	4.64	9.01	1.63	0.18	0.09											15.54
330	1.48	2.28	0.03													3.78
TOT.	31.32	37.47	18.94	7.33	2.78	1.06	0.98	0.12								100.00

Tabella 7.11: Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Marzo

Dir [N]	Hs (m)- Marzo Turning Basin															TOT.
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	> 7.00	
0	0.03															0.03
30																
60																
90																
120																
150	0.08															0.08
180	7.15	4.01	0.67													11.83
210	7.82	10.51	4.52	1.69	0.91	0.19	0.22									25.86
240	3.52	2.74	4.54	2.98	1.13	0.46	0.16	0.08								15.62
270	5.03	10.67	6.21	1.72	1.21	0.24	0.32									25.40
300	8.87	4.73	3.17	0.65	0.03	0.05										17.50
330	1.64	1.94	0.11													3.68
TOT.	34.14	34.60	19.22	7.04	3.28	0.94	0.70	0.08								100.00

Tabella 7.12: Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Aprile

Dir [N]	Hs (m)- Aprile Turning Basin															TOT.
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	> 7.00	
0	0.03															0.03
30																
60	0.03															0.03
90																
120	0.03															0.03
150	0.25															0.25
180	4.97	2.11	0.28													7.36
210	16.06	15.56	4.03	1.94	0.25											37.83
240	4.69	3.67	3.14	2.00	0.39	0.25	0.06									14.19
270	8.08	10.36	3.92	1.19	0.31											23.86
300	9.89	3.89	0.83	0.06												14.67
330	0.78	0.94	0.03													1.75
TOT.	44.81	36.53	12.22	5.19	0.94	0.25	0.06									100.00

Tabella 7.13: Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Maggio

Dir [N]	Hs (m)- Maggio Turning Basin															TOT.
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	> 7.00	
0																
30																
60																
90																
120																
150	0.05															0.05
180	4.95	3.31	0.05													8.31
210	15.97	10.30	1.88	0.30												28.44
240	4.09	3.66	2.85	1.40	0.51	0.22	0.13									12.85
270	12.47	14.01	4.84	1.61	0.16	0.03	0.30									33.41
300	9.65	5.24	0.94													15.83
330	0.81	0.30														1.10
TOT.	47.98	36.80	10.56	3.31	0.67	0.24	0.43									100.00

Tabella 7.14: Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Giugno

Dir [N]	Hs (m)- Giugno Turning Basin															TOT.
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	> 7.00	
0																
30																
60																
90																
120																
150	0.03															0.03
180	5.25	0.89	0.14													6.28
210	18.78	9.86	0.72													29.36
240	8.72	2.89	2.31	0.42												14.33
270	12.08	12.39	1.42	0.36												26.25
300	15.39	7.42	0.03													22.83
330	0.47	0.44														0.92
TOT.	60.72	33.89	4.61	0.78												100.00

Tabella 7.15: Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Luglio

Dir [N]	Hs (m)- Luglio Turning Basin															TOT.
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	> 7.00	
0																
30																
60																
90																
120	0.05															0.05
150																
180	1.53	0.30														1.83
210	21.10	6.67	0.70	0.03												28.49
240	12.80	7.07	4.30	1.16	0.38	0.19										25.89
270	15.56	10.30	1.32		0.03											27.20
300	10.48	4.19	0.89													15.56
330	0.75	0.22														0.97
TOT.	62.28	28.74	7.20	1.18	0.40	0.19										100.00

Tabella 7.16: Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Agosto

Dir [N]	Hs (m)- Agosto Turning Basin															TOT.
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	> 7.00	
0																
30																
60																
90																
120																
150																
180	1.85	0.24	0.05													2.15
210	15.81	3.87	0.38													20.05
240	12.66	5.83	1.48	0.86	0.62	0.05										21.51
270	17.93	5.99	1.85	0.05	0.13											25.97
300	23.47	5.46	0.19													29.11
330	0.65	0.56														1.21
TOT.	72.37	21.96	3.95	0.91	0.75	0.05										100.00

Tabella 7.17: Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Settembre

Dir [N]	Hs (m)- Settembre Turning Basin															TOT.
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	> 7.00	
0																
30																
60	0.06															0.06
90																
120																
150	0.03															0.03
180	5.14	1.11														6.25
210	13.67	4.14	3.75	0.53												22.08
240	9.08	7.69	2.94	1.47	0.56	0.17										21.92
270	12.81	9.44	3.14	0.72	0.31	0.11										26.53
300	16.83	4.00	0.28													21.11
330	1.50	0.53														2.03
TOT.	59.11	26.92	10.11	2.72	0.86	0.28										100.00

Tabella 7.18: Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Ottobre

Dir [N]	Hs (m)- Ottobre Turning Basin															TOT.
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	> 7.00	
0																
30																
60	0.19															0.19
90																
120	0.35															0.35
150	0.73															0.73
180	8.95	3.28	0.19	0.05												12.47
210	12.88	14.76	4.11	0.97	0.81	0.59	0.27	0.11								34.49
240	7.18	3.06	2.12	0.46	0.19	0.13	0.03	0.35								13.52
270	7.53	8.66	3.15	0.89	0.43	0.05	0.03									20.73
300	9.14	3.68	1.32	0.11												14.25
330	0.99	2.04	0.24													3.28
TOT.	47.93	35.48	11.13	2.47	1.42	0.78	0.32	0.46								100.00

Tabella 7.19: Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Novembre

Dir [N]	Hs (m)- Novembre Turning Basin															TOT.
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	> 7.00	
0	0.08															0.08
30																
60	0.14															0.14
90	0.03															0.03
120	0.14															0.14
150	0.67															0.67
180	8.67	2.67	0.36													11.69
210	10.00	12.06	8.97	4.56	1.69	1.03	0.08									38.39
240	2.81	4.17	1.86	1.83	0.97	0.64	0.42	0.25								12.94
270	9.44	5.89	2.36	2.97	0.92	0.36	0.31	0.11								22.36
300	5.08	2.14	1.78	0.03												9.03
330	2.22	2.11	0.19													4.53
TOT.	39.28	29.03	15.53	9.39	3.58	2.03	0.81	0.36								100.00

Tabella 7.20: Distribuzione di frequenza– Altezza d'onda significativa (m) vs. Direzione di provenienza (°N) – Profondità 12.5 m – Dicembre

Dir [N]	Hs (m)- Dicembre Turning Basin															TOT.
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	> 7.00	
0	0.03															0.03
30																
60	0.11															0.11
90																
120																
150	0.27															0.27
180	8.28	1.80	0.54													10.62
210	13.01	6.61	2.82	2.12	0.70	0.78	0.70									26.75
240	4.38	5.62	4.06	1.88	1.10	0.81	0.89	0.35								19.09
270	9.95	5.38	2.72	1.34	0.51	0.27	0.43	0.40								20.99
300	8.63	4.06	1.77	0.38	0.24	0.11										15.19
330	3.66	3.17	0.13													6.96
TOT.	48.31	26.64	12.04	5.73	2.55	1.96	2.02	0.75								100.00

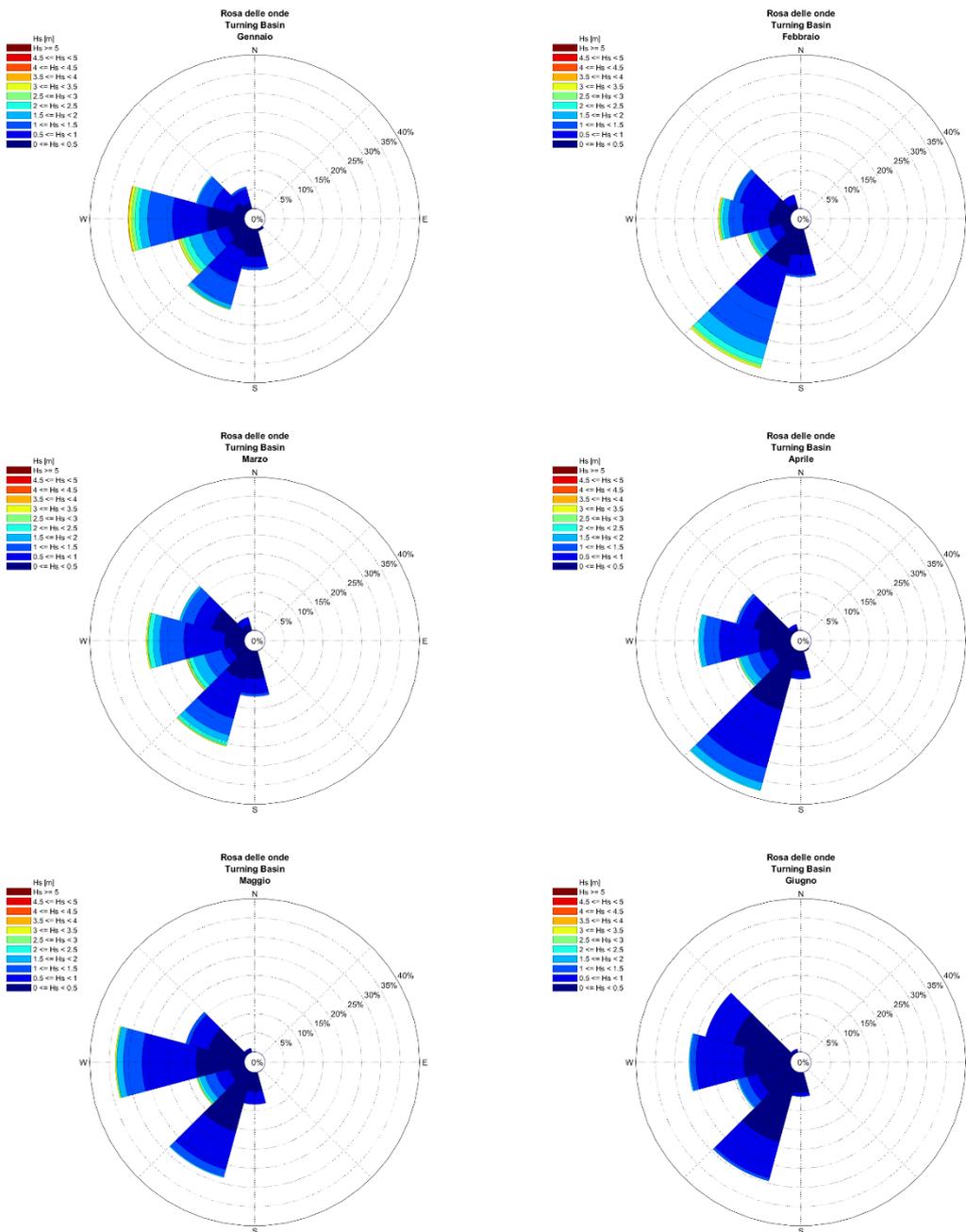


Figura 7.6: Rose Mensili delle Onde a 12.5 m di Profondità - Gennaio, Febbraio, Marzo, Aprile, Maggio, Giugno

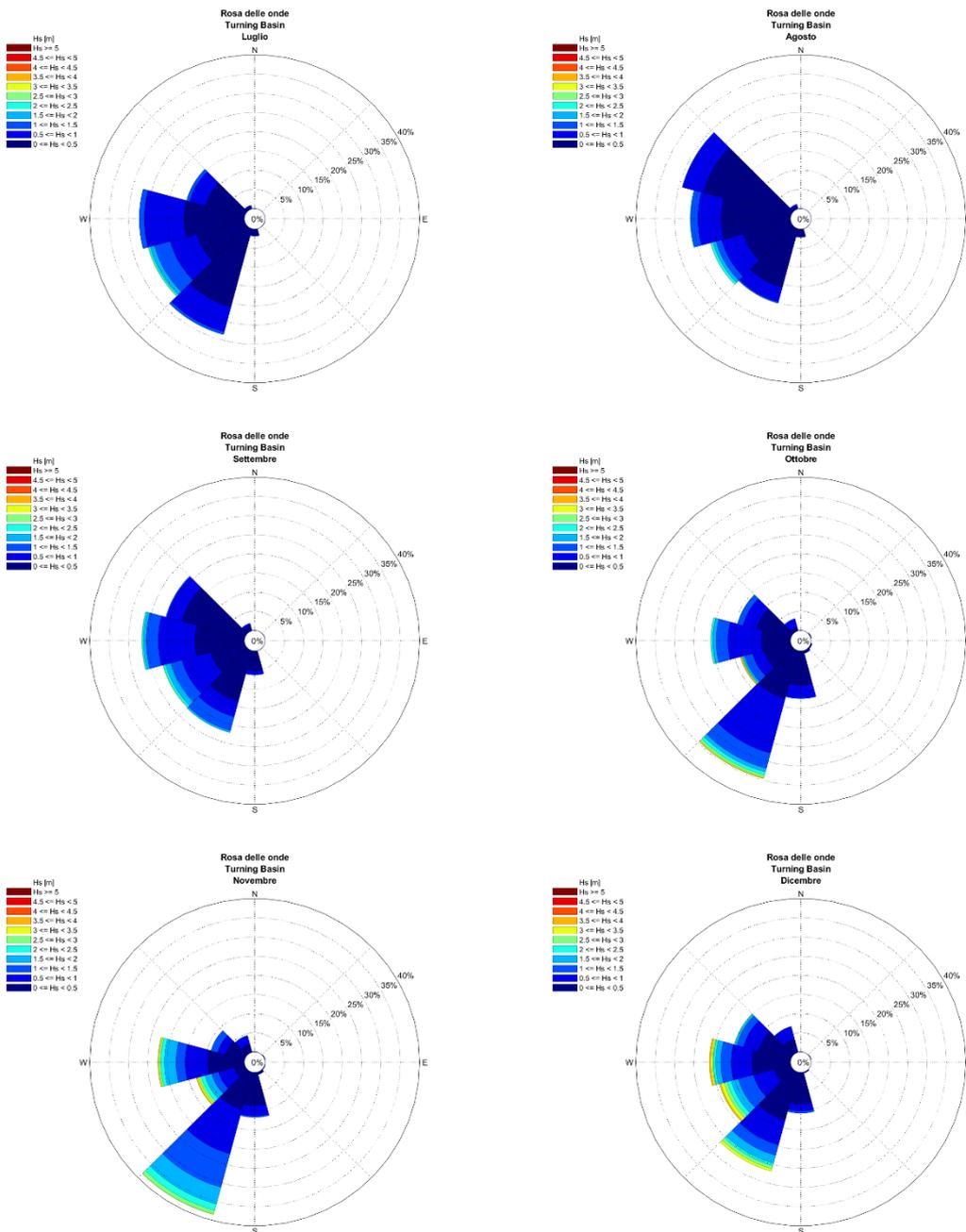


Figura 7.7: Rose Mensili delle Onde a 12.5 m di Profondità - Luglio Agosto, Settembre, Ottobre, Novembre, Dicembre

7.3.2 Frequenze di Superamento

In questo paragrafo sono riportate le eccedenze percentuali, annuali e mensili, dell'altezza d'onda significativa rispetto a diverse soglie. A titolo di esempio, l'altezza d'onda risulta al di sopra della soglia di 2m per circa il 3% dell'anno. I mesi da novembre a marzo sono caratterizzati da valori maggiori di eccedenze.

Tabella 7.21: Frequenza di Eccedenza (%) dell'Altezza d'Onda: Eventi sopra Soglia

Periodo	Frequenze di Eccedenza delle onde (m)(%)							
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
Annuale	51.49	19.80	7.57	3.19	1.53	0.72	0.18	0.00
Gennaio	67.42	34.60	12.98	6.24	3.49	1.56	0.32	0.00
Febbraio	68.68	31.21	12.26	4.93	2.16	1.09	0.12	0.00
Marzo	65.86	31.26	12.04	5.00	1.72	0.78	0.08	0.00
Aprile	55.19	18.67	6.44	1.25	0.31	0.06	0.00	0.00
Maggio	52.02	15.22	4.65	1.34	0.67	0.43	0.00	0.00
Giugno	39.28	5.39	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Luglio	37.72	8.98	1.77	0.59	0.19	0.00	0.00	0.00
Agosto	27.63	5.67	1.72	0.81	0.05	0.00	0.00	0.00
Settembre	40.89	13.97	3.86	1.14	0.28	0.00	0.00	0.00
Ottobre	52.07	16.59	5.46	2.98	1.56	0.78	0.46	0.00
Novembre	60.72	31.69	16.17	6.78	3.19	1.17	0.36	0.00
Dicembre	51.69	25.05	13.01	7.28	4.73	2.77	0.75	0.00

7.3.3 Persistenze

In questo paragrafo sono riportate le persistenze percentuali, annuali e mensili, delle onde significative sopra e sotto soglia.

Tabella 7.22: Persistenza delle Onde – Annuale

SOTTO Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Annuale						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	4.99	5.26	3.44	2.45	1.60	0.55	0.37	0.00
0.5	27.71	47.16	44.75	42.00	39.19	35.73	31.38	23.17
0.75	45.65	66.65	64.90	63.62	61.93	59.07	55.28	48.64
1	73.37	79.41	78.49	77.57	76.52	74.41	72.23	67.33
1.25	110.43	87.28	86.59	85.90	85.29	83.96	82.43	80.01
1.5	162.67	92.20	91.95	91.28	90.49	89.61	88.68	86.61
SOPRA Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Annuale						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	60.52	91.37	89.97	88.01	86.24	83.09	80.21	73.35
0.5	29.42	50.03	47.70	45.54	44.29	40.87	35.84	26.04
0.75	21.70	30.76	28.88	27.33	25.69	21.89	17.53	10.92
1	18.15	18.87	17.56	15.92	14.53	11.36	7.15	3.56
1.25	15.54	11.70	10.45	9.25	7.46	4.13	2.30	1.04
1.5	13.38	7.06	6.26	4.98	3.72	1.89	0.94	0.57

Tabella 7.23: Persistenza delle Onde – Gennaio

SOTTO Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Gennaio						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	7.11	5.81	3.50	2.72	1.59	0.00	0.00	0.00
0.5	19.55	30.61	28.48	27.68	25.58	18.40	12.96	8.47
0.75	26.78	47.93	45.88	43.89	42.79	39.40	33.92	19.69
1	31.58	63.72	61.89	59.44	58.90	55.70	51.02	42.90
1.25	51.07	77.33	75.93	73.99	72.30	67.27	65.03	58.71
1.5	95.18	86.85	86.07	84.62	83.00	81.50	79.26	75.09
SOPRA Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Gennaio						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	86.40	92.63	91.66	91.20	90.02	85.58	81.98	78.59
0.5	38.57	66.25	64.04	61.94	60.87	55.84	51.40	31.44
0.75	27.93	48.63	47.20	44.62	42.93	40.40	35.15	18.13
1	17.39	32.89	31.17	27.84	25.52	20.63	10.36	2.64
1.25	14.96	20.87	18.21	15.44	11.46	8.34	5.06	2.42
1.5	16.10	11.92	11.43	9.17	7.53	5.27	3.07	0.00

Tabella 7.24: Persistenza delle Onde – Febbraio

SOTTO Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Febbraio						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	5.14	3.93	2.60	2.25	1.15	1.15	0.00	0.00
0.5	17.97	29.85	27.69	25.06	20.74	18.03	15.81	6.68
0.75	28.24	50.53	48.70	46.39	43.23	38.98	32.86	25.59
1	43.11	66.99	65.31	63.59	63.59	61.91	56.00	44.47
1.25	58.78	78.93	77.25	76.45	75.35	72.16	68.26	61.08
1.5	80.24	87.41	86.88	83.72	82.51	79.76	77.25	68.23
SOPRA Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Febbraio						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	76.05	93.62	93.06	92.20	90.99	87.15	84.93	78.34
0.5	36.89	67.46	65.46	63.15	60.64	57.03	49.79	47.84
0.75	25.52	46.72	44.24	42.46	38.24	33.30	27.25	20.33
1	19.92	30.17	28.81	25.44	23.08	18.88	15.28	10.22
1.25	15.11	19.09	17.11	15.04	11.88	5.17	1.77	0.00
1.5	12.21	11.47	9.25	7.48	4.40	0.00	0.00	0.00

Tabella 7.25: Persistenza delle Onde – Marzo

SOTTO Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Marzo						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	6.37	5.70	4.06	2.74	2.23	0.00	0.00	0.00
0.5	20.48	32.82	29.22	26.05	23.74	19.09	16.64	11.75
0.75	30.12	53.41	50.24	48.71	46.53	42.53	39.11	29.92
1	53.27	67.96	67.28	66.56	61.99	56.37	53.04	46.91
1.25	62.10	79.41	78.17	77.07	75.91	72.53	70.30	65.48
1.5	81.80	87.37	86.53	85.35	84.81	81.64	78.60	73.84
SOPRA Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Marzo						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	71.79	91.94	90.54	88.25	87.72	84.49	82.23	78.84
0.5	37.69	64.30	61.99	61.18	59.97	59.06	54.44	36.77
0.75	24.23	42.85	40.75	39.54	37.88	32.34	26.64	16.61
1	24.23	30.43	29.60	27.02	24.76	20.03	15.40	7.69
1.25	15.72	19.01	16.99	15.78	12.28	6.18	1.85	0.00
1.5	11.79	11.02	9.62	7.34	4.49	1.26	0.00	0.00

Tabella 7.26: Persistenza delle Onde – Aprile

SOTTO Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Aprile						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	3.59	3.92	2.36	1.06	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	24.82	43.19	40.97	38.78	35.44	33.06	27.17	14.44
0.75	43.36	65.61	62.72	61.50	60.94	55.56	51.17	41.14
1	63.65	80.44	79.78	78.08	78.08	75.72	72.14	61.61
1.25	96.03	87.44	86.92	85.67	85.14	85.14	81.61	81.61
1.5	140.33	93.31	92.67	92.31	91.19	91.19	89.94	87.08
SOPRA Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Aprile						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	45.30	91.81	89.83	86.47	83.08	80.72	76.06	66.75
0.5	30.57	54.06	52.08	49.75	48.64	42.94	38.67	26.42
0.75	22.09	32.31	30.33	29.50	27.25	22.33	16.39	7.17
1	15.27	17.67	16.78	14.81	13.08	9.89	5.03	0.00
1.25	14.37	11.39	9.89	8.67	6.89	3.00	1.69	0.00
1.5	11.05	6.08	4.44	2.36	1.78	1.08	0.00	0.00

Tabella 7.27: Persistenza delle Onde – Maggio

SOTTO Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Maggio						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	5.67	4.62	3.55	2.66	1.61	0.00	0.00	0.00
0.5	22.04	46.02	43.95	39.70	35.65	30.19	26.69	18.36
0.75	36.96	69.49	67.28	66.13	65.00	61.80	56.59	52.07
1	67.11	84.09	83.06	81.75	80.62	76.75	76.75	70.78
1.25	113.43	91.16	90.89	89.76	89.76	89.11	88.15	85.22
1.5	197.06	95.35	95.08	94.27	94.27	94.27	94.27	92.66
SOPRA Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Maggio						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	72.42	93.06	91.18	90.35	89.76	86.34	82.88	78.71
0.5	24.19	50.35	46.72	44.11	42.37	39.22	33.98	16.02
0.75	15.35	26.91	24.52	22.72	19.46	14.65	8.25	5.59
1	13.48	13.95	12.39	10.05	8.28	5.19	2.02	2.02
1.25	12.68	7.88	7.10	5.38	4.27	0.99	0.00	0.00
1.5	13.31	4.35	3.52	2.69	1.48	0.00	0.00	0.00

Tabella 7.28: Persistenza delle Onde – Giugno

SOTTO Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Giugno						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	2.94	2.72	0.53	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	23.76	58.81	56.31	52.33	46.22	39.22	33.33	25.33
0.75	53.93	84.03	82.06	81.33	80.14	79.39	74.81	67.36
1	154.82	94.58	94.36	93.08	91.89	90.14	88.94	87.03
1.25	220.19	97.75	97.53	97.53	97.03	96.08	93.89	93.89
1.5	297.67	99.19	99.19	99.19	98.61	98.61	95.03	95.03
SOPRA Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Giugno						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	47.22	93.11	90.64	88.72	86.53	82.53	76.64	61.86
0.5	15.71	36.61	32.36	29.56	27.92	26.19	18.33	9.97
0.75	9.92	12.19	9.89	9.17	8.56	5.31	2.72	0.00
1	11.41	4.97	4.53	3.78	2.67	1.06	0.00	0.00
1.25	7.00	1.97	0.94	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00
1.5	4.00	0.58	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 7.29: Persistenza delle Onde – Luglio

SOTTO Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Luglio						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	3.57	2.85	1.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	34.07	61.37	59.33	55.94	53.33	48.74	39.81	25.35
0.75	60.96	79.38	77.50	76.72	75.56	74.01	69.95	63.66
1	112.87	90.62	89.30	89.30	88.71	87.98	85.78	82.20
1.25	198.11	95.54	95.08	94.70	94.19	94.19	94.19	91.08
1.5	304.50	98.09	97.80	97.80	97.80	97.80	97.80	96.18
SOPRA Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Luglio						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	56.66	93.44	91.96	89.27	85.97	83.76	83.76	77.58
0.5	21.58	35.99	33.87	30.81	29.68	23.82	21.37	15.46
0.75	16.29	18.66	16.24	13.66	12.58	8.84	8.84	5.05
1	13.36	8.33	6.75	6.40	5.86	5.86	1.75	0.00
1.25	11.85	3.98	2.93	2.93	1.75	0.00	0.00	0.00
1.5	9.43	1.51	1.34	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 7.30: Persistenza delle Onde – Agosto

SOTTO Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Agosto						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	3.01	3.04	1.02	0.70	0.70	0.00	0.00	0.00
0.5	36.88	71.59	67.90	65.11	60.67	59.81	55.35	41.75
0.75	73.73	86.75	84.62	84.62	82.39	81.61	79.33	74.78
1	152.57	94.27	93.92	93.06	92.02	92.02	92.02	92.02
1.25	241.13	97.15	97.15	97.15	96.53	96.53	96.53	96.53
1.5	243.73	98.09	98.09	98.09	98.09	98.09	98.09	98.09
SOPRA Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Agosto						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	33.22	90.03	85.89	80.54	75.08	70.62	67.34	59.06
0.5	14.48	25.48	22.45	19.78	18.55	15.11	11.75	4.33
0.75	11.90	11.67	10.24	9.14	8.60	5.51	3.28	0.00
1	11.11	5.13	3.76	3.01	3.01	2.31	0.00	0.00
1.25	10.30	2.45	2.04	1.69	1.69	0.00	0.00	0.00
1.5	6.40	1.32	1.32	1.32	0.75	0.00	0.00	0.00

Tabella 7.31: Persistenza delle Onde – Settembre

SOTTO Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Settembre						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	5.00	6.75	5.47	3.94	2.89	1.39	1.39	0.00
0.5	30.40	57.58	55.33	51.94	50.31	44.31	41.22	28.17
0.75	59.94	77.64	76.53	74.89	73.69	69.69	65.19	60.69
1	88.49	85.17	84.72	84.72	83.50	81.86	79.56	78.22
1.25	103.63	91.81	90.17	89.75	89.75	88.14	87.00	83.61
1.5	182.16	96.08	96.08	96.08	94.53	94.53	93.53	93.53
SOPRA Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Settembre						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	44.52	88.58	87.08	84.81	83.64	76.47	71.25	64.42
0.5	21.97	39.33	36.22	33.75	31.39	29.86	26.39	20.14
0.75	18.21	20.39	19.06	18.19	17.64	13.33	10.97	4.69
1	16.23	13.19	12.42	10.83	9.00	5.92	1.33	0.00
1.25	10.52	6.81	6.33	5.06	3.28	1.06	0.00	0.00
1.5	9.93	3.56	2.83	1.94	0.86	0.00	0.00	0.00

Tabella 7.32: Persistenza delle Onde – Ottobre

SOTTO Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Ottobre						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	7.31	8.90	6.83	4.81	2.58	1.77	1.77	0.00
0.5	27.86	46.88	44.03	41.24	38.92	35.43	29.22	21.08
0.75	35.18	66.85	65.62	64.49	60.32	54.62	48.33	38.84
1	64.65	82.88	81.40	80.19	79.09	76.80	72.12	65.97
1.25	109.48	91.10	90.08	89.68	89.68	88.36	86.21	81.32
1.5	195.39	94.46	94.46	94.14	94.14	92.66	92.66	92.66
SOPRA Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Ottobre						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	58.21	88.39	87.12	85.67	85.08	81.18	76.80	66.18
0.5	31.75	50.75	50.32	48.17	47.04	42.50	29.73	17.50
0.75	17.20	30.24	28.25	25.00	21.67	15.48	7.58	3.20
1	14.02	15.30	12.96	10.94	9.81	5.40	4.35	2.66
1.25	12.07	7.90	6.67	5.86	3.63	3.63	2.42	2.42
1.5	15.62	5.19	4.68	3.47	2.98	2.26	2.26	2.26

Tabella 7.33: Persistenza delle Onde – Novembre

SOTTO Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Novembre						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	6.69	5.81	3.81	2.50	0.75	0.00	0.00	0.00
0.5	30.09	38.47	36.11	33.33	33.33	31.06	26.64	21.81
0.75	40.27	53.58	51.78	50.11	47.22	44.33	39.72	38.31
1	46.40	66.86	65.58	63.67	62.42	59.42	56.14	44.75
1.25	69.33	76.56	75.94	75.25	73.61	71.25	67.83	63.08
1.5	71.86	83.28	82.97	81.25	79.50	77.03	75.75	67.47
SOPRA Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Novembre						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	79.50	91.64	90.86	90.86	89.78	87.17	85.06	82.03
0.5	46.51	59.83	58.39	56.33	56.33	52.89	51.58	41.72
0.75	33.90	44.28	42.17	41.33	40.14	36.64	34.25	21.28
1	22.37	30.69	29.33	27.72	26.64	21.00	14.42	5.11
1.25	22.35	22.33	20.78	18.72	18.17	8.19	7.14	2.78
1.5	14.92	15.56	13.75	11.36	9.61	3.28	0.00	0.00

Tabella 7.34: Persistenza delle Onde – Dicembre

SOTTO Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Dicembre						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	6.96	7.98	6.08	4.46	4.46	1.29	1.29	0.00
0.5	33.26	47.10	45.38	43.06	40.40	36.56	32.98	29.65
0.75	52.04	63.39	62.88	60.46	59.30	57.85	53.25	46.13
1	63.34	74.01	73.39	72.93	70.86	66.37	62.82	61.34
1.25	96.06	82.42	81.67	80.83	80.22	76.32	75.05	72.45
1.5	104.35	86.48	86.21	85.83	84.17	83.47	82.42	74.38
SOPRA Soglia (m)	Durata Media (ore)	Frequenza (%) Dicembre						
		Durata evento (ore)						
		6	12	18	24	36	48	72
0.25	55.37	88.01	86.34	83.98	82.88	81.26	79.19	69.09
0.5	34.96	50.81	48.68	46.26	45.70	40.65	36.13	28.20
0.75	29.44	34.84	34.06	32.07	29.78	28.23	22.80	19.97
1	22.73	24.27	22.45	21.69	20.65	16.08	10.89	7.42
1.25	22.24	16.88	15.91	14.44	13.25	9.54	7.58	4.76
1.5	17.93	12.23	11.96	11.51	9.44	7.07	5.81	4.46

7.3.4 Condizioni Estreme

La Tabella 7.35 e Tabella 7.36 riportano, per i periodi di ritorno scelti, i valori estremi di Hs con associati periodi di picco (Tp) ottenuti dalla propagazione delle onde di largo verso costa, rispettivamente nello scenario di livello minimo e massimo (si veda Tabella 8.4), di fronte all'area di studio a una profondità di 25 m e a una profondità di 12.5 m all'inizio dell'imboccatura del canale dragato di accesso al porto venendo dal largo. Le onde estreme massime sono associate a settori direzionali di 260 ° - 280 ° N.

La Tabella 7.37 e la Tabella 7.38 riportano invece i valori estremi direzionali di altezza significativa Hs (e associati periodi di picco Tp), per i periodi di ritorno di 1, 5, 10, 50, 100 e 350, ottenuti sempre dalla propagazione delle onde estreme di largo ed estratti nella zona del turning basin ad una profondità di circa 12.5 m (punto raffigurato in Figura 7.3). Nelle tabelle sono riportate i settori direzionali di provenienza dell'onda significativi per il sito, ovvero da 150°N a 330°N. Nello scenario di livello minimo il valore minimo di Hs è 1.98 m corrispondente alla direzione 330°N e al periodo di ritorno di 1 anno; in corrispondenza dei 100 anni si ha un valore massimo di 4.28 m proveniente da 240°N. Per quanto riguarda lo scenario di livello massimo si hanno un valore minimo di 2 m proveniente sempre da 330°N ed un valore centennale massimo di circa 4.6 m da 240°N.

Tabella 7.35: Onde Estreme Omnidirezionali a Costa (25 m e 12.5 m di profondità) nello scenario di Livello Minimo

Scenario: livello minimo	Profondità		Profondità	
	m		m	
	25.0		12.5	
	Hs	Tp	Hs	Tp
Periodo di Ritorno	m	s	m	s
frequente (superata per 5 giorni all'anno)	2.7	8.9	2.9	9.1
1	5.1	10.6	5.6	10.9
5	6.0	11.1	6.3	11.3
10	6.4	11.4	6.5	11.4
50	7.1	11.8	6.8	11.6
100	7.5	12.0	6.9	11.7
350	8.1	12.3	7.0	11.7

Tabella 7.36: Onde Estreme Omnidirezionali a Costa (25 m e 12.5 m di profondità) nello scenario di Livello Massimo

Scenario: livello massimo	Profondità		Profondità	
	m		m	
	25.0		12.5	
	Hs	Tp	Hs	Tp
Periodo di Ritorno	m	s	m	s
frequente (superata per 5 giorni all'anno)	2.8	8.9	2.9	9.1
1	5.1	10.6	5.7	11.0
5	6.0	11.1	6.4	11.4
10	6.4	11.4	6.7	11.5
50	7.1	11.8	7.1	11.8
100	7.5	12.0	7.2	11.8
350	8.1	12.3	7.3	11.9

Tabella 7.37: Onde Estreme Direzionali a Costa (Turning Basin, 12.5 m di profondità) nello scenario di Livello Minimo

Dir (°N)	Periodo di Ritorno (Anni)											
	1		5		10		50		100		350	
	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)
150	2.5	8.8	2.8	9.0	2.9	9.1	3.1	9.2	3.2	9.2	3.2	9.3
180	3.4	9.4	3.5	9.5	3.6	9.5	3.7	9.6	3.7	9.6	3.7	9.6
210	3.7	9.6	3.9	9.8	4.0	9.8	4.0	9.8	4.0	9.8	4.1	9.9
240	4.0	9.8	4.2	10.0	4.3	10.0	4.3	10.0	4.3	10.0	4.3	10.0
270	3.7	9.6	3.8	9.7	3.9	9.7	4.0	9.8	4.0	9.8	4.1	9.9
300	2.7	8.9	3.3	9.4	3.5	9.5	3.7	9.6	3.7	9.6	3.8	9.7
330	2.0	8.5	2.2	8.6	2.3	8.7	2.5	8.8	2.6	8.8	2.7	8.9

Tabella 7.38: Onde Estreme Direzionali a Costa (Turning Basin, 12.5 m di profondità) nello scenario di Livello Massimo

Dir (°N)	Periodo di Ritorno (Anni)											
	1		5		10		50		100		350	
	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)
150	2.6	8.8	2.9	9.1	3.0	9.2	3.3	9.3	3.3	9.4	3.4	9.4
180	3.5	9.5	3.8	9.7	3.8	9.7	3.9	9.8	4.0	9.8	4.0	9.8
210	3.9	9.7	4.2	9.9	4.2	10.0	4.3	10.0	4.3	10.0	4.3	10.1
240	4.2	10.0	4.5	10.1	4.6	10.2	4.6	10.3	4.6	10.3	4.6	10.3
270	4.0	9.8	4.1	9.9	4.1	9.9	4.2	10.0	4.3	10.0	4.4	10.1
300	2.7	8.9	3.5	9.5	3.7	9.6	3.9	9.8	4.0	9.8	4.0	9.8
330	2.0	8.5	2.3	8.6	2.6	8.7	2.5	8.8	2.6	8.9	2.7	8.9

8 LIVELLO DEL MARE

L'analisi del livello del mare che interessa il tratto di costa di interesse viene presentata in questo capitolo valutando diverse forzanti.

8.1 MAREA

Le caratteristiche della marea nell'area sono state ricavate dalle costanti armoniche della stazione di Civitavecchia, mostrate in Figura 8.1, in cui è stata ricostruito un mese tipico di marea, nell'area, tipicamente semidiurna.

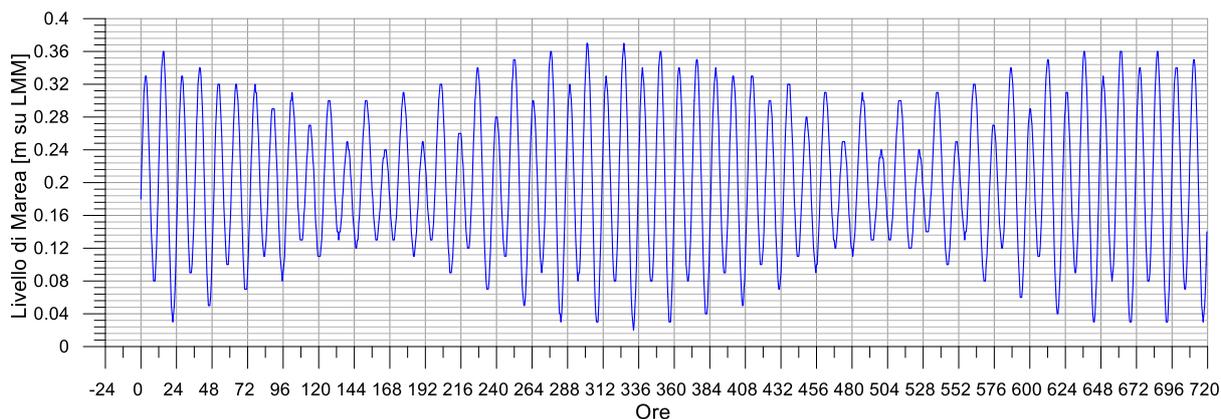


Figura 8.1: Oscillazione della marea – Stazione di Civitavecchia

In Tabella 8.1 vengono riportate le costanti armoniche per la stazione di Civitavecchia usate mentre in Tabella 8.2 vengono riportati i livelli di marea attesi.

I livelli standard considerati sono i seguenti:

- ✓ LAT (Lowest Astronomical Tide): l'elevazione della più bassa marea astronomica. Spesso i chart datum corrispondono a questo livello;
- ✓ HAT (Highest Astronomical Tide): l'elevazione della più alta marea astronomica prevista che dovrebbe verificarsi in una specifica stazione di marea sopra Chart datum;
- ✓ MHWS (Mean High Water Spring): l'altezza media delle acque alte della marea primaverile sopra Chart datum;
- ✓ MHWN (Mean High Water Neap): l'altezza media delle acque alte della marea neap sopra Chart datum;
- ✓ MSL (Mean Sea Level): livello medio della superficie del mare su un lungo periodo, normalmente 19 anni, o il livello medio che esisterebbe in assenza di maree al di sopra Chart datum;
- ✓ MLWN (Mean Low Water Neap): l'altezza media delle acque basse della marea neap sopra Chart datum;
- ✓ MLWS (Mean Low Water Spring): l'altezza media delle acque basse della marea primaverile sopra Chart datum.

Tabella 8.1: Costanti Armoniche per la Stazione di Civitavecchia

	M ₂ (12.42 ore)		S ₂ (12.00 ore)		K ₁ (23.93 ore)		O ₁ (25.82 ore)	
	Ampiezza (m)	Fase (°)						
Civitavecchia	0.11	268	0.04	289	0.03	207	0.01	118

Tabella 8.2: Livelli di Marea per la Stazione di Civitavecchia, rispetto al Chart Datum

	HAT	MHWS	MHWN	MSL	MLWN	MLWS	LAT
Civitavecchia	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1

8.2 STORM SURGE

Per valutare l'innalzamento del livello dovuto a gradienti di pressione atmosferici e l'effetto del vento è stata analizzata la serie temporale di livello misurata ad Anzio. Dopo aver filtrato la serie originale per eliminare il contributo della marea la componente stocastica legata agli eventi atmosferici è stata analizzata. In Figura 8.2 viene mostrato l'istogramma dei valori di livello del mare della serie residua.

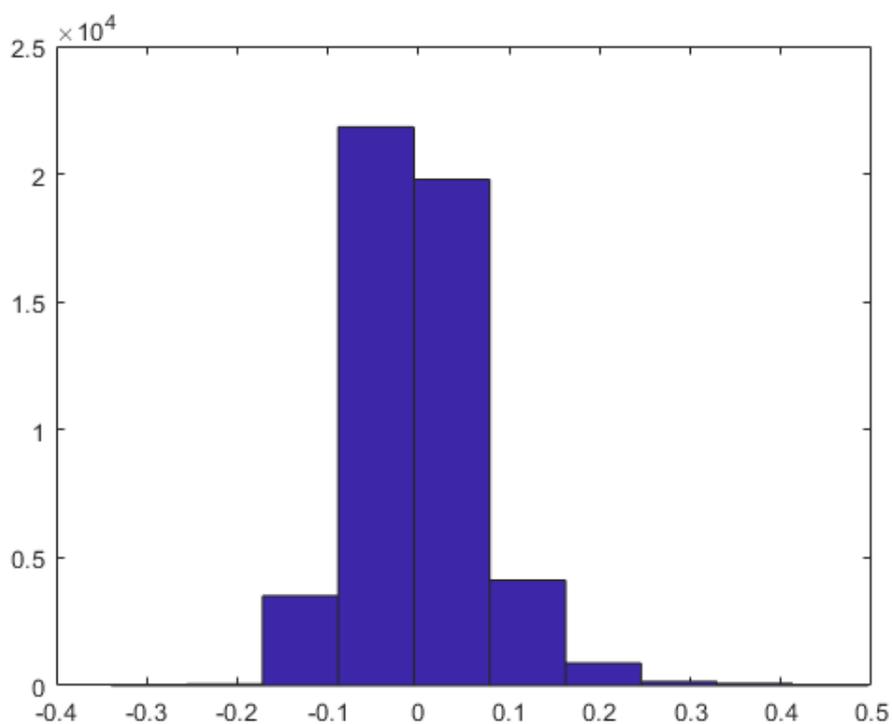


Figura 8.2: Iistogramma della Serie Residua di Livello del Mare a Civitavecchia

I valori estremi del livello, rappresentativo del contributo stocastico, sono riportati in Figura 8.3 e Tabella 8.3 per differenti periodi di ritorno (1, 5, 10, 100 e 350 anni).

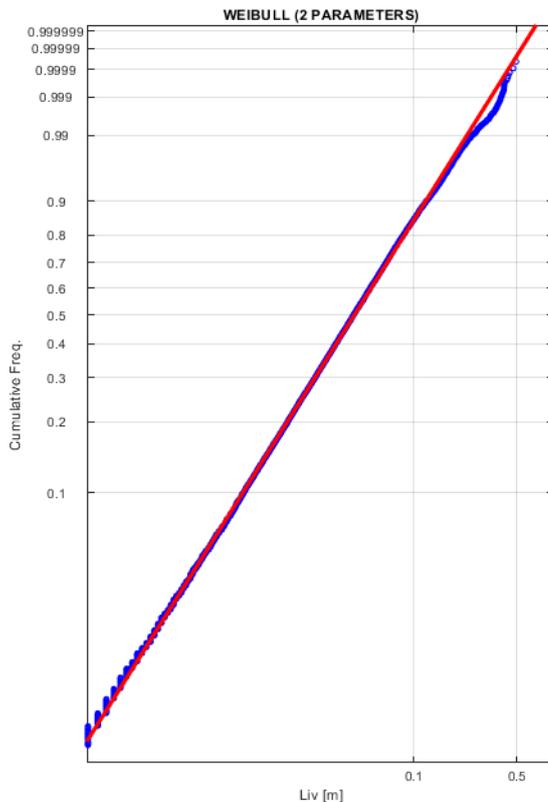


Figura 8.3: Fitting dei Dati di Livello (Serie Residua) con Distribuzione Biparametrica di Weibull

Tabella 8.3: Valori Estremi del Livello Indotti dalle Forzanti Atmosferiche

Valori Estremi del Livello (m)	Periodi di ritorno (anni)					
	1	5	10	50	100	350
Set up/down	0.20	0.25	0.27	0.33	0.35	0.40

8.3 EFFETTO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Al fine di completare il quadro generale, vengono discusse alcune considerazioni relative alle variazioni del livello del mare previste in futuro a causa dei cambiamenti climatici.

L'IPPC ha previsto che entro il 2100, il riscaldamento globale porterà ad un innalzamento del livello del mare da 18 a 59 cm o da 48 a 79 cm a seconda degli "scenari" considerati (Figura 8.4). Il futuro innalzamento del livello del mare, come il recente innalzamento, non dovrebbe essere uniforme a livello globale: alcune regioni mostrano un innalzamento del livello del mare sostanzialmente superiore alla media globale (in molti casi di oltre il doppio della media), e altre un calo del livello del mare. Tuttavia, i modelli sono in disaccordo sul probabile pattern di distribuzione dell'innalzamento del livello.

Si consiglia di considerare un aumento del livello del mare di 6.5 mm/anno, considerando lo scenario peggiore.

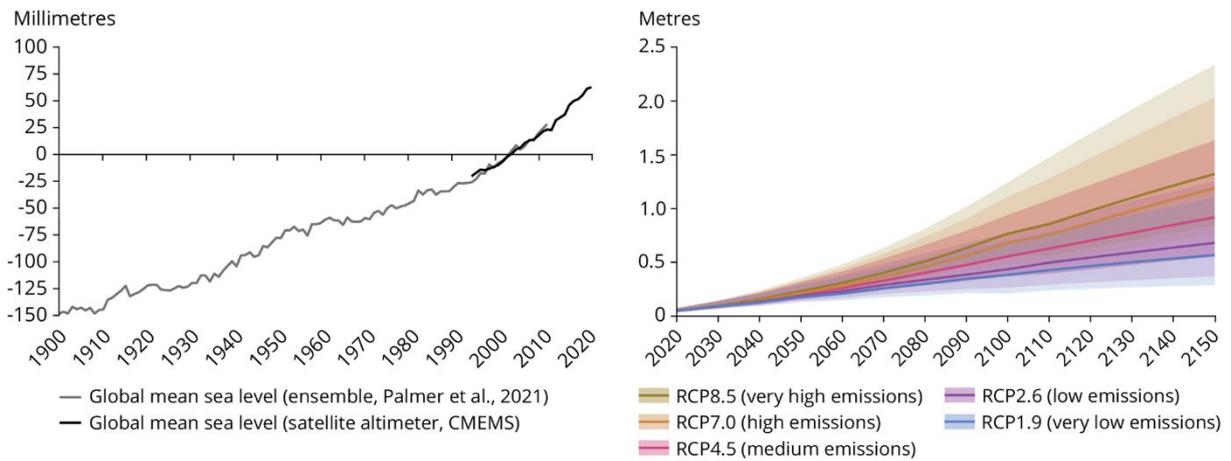


Figura 8.4: Aumento del Livello Marino e Scenari Previsti

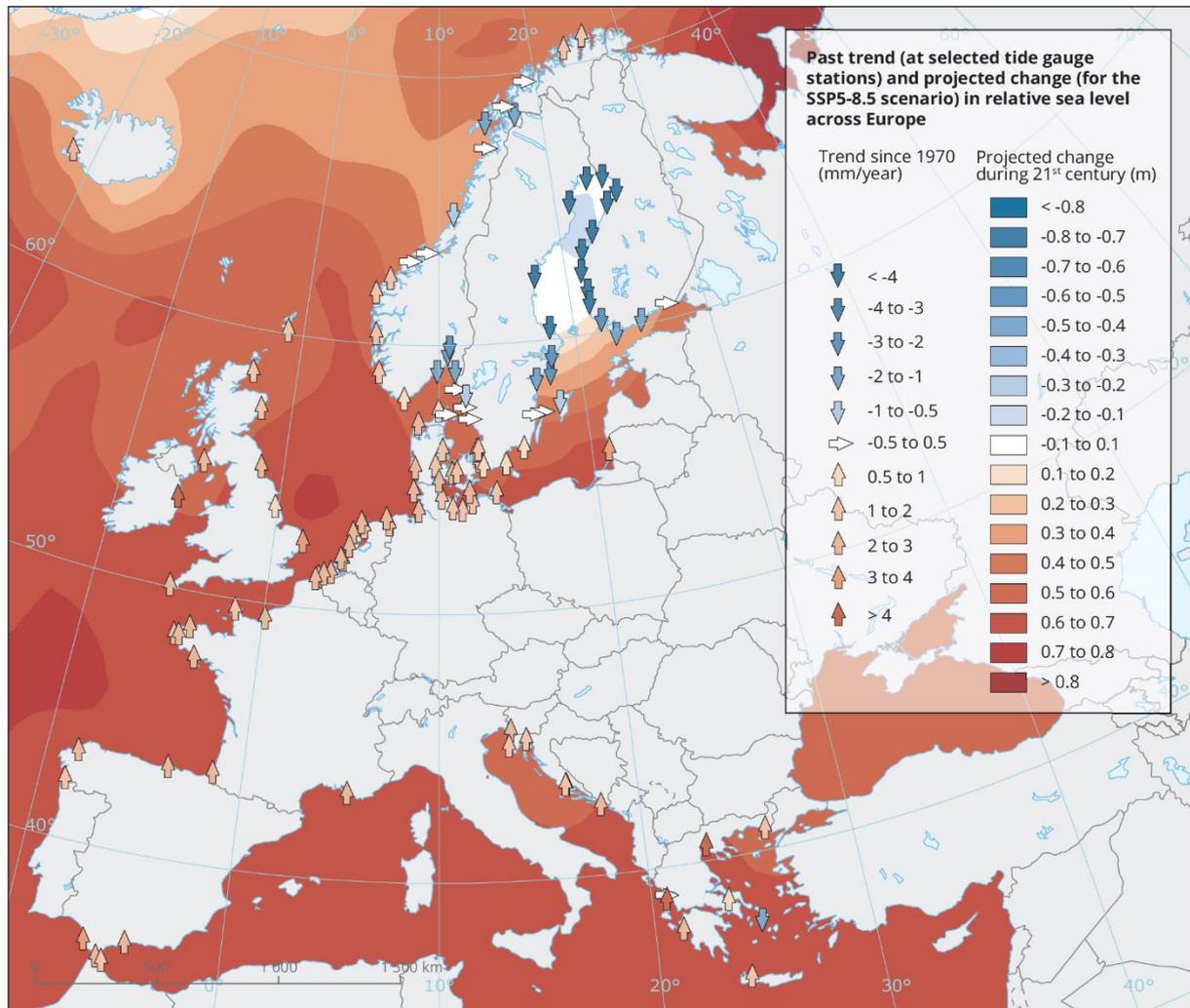


Figura 8.5: Distribuzione Spaziale del Trend Medio di Aumento del Livello del Mare nel Mediterraneo

8.4 VALORI ESTREMI

Sono stati presi in considerazione i seguenti contributi per la valutazione delle escursioni estreme del livello del mare (Tabella 8.4):

- ✓ Variazione del livello indotta dal vento;
- ✓ Escursione del livello dovuta alla marea astronomica;
- ✓ Variazione del livello indotta dai cambiamenti climatici.

Per il calcolo dei valori estremi sono state considerate sia le condizioni in caso di livello del mare minimo, che massimo. Per il livello minimo è stato considerato solo il valore estremo del livello indotto dal vento, mentre per il livello massimo sono stati sommati i valori indotti dall' alta marea sigiziale, il contributo indotto dai cambiamenti climatici, e il contributo dovuto al vento. Il livello massimo centennale del mare è stato valutato pari a 1.08 m considerando il 100% della somma dei singoli contributi.

Tabella 8.4: Valori Estremi del Livello

Scenario: livello minimo	marea HW	marea LW	SLR (50 anni)	Storm surge trasversale
Periodo di Ritorno	m Imm	m Imm	m	m
Frequente (superata per 5 giorni all'anno)	-	0.00	-	0.06
1				0.20
5				0.25
10				0.27
50				0.33
100				0.35
350				0.40
350				0.40
Scenario: livello massimo	marea HW	marea LW	SLR (50 anni)	surge trasversale
Periodo di Ritorno	m Imm	m Imm	m	m
Frequente (superata per 5 giorni all'anno)	0.40	-	0.33	0.06
1				0.20
5				0.25
10				0.27
50				0.33
100				0.35
350				0.40
350				0.40

9 CORRENTI

Nel presente capitolo vengono riportate le caratteristiche delle correnti a larga scala dell'area di studio.

9.1 CONDIZIONI TIPICHE

Il regime delle correnti tipico (fonte: dati giornalieri HYCOM) viene riportato in Tabella 9.1. La tabella presenta la distribuzione di frequenze (%) annuali di accadimento per valori di velocità di corrente rispetto alla direzione di propagazione. La corrispondente rosa di corrente è riportata in Figura 9.1.

Circa il 99% degli eventi è caratterizzato da una velocità minore o al più uguale a 0.5 m/s, solo lo 0.14% ricade nella classe massima di velocità 0.6 – 0.7 m/s. Le correnti propagano principalmente verso nord – nord ovest (300°N – 330°N, circa il 52% degli eventi), le più intense da 330°N (circa il 33% dei dati) e 180°N (circa il 6% degli eventi).

Le frequenze di accadimento mensili sono riportate da Tabella 9.2 a Tabella 9.13 e da Figura 9.2 a Figura 9.3. Gennaio e novembre presentano i massimi valori di velocità del vento ricadenti nella classe 0.6 – 0.7 m/s, luglio è invece il mese più calmo.

Si prega di notare che i valori di velocità si riferiscono alla profondità di 6 m dal livello del mare.

Tabella 9.1: Regime Tipico delle Correnti a Largo di Fiumicino

Dir [N]	Velocità di corrente (m/s) - Annuale Hycom giornaliero 12.16°E 41.68°N									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	>0.8	TOT.
0	5.82	3.59	0.45	0.06	0.03					9.94
30	3.93	0.68	0.03							4.63
60	2.85	0.37								3.22
90	2.23	0.34								2.57
120	2.15	0.51	0.08							2.74
150	2.77	1.02	0.56	0.14	0.08					4.57
180	3.64	1.52	0.68	0.20	0.06	0.06	0.03			6.18
210	2.77	1.02	0.03							3.81
240	3.02	0.59								3.61
270	4.72	1.81	0.03							6.55
300	7.57	8.47	2.68	0.34						19.06
330	8.33	15.28	6.58	1.81	0.71	0.28	0.11			33.10
TOT.	49.79	35.19	11.13	2.54	0.88	0.34	0.14			100.00

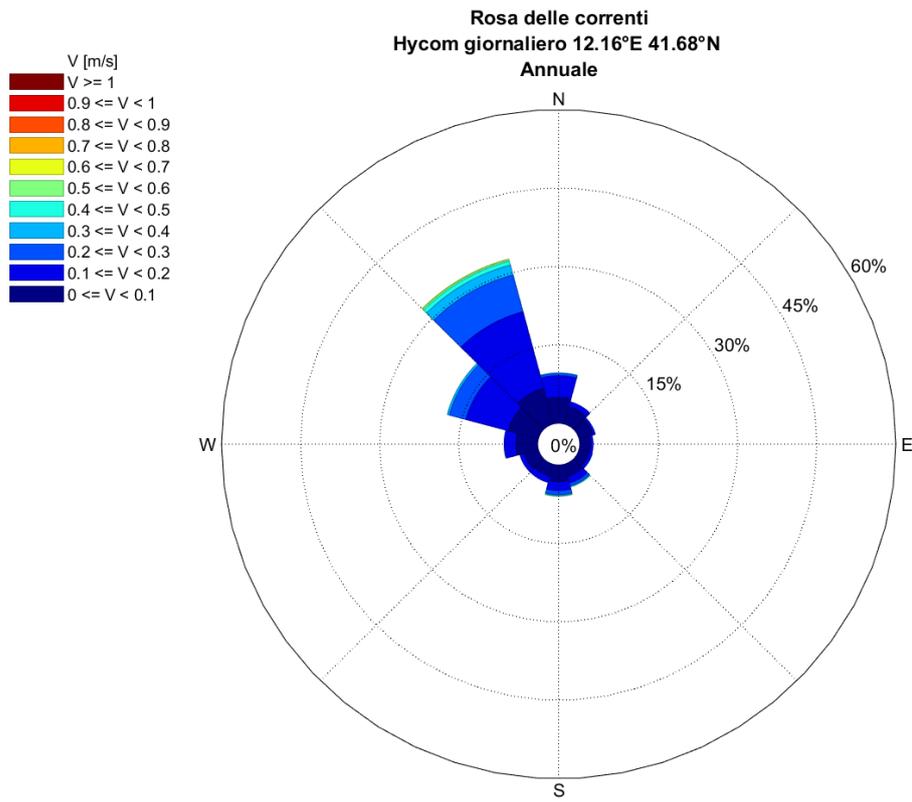


Figura 9.1: Rosa Annuale della Corrente

Tabella 9.2: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Gennaio

Dir [N]	Velocità di corrente (m/s) - Gennaio Hycom giornaliero 12.16°E 41.68°N									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	>0.8	TOT.
0	3.07	1.71	0.34							5.12
30	1.37	0.34								1.71
60										
90	1.71									1.71
120	0.68	0.68								1.37
150	1.71	1.71	0.34	0.34	0.34					4.44
180	2.39	1.02	0.68	0.34	0.34	0.34	0.34			5.46
210	2.73	0.68								3.41
240	1.71	0.34								2.05
270	7.85	1.37								9.22
300	10.24	15.02	6.48							31.74
330	13.31	14.68	3.75	2.05						33.79
TOT.	46.76	37.54	11.60	2.73	0.68	0.34	0.34			100.00

Tabella 9.3: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Febbraio

Dir [N]	Velocità di corrente (m/s) - Febbraio Hycom giornaliero 12.16°E 41.68°N									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	>0.8	TOT.
0	1.17	1.17								2.34
30	1.17	0.39								1.56
60	1.56									1.56
90	0.78									0.78
120	2.34	1.56								3.91
150	2.73	0.39	1.56	0.39						5.08
180	5.08	0.39	2.34	1.17						8.98
210	3.91	2.34								6.25
240	3.13	1.56								4.69
270	6.64	4.30								10.94
300	11.33	16.80	3.13	0.78						32.03
330	8.20	10.16	1.95	0.78	0.78					21.88
TOT.	48.05	39.06	8.98	3.13	0.78					100.00

Tabella 9.4: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Marzo

Dir [N]	Velocità di corrente (m/s) - Marzo Hycom giornaliero 12.16°E 41.68°N									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	>0.8	TOT.
0	3.23	1.61								4.84
30	2.58									2.58
60	1.29									1.29
90	1.94									1.94
120	2.26	0.32	0.32							2.90
150	2.90	1.61	0.97	0.32	0.32					6.13
180	5.16	3.23	2.26	0.65		0.32				11.61
210	4.19	2.26								6.45
240	4.52	1.29								5.81
270	8.71	3.87								12.58
300	13.55	10.97	2.26							26.77
330	5.81	8.06	1.61	0.65	0.32	0.65				17.10
TOT.	56.13	33.23	7.42	1.61	0.65	0.97				100.00

Tabella 9.5: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Aprile

Dir [N]	Velocità di corrente (m/s) - Aprile Hycom giornaliero 12.16°E 41.68°N									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	>0.8	TOT.
0	3.67	1.33	1.00							6.00
30	2.00	0.33								2.33
60	0.67	0.33								1.00
90	2.33									2.33
120	2.00	0.33								2.33
150	2.00	0.33	0.33							2.67
180	6.33	4.00	0.33							10.67
210	6.33	2.67	0.33							9.33
240	6.00	1.67								7.67
270	7.33	6.67								14.00
300	11.00	10.33	1.67	0.33						23.33
330	5.00	9.00	3.67	0.67						18.33
TOT.	54.67	37.00	7.33	1.00						100.00

Tabella 9.6: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Maggio

Dir [N]	Velocità di corrente (m/s) - Maggio Hycom giornaliero 12.16°E 41.68°N									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	>0.8	TOT.
0	8.71	3.23								11.94
30	1.94	0.32								2.26
60	1.94									1.94
90	1.94									1.94
120	2.26	0.32								2.58
150	4.19	0.97	0.32	0.32	0.32					6.13
180	3.55	2.26	0.97							6.77
210	4.84	1.29								6.13
240	5.48	0.97								6.45
270	6.45	1.29	0.32							8.06
300	10.65	8.71	1.61							20.97
330	8.71	12.58	2.90	0.65						24.84
TOT.	60.65	31.94	6.13	0.97	0.32					100.00

Tabella 9.7: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Giugno

Dir [N]	Velocità di corrente (m/s) - Giugno Hycom giornaliero 12.16°E 41.68°N									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	>0.8	TOT.
0	4.67	2.67								7.33
30	3.67	0.67								4.33
60	2.67	0.33								3.00
90	1.00									1.00
120	2.00	0.67								2.67
150	7.33	3.33	0.67							11.33
180	9.00	3.33	0.33							12.67
210	4.67	0.67								5.33
240	4.00	0.67								4.67
270	6.67	0.67								7.33
300	6.67	6.00	1.67	0.33						14.67
330	8.67	13.67	3.33							25.67
TOT.	61.00	32.67	6.00	0.33						100.00

Tabella 9.8: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Luglio

Dir [N]	Velocità di corrente (m/s) - Luglio Hycom giornaliero 12.16°E 41.68°N									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	>0.8	TOT.
0	10.00	4.84								14.84
30	5.81	0.65								6.45
60	6.13	0.97								7.10
90	4.84	0.65								5.48
120	4.84	0.97								5.81
150	4.84	0.65	0.65							6.13
180	5.81	0.97	0.65							7.42
210	3.23	0.32								3.55
240	4.19									4.19
270	4.19	1.61								5.81
300	7.42	3.55								10.97
330	11.61	9.03	1.61							22.26
TOT.	72.90	24.19	2.90							100.00

Tabella 9.9: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Agosto

Dir [N]	Velocità di corrente (m/s) - Agosto Hycom giornaliero 12.16°E 41.68°N									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	>0.8	TOT.
0	11.29	4.52		0.32						16.13
30	11.94	0.97								12.90
60	7.10	0.65								7.74
90	5.16	0.97								6.13
120	4.19	0.32								4.52
150	4.19	0.97								5.16
180	2.26	0.65								2.90
210	1.29	0.65								1.94
240	3.55	0.32								3.87
270	1.94	0.65								2.58
300	7.10	4.52	0.65							12.26
330	9.35	11.29	2.90	0.32						23.87
TOT.	69.35	26.45	3.55	0.65						100.00

Tabella 9.10: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Settembre

Dir [N]	Velocità di corrente (m/s) - Settembre Hycom giornaliero 12.16°E 41.68°N									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	>0.8	TOT.
0	7.90	9.28	1.37	0.34	0.34					19.24
30	7.22	2.06	0.34							9.62
60	5.84	0.69								6.53
90	2.06	0.34								2.41
120	0.69	0.34								1.03
150	1.37	0.34								1.72
180	0.69									0.69
210		0.34								0.34
240	1.72									1.72
270	2.06	0.34								2.41
300	3.78	3.44	1.72	0.34						9.28
330	11.34	21.99	10.31	1.03	0.34					45.02
TOT.	44.67	39.18	13.75	1.72	0.69					100.00

Tabella 9.11: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Ottobre

Dir [N]	Velocità di corrente (m/s) - Ottobre Hycom giornaliero 12.16°E 41.68°N									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	>0.8	TOT.
0	8.61	7.28	0.99							16.89
30	4.64	1.99								6.62
60	4.97	0.33								5.30
90	3.31	0.66								3.97
120	2.65	0.66	0.33							3.64
150	0.66	0.66	0.99							2.32
180	0.33	0.66								0.99
210		0.33								0.33
240	0.66									0.66
270	1.32	0.33								1.66
300	1.32	3.31	2.32	0.33						7.28
330	3.97	24.50	16.23	3.97	0.99	0.66				50.33
TOT.	32.45	40.73	20.86	4.30	0.99	0.66				100.00

Tabella 9.12: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Novembre

Dir [N]	Velocità di corrente (m/s) - Novembre Hycom giornaliero 12.16°E 41.68°N									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	>0.8	TOT.
0	4.29	3.21	1.43							8.93
30	3.57									3.57
60	1.07	0.71								1.79
90	0.36	0.71								1.07
120	1.07		0.36							1.43
150		0.71								0.71
180	0.71	0.36	0.36							1.43
210	1.07									1.07
240	0.36									0.36
270	1.79									1.79
300	1.07	6.43	3.57	0.36						11.43
330	6.79	28.21	18.57	7.86	2.50	1.07	1.43			66.43
TOT.	22.14	40.36	24.29	8.21	2.50	1.07	1.43			100.00

Tabella 9.13: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente vs Direzione di Propagazione – Dicembre

Dir [N]	Velocità di corrente (m/s) - Dicembre Hycom giornaliero 12.16°E 41.68°N									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	>0.8	TOT.
0	1.79	1.79	0.36							3.94
30	0.36	0.36								0.72
60	0.36	0.36								0.72
90	0.72	0.72								1.43
120	0.36									0.36
150	0.72	0.36	1.08	0.36						2.51
180	2.15	1.08	0.36	0.36	0.36					4.30
210	0.72	0.72								1.43
240	0.36	0.36								0.72
270	1.43	0.72								2.15
300	6.45	14.34	7.89	1.79						30.47
330	7.17	21.51	13.26	4.30	3.94	1.08				51.25
TOT.	22.58	42.29	22.94	6.81	4.30	1.08				100.00

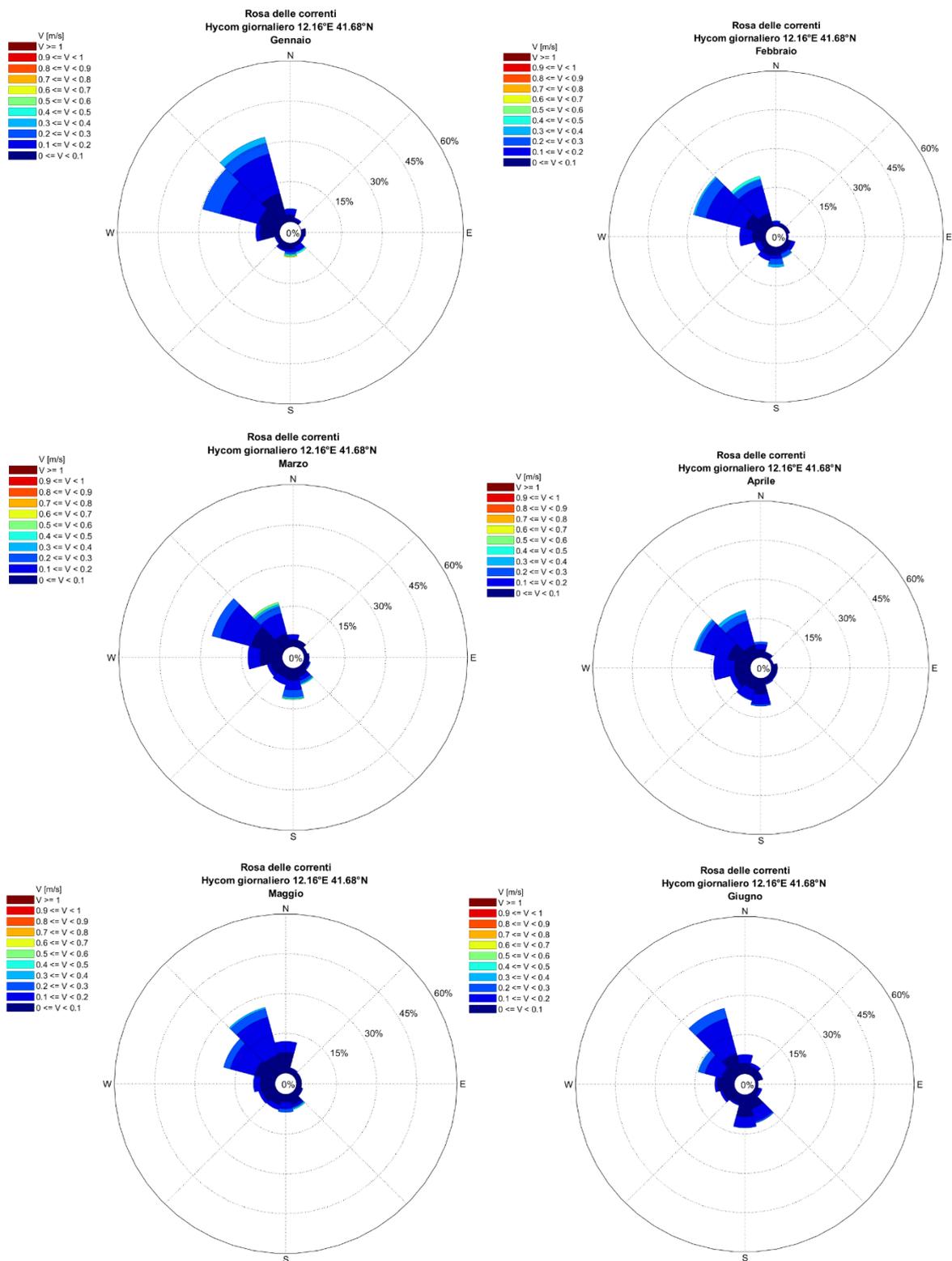


Figura 9.2: Rose Mensili di Corrente – Gennaio, Febbraio, Marzo, Aprile, Maggio, Giugno

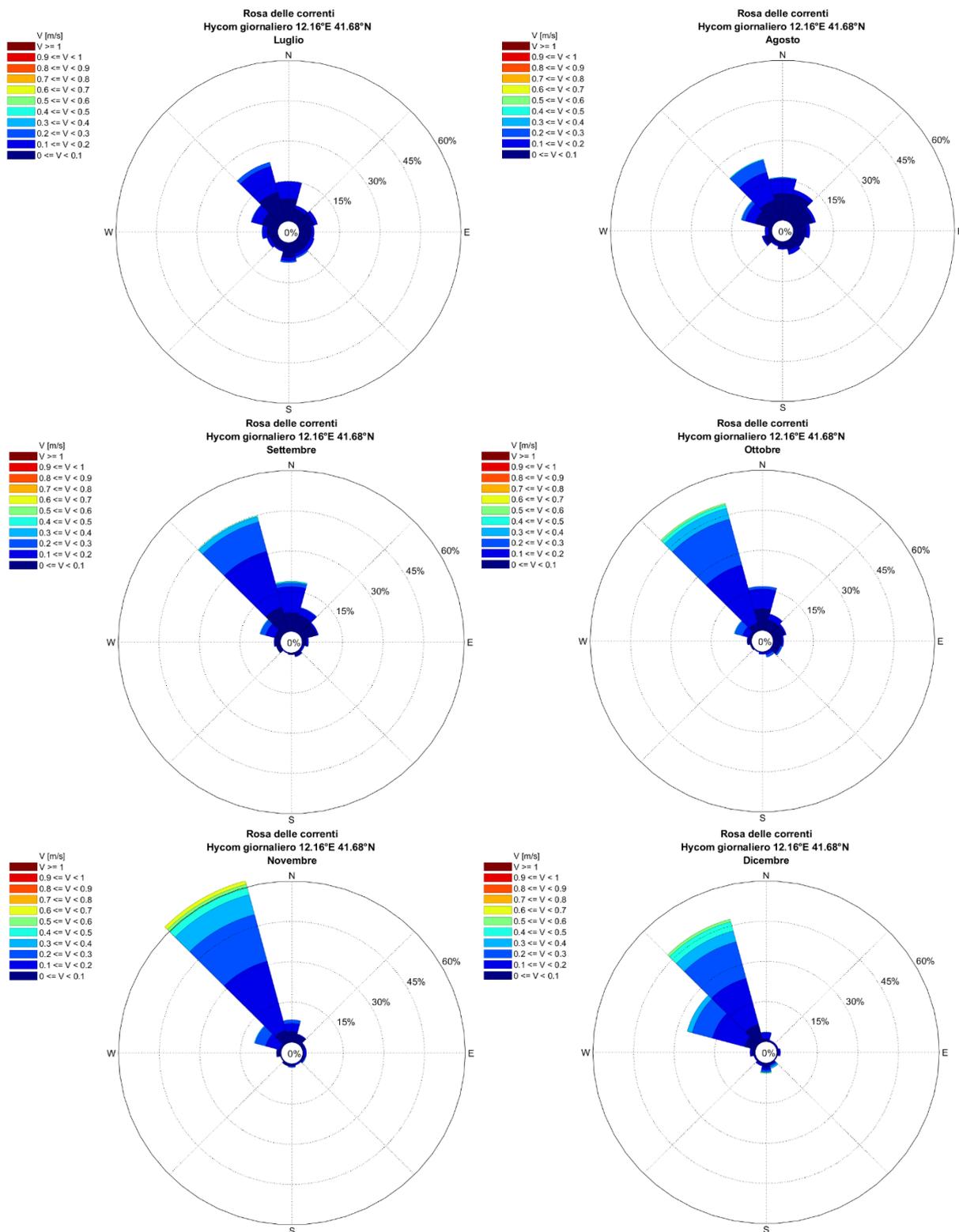


Figura 9.3: Rose Mensili di Corrente – Luglio Agosto, Settembre, Ottobre, Novembre, Dicembre

9.2 VALORI ESTREMI

I valori estremi omnidirezionali della corrente sono riportati in Figura 9.4 e Tabella 9.14 per differenti periodi di ritorno (1, 10, 100 e 350 anni). Oltre al valore omnidirezionale vengono riportati anche i valori estremi delle due direzioni principali, verso Nord e verso Sud.

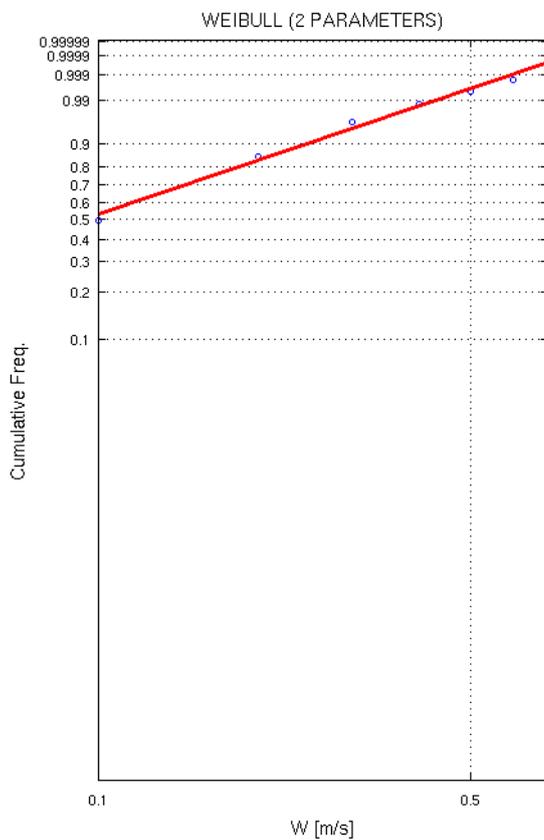


Figura 9.4: Fitting dei Dati di Corrente con Distribuzione Biparametrica di Weibull

Tabella 9.14: Valori Estremi Omnidirezionali della Velocità di Corrente (m/s) a -6 m di Quota sul Livello Medio del Mare per Periodi di Ritorno di 1, 10, 100 e 350 Anni

Correnti Estreme (m/s)	Periodo di Ritorno (Anni)			
	1	10	100	350
OMNI	0.53	0.69	0.85	0.93
Verso Nord	0.52	0.67	0.81	0.89
Verso Sud	0.53	0.69	0.85	0.93

10 CONCLUSIONI

L'unità fisiografica in cui ricade il tratto di costa oggetto di studio è compresa tra Capo Linario a Nord e Capo Anzio a Sud e si estende per circa 90 km; la foce del F. Tevere è situata nel tratto centrale di tale unità; il paraggio in esame risulta, pertanto, esposto ad un ampio settore di traversia, tutto principale, di ampiezza pari a circa 150°, compreso tra 160°N (Capo Anzio) e 310°N (Capo Linario).

Ponendosi al largo di tali estremi geografici, ad una profondità di circa 100 m e ad una distanza di circa 13 Km dalla costa, il paraggio è geograficamente esposto ad un settore di traversia più ampio che si estende tra 120°N (Capo Circeo) e 320°N (Porto S. Stefano).

Il sito in esame si affaccia quindi sul mar Tirreno centrale ed è limitato dalla costa ligure a Nord –Nord Ovest (300°N- 310°N), dalla costa orientale della Corsica a Nord-Ovest (DD 270°N- 300°N), dalla costa orientale della Sardegna a Ovest (220°N-270°N), dalla costa nord africana della Tunisia a sud-ovest (180°N- 220°N) ed infine dalla costa settentrionale della Sicilia a Sud- Sud Est (150°N- 180°N).

Per quanto concerne la circolazione d'insieme relativa all'unità fisiografica in esame, i dati reperiti, provenienti dal database HYCOM, confermano quanto riportato nell'Atlante delle correnti superficiali dell'Istituto Idrografico della Marina, dove si riscontra nel medio alto Tirreno, una prevalenza delle correnti dirette da Sud verso Nord (prevalentemente verso 330°N) con intensità variabili da 0.50 a 0.80 nodi.

I dati meteomarini di vento e onda utilizzati nel progetto sono descritti di seguito.

I dati del vento sono stati estratti dal database globale ECMWF ERA5. Il database è pubblicato dall'European Centre for Medium-Range Weather Forecast, un'organizzazione intergovernativa che utilizza modelli numerici all'avanguardia per fornire previsioni meteorologiche globali / hindcast a supporto dei servizi meteorologici nazionali. Sono disponibili i seguenti parametri:

- ✓ Velocità del vento W (m/s) ad un'altezza di 10 m sopra la superficie della Terra;
- ✓ Direzione del vento (°N) ad un'altezza di 10 m sopra la superficie della Terra.

I dati raccolti sono disponibili ad una risoluzione spaziale di 0,25 gradi x 0,25 gradi e si riferiscono al punto griglia: 12.25°E, 41.75°N. I dati coprono il periodo 1/1/1979 – 23/05/2022 (circa 44 anni).

Le misure di vento sono state rilevate dalle stazioni di Civitavecchia, Anzio e Ponza della Rete Mareografica Nazionale (RMN), ubicate rispettivamente alle seguenti coordinate e per i seguenti periodi:

- ✓ Civitavecchia: 42° 05' 38.25"N 11° 47' 22.73"E, 01.01.2010 - 05.09.2022;
- ✓ Anzio: 41° 26' 48.69"N 12° 38' 05.27" E, 01.12.2011 - 05.09.2022;
- ✓ Ponza: 40° 53' 42,64"N 12° 57' 56,12"E, 10.07.2011 - 05.09.2022.

Per quanto riguarda i dati di vento, sono disponibili i dati orari della velocità e direzione del vento calcolati come media vettoriale degli ultimi 10 minuti di ogni ora.

I dati di onda sono stati ottenuti da CMEMS MED - Waves, il database di hindcast del "Mediterranean Sea Waves forecasting system (WAM 4.5.4)". Tale database viene aggiornato annualmente e consiste in dati di onda orari aventi una risoluzione spaziale di 1/24° (circa 7 km) nel Mar Mediterraneo. Si estende inoltre all'Oceano Atlantico fino alla longitudine 18.125 W.

I dati orari di onda comprendono i seguenti parametri:

- ✓ Altezza significativa Hs (m);
- ✓ Periodo di Picco Tp (s);
- ✓ Periodo medio Tm (s);
- ✓ Direzione di picco Dp (°N).

Tali dati sono disponibili con una discrezione spaziale di 0.042° e si riferiscono al periodo gennaio 1993 – maggio 2020 (28 anni). Il punto considerato ha le seguenti coordinate:

- ✓ 12.21°E 41.69°N al largo di Fiumicino e a circa 67 m di profondità.

Le misure di onda sono state rilevate dalle stazioni di Civitavecchia e Ponza della Rete Ondametrica Nazionale (RON), ubicate rispettivamente alle seguenti coordinate e per i seguenti periodi:

- ✓ Civitavecchia: 42° 00' 00"N 11° 46' 12"E, 02.01.2004 - 12.09.2006;

✓ Ponza: 40° 52' 00" N 12° 57' 00" E, 1.07.1989 - 31.03.2008.

Il sistema RON dispone di dati rilevati in termini di altezza d'onda significativa spettrale, direzione media di provenienza dell'onda, periodo di picco e periodo medio. I dati sono disponibili sia sottoforma di serie temporali che di distribuzioni statistiche. I dati sono triorari, e nei casi di mareggiate significative con valori di altezza d'onda maggiori di 4.5 m l'acquisizione dei dati avviene in continuo e i dati sono registrati ogni mezz'ora.

I dati misurati di vento e onda hanno consentito di validare e calibrare i dati provenienti dai database ERA5 e CMEMS. Oltre alla validazione con i dati misurati è stata svolta un'analisi dei trend dovuti ai cambiamenti climatici che ha permesso di correggere le serie temporali riguardo a questo fondamentale aspetto.

Per quanto riguarda il regime del vento, circa il 99% degli eventi è caratterizzato da una velocità inferiore o al più uguale a 25 nodi. Gli eventi che ricadono nelle classi di velocità massime 40 – 50 nodi hanno invece frequenze di accadimento minori di 0.01%. I venti prevalenti provengono dai settori direzionali 150°N (circa l'11%), 0°N (circa il 9%) e 270°N (circa il 9%).

Ottobre è il mese che presenta i massimi valori di velocità del vento ricadenti nella classe 45 – 50 nodi, agosto è invece il mese più calmo. Nel periodo novembre – marzo il vento proviene prevalentemente da nord - nord est e da sud est, nel resto dell'anno da ponente, con esclusione di ottobre che presenta un'accentuata provenienza di eventi da sud est.

Al fine di caratterizzare il clima ondoso tipico nell'area di studio, le onde sono state propagate a costa a mezzo di un modello numerico di propagazione (SWAN).

Il clima ondoso al largo di Fiumicino mostra che le onde più frequenti provengono da 180 ° -270 ° N (circa il 78% degli eventi totali) e appartengono alle classi di altezza delle onde di 0,5-1,5 m (circa il 88% degli eventi totali) e 1,5-2,5 m (circa il 9% degli eventi totali). Le onde più energiche (superiori a 4,5 m) provengono da 150 ° -270 ° N.

L'analisi dell'energia dell'onda al largo mostra che la componente trasversale prevale su quella longitudinale, a causa della prevalente distribuzione dell'onda direzionale quasi perpendicolare al piano batimetrico nell'area offshore.

L'analisi statistica estrema eseguita utilizzando la distribuzione di Weibull è stata applicata ai dati delle onde offshore e le onde offshore estreme sono state valutate per periodi di ritorno di 1, 5, 10, 50, 100 e 350 anni.

Gli estremi omnidirezionali e direzionali calcolati per le onde offshore sono in seguito stati propagati verso costa tramite il modello numerico spettrale di terza generazione SWAN, in modalità stazionaria (tripletta H_s , T_p Dir con associato vento estremo costante caratterizzato da intensità e direzione). Ai valori estremi omnidirezionali di H_s (con associato T_p) sono stati associati i settori direzionali 260°N – 280°N ed un vento estremo cautelativamente proveniente da 260°N. Tali valori estremi sono stati calcolati per i periodi di ritorno di 1, 5, 10, 50, 100, 350 e per la condizione frequente (che si verifica in media 5 giorni all'anno) ed estratti per la zona antistante il porto (ad una profondità di 25 m) e a una profondità di 12.5 m all'inizio dell'imboccatura del canale dragato di accesso al porto venendo dal largo. Per quanto riguarda i valori direzionali, essi si riferiscono ad un punto interno al turning basin della profondità di circa 13 m, e sono calcolati per i periodi di ritorno di 1, 5, 10, 50, 100 e 350 anni.

Infine, lo studio fornisce i valori di oscillazione del livello del mare. Sono stati presi in considerazione i seguenti contributi per la valutazione delle escursioni del livello del mare:

- ✓ Variazione del livello indotta dal vento;
- ✓ Escursione del livello dovuta alla marea astronomica;
- ✓ Variazione del livello indotta dai cambiamenti climatici.

Per il calcolo dei valori estremi sono state considerate sia le condizioni in caso di livello del mare minimo, che massimo. Per il livello minimo è stato considerato solo il valore estremo del livello indotto dal vento, mentre per il livello massimo sono stati sommati i valori indotti dall'alta marea sigiziale, il contributo indotto dai cambiamenti climatici, e il contributo dovuto al vento.

Il livello massimo centennale di acqua è stato valutato pari a 1.08 m considerando il 100% della somma dei singoli contributi.

MFI/CEV02/EDI:eba04

REFERENZE

- [1] Admiralty Tide Tables, 2012., Vol2
- [2] Gumbel E.J., 1958. "Statistics of Extremes", Columbia University Press.
- [3] International Standard ISO 19901-1:2005(E) – Petroleum and natural gas industries – Specific requirements for offshore structures – Part 1: Metocean Design and operating considerations.
- [4] Goda Y., 2010. "Random seas and design of maritime structure - Third Edition", Advanced Series on Ocean Engineering – Volume 33, World Scientific Publishing
- [5] Bitner-Gregersen, E.M., and Haver, S., (1991), "Joint Environmental Model for Reability Calculations", Proceeding of the 1st international Offshore and Polar Eng.Conference
- [6] Haver, S., and Winterstein S.R., (2009), "Environmental Contour Lines: A Method for Estimating Long Term Extremes by Short Term Analysis", Transactions, Society of Naval Architects and Marine Engineers, Vol. 116, pp. 116-127.

Appendice A: MODELLO SWAN

APPENDICE A: MODELLO SWAN

MODELLO NUMERICO PER LA PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO VERSO COSTA

La propagazione delle onde estreme a costa viene simulata mediante il ben noto modello *SWAN*, che rappresenta lo stato dell'arte.

Lo *SWAN* (Simulating Waves Nearshore) è un modello numerico che produce stime realistiche dei parametri delle onde in aree costiere, a partire da condizioni definite al largo, tenuto conto delle condizioni del vento, delle correnti e delle caratteristiche del fondale.

L'entità dei diversi fenomeni è calcolata a partire dalla batimetria reale dell'area oggetto di studio.

SWAN è un modello spettrale di terza generazione, che tiene conto dei seguenti processi:

- ✓ rifrazione dovuta a variazioni spaziali di profondità e corrente;
- ✓ "shoaling" dovuto a variazioni spaziali di profondità e corrente;
- ✓ attrito e rifrazione indotti da correnti contrarie;
- ✓ trasmissione o dissipazione dovuti alla presenza di ostacoli (ad esempio barriere frangiflutti).

In *SWAN* sono formulati i seguenti processi di generazione e dissipazione:

- ✓ vento;
- ✓ "white-capping";
- ✓ frangimento;
- ✓ attrito al fondo;
- ✓ interazioni non-lineari onda-onda.

SWAN differisce dagli altri modelli analoghi e dai suoi predecessori per i seguenti aspetti principali:

- ✓ è un modello spettrale (è, quindi, possibile selezionare il profilo spettrale da definire per le condizioni al contorno così come la funzione di "spreading" direzionale);
- ✓ considera la generazione di onde da vento anche in acque basse;
- ✓ considera l'interazione onda-corrente anche in acque basse;
- ✓ Grazie ai tre punti sopra enunciati, *SWAN* definisce con maggiore completezza la dissipazione dell'energia rispetto ad altri modelli che tengono conto solo dell'attrito al fondo.

A.1. Formulazione generale

SWAN descrive le onde mediante lo spettro bidimensionale di densità di azione d'onda, anche in condizioni in cui prevalgono fenomeni non lineari (ad esempio nella "surf-zone"). Anche in condizioni fortemente non lineari, infatti, è possibile stimare con ragionevole accuratezza la distribuzione spettrale al secondo ordine.

SWAN utilizza lo spettro di densità di azione $N(k, \theta)$ anziché lo spettro di densità di energia $E(k, \theta)$ perché, in presenza di correnti, la densità di azione si conserva mentre la densità di energia non si conserva.

La densità di azione è uguale al rapporto tra la densità di energia e la frequenza relativa σ :

$$N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma.$$

Le variabili indipendenti sono la frequenza relativa σ (misurata rispetto ad un sistema di riferimento che si muove con la velocità di propagazione dell'azione d'onda) e la direzione dell'onda θ (direzione perpendicolare alla cresta di ciascuna componente spettrale).

L'evoluzione dello spettro viene descritta mediante l'equazione di bilancio dell'azione spettrale, di seguito riportata, rispetto ad un sistema di coordinate cartesiane (Hasselmann et al., 1973):

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma}$$

Il primo termine a sinistra rappresenta il gradiente locale di densità di azione, il secondo ed il terzo termine rappresentano la propagazione di densità di azione nello spazio geografico.

Il quarto termine rappresenta lo spostamento della frequenza relativa dovuto alle variazioni di profondità e corrente, mentre il quinto termine rappresenta la rifrazione indotta dalla corrente e dalle variazioni di profondità.

Le velocità di propagazione ($c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta$) all'interno del modello sono definite mediante la teoria lineare.

Il termine S ($=S(\theta, \sigma)$) a destra della precedente equazione è il termine sorgente espresso come densità di energia, ed è costituito dagli effetti di generazione, dissipazione, e interazioni non-lineari onda-onda.

Per maggiori dettagli si rimanda al manuale del modello (SWAN User Manual).

A.2. Parametri principali

In SWAN le principali grandezze sono così definite:

Altezza d'onda significativa: H_s (in m):

$$H_s = 4 \sqrt{\iint E(\omega, \theta) d\omega d\theta}$$

dove $E(\omega, \theta)$ è la densità spettrale della varianza, ω la frequenza determinata dallo shift in frequenza della relazione di dispersione.

Periodo medio d'onda: T_{m01} (in s):

$$T_{m01} = 2\pi \left(\frac{\iint \omega E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta}{\iint E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta} \right)^{-1} = 2\pi \left(\frac{\iint \omega E(\omega, \theta) d\omega d\theta}{\iint E(\omega, \theta) d\omega d\theta} \right)^{-1}$$

Periodo medio d'onda: T_{m02} (in s):

$$T_{m02} = 2\pi \left(\frac{\iint \omega^2 E(\omega, \theta) d\omega d\theta}{\iint E(\omega, \theta) d\omega d\theta} \right)^{-1/2} = 2\pi \left(\frac{\iint \omega^2 E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta}{\iint E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta} \right)^{-1/2}$$

Direzione media dell'onda: Dir (in gradi, secondo la convenzione cartesiana o nautica), come convenzionalmente definita (Kuik et al., 1988).

$$Dir = \arctan \left[\frac{\int \sin(\theta) E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta}{\int \cos(\theta) E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta} \right]$$

Direzione del picco d'onda: $PDir$ (in gradi, secondo la convenzione cartesiana o nautica):

$$PDir = E(\theta) = \int E(\sigma, \theta) d\sigma = \int E(\omega, \theta) d\omega$$

Velocità orbitale "Root-Mean-Square" in prossimità del fondo: U_{rms} (in m/s)

$$U_{rms} = \langle (U^2) \rangle^{1/2}$$

Velocità orbitale massima "Root-Mean-Square" in prossimità del fondo: U_{bot} (in m/s)

$$U_{bot} = \sqrt{2} U_{rms}$$

A.3. Schematizzazione

L'area di studio viene discretizzata mediante un reticolo di maglie quadrate o rettangolari e ad ogni maglia viene assegnata la corrispondente profondità del fondale.

Il modello non ha particolari problemi nella risoluzione spaziale: possono così essere effettuate simulazioni della propagazione dell'onda a costa considerando reticoli di estremo dettaglio o reticoli a vasta scala.

E' inoltre possibile effettuare, ove necessario, l'innesto, "nesting", di uno o più reticoli dettagliati su uno a vasta scala, garantendo in questo modo condizioni ai contorni oggettive dei modelli di dettaglio.

A.4. Referenze Bibliografiche

Andorka Gal, J.H., L.H. Holthuijsen, J.C.M. de Jong and A.T.M.M. Kieftenburg, 1998, Wave transformation near a quasi-1D coast, 26th Int. Conf. Coastal Engng., Copenhagen, 150-160

Booij, N., L.H. Holthuijsen and R.C. Ris, 1996, The "SWAN" wave model for shallow water, Proc. 25th Int. Conf. Coastal Engng., Orlando, pp. 668-676

Booij, N., L.H. Holthuijsen and R. Padilla-Hernandez, 1997, A nonstationary, parametric coastal wave model, Conf. Coastal Dynamics '97, Plymouth, 99-107

Booij, N., L.H. Holthuijsen, N. Doorn and A.T.M.M. Kieftenburg, 1997, Diffraction in a spectral wave model, Proceedings 3rd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, WAVES'97, ASCE, 243-255

Booij, N., L.H. Holthuijsen and R. Padilla-Hernandez, 1997, Numerical wave propagation on a curvilinear grid, Proceedings 3rd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, WAVES'97, ASCE, 286-294

Booij, N., L.H. Holthuijsen and R.C. Ris, 1998, Shallow water wave modelling, Oceanology International 98, The Global Ocean, Brighton, Conference Proceedings, 3, 483-491

Booij, N., L.H. Holthuijsen and I.J.G. Haagsma, 1998, Comparing the second-generation HISWA wave model with the third-generation SWAN wave model, 5th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Jan. 27-30, 1998, Melbourne, Florida, 215-222

Booij, N., R.C. Ris and L.H. Holthuijsen, 1999, A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, J.Geoph.Research, 104, C4, 7649-7666

Cavaleri, L. and L.H. Holthuijsen, 1998, Wave modelling in the WISE group, Proc. 26th Int. Conf. Coastal Engng., Copenhagen, 498-508

Gorman, R.M. and C.G. Neilson, 1999, Modelling shallow water wave generation and transformation in an intertidal estuary, Coastal Engineering, 36, 197-217

Holthuijsen, L.H., N. Booij and R.C. Ris, 1993, A spectral wave model for the coastal zone, Proceedings 2nd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, New Orleans, Louisiana, July 25-28, 1993, New York, pp. 630-641

Holthuijsen, L.H., N. Booij and R. Padilla-Hernandez, 1997, A curvi-linear, third-generation coastal wave model, Conf. Coastal Dynamics '97, Plymouth, 128-136

Holthuijsen, L.H., N. Booij, R. Ris, J.H. Andorka Gal and J.C.M. de Jong, 1997, A verification of the third-generation wave model "SWAN" along the southern North Sea coast, Proceedings 3rd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, WAVES'97, ASCE, 49-63

Holthuijsen, L.H., R.C. Ris and N. Booij, 1998, A verification of the third-generation wave model SWAN, 5th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Jan. 27-30, 1998, Melbourne, Florida, 223-230

Holthuijsen, L.H., N. Booij and I.J.G. Haagsma, 1998, Comparing 1st-, 2nd - and 3rd-generation coastal wave modelling, 26th Int. Conf. Coastal Engng., Copenhagen, 140-149

Padilla-Hernandez, R., P. Osuna, J. Monbaliu and L. Holthuijsen, 1998, Intercomparing third-generation wave model nesting, 5th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Jan. 27-30, 1998, Melbourne, Florida, 102-112

Ris, R.C., L.H. Holthuijsen and N. Booij, 1994, A spectral model for waves in the near shore zone, Proc. 24th Int. Conf. Coastal Engng, Kobe, Oct. 1994, Japan, pp. 68-78

Ris, R.C. and L.H. Holthuijsen, 1997, Modelling of current induced wave-blocking in a spectral wave model, 8th International Biennial Conference on Physics of Estuaries and Coastal Seas, J. Dronkers and M.B.A.M. Scheffers (eds.), The Hague, 139-144

Ris, R.C., N. Booij and L.H. Holthuijsen, 1999, A third-generation wave model for coastal regions, Part II: Verification, J.Geoph.Research, 104, C4,7667-7681

Wood, D.J., M. Muttray and H. Oumeraci, 2000, The SWAN model used to study wave evolution in a flume, Coastal Engineering, accepted for publication.