

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale ex D.Lgs 152/2006

DOCUMENTAZIONE INTEGRATIVA PER LA VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE

HUB ENERGETICO AGNES ROMAGNA 1&2 UBICATO NEL TRATTO DI MARE ANTISTANTE ALLA COSTA EMILIANO-ROMAGNOLA E NEL COMUNE DI RAVENNA

Titolo:

RELAZIONE METEOMARINA

Codice identificativo:

AGNROM_INT-R_REL-METEO

Proponente:



Agnes S.r.l.

P. IVA: 02637320397

Autore del documento:

**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

Centro Interdipartimentale di Ricerche Industriali

P. IVA: 01131710376



DETTAGLI DEL DOCUMENTO

Titolo documento	Relazione meteomarina
Codice documento	AGNROM_INT-R_REL-METEO
Titolo progetto	Hub energetico Agnes Romagna 1&2
Codice progetto	AGNROM
Data	23/10/2023
Versione	1.0
Autore/i	R. Archetti; M. G. Gaeta
Tipologia elaborato	Relazione
Cartella	16
Sezione	Documentazione integrativa
Formato	A4

VERSIONI

1.0	00	R. Archetti; M. G. Gaeta	A. Bernabini	AGNES	Emissione finale
Ver.	Rev.	Redazione	Controllo	Emissione	Commenti

FIRMA DIGITALE



Agnes S.r.l.

Via Del Fringuello 28, 48124 Ravenna (IT)

Questo documento è di proprietà Agnes S.r.l.

Qualunque riproduzione, anche parziale, è vietata senza la sua preventiva autorizzazione.

Ogni violazione sarà perseguita a termini di legge.



Sommario

1. OBIETTIVO DELLO STUDIO.....	8
2. DATI DISPONIBILI SULL'AREA DI STUDIO.....	10
2.1 DATI HINDCAST DEL VENTO.....	10
2.2 DATI HINDCAST DI ONDOSITÀ.....	11
2.3 CORRENTI MARINE.....	14
2.4 DATI SUL LIVELLO DEL MARE.....	15
2.4.1 MAREGGIATE.....	15
2.4.2 LIVELLO DI MAREA.....	17
2.5 CARATTERISTICHE DELLA MASSA MARINA.....	17
2.6 AFFIDABILITÀ DEI DATI HINDCAST.....	20
2.6.1 AFFIDABILITÀ DEI DATI ONDAMETRICI.....	20
2.6.2 AFFIDABILITÀ DEI DATI FISICI.....	24
3. SELEZIONE DEI DATI PER L'AREA DI STUDIO.....	25
3.1 VENTO.....	25
3.2 ONDE.....	26
3.3 PARAMETRI FISICI.....	28
4. ANALISI.....	30
4.1 ONDE.....	30
4.1.1 CONDIZIONI OPERATIVE DELLE ONDE.....	30
4.1.2 ANALISI DI ONDOSITÀ A LUNGO TERMINE.....	87
4.1.3 ALTEZZA D'ONDA MASSIMA.....	95
4.2 VENTO.....	96
4.2.1 CONDIZIONI OPERATIVE DEL VENTO.....	97
4.2.2 VENTI ESTREMI.....	100
4.3 CAMBIAMENTI CLIMATICI.....	106
4.4 CORRENTI.....	107
4.4.1 CIRCOLAZIONE GENERALE SU LARGA SCALA.....	107
4.4.2 REGIME DI CORRENTI LOCALE.....	109
4.4.3 VALORI ESTREMI DI CORRENTE.....	116
4.5 LIVELLO DEL MARE.....	117
4.5.1 COMPONENTI ARMONICHE DELLA MAREA.....	117
4.5.2 ALTEZZA DELLA SUPERFICIE DEL MARE (COMPONENTE BAROMETRICA).....	120
4.6 CARATTERISTICHE DELLA MASSA D'ACQUA.....	125
4.6.1 PROFILI DI TEMPERATURA.....	125
4.6.2 PROFILI DI SALINITÀ.....	128
5. CONCLUSIONI.....	131
5.1 VENTO.....	131
5.2 ONDE.....	131
5.3 CORRENTI.....	132



5.4	LIVELLO DEL MARE E STORM SURGE	132
BIBLIOGRAFIA	133



Indice delle Figura

FIGURA 1.1: PANORAMICA DELL'UBICAZIONE DELL'AREA DI STUDIO.....	9
FIGURA 2.1: ESEMPIO DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA IL 31 DICEMBRE 2014.....	13
FIGURA 2.2: ESEMPIO DEL CAMPO DI CORRENTI SUPERFICIALI A DICEMBRE 2014.....	15
FIGURA 2.3 EXAMPLE OF SSH IN DECEMBER 2014.....	17
FIGURA 2.4: ESEMPIO DEL CAMPO DI TEMPERATURA SUPERFICIALE A DICEMBRE 2014.....	19
FIGURA 2.5: ESEMPIO DEL CAMPO DI SALINITÀ SUPERFICIALE A DICEMBRE 2014.....	19
FIGURA 2.6: BOA NAUSICAA E UBICAZIONE DEL PUNTO DELLA GRIGLIA CMEMS PIÙ VICINO SELEZIONATO PER IL CONFRONTO DEI DATI.....	21
FIGURA 2.7: H _s MISURATA DALLA BOA ONDAMETRICA NAUSICAA (BLU) E HINDCASTED AL PUNTO DELLA GRIGLIA CMEMS PIÙ VICINO (ROSSO). SERIE TEMPORALI (2007-2020) [IN ALTO]; SELEZIONE DI ALCUNI EVENTI [AL CENTRO E IN BASSO].....	22
FIGURA 2.8: CONFRONTO TRA H _s E CMEMS, (A) TUTTI I DATI, (B) ZOOM H _s >2M.....	23
FIGURA 2.9: DIAGRAMMI A ROSA DELLE ONDE. DATI NAUSICAA (A SINISTRA) E DATI CMEMS (A DESTRA) 2007-2020.....	24
FIGURA 3.1: ECMWF ERA-5 GRID-POINTS.....	25
FIGURA 3.2: CMEMS MED-WAVES NELLE AREE OFFSHORE "ROMAGNA 1" E "ROMAGNA 2".....	27
FIGURA 3.3: PUNTI DELLA GRIGLIA CMEMS MED PER I DATI RELATIVI AL LIVELLO DEL MARE (SSH), ALLA VELOCITÀ, ALLA TEMPERATURA E ALLA SALINITÀ NELL'OFFSHORE ROMAGNA 1 E ROMAGNA 2.....	28
FIGURA 4.1: ROSA DELLE ONDE AL PUNTO DI GRIGLIA ROMAGNA1 P1.....	38
FIGURA 4.2: ROSA DELLE ONDE AL PUNTO DI GRIGLIA ROMAGNA1 P2.....	46
FIGURA 4.3: ROSA DELLE ONDE AL PUNTO DI GRIGLIA ROMAGNA2 P1.....	54
FIGURA 4.4: ROSA DELLE ONDE AL PUNTO DI GRIGLIA ROMAGNA2 P2.....	62
FIGURA 4.5: ROSA DELLE ONDE AL PUNTO DI GRIGLIA ROMAGNA2 P3.....	70
FIGURA 4.6: ROSA DELLE ONDE AL PUNTO DI GRIGLIA ROMAGNA2 P4.....	78
FIGURA 4.7: ROSA DELLE ONDE AL PUNTO DI GRIGLIA ROMAGNA2 P5.....	86
FIGURA 4.8: ESEMPIO DI SELEZIONE DEL POT. DATI RELATIVI AL PUNTO R1 P1.....	88
FIGURA 4.9: GRAFICO DELLA PROBABILITÀ NORMALE.....	89
FIGURA 4.10: GRAFICO DELLA PROBABILITÀ DI GUMBEL.....	90
FIGURA 4.11: GRAFICO DELLA PROBABILITÀ DI WEIBULL.....	90
FIGURA 4.12: CORRELAZIONE EMPIRICA TRA H _s E T _M PER R1_P1.....	92
FIGURA 4.13: ROSA DEI VENTI AL PUNTO DI GRIGLIA ERA W1.....	99
FIGURA 4.14: ROSA DEI VENTI AL PUNTO DI GRIGLIA ERA W2.....	99
FIGURA 4.15: DISTRIBUZIONE WEIBULL DEI MASSIMI ANNUALI DEI DATI ERA5 WIND NEL PUNTO DI GRIGLIA W1.....	101
FIGURA 4.16: DISTRIBUZIONE GUMBEL DEI MASSIMI ANNUALI DEI DATI ERA5 WIND AL PUNTO DI GRIGLIA W1.....	102
FIGURA 4.17: DISTRIBUZIONE DI WEIBULL DEI MASSIMI ANNUALI DEI DATI ERA5 WIND NEL PUNTO DI GRIGLIA W2.....	104
FIGURA 4.18: CIRCOLAZIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI NEL BACINO DEL MEDITERRANEO (MILLOT & TAUPIER-LETAGE, 2005).....	107
FIGURA 4.19: CIRCOLAZIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI E DEL TERMOCLINO SUPERIORE NEL MARE ADRIATICO SETTENTRIONALE (ARTEGANI ET AL., 1997).....	108
FIGURA 4.20: ROSA DELLE CORRENTI AL PUNTO PHYS_1, PROFONDITÀ -1 M (A), -10 M (B) E -30 M (C).....	112
FIGURA 4.21: ROSA DELLE CORRENTI NEL PUNTO PHYS_2, PROFONDITÀ -1 M (A), -10 M (B) E -30 M (C).....	115
FIGURA 4.22: AMPIEZZE E FASI DELLE COMPONENTI DI MAREA M2 E K1 NEL MARE ADRIATICO SETTENTRIONALE (DERIVATE DA JANEKOVIC E KUZMIĆ, 2005).....	117
FIGURA 4.23: ESEMPIO DI PREVISIONE DEL LIVELLO DEL MARE DAL MODELLO OTPS/TPXO A PUNTO PHYS_2, GIUGNO 2014.....	118
FIGURA 4.24: PARTE DELLA SERIE TEMPORALE PER L'ALTEZZA DELLA SUPERFICIE DEL MARE (SSH) DAI DATI HINDCAST AL PUNTO PHYS_2.....	120
FIGURA 4.25: INNALZAMENTO MEDIO GLOBALE DEL LIVELLO DEL MARE PER DIVERSI SCENARI (IPCC, 2013).....	122
FIGURA 4.26: DISTRIBUZIONE DI GUMBEL DI PROBABILITÀ PER I LIVELLI DI STORM SURGE PIÙ ELEVATI NEL PUNTO PHYS_1.....	123
FIGURA 4.27: SERIE TEMPORALE DELLA TEMPERATURA NEI PUNTI PHYS_1 (IN ALTO) E PHYS_2 (IN BASSO).....	125
FIGURA 4.28: PROFILI DI TEMPERATURA MEDIA ANNUA NEL PUNTO PHYS_1.....	126
FIGURA 4.29: PROFILI DI TEMPERATURA MEDIA ANNUA NEL PUNTO PHYS_2.....	126
FIGURA 4.30: SERIE TEMPORALE DELLA SALINITÀ (PSU) NEI PUNTI PHYS_1 (IN ALTO) E PHYS_2 (IN BASSO).....	128



FIGURA 4.31: PROFILI DI SALINITÀ MEDIA ANNUALE (PSU) NEL PUNTO PHYS_1.....	129
FIGURA 4.32: PROFILI DI SALINITÀ MEDIA ANNUALE (PSU) NEL PUNTO PHYS_2.....	129

Indice delle tabelle

TABELLA 2.1: INFORMAZIONI SUL DATASET ECMWF ERA5 HINDCAST WIND.....	11
TABELLA 2.2: INFORMAZIONI SUL DATASET CMEMS MED- WAVES.....	12
TABELLA 2.3: INFORMAZIONI SUL DATASET CMEMS-MED PHYS.....	14
TABELLA 2.4: INFORMAZIONI SUL DATASET CMEMS-MED PHYS.....	16
TABELLA 2.5: INFORMAZIONI SUL DATASET CMEMS-MED PHYS.....	18
TABELLA 3.1: COORDINATE GEOGRAFICHE DEI PUNTI SELEZIONATI PER L'ANALISI DEL VENTO.....	25
TABELLA 3.2: PARAMETRI D'ONDA DA CMEMS MED.....	26
TABELLA 3.3: COORDINATE GEOGRAFICHE DEI PUNTI SELEZIONATI PER L'ANALISI DELLE ONDE.....	27
TABELLA 3.4: COORDINATE GEOGRAFICHE DEI PUNTI SELEZIONATI PER I DATI DI LIVELLO DEL MARE (SSH), VELOCITÀ, TEMPERATURA E SALINITÀ.....	29
TABELLA 4.1: STATISTICHE DI BASE DI HS PER ROMAGNA 1 P1.....	31
TABELLA 4.2: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-TM PER ROMAGNA 1 P1.....	32
TABELLA 4.3: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI HS-TM PER ROMAGNA 1 P1.....	33
TABELLA 4.4: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-Tp PER ROMAGNA 1 P1.....	34
TABELLA 4.5: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI HS-Tp PER ROMAGNA 1 P1.....	35
TABELLA 4.6: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-DIR PER ROMAGNA 1 P1.....	36
TABELLA 4.7: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI HS-DIR PER ROMAGNA 1 P1.....	37
TABELLA 4.8: STATISTICHE BASE DI HS PER ROMAGNA 1 P2.....	39
TABELLA 4.9: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-TM PER ROMAGNA 1 P2.....	40
TABELLA 4.10: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI HS-TM PER ROMAGNA 1 P2.....	41
TABELLA 4.11: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-Tp PER ROMAGNA 1 P2.....	42
TABELLA 4.12: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI HS-Tp PER ROMAGNA 1 P2.....	43
TABELLA 4.13: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-DIR PER ROMAGNA 1 P2.....	44
TABELLA 4.14: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI HS-DIR PER ROMAGNA 1 P2.....	45
TABELLA 4.15: STATISTICHE BASE DI HS PER ROMAGNA 2 P1.....	47
TABELLA 4.16: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-TM PER ROMAGNA 2 P1.....	48
TABELLA 4.17: PERCENTUALI DI EVNETI PER CLASSI HS-TM PER ROMAGNA 2 P1.....	49
TABELLA 4.18: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-Tp PER ROMAGNA 2 P1.....	50
TABELLA 4.19: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI HS-Tp PER ROMAGNA 2 P1.....	51
TABELLA 4.20: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-DIR PER ROMAGNA 2 P1.....	52
TABELLA 4.21: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI HS-DIR PER ROMAGNA 2 P1.....	53
TABELLA 4.22: STATISTICHE BASE DI HS PER ROMAGNA 2 P2.....	55
TABELLA 4.23: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-TM PER ROMAGNA 2 P2.....	56
TABELLA 4.24: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI HS-TM PER ROMAGNA 2 P2.....	57
TABELLA 4.25: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-Tp PER ROMAGNA 2 P2.....	58
TABELLA 4.26: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI HS-Tp PER ROMAGNA 2 P2.....	59
TABELLA 4.27: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-DIR PER ROMAGNA 2 P2.....	60
TABELLA 4.28: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI HS-DIR PER ROMAGNA 2 P2.....	61
TABELLA 4.29: STATISTICHE BASE DI HS PER ROMAGNA 2 P3.....	63
TABELLA 4.30: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-TM PER ROMAGNA 2 P3.....	64
TABELLA 4.31: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI HS-TM PER ROMAGNA 2 P3.....	65
TABELLA 4.32: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-Tp PER ROMAGNA 2 P3.....	66
TABELLA 4.33: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI HS-Tp PER ROMAGNA 2 P3.....	67



TABELLA 4.34: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-DIR PER ROMAGNA 2 P3	68
TABELLA 4.35: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI HS-DIR PER ROMAGNA 2 P3	69
TABELLA 4.36: STATISTICHE BASE DI HS PER ROMAGNA 2 P4	71
TABELLA 4.37: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-TM CLASSES PER 2 P4.....	72
TABELLA 4.38: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI HS-TM PER ROMAGNA 2 P4	73
TABELLA 4.39: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-Tp PER ROMAGNA 2 P4.....	74
TABELLA 4.40: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI HS-Tp PER ROMAGNA 2 P4.....	75
TABELLA 4.41: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-DIR PER ROMAGNA 2 P4	76
TABELLA 4.42: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI HS-DIR PER ROMAGNA 2 P4	77
TABELLA 4.43: STATISTICHE BASE DI HS PER ROMAGNA 2 P5	79
TABELLA 4.44: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-TM PER ROMAGNA 2 P5.....	80
TABELLA 4.45: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI HS-TM PER ROMAGNA 2 P5	81
TABELLA 4.46: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-Tp PER ROMAGNA 2 P5.....	82
TABELLA 4.47: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI HS-Tp PER ROMAGNA 2 P5.....	83
TABELLA 4.48: NUMERO DI EVENTI PER CLASSI HS-DIR PER ROMAGNA 2 P5	84
TABELLA 4.49: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI HS-DIR PER ROMAGNA 2 P5	85
TABELLA 4.50: STIMA DELLE ONDE ESTREME IN ROMAGNA 1 P1 IN BASE ALLA SELEZIONE DEI DATI POT.	92
TABELLA 4.51: ONDE ESTREME STIMATE IN ROMAGNA 1 P1 IN BASE ALLA SELEZIONE DEI DATI ESTREMI ANNUALI.	93
TABELLA 4.52: ONDE ESTREME STIMATE IN ROMAGNA 1 P2	93
TABELLA 4.53: ONDE ESTREME STIMATE IN ROMAGNA 2 P1	93
TABELLA 4.54: ONDE ESTREME STIMATE IN ROMAGNA 2 P2	94
TABELLA 4.55: ONDE ESTREME STIMATE IN ROMAGNA 2 P3	94
TABELLA 4.56: ONDE ESTREME STIMATE IN ROMAGNA 2 P4	94
TABELLA 4.57: ONDE ESTREME STIMATE IN ROMAGNA 2 P5	95
TABELLA 4.58: STATISTICHE BASE DEL VENTO AL PUNTO DI GRIGLIA W1.....	96
TABELLA 4.59: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI DI VELOCITÀ DEL VENTO- DIREZIONE DEL VENTO PER W1.....	97
TABELLA 4.60: PERCENTUALI DI EVENTI PER CLASSI DI VELOCITÀ DEL VENTO – DIREZIONE DEL VENTO PER W2	98
TABELLA 4.61: TEST DI BONTÀ PER LA DISTRIBUZIONE DEI DATI W1	101
TABELLA 4.62: STIMA DELLA VELOCITÀ ESTREMA DEL VENTO PER W1	102
TABELLA 4.63: PERIODO DI RITORNO VELOCITÀ DEL VENTO SECONDO IL METODO GLOBALE DI SELEZIONE DEI DATI CON L'IPOTESI CHE LE VELOCITÀ DEL VENTO ABBIANO DISTRIBUZIONE WEIBULL PER W1	103
TABELLA 4.64: PERIODO DI RITORNO VELOCITÀ DEL VENTO IN BASE ALLA SELEZIONE DEI DATI DEL METODO GLOBALE CON L'IPOTESI CHE LE VELOCITÀ DEL VENTO ABBIANO DISTRIBUZIONE GUMBEL PER W1	103
TABELLA 4.65: TEST DI BONTÀ PER LA DISTRIBUZIONE DEI DATI W2	104
TABELLA 4.66: STIMA DELLA VELOCITÀ ESTREMA DEL VENTO PER W2	105
TABELLA 4.67: PERIODO DI RITORNO VELOCITÀ DEL VENTO IN BASE ALLA SELEZIONE DEI DATI DEL METODO GLOBALE ASSUMENDO CHE LE VELOCITÀ DEL VENTO ABBIANO DISTRIBUZIONE DI WEIBULL PER W2	105
TABELLA 4.68: PERIODO DI RITORNO VELOCITÀ DEL VENTO IN BASE ALLA SELEZIONE DEI DATI DEL METODO GLOBALE ASSUMENDO CHE LE VELOCITÀ DEL VENTO ABBIANO DISTRIBUZIONE DI GUMBEL PER W2.....	106
TABELLA 4.69: FREQUENZA PER LA VELOCITÀ DELLA CORRENTE (M/S)/DIREZIONE (DA) NEL PUNTO PHYS_1 A -1 M.	109
TABELLA 4.70: FREQUENZA PER LA VELOCITÀ DELLA CORRENTE (M/S)/DIREZIONE (DA) PER IL PUNTO PHYS_1 A -10 M.	110
TABELLA 4.71: FREQUENZA DI OCCORRENZA PER LA VELOCITÀ DELLA CORRENTE (M/S)/DIREZIONE (DA) PER IL PUNTO PHYS_1 A -30 M.....	111
TABELLA 4.72: FREQUENZA DELLA VELOCITÀ DELLA CORRENTE (M/S)/DIREZIONE (DA) PER IL PUNTO PHYS_2 A -1 M.	113
TABELLA 4.73: FREQUENZA PER LA VELOCITÀ DELLA CORRENTE (M/S)/DIREZIONE (DA) PER IL PUNTO PHYS_2 A -10 M.	113
TABELLA 4.74: FREQUENZA PER LA VELOCITÀ DELLA CORRENTE (M/S)/DIREZIONE (DA) PER IL PUNTO PHYS_2 A -30 M	114
TABELLA 4.75: VELOCITÀ ESTREMA STIMATA DELLA CORRENTE (M/S) PER PHYS_1.....	116
TABELLA 4.76: VELOCITÀ ESTREMA STIMATA DELLA CORRENTE (M/S) PER PHYS_2.....	116
TABELLA 4.77: STATISTICHE DELLE SERIE TEMPORALI REGISTRATE SU PUNTI PHYS_1 E PHYS_2	119



TABELLA 4.78: COMPONENTI ARMONICHE ESTRATTE DALLE SERIE TEMPORALI REGistrate IN PUNTO PHYS_1.....	119
TABELLA 4.79: COMPONENTI ARMONICHE ESTRATTE DALLE SERIE TEMPORALI REGistrate NEL PUNTO PHYS_2.....	119
TABELLA 4.80 "STORM SURGE" NEI PUNTI PHYS_1 E PHYS_2, COME STIMATE DAI DATI FISICI HINDCASTED CMEMS.....	121
TABELLA 4.81: VALORI ESTREMI DEI LIVELLI DI STORM SURGE AL SITO PUNTO PHYS_1.....	123
TABELLA 4.82: VALORI ESTREMI DEI LIVELLI DI STORM SURGE AL SITO PUNTO PHYS_2.....	124
TABELLA 4.83: STATISTICHE STAGIONALI PER LA TEMPERATURA DEL PUNTO PHYS_1 A 3 PROFONDITÀ.....	127
TABELLA 4.84: STATISTICHE STAGIONALI PER LA TEMPERATURA NEL PUNTO PHYS_2 A 3 PROFONDITÀ.....	127
TABELLA 4.85: SEASONAL STATISTICS FOR SALINITY AT POINT PHYS_1 AT 3 DEPTHS.....	130
TABELLA 4.86: SEASONAL STATISTICS FOR SALINITY AT POINT PHYS_2 AT 3 DEPTHS.....	130
TABELLA 5.1: VENTO DI PROGETTO.....	131
TABELLA 5.2: ONDE DI PROGETTO.....	131
TABELLA 5.3: CORRENTI DI PROGETTO.....	132
TABELLA 5.4: MAREA ASTRONOMICA.....	132
TABELLA 5.5: VALORI ESTREMI DI LIVELLI DI STORM SURGE AL PUNTO PHYS_1.....	132



AVVERTENZA:

IL PRESENTE DOCUMENTO È STATO TRADOTTO DALL'INGLESE MEDIANTE
STRUMENTI DI TRADUZIONE AUTOMATICA.



1. OBIETTIVO DELLO STUDIO

Agnes S.r.l. è la società che sta attualmente sviluppando l'Hub energetico rinnovabile "Agnes Romagna 1&2", che comprende n.2 parchi eolici, n.1 impianto fotovoltaico galleggiante e una serie di opere di connessione annesse. La società proponente ha commissionato all'Università di Bologna – Alma Mater Studiorum la realizzazione di uno studio meteomarina.

Lo scopo di questo studio è la previsione di dati meteomarini per supportare la progettazione definitiva degli impianti offshore Agnes Romagna 1 e Agnes Romagna 2 nel bacino dell'alto Adriatico. (Figura 1.1).

Il gruppo di CIRI Edilizia e Costruzioni dell'Università di Bologna, coinvolto in questo studio, è specializzato in idrodinamica, morfodinamica della cost ed interazioni tra correnti, onde e strutture, e ha una lunga esperienza in studi meteomarini ed applicazioni delle teorie delle onde. È stato incaricato di studi meteomarini in Libia (da parte di ENI), studi meteomarini per la progettazione di porti e opere di difesa costiera (ad esempio Sant Vincent and the Grenadines, Albania, Mar Adriatico del Nord, Trieste e altri).

Lo studio definirà parametri meteomarini di progettazione affidabili ai punti di interesse (vedi Fig.1.1) nelle aree di Romagna 1 e Romagna 2:

Come base dello studio, sono stati utilizzati dati hindcast di vento e onde offshore provenienti dai database *Copernicus CMEMS- MED Reanalysis Waves hindcast* per un periodo di 26 anni dal 1992 al 2019, e *ECMWF ERA5* per l'intervallo di anni che intercorre tra il 1959 e il 2020 per caratterizzare le condizioni meteomarine dell'area.



Relazione meteoromarina
AGNROM_EP-R_REL-METEO

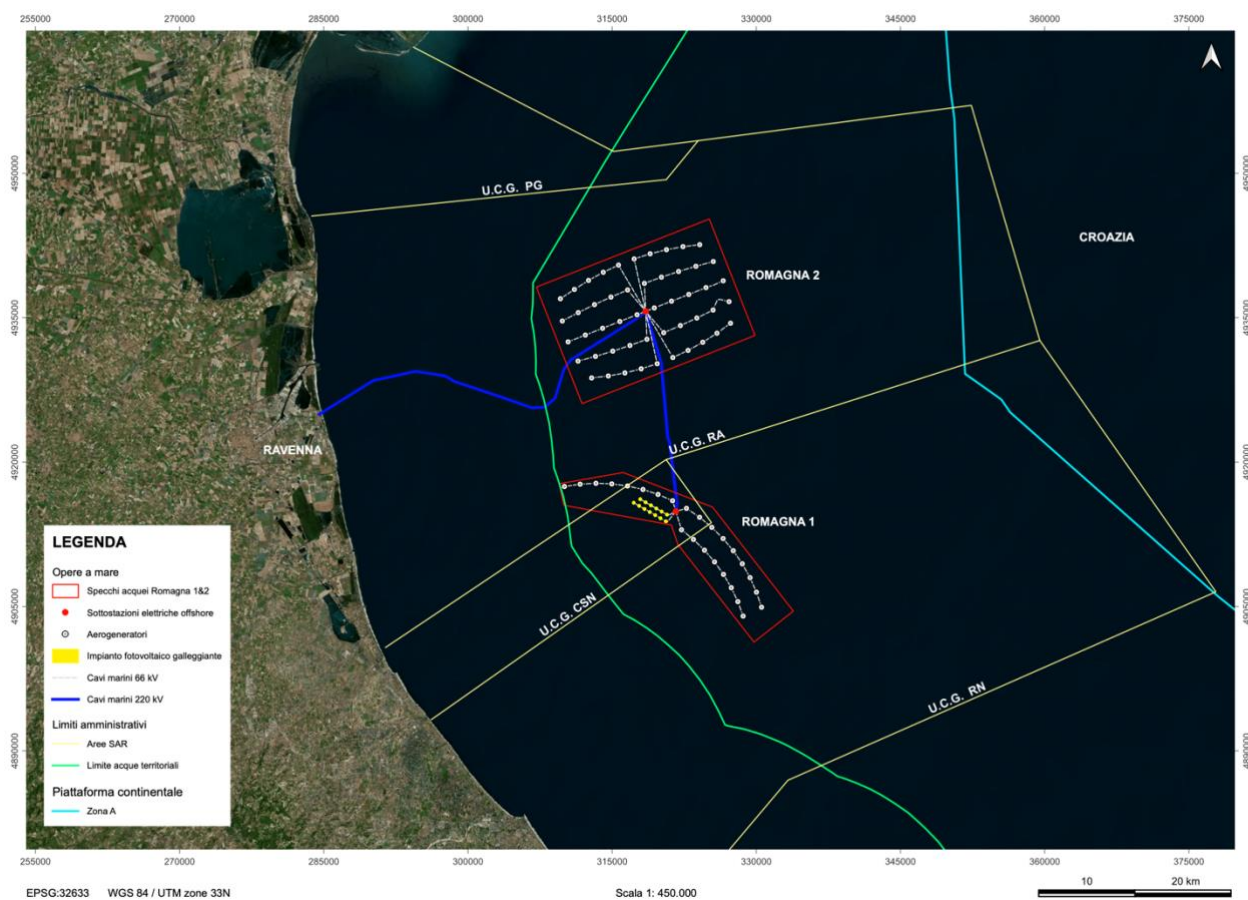


Figura 1.1: Panoramica dell'ubicazione dell'area di studio



2. DATI DISPONIBILI SULL'AREA DI STUDIO

Il presente studio si basa su dati *hindcast* per vento, onde, correnti e parametri fisici come temperatura e salinità, a causa della mancanza di misure meteoceaniche dirette nell'area.

I database pubblici di fisica del vento e delle onde si sono affermati come una risorsa importante e ampiamente utilizzata per lo studio dei processi atmosferici e oceanici. Per questo studio sono stati utilizzati i seguenti database:

- CMEMS MED - Waves Reanalysis hindcasts data (onde),
- ECMWF ERA-5 Wind Reanalysis hindcasts data (venti),
- CMEMS Phys Reanalysis Hindcasts data (componenti fisiche).

I dati meteomarini sono stati raccolti dal database Copernicus Marine Service, la componente di servizio marino del programma Copernicus, che fornisce dati operativi oceanici e servizi informativi liberamente accessibili. Il database è gestito da Mercator Ocean e dai suoi contraenti per conto dell'Unione Europea. Mercator Ocean, Centro globale di previsione oceanica, ha sede a Tolosa, in Francia.

Il sito web di Copernicus Marine Service è disponibile all'indirizzo: <http://marine.copernicus.eu/>.

I dettagli sulla validazione dei dati e sulla loro qualità sono riportati al seguente indirizzo: <https://resources.marine.copernicus.eu/documents/QUID/CMEMS-MED-QUID-006-004.pdf>

Nelle sezioni seguenti viene fornita una descrizione dei dati disponibili alla scala del sito di studio, insieme alle mappe dei punti della griglia analizzati dai modelli *hindcast*.

2.1 Dati *hindcast* del vento

ERA-5 è una rianalisi *hindcast* di 40 anni (dal 1979), basata su serie multi decadal di osservazioni passate e fornisce stime orarie di un gran numero di variabili climatiche atmosferiche, terrestri e oceaniche. La rianalisi è un processo in cui le informazioni di modelli e osservazioni di vario tipo vengono combinate in modo ottimale per produrre una stima globale e coerente dei vari parametri atmosferici, di ondità e oceanografici.

I dati ERA-5 coprono la Terra su una griglia di 30 km e risolvono l'atmosfera utilizzando 137 livelli dalla superficie fino a un'altezza di 80 km. ERA-5 include informazioni sulle incertezze per tutte le variabili a risoluzioni spaziali e temporali ridotte.



Tabella 2.1: Informazioni sul dataset ECMWF_ERA5_HINDCAST_WIND.

ECMWF_ERA5_HINDCAST_WIND	
COPERTURA	Globale
RISOLUZIONE SPAZIALE	0,25 gradi x 0,25 gradi
RISOLUZIONE VERTICALE	Superficie
SISTEMA DI RIFERIMENTO DELLE COORDINATE	WGS 84 (EPSG 4326)
TIPO DI CARATTERE	Griglia
COPERTURA TEMPORALE	1979-01-01 - oggi
RISOLUZIONE TEMPORALE	orario-istantaneo
FREQUENZA DI AGGIORNAMENTO	annualmente
UNITÀ DI PRODUZIONE	ECMWF
FORMATO ORIGINALE DEL FILE	NetCDF-4

Tali dati hindcasted del vento si riferiscono ai seguenti parametri di 1 ora:

- u10: componente verso est del vento di 10 m alla quota di riferimento di 10 m s.l.m. (m/s);
- v10: componente verso nord del vento di 10 m alla quota di riferimento di 10 m s.l.m. (m/s).

2.2 Dati hindcast di ondosità

I dataset CMEMS MED-Waves (Korres, G., Ravdas, M., & Zacharioudaki, A. (2019), Mediterranean Sea Waves Hindcast (CMEMS MED-Waves) e Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_HINDCAST_WAV_006_012), sono il prodotto hindcast del sistema di previsione delle onde del Mar Mediterraneo (WAM 4.5.4) a partire dal febbraio 2006, aggiornato annualmente, composto da parametri d'onda orari con risoluzione orizzontale di $1/24^\circ$ (circa 7 km) che copre il Mar Mediterraneo e si estende fino a 18,125 W nell'Oceano Atlantico.



Tabella 2.2: Informazioni sul dataset CMEMS MED- Waves

MEDSEA_HINDCAST_WAV_006_012	
COPERTURA	Mar Mediterraneo
RISOLUZIONE SPAZIALE	0,042 gradi x 0,042 gradi
RISOLUZIONE VERTICALE	Superficie
SISTEMA DI RIFERIMENTO DELLE COORDINATE	WGS 84 (EPSG 4326)
TIPO DI CARATTERE	Griglia
COPERTURA TEMPORALE	2006/02/01 - 2018/12/31
RISOLUZIONE TEMPORALE	orario-istantaneo
FREQUENZA DI AGGIORNAMENTO	annualmente
UNITÀ DI PRODUZIONE	MED-HCMR-ATHENS-GR
FORMATO ORIGINALE DEL FILE	NetCDF-4

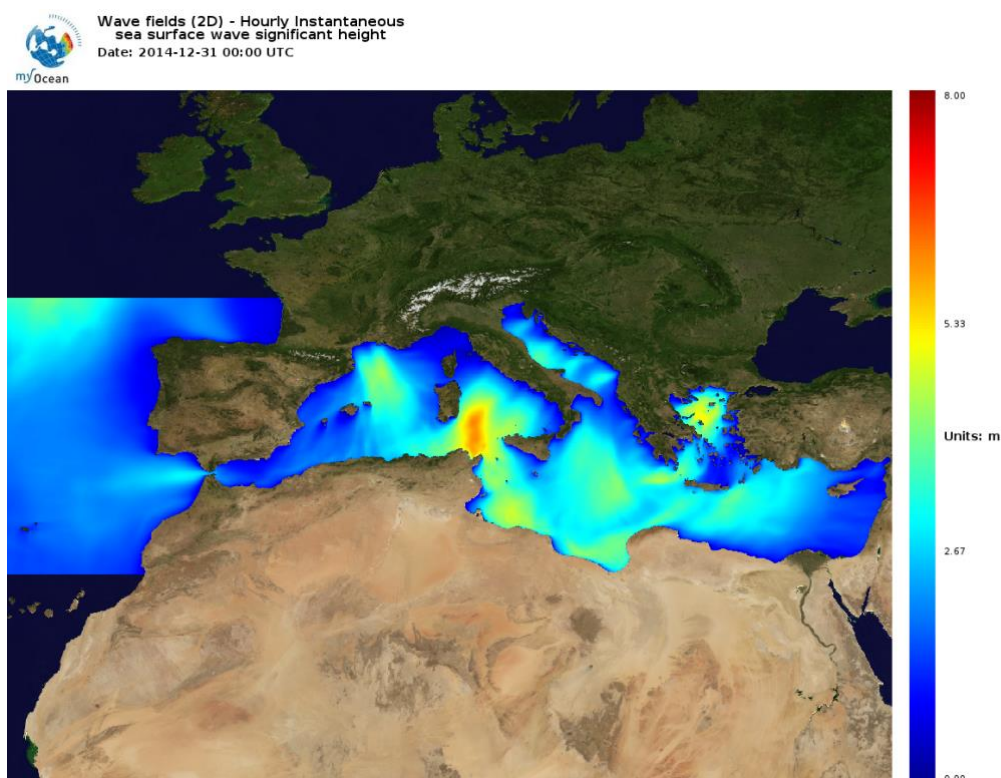


Figura 2.1: Esempio di altezza d'onda significativa il 31 dicembre 2014

Tali dati hindcast delle onde si riferiscono ai seguenti parametri orari:

- H_{m0} : altezza significativa dell'onda (m) calcolata dal momento spettrale m_0 ;
- T_p : periodo di picco dello spettro (s);
- $T_{m,-10}$: momenti spettrali (-1,0) periodo d'onda (s);
- $T_{m,02}$: momenti spettrali (0,2) periodo d'onda (s);
- DM : direzione media dell'onda in arrivo ($^{\circ}N$);
- H_{wind} : altezza significativa dell'onda (m) corrispondente alla componente marina del vento;
- T_{mwind} : periodo medio (s) corrispondente alla componente marina del vento;
- D_{wind} : direzione delle onde marine in arrivo ($^{\circ}N$);
- H_{swell} : altezza significativa dell'onda (m) corrispondente alla componente di mareggiata;
- D_{swell} : direzione delle onde di mareggiata in arrivo ($^{\circ}N$);
- T_{mswell} : periodo medio (s) corrispondente alla componente di mareggiata;
- D_p : direzione principale dell'onda al picco spettrale (grado);
- U : deriva di Stokes (m/s);
- V : deriva di Stokes (m/s).



2.3 Correnti marine

Il Mediterranean Forecasting System, componente fisica di rianalisi, è un modello idrodinamico, fornito dal Nucleo per la Modellistica Europea dell'Oceano (NEMO), con uno schema di assimilazione dei dati variazionale (OceanVAR) per i profili verticali di temperatura e salinità e i dati satellitari di Anomalia del Livello del Mare lungo la traccia. La risoluzione della griglia orizzontale del modello è di $1/16^\circ$ (circa 6-7 km) e i livelli verticali disomogenei sono 72 (<http://resources.marine.copernicus.eu/documents/PUM/CMEMS-MED-PUM-006-004.pdf>).

I codici OGCM (Ocean General Circulation Model) sono NEMO-OPA (Nucleus for European Modelling of the Ocean-Ocean Parallelise) versione 3.2 e versione 3.4 (Madec et al., 1998). Il codice è sviluppato e mantenuto dal consorzio NEMO.

Il modello è un'equazione primitiva in coordinate sferiche. NEMO è stato implementato nel Mediterraneo con una risoluzione orizzontale di $1/16^\circ \times 1/16^\circ$ e 72 livelli verticali non uniformemente spazati (Oddo et al., 2009).

Il modello è localizzato nel bacino del Mediterraneo e si estende anche nell'Atlantico per risolvere meglio gli scambi con l'Oceano Atlantico presso lo Stretto di Gibilterra. Il modello NEMO è "nested", nell'Atlantico, all'interno dei campi climatologici medi mensili calcolati dall'output giornaliero del modello GLO_MFC di $1/4 \times 1/4$ gradi, di seguito chiamato MERCATOR-1/4 (Drevillon et al., 2008), che va dal 2001 al 2005. I dettagli sulla tecnica di nesting e sui principali impatti sui risultati del modello sono riportati in Oddo et al. (2009).

Il modello utilizza celle parziali verticali per adattarsi alla forma della profondità dei fondali. Il modello è forzato da flussi di quantità di moto, acqua e calore calcolati interattivamente da formule di massa utilizzando i campi di rianalisi ERAInterim a 6-h e $0,75^\circ$ di risoluzione orizzontale (Dee et al. 2011) del Centro europeo per le previsioni meteorologiche a medio raggio (ECMWF) e le temperature superficiali previste dal modello (i dettagli della fisica aria-mare sono in Tonani et al., 2008).

Tabella 2.3: Informazioni sul dataset CMEMS-MED Phys.

MEDSEA_REANALYSIS_PHYS_006_004	
COPERTURA	Mar Mediterraneo
RISOLUZIONE SPAZIALE	0,042 gradi x 0,042 gradi
RISOLUZIONE VERTICALE	72 livelli irregolari
SISTEMA DI RIFERIMENTO DELLE COORDINATE	WGS 84 (EPSG 4326)
TIPO DI CARATTERE	Griglia



COPERTURA TEMPORALE	dal 1987-01-01 al 2018-12-31
RISOLUZIONE TEMPORALE	media giornaliera/ media mensile
FREQUENZA DI AGGIORNAMENTO	annualmente
UNITÀ DI PRODUZIONE	MED-CMCC-LECCE-IT
FORMATO ORIGINALE DEL FILE	NetCDF-3

Tali dati hindcast delle correnti fanno riferimento ai seguenti parametri giornalieri:

- u_x : velocità zonale lungo gli strati verticali (m/s)
- u_y : velocità meridionale lungo gli strati verticali (m/s)

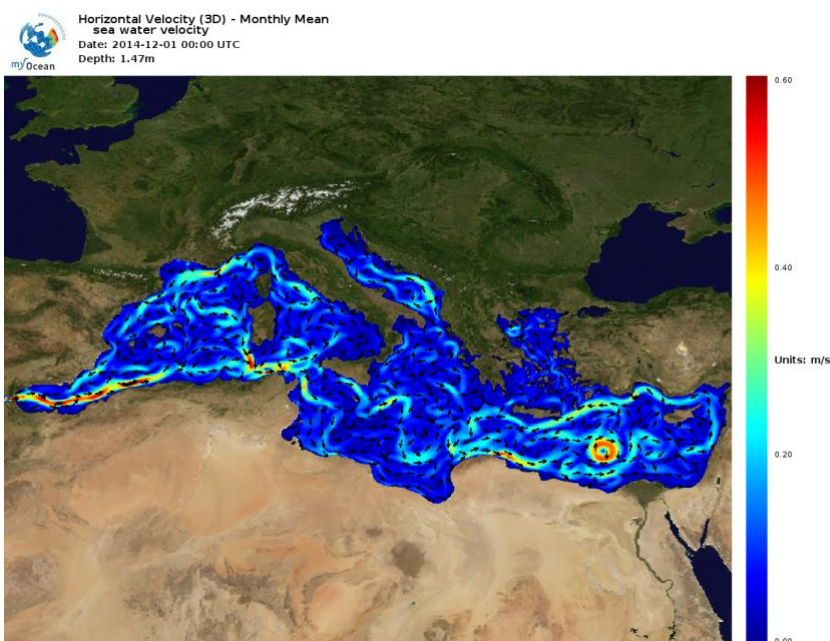


Figura 2.2: Esempio del campo di correnti superficiali a dicembre 2014

2.4 Dati sul livello del mare

2.4.1 Mareggiate

Il Mediterranean Forecasting System, componente fisica di rianalisi, è un modello idrodinamico, fornito dal Nucleo per la Modellistica Europea dell'Oceano (NEMO), con uno schema di assimilazione dei dati variazionale (OceanVAR) per i profili verticali di temperatura e salinità e i dati satellitari di Anomalia del Livello del Mare lungo la traccia. La risoluzione della griglia orizzontale del modello è di $1/16^\circ$ (circa 6-7 km) e i livelli



verticali disomogenei sono 72 (<http://resources.marine.copernicus.eu/documents/PUM/CMEMS-MED-PUM-006-004.pdf>).

Tabella 2.4: Informazioni sul dataset CMEMS-MED Phys.

MEDSEA_REANALYSIS_PHYS_006_004	
COPERTURA	Mar Mediterraneo
RISOLUZIONE SPAZIALE	0,042 gradi x 0,042 gradi
RISOLUZIONE VERTICALE	72 livelli irregolari
SISTEMA DI RIFERIMENTO DELLE COORDINATE	WGS 84 (EPSG 4326)
TIPO DI CARATTERE	Griglia
COPERTURA TEMPORALE	dal 1987-01-01 al 2018-12-31
RISOLUZIONE TEMPORALE	media giornaliera/ media mensile
FREQUENZA DI AGGIORNAMENTO	annualmente
UNITÀ DI PRODUZIONE	MED-CMCC-LECCE-IT
FORMATO ORIGINALE DEL FILE	NetCDF-3

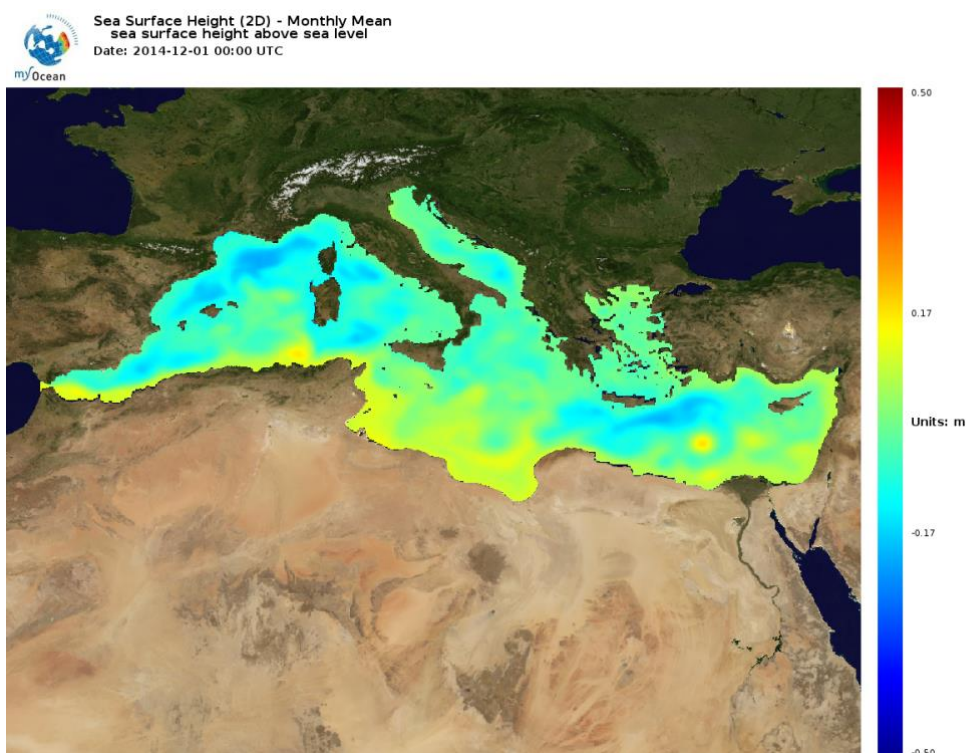


Figura 2.3 Example of SSH in December 2014.

Tali dati hindcast delle onde fanno riferimento al seguente parametro giornaliero:

- SSH: altezza della superficie del mare (m)

2.4.2 Livello di marea

Le misurazioni del livello del mare nell'area di studio offshore non sono disponibili e i dati hindcast del database OPD/TPXO sono stati recuperati per stimare il livello di marea nel sito di studio.

2.5 Caratteristiche della massa marina

Il Mediterranean Forecasting System, componente fisica di rianalisi, è un modello idrodinamico, fornito dal Nucleo per la Modellistica Europea dell'Oceano (NEMO), con uno schema di assimilazione dei dati variazionale (OceanVAR) per i profili verticali di temperatura e salinità e i dati satellitari di Anomalia del Livello del Mare lungo la traccia. La risoluzione della griglia orizzontale del modello è di $1/16^\circ$ (circa 6-7 km) e i livelli verticali disomogenei sono 72 (<http://resources.marine.copernicus.eu/documents/PUM/CMEMS-MED-PUM-006-004.pdf>).



Tabella 2.5: Informazioni sul dataset CMEMS-MED Phys.

MEDSEA_REANALYSIS_PHYS_006_004	
COPERTURA	Mar Mediterraneo
RISOLUZIONE SPAZIALE	0,042 gradi x 0,042 gradi
RISOLUZIONE VERTICALE	72 livelli irregolari
SISTEMA DI RIFERIMENTO DELLE COORDINATE	WGS 84 (EPSG 4326)
TIPO DI CARATTERE	Griglia
COPERTURA TEMPORALE	dal 1987-01-01 al 2018-12-31
RISOLUZIONE TEMPORALE	media giornaliera/ media mensile
FREQUENZA DI AGGIORNAMENTO	annualmente
UNITÀ DI PRODUZIONE	MED-CMCC-LECCE-IT
FORMATO ORIGINALE DEL FILE	NetCDF-3

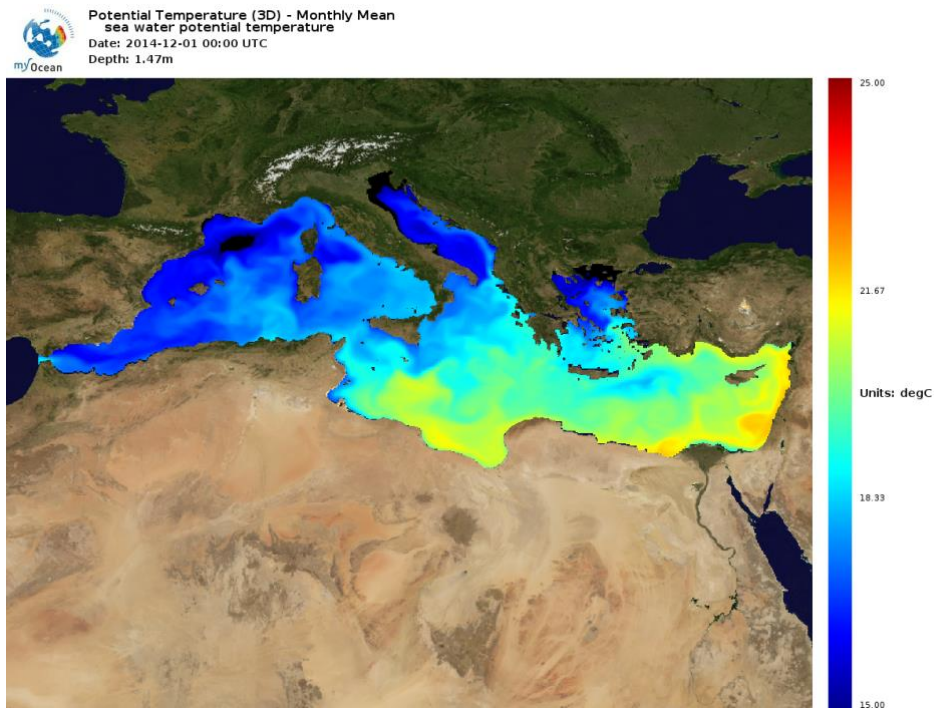


Figura 2.4: Esempio del campo di temperatura superficiale a dicembre 2014

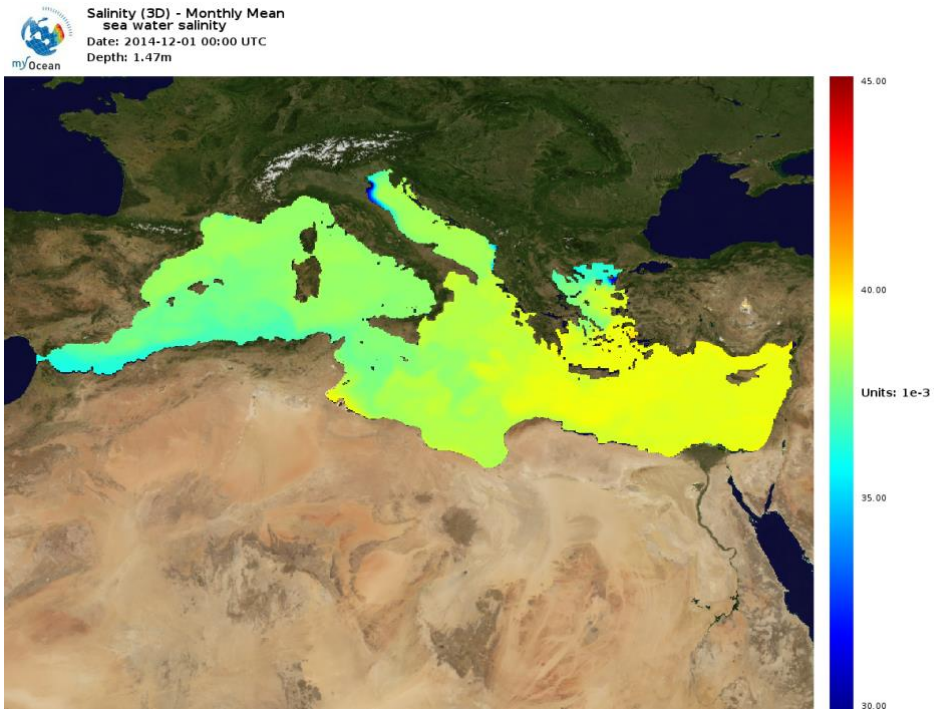


Figura 2.5: Esempio del campo di salinità superficiale a dicembre 2014



Tali dati hindcast della massa marina si riferiscono ai seguenti parametri giornalieri:

- T: temperatura (C°)
- S: salinità (PSU)

2.6 Affidabilità dei dati hindcast

2.6.1 Affidabilità dei dati ondametrici

Insieme ai dati viene fornito un documento informativo sulla qualità, scaricabile sulla piattaforma CMEMS al link [CMEMS-MED-QUID-006-012.pdf \(copernicus.eu\)](https://cmems-med-quick-006-012.pdf), in cui viene valutata la qualità del hindcast CMEMS MED- waves di 27 anni (1993-2020) per il Mar Mediterraneo. Nel complesso, l'altezza significativa delle onde è simulata accuratamente dal modello.

Considerando il Mar Mediterraneo nel suo complesso, la differenza tipica con le osservazioni in situ e da satellite (RMS) è rispettivamente di 0,23 m e 0,24 m, mentre il bias $-0,06 \pm 0,022$ m ($7\% \pm 3\%$ rispetto alla media osservata) e $-0,05 \pm 0,011$ m ($4\% \pm 1\%$).

In generale, il modello sottostima le osservazioni in tutto il Mediterraneo, tranne che nel Mar Egeo. La sottostima del modello è comune nell'intervallo SWH medio e basso, **mentre per le onde alte il modello ha spesso un approccio migliore**. Le sue prestazioni sono migliori in inverno, quando le condizioni delle onde sono ben definite.

Dal punto di vista spaziale, il modello funziona in modo ottimale nelle località in cui si trovano le boe d'onda offshore e nelle sottoregioni mediterranee ben esposte. All'interno di bacini chiusi e vicino alla costa, la topografia non risolta dai modelli del vento e delle onde e le limitazioni del fetch causano un peggioramento delle prestazioni del modello di ondosità: questo è il caso del sito oggetto dello studio. La regione dell'Alto Adriatico è quella con la più alta dispersione tra le osservazioni in-situ e quelle satellitari con la rianalisi dell'altezza d'onda significativa, la differenza è di 0,28 m.

Il periodo medio delle onde è simulato ragionevolmente bene dal modello. La differenza tipica con le osservazioni (RMS) è di $0,66 \text{ s} \pm 0,066 \text{ s}$ ed è principalmente causata dal bias del modello che ha un valore di $-0,34 \pm 0,078 \text{ s}$ ($-9\% \pm 2\%$).

2.6.1.1 Confronto tra i dati CMEMS e i dati ondametrici registrati dalla boa NAUSICAA

A causa della specifica ubicazione dello studio, in una base chiusa e in acque relativamente poco profonde, un'ulteriore validazione dei dati CMEMS nel sito di studio è stata effettuata confrontando i valori di H_s e la direzione delle onde con i dati misurati dalla boa ondometrica installata al largo di Cesenatico, vicino al sito di studio, a 10 m di profondità.

I dettagli sulla boa per onde Nausicaa, gestita dall'ARPA ER, sono disponibili al seguente indirizzo:

<https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/mare/dati-e-indicatori/dati-boa-ondametrica>.



Le coordinate della boa Nausicaa e del punto di griglia CMEMS selezionato sono le seguenti:

	Lon	Lat
CMEMS	12.46°	44.22°
Nausicaa buoy	12.478°	44.21°

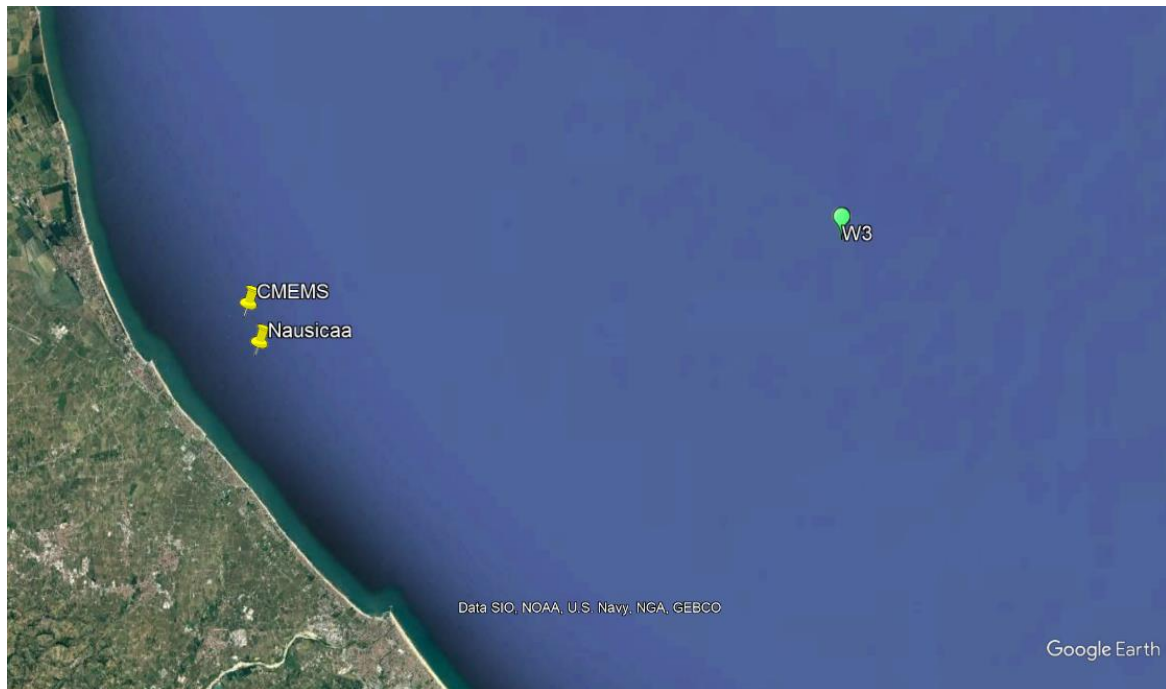
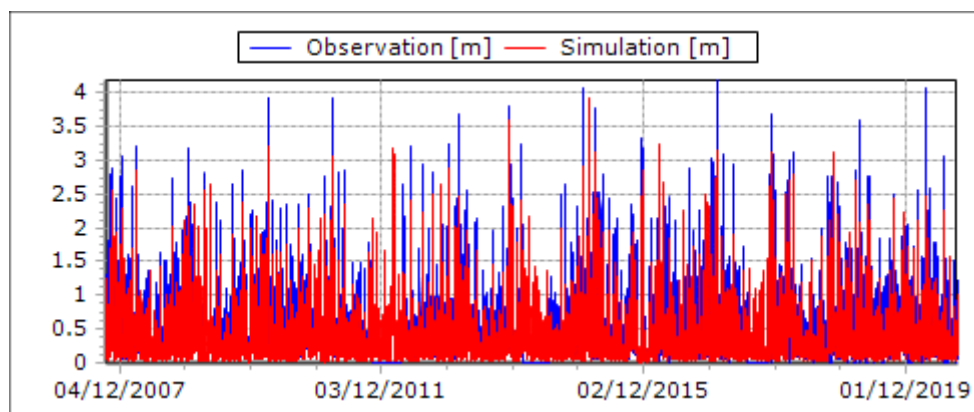


Figura 2.6: Boa Nausicaa e ubicazione del punto della griglia CMEMS più vicino selezionato per il confronto dei dati.

I dati sulle onde di Nausicaa sono disponibili dall'installazione della boa nel maggio 2007. La serie temporale di H_s misurata dalla boa ondometrica Nausicaa (in blu) e quella hindcasted al punto di griglia CMEMS di chiusura (in rosso) è presentata nella figura 2.7.



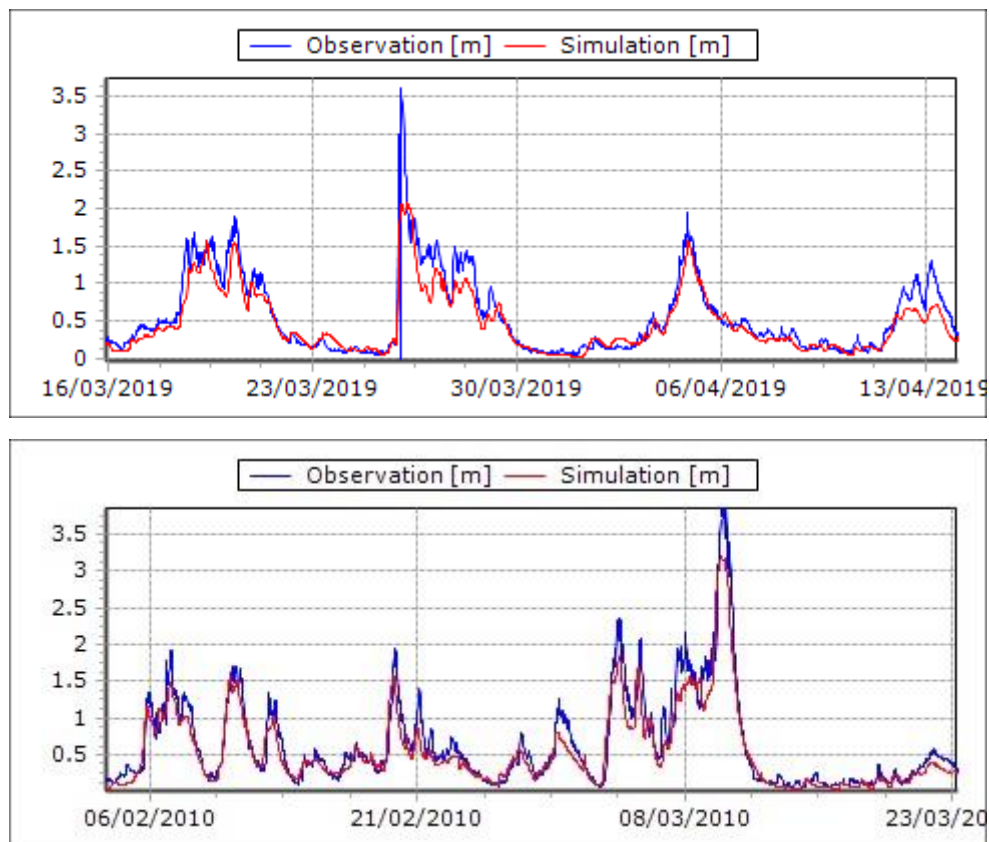


Figura 2.7: H_s misurata dalla boa ondometrica Nausicaa (blu) e hindcasted al punto della griglia CMEMS più vicino (rosso). Serie temporali (2007-2020) [in alto]; selezione di alcuni eventi [al centro e in basso]

Un diagramma a dispersione è presentato nella Figura 2.8. È evidente che i dati hindcasted sottostimano quelli misurati, soprattutto durante le tempeste; la generale sottostima dei valori modellati potrebbe essere in parte dovuta alla relativa vicinanza della griglia alla costa.

Analizzando i dati, osserviamo che la differenza tra le due fonti di dati aumenta con l' H_s , raggiungendo durante alcune delle tempeste più intense un aumento del 60% dei dati misurati rispetto a quelli modellati.

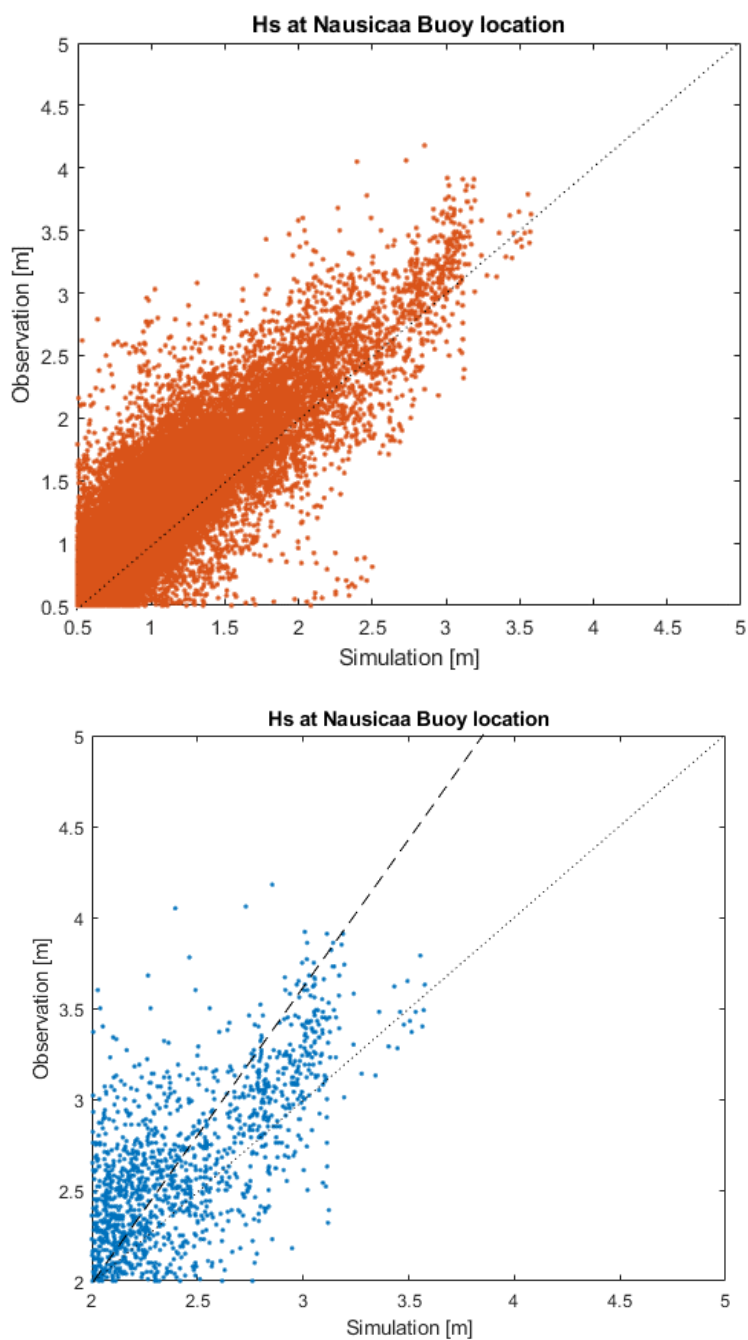


Figura 2.8: Confronto tra H_s e CMEMS, (a) tutti i dati, (b) zoom $H_s > 2m$

Lo stesso confronto tra il risultato di un altro modello spettrale, WW3 (Pillai et al. 2022) e la boa ondometrica Nausicaa mostra una sottostima dell'altezza dell'onda.



Per onde dell'ordine di 2.0 m, l' H_s osservato sovrastima del 12% i dati modellati, questo rapporto aumenta con l' H_s . Nella seguente analisi delle onde estreme, che prenderà in considerazione $H_{\sim} > 2.0$, saranno aumentati i picchi di tempesta del 12% (si veda la sezione 4.1.2. a pag. 87).

Le direzioni dei due set di dati sono confrontate nei due diagrammi a rosa (Fig. 2.9). È evidente una discrepanza tra le due fonti, le onde hindcasted sono meno ruotate a causa dell'effetto di rifrazione rispetto a quelle misurate.

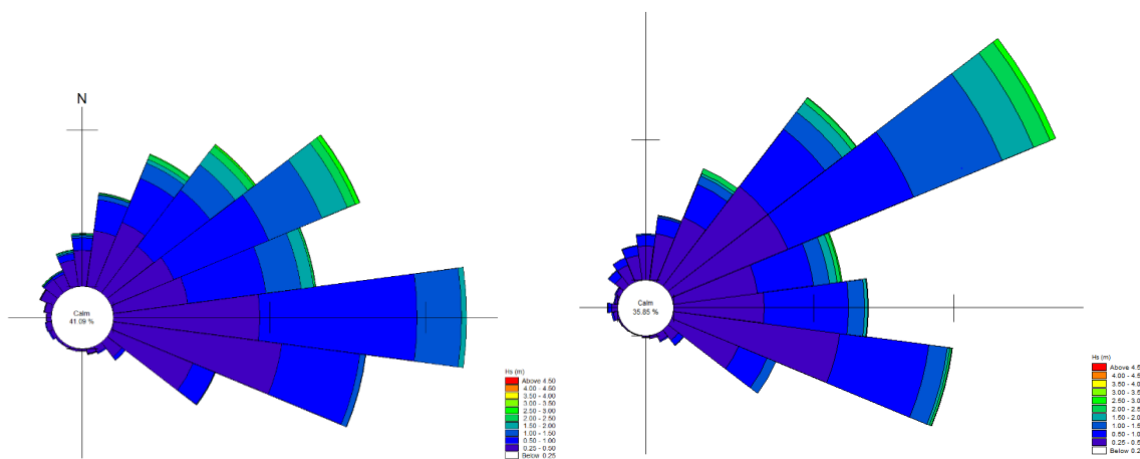


Figura 2.9: Diagrammi a rosa delle onde. Dati Nausicaa (a sinistra) e dati CMEMS (a destra) 2007-2020.

2.6.2 Affidabilità dei dati fisici

La qualità della MEDSEA_REANALYSIS_PHYS_006_004 è stata valutata per il periodo 1987-2016 confrontando i risultati con le osservazioni, la climatologia e la letteratura ed è riportata in <http://resources.marine.copernicus.eu/documents/QUID/CMEMS-MED-QUID-006-004.pdf>.

La matrice di correlazione dell'errore di fondo è stimata dalla variabilità temporale dei parametri in una simulazione storica del modello. Le matrici di correlazione degli errori di fondo variano stagionalmente in 13 regioni del Mar Mediterraneo, che presentano caratteristiche fisiche diverse (Dobricic et al., 2006). La topografia dinamica media, utilizzata per l'assimilazione dei dati SLA (Sea Level Anomaly), è stata calcolata da Dobricic et al. (2005).

I dati assimilati comprendono l'anomalia del livello del mare e i profili di temperatura e salinità in situ.

L'RMS e il BIAS delle SST rispetto alle mappe SST satellitari giornaliere sono presentati come serie temporali e come mappe orizzontali. L'evoluzione dell'errore di SST mostra una stagionalità, con un errore più elevato durante il periodo estivo, durante il quale il sistema mostra un bias di calore, e un valore medio di 0,56 °C. Il valore RMS di SLA rispetto ai dati assimilati a lunga distanza oscilla da circa 3 a 4,5 cm con una media di ~3,6 cm.



3. SELEZIONE DEI DATI PER L'AREA DI STUDIO

3.1 Vento

La figura sottostante mostra i punti dei dati ECMWF ERA-5 estratti per caratterizzare il regime del vento nell'area di studio per il periodo di 63 anni (1/1/1959 – 31/12/2021). I due punti sono i più prossimi a quelli di interesse del Progetto.

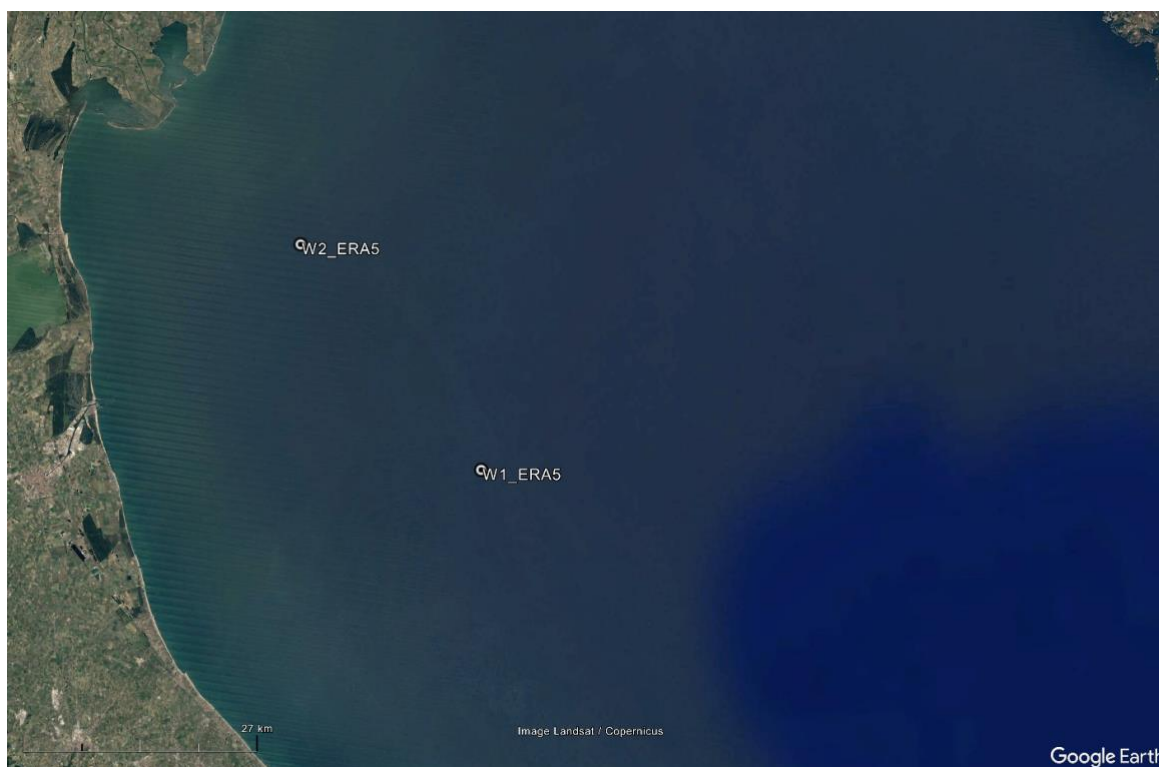


Figura 3.1: ECMWF ERA-5 Grid-Points

I dati raccolti fanno riferimento ai punti della griglia aventi le seguenti coordinate:

Tabella 3.1: Coordinate geografiche dei punti selezionati per l'analisi del vento.

Node Name	LON	LAT
W1 Era5	12.85	44.40
W2 Era5	12.60	44.65



3.2 Onde

Il servizio di monitoraggio ambientale marino Copernicus fornisce rianalisi delle serie temporali delle onde (CMEMS MED) da un modello di spettri d'onda (WAM) sono disponibili in tutte le aree geografiche, compreso il Mar Mediterraneo. I dati sono disponibili ogni ora con una risoluzione spaziale di 4 km. I dati sono disponibili per le onde generate dal vento e per il moto ondoso. I dettagli sulle caratteristiche delle onde sono forniti in https://marine.copernicus.eu/wp-content/uploads/2016/12/CMEMS5024_Waves_first_announcement.pdf.

Per l'analisi sono stati raccolti i seguenti parametri d'onda:

Tabella 3.2: Parametri d'onda da CMEMS MED.

Tipo di spettro	Parametro	Simbolo	Unità
Spettro totale	Altezza spettrale d'onda significativa	Hs	m
	Periodo medio dell'onda	Tm	s
	Periodo d'onda al picco spettrale	Tp	s
	Direzione media dell'onda	Dir	° N

La Figura 3.2 mostra i punti dati CMEMS MED- Waves della griglia sull'area di studio: i nodi selezionati e situati il più vicino possibile alle strutture sono stati estratti e analizzati per descrivere i parametri fisici dello stato del mare (corrente, livello del mare, temperatura, salinità) per la valutazione delle condizioni di progetto.

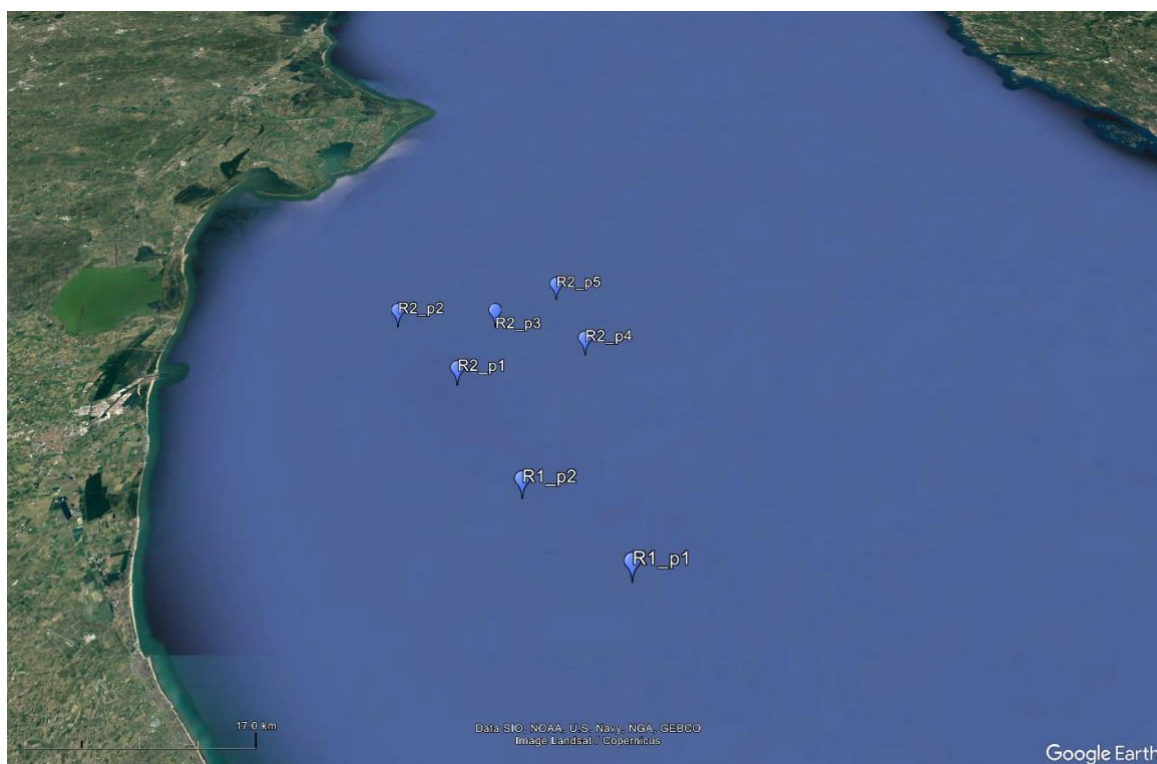


Figura 3.2: CMEMS MED-Waves nelle aree offshore “Romagna 1” e “Romagna 2”.

I dati raccolti si riferiscono ai punti griglia di acque profonde e al periodo di 26 anni 1/1/1993 - 31/12/2019.

Tabella 3.3: Coordinate geografiche dei punti selezionati per l'analisi delle onde

Romagna 1		
	lon	lat
R1_p1	12.88	44.27
R1_p2	12.76	44.35
Romagna 2		
	lon	lat
R2_p1	12.67	44.48
R2_p2	12.58	44.56
R2_p3	12.71	44.56
R2_p4	12.83	44.52
R2_p5	12.79	44.6



3.3 Parametri fisici

L'analisi dello stato fisico del Mar Mediterraneo comprende campi 2D giornalieri/mensili di altezza della superficie del mare e campi 3D giornalieri di temperatura, salinità, correnti meridionali e zonali con risoluzione orizzontale di $1/16^\circ$ e 72 livelli verticali.

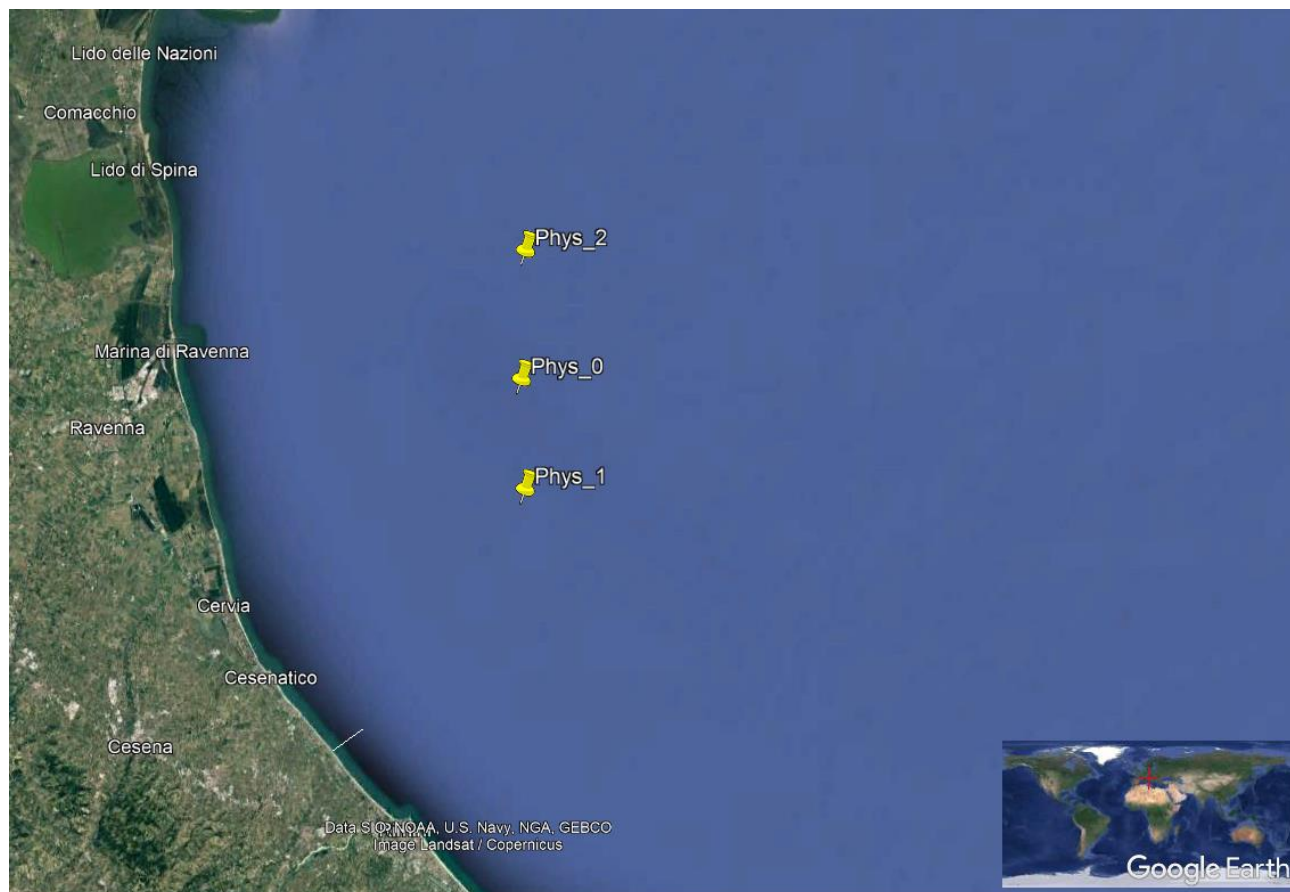


Figura 3.3: Punti della griglia CMEMS MED per i dati relativi al livello del mare (SSH), alla velocità, alla temperatura e alla salinità nell'Offshore Romagna 1 e Romagna 2.

La Figura 3.3 mostra i punti dati CMEMS-MED Phys della griglia sull'area di studio: i nodi selezionati e situati il più vicino possibile alle strutture sono stati estratti e analizzati per descrivere i parametri fisici dello stato del mare (corrente, livello del mare, temperatura, salinità) per la valutazione delle condizioni di progetto.



Tabella 3.4: Coordinate geografiche dei punti selezionati per i dati di livello del mare (SSH), velocità, temperatura e salinità.

Physics (Giornaliera, dal 1987 a -1 m, -10 m e -30 m mwl)		
	lon	lat
Phys_1	12.708	44.354
Phys_2	12.708	44.5625
Phys_0	12.707	44.45

I dati estratti a Phys_1 e 2 sono utilizzati per l'analisi a lungo termine, mentre i dati di Phys_0 sono analizzati come profili medi annuali e medi mensili.



4. ANALISI

I dati raccolti sono stati analizzati ed elaborati per ricavare le condizioni meteomarine operative ed estreme per la progettazione delle strutture situate nell'area di studio, secondo la seguente metodologia adottata dai principali regolamenti (DNV, RINA, API):

4.1 Onde

L'analisi delle onde riguarderà le condizioni estreme e operative delle onde.

4.1.1 Condizioni operative delle onde

In questa sezione verranno presentati i dati dei diagrammi di dispersione delle onde, relativi alla distribuzione congiunta altezza d'onda / periodo e altezza d'onda / distribuzione d'onda, realizzati come numero totale di eventi, percentuale e diagrammi delle rose d'onda.

Il periodo di tempo in cui la base di dati per i diagrammi di dispersione delle onde è sufficientemente lunga da costituire una base affidabile per il progetto, che si raccomanda sia preferibilmente di almeno cinque anni, è di 26 anni.

Di seguito vengono presentate le statistiche di base.



4.1.1.1 Romagna 1 p1

Tabella 4.1: Statistiche di base di Hs per Romagna 1 p1

	Hs m	Tm s	Tp s	Dir °N
Max	5.38	8.08	13.51	360
Mean	0.62	2.76	4.11	122
Std	0.57	0.97	1.68	87



Tabella 4.2: Numero di eventi per classi Hs-Tm per Romagna 1 p1

Hs [m]/Tm[s]	0.5 1.5	1.5 2.5	2.5 3.5	3.5 4.5	4.5 5.5	5.5 6.5	6.5 7.5	7.5 8.5	8.5 9.5	9.5 10.5	10.5 11.5	11.5 12.5	>12.5
0 -0.5	34	46845	21813	1032	85	5	0	0	0	0	0	0	0
0.5 -1	0	9390	75206	23061	3180	370	11	0	0	0	0	0	0
1 -1.5	0	0	4440	22341	5299	1574	124	0	0	0	0	0	0
1.5 -2	0	0	2	4540	6257	1128	432	21	0	0	0	0	0
2 -2.5	0	0	0	177	4107	719	234	36	0	0	0	0	0
2.5 -3	0	0	0	1	1831	678	80	31	3	0	0	0	0
3 -3.5	0	0	0	0	311	651	31	3	0	0	0	0	0
3.5 -4	0	0	0	0	6	394	18	1	0	0	0	0	0
4 -4.5	0	0	0	0	0	107	16	2	0	0	0	0	0
4.5 -5	0	0	0	0	0	24	8	0	0	0	0	0	0
5 -5.5	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
5.5 -6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 -6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.3: Percentuali di eventi per classi Hs-Tm per Romagna 1 p1

Hs [m]/Tm[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0 -0.5	0.01	19.79	9.22	0.44	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5 -1	0.00	3.97	31.78	9.74	1.34	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 -1.5	0.00	0.00	1.88	9.44	2.24	0.67	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.5 -2	0.00	0.00	0.00	1.92	2.64	0.48	0.18	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2 -2.5	0.00	0.00	0.00	0.07	1.74	0.30	0.10	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.5 -3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.77	0.29	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3 -3.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.28	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.5 -4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 -4.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5 -5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 -5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5 -6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 -6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Tabella 4.4: Numero di eventi per classi Hs-Tp per Romagna 1 p1

Hs [m]/Tp[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0 -0.5	0	10351	41520	9474	2544	2245	2133	808	510	157	47	15	10
0.5 -1	0	133	25984	43270	19128	10569	8208	2364	1147	332	60	20	3
1 -1.5	0	0	23	5073	11645	7452	6614	1822	785	321	43	0	0
1.5 -2	0	0	0	37	1430	6803	2022	1374	635	76	3	0	0
2 -2.5	0	0	0	0	31	2411	1866	446	422	87	10	0	0
2.5 -3	0	0	0	0	1	141	2165	116	131	58	12	0	0
3 -3.5	0	0	0	0	0	1	890	52	34	13	6	0	0
3.5 -4	0	0	0	0	0	0	205	195	10	7	2	0	0
4 -4.5	0	0	0	0	0	0	0	110	9	6	0	0	0
4.5 -5	0	0	0	0	0	0	0	7	21	4	0	0	0
5 -5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0
5.5 -6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 -6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.5: Percentuali di eventi per classi Hs-Tp per Romagna 1 p1

Hs [m]/Tp[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0 -0.5	0.00	4.37	17.54	4.00	1.07	0.95	0.90	0.34	0.22	0.07	0.02	0.01	0.00
0.5 -1	0.00	0.06	10.98	18.28	8.08	4.47	3.47	1.00	0.48	0.14	0.03	0.01	0.00
1 -1.5	0.00	0.00	0.01	2.14	4.92	3.15	2.79	0.77	0.33	0.14	0.02	0.00	0.00
1.5 -2	0.00	0.00	0.00	0.02	0.60	2.87	0.85	0.58	0.27	0.03	0.00	0.00	0.00
2 -2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.02	0.79	0.19	0.18	0.04	0.00	0.00	0.00
2.5 -3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.91	0.05	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00
3 -3.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
3.5 -4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 -4.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5 -5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
5 -5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5 -6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 -6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Tabella 4.6: Numero di eventi per classi Hs-Dir per Romagna 1 p1

Hs [m]/Dir	0°	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°
	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°	360°
0 -0.5	11313	14029	13475	10191	15785	31362	10320	5555	4561	3266	2166	1872	1859	3096	6081	7503
0.5 -1	2532	5865	8895	4791	8138	15038	3692	2237	1409	1168	937	645	403	978	1556	1705
1 -1.5	554	2241	5063	1796	3828	3933	738	359	152	169	210	62	88	299	275	255
1.5 -2	244	1169	2962	717	1285	1065	87	41	25	20	15	12	28	78	70	74
2 -2.5	114	687	1693	331	488	274	11	4	0	0	0	0	1	5	7	30
2.5 -3	84	456	824	135	103	115	0	0	0	0	0	0	0	0	3	9
3 -3.5	8	205	291	56	25	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3.5 -4	1	72	142	21	5	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4 -4.5	0	14	26	6	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5 -5	0	1	6	3	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 -5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5 -6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 -6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.7: Percentuali di eventi per classi Hs-Dir per Romagna 1 p1

Hs [m]/Dir	0°	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°
	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°	360°
0 -0.5	4.78	5.93	5.69	4.31	6.67	13.25	4.36	2.35	1.93	1.38	0.92	0.79	0.79	1.31	2.57	3.17
0.5 -1	1.07	2.48	3.76	2.02	3.44	6.35	1.56	0.95	0.60	0.49	0.40	0.27	0.17	0.41	0.66	0.72
1 -1.5	0.23	0.95	2.14	0.76	1.62	1.66	0.31	0.15	0.06	0.07	0.09	0.03	0.04	0.13	0.12	0.11
1.5 -2	0.10	0.49	1.25	0.30	0.54	0.45	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03
2 -2.5	0.05	0.29	0.72	0.14	0.21	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.5 -3	0.04	0.19	0.35	0.06	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3 -3.5	0.00	0.09	0.12	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.5 -4	0.00	0.03	0.06	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 -4.5	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5 -5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 -5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5 -6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 -6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

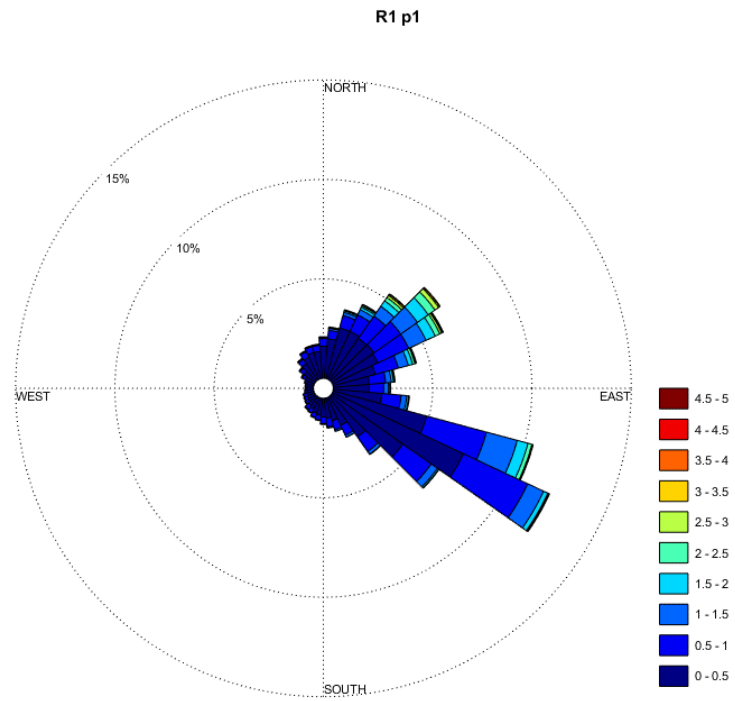


Figura 4.1: Rosa delle onde al punto di griglia Romagna1 p1



4.1.1.2 Romagna 1 p2

Tabella 4.8: Statistiche base di Hs per Romagna 1 p2

	Hs m	Tm s	Tp s	Dir °N
Max	5.30	8.00	13.51	360
Mean	0.61	2.74	4.10	117
Std	0.56	0.97	1.69	81



Tabella 4.9: Numero di eventi per classi Hs-Tm per Romagna 1 p2

Hs [m]/Tm[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0 -0.5	92	48665	22050	1260	105	6	0	0	0	0	0	0	0
0.5 -1	0	9799	73713	23525	3530	446	13	0	0	0	0	0	0
1 -1.5	0	0	4231	21065	5249	1620	121	0	0	0	0	0	0
1.5 -2	0	0	3	4547	5953	1036	392	28	0	0	0	0	0
2 -2.5	0	0	0	144	4043	628	188	38	0	0	0	0	0
2.5 -3	0	0	0	3	1962	598	56	20	0	0	0	0	0
3 -3.5	0	0	0	0	328	628	21	1	0	0	0	0	0
3.5 -4	0	0	0	0	10	385	14	2	0	0	0	0	0
4 -4.5	0	0	0	0	0	101	19	0	0	0	0	0	0
4.5 -5	0	0	0	0	0	16	7	0	0	0	0	0	0
5 -5.5	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
5.5 -6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 -6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.10: Percentuali di eventi per classi Hs-Tm per Romagna 1 p2

Hs [m]/Tm[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0 -0.5	0.04	20.56	9.32	0.53	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5 -1	0.00	4.14	31.15	9.94	1.49	0.19	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 -1.5	0.00	0.00	1.79	8.90	2.22	0.68	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.5 -2	0.00	0.00	0.00	1.92	2.52	0.44	0.17	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2 -2.5	0.00	0.00	0.00	0.06	1.71	0.27	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.5 -3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83	0.25	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3 -3.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.27	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.5 -4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 -4.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5 -5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 -5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5 -6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 -6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Tabella 4.11: Numero di eventi per classi Hs-Tp per Romagna 1 p2

Hs [m]/Tp[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0 -0.5	0	11258	41490	9772	2934	2588	2454	881	533	184	56	13	15
0.5 -1	0	125	25655	42079	19403	10843	8859	2408	1186	372	67	24	5
1 -1.5	0	0	18	4488	11334	7295	6268	1847	719	274	42	1	0
1.5 -2	0	0	0	40	1413	6755	1835	1191	647	75	3	0	0
2 -2.5	0	0	0	0	19	2569	1654	373	324	87	15	0	0
2.5 -3	0	0	0	0	0	183	2199	108	101	39	9	0	0
3 -3.5	0	0	0	0	0	1	904	41	20	7	5	0	0
3.5 -4	0	0	0	0	0	0	235	158	8	7	3	0	0
4 -4.5	0	0	0	0	0	0	0	105	9	6	0	0	0
4.5 -5	0	0	0	0	0	0	0	7	13	3	0	0	0
5 -5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0
5.5 -6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 -6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.12: Percentuali di eventi per classi Hs-Tp per Romagna 1 p2

Hs [m]/Tp[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0 -0.5	0.00	4.76	17.53	4.13	1.24	1.09	1.04	0.37	0.23	0.08	0.02	0.01	0.01
0.5 -1	0.00	0.05	10.84	17.78	8.20	4.58	3.74	1.02	0.50	0.16	0.03	0.01	0.00
1 -1.5	0.00	0.00	0.01	1.90	4.79	3.08	2.65	0.78	0.30	0.12	0.02	0.00	0.00
1.5 -2	0.00	0.00	0.00	0.02	0.60	2.85	0.78	0.50	0.27	0.03	0.00	0.00	0.00
2 -2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.09	0.70	0.16	0.14	0.04	0.01	0.00	0.00
2.5 -3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.93	0.05	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00
3 -3.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
3.5 -4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 -4.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5 -5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
5 -5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5 -6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 -6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Tabella 4.13: Numero di eventi per classi Hs-Dir per Romagna 1 p2

Hs [m]/Dir	0°	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°
	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°	360°
0 -0.5	9865	14669	14210	12207	17544	34954	11581	5590	3265	2236	1906	1719	1847	2850	5302	6061
0.5 -1	2289	5294	8570	5960	8187	15427	3591	1837	972	974	964	466	327	806	1018	1199
1 -1.5	504	1797	4969	2330	3504	3961	806	288	119	129	139	35	63	208	169	171
1.5 -2	207	1027	2930	939	1116	1071	81	21	18	11	6	4	14	40	37	58
2 -2.5	117	498	1870	446	383	253	14	1	0	0	0	0	0	1	5	13
2.5 -3	56	382	880	159	85	106	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
3 -3.5	10	158	347	77	22	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3.5 -4	0	40	152	18	7	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 -4.5	0	1	25	8	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5 -5	0	0	6	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 -5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5 -6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 -6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.14: Percentuali di eventi per classi Hs-Dir per Romagna 1 p2

Hs [m]/Dir	0°	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°
	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°	360°
0 -0.5	4.17	6.20	6.00	5.16	7.41	14.77	4.89	2.36	1.38	0.94	0.81	0.73	0.78	1.20	2.24	2.56
0.5 -1	0.97	2.24	3.62	2.52	3.46	6.52	1.52	0.78	0.41	0.41	0.41	0.20	0.14	0.34	0.43	0.51
1 -1.5	0.21	0.76	2.10	0.98	1.48	1.67	0.34	0.12	0.05	0.05	0.06	0.01	0.03	0.09	0.07	0.07
1.5 -2	0.09	0.43	1.24	0.40	0.47	0.45	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02
2 -2.5	0.05	0.21	0.79	0.19	0.16	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.5 -3	0.02	0.16	0.37	0.07	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3 -3.5	0.00	0.07	0.15	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.5 -4	0.00	0.02	0.06	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 -4.5	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5 -5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 -5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5 -6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 -6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

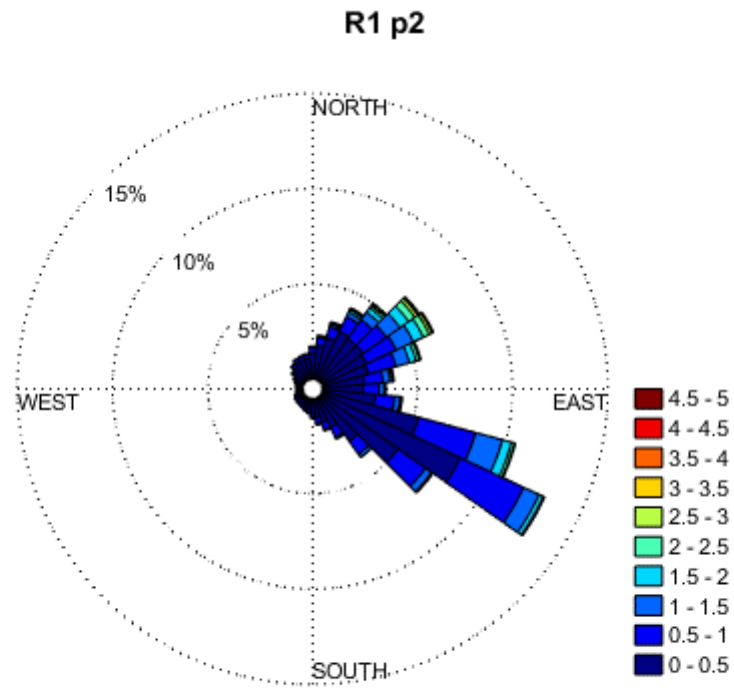


Figura 4.2: Rosa delle onde al punto di griglia Romagna1 p2



4.1.1.3 Romagna 2 p1

Tabella 4.15: Statistiche base di Hs per Romagna 2 p1

	Hs m	Tm s	Tp s	Dir °N
Max	5.38	7.98	14.86	360
Mean	0.60	2.73	4.11	116
Std	0.56	0.97	1.71	75



Tabella 4.16: Numero di eventi per classi Hs-Tm per Romagna 2 p1

Hs [m]/Tm[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0 -0.5	137	49852	22250	1564	164	8	0	0	0	0	0	0	0
0.5 -1	0	9648	72146	23323	3810	589	21	3	0	0	0	0	0
1 -1.5	0	0	3868	21314	4930	1574	149	0	0	0	0	0	0
1.5 -2	0	0	7	4972	5656	981	370	27	0	0	0	0	0
2 -2.5	0	0	0	177	4269	565	165	41	0	0	0	0	0
2.5 -3	0	0	0	4	2005	573	51	17	0	0	0	0	0
3 -3.5	0	0	0	0	332	601	16	1	0	0	0	0	0
3.5 -4	0	0	0	0	9	356	12	1	0	0	0	0	0
4 -4.5	0	0	0	0	0	69	23	0	0	0	0	0	0
4.5 -5	0	0	0	0	0	9	3	0	0	0	0	0	0
5 -5.5	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
5.5 -6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 -6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.17: Percentuali di evneti per classi Hs-Tm per Romagna 2 p1

Hs [m]/Tm[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0 -0.5	0.06	21.06	9.40	0.66	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5 -1	0.00	4.08	30.48	9.85	1.61	0.25	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 -1.5	0.00	0.00	1.63	9.01	2.08	0.67	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.5 -2	0.00	0.00	0.00	2.10	2.39	0.41	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2 -2.5	0.00	0.00	0.00	0.07	1.80	0.24	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.5 -3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	0.24	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3 -3.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.25	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.5 -4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 -4.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5 -5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 -5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5 -6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 -6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Tabella 4.18: Numero di eventi per classi Hs-Tp per Romagna 2 p1

Hs [m]/Tp[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0 -0.5	0	12285	40672	9864	3230	2943	2805	1099	657	271	93	32	24
0.5 -1	0	115	25318	41343	18600	10618	9078	2522	1303	474	112	39	18
1 -1.5	0	0	17	4360	12034	6704	5841	1813	748	266	46	6	0
1.5 -2	0	0	0	33	1569	6876	1759	1054	634	83	5	0	0
2 -2.5	0	0	0	0	20	3112	1348	354	281	85	17	0	0
2.5 -3	0	0	0	0	0	306	2100	110	89	36	9	0	0
3 -3.5	0	0	0	0	0	0	879	47	15	5	4	0	0
3.5 -4	0	0	0	0	0	0	256	103	11	5	3	0	0
4 -4.5	0	0	0	0	0	0	2	69	13	8	0	0	0
4.5 -5	0	0	0	0	0	0	0	2	8	2	0	0	0
5 -5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
5.5 -6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 -6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.19: Percentuali di eventi per classi Hs-Tp per Romagna 2 p1

Hs [m]/Tp[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5		
0 -0.5	0.00	5.19	17.19	4.17	1.36	1.24	1.19	0.46	0.28	0.11	0.04	0.01	0.01	0.01
0.5 -1	0.00	0.05	10.70	17.47	7.86	4.49	3.84	1.07	0.55	0.20	0.05	0.02	0.02	0.01
1 -1.5	0.00	0.00	0.01	1.84	5.08	2.83	2.47	0.77	0.32	0.11	0.02	0.00	0.00	0.00
1.5 -2	0.00	0.00	0.00	0.01	0.66	2.91	0.74	0.45	0.27	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
2 -2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.31	0.57	0.15	0.12	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00
2.5 -3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.89	0.05	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
3 -3.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.5 -4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 -4.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5 -5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 -5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5 -6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 -6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Tabella 4.20: Numero di eventi per classi Hs-Dir per Romagna 2 p1

Hs [m]/Dir	0°	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°
	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°	360°
0 -0.5	8107	14152	14339	13534	17158	38582	13655	4662	2576	2106	1917	1999	2297	3502	4285	4136
0.5 -1	1700	4739	7680	7158	6893	16943	4017	1534	995	1023	1042	403	416	747	581	674
1 -1.5	339	1505	4437	3406	2437	5032	930	263	119	153	127	39	76	167	101	104
1.5 -2	159	892	2715	1447	770	1432	111	18	17	11	2	8	12	21	12	31
2 -2.5	69	489	1828	601	253	425	14	0	0	0	0	0	0	0	2	6
2.5 -3	29	273	928	220	44	164	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2
3 -3.5	6	91	383	82	21	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5 -4	0	12	146	24	4	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 -4.5	0	0	16	10	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5 -5	0	0	4	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 -5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5 -6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 -6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.21: Percentuali di eventi per classi Hs-Dir per Romagna 2 p1

Hs [m]/Dir	0°	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°
	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°	360°
0 -0.5	3.43	5.98	6.06	5.72	7.25	16.30	5.77	1.97	1.09	0.89	0.81	0.84	0.97	1.48	1.81	1.75
0.5 -1	0.72	2.00	3.25	3.02	2.91	7.16	1.70	0.65	0.42	0.43	0.44	0.17	0.18	0.32	0.25	0.28
1 -1.5	0.14	0.64	1.87	1.44	1.03	2.13	0.39	0.11	0.05	0.06	0.05	0.02	0.03	0.07	0.04	0.04
1.5 -2	0.07	0.38	1.15	0.61	0.33	0.61	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
2 -2.5	0.03	0.21	0.77	0.25	0.11	0.18	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.5 -3	0.01	0.12	0.39	0.09	0.02	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3 -3.5	0.00	0.04	0.16	0.03	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.5 -4	0.00	0.01	0.06	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 -4.5	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5 -5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 -5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5 -6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 -6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

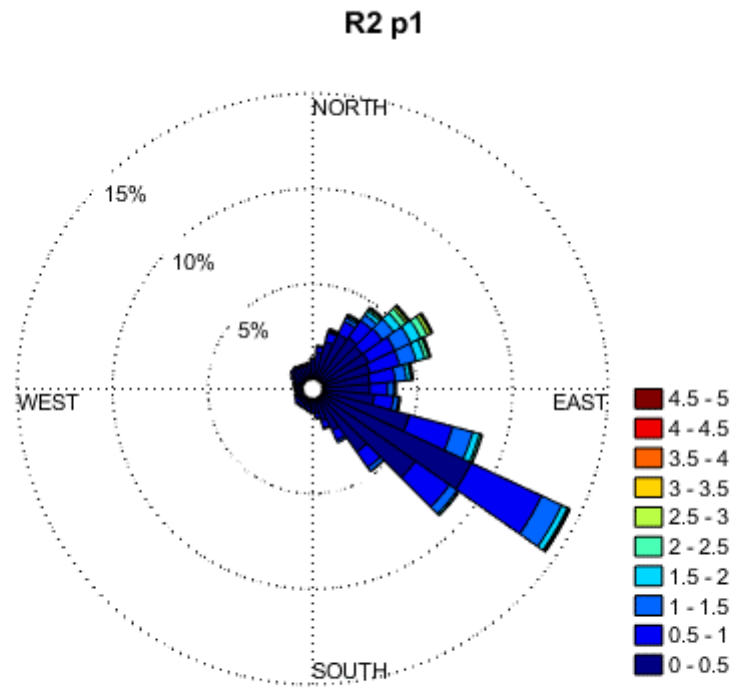


Figura 4.3: Rosa delle onde al punto di griglia Romagna2 p1



4.1.1.4 Romagna 2 p2

Tabella 4.22: Statistiche base di Hs per Romagna 2 p2

	Hs m	Tm s	Tp s	Dir °N
Max	5.32	7.92	14.86	360
Mean	0.58	2.74	4.13	114
Std	0.55	0.97	1.72	69



Tabella 4.23: Numero di eventi per classi Hs-Tm per Romagna 2 p2

Hs [m]/Tm[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0 -0.5	149	50831	24067	2031	247	16	1	0	0	0	0	0	0
0.5 -1	0	8885	70188	24147	4471	734	42	3	0	0	0	0	0
1 -1.5	0	0	3282	20642	4871	1653	188	0	0	0	0	0	0
1.5 -2	0	0	8	4670	5536	936	336	24	0	0	0	0	0
2 -2.5	0	0	0	180	4193	498	148	43	0	0	0	0	0
2.5 -3	0	0	0	5	1810	541	46	11	0	0	0	0	0
3 -3.5	0	0	0	0	316	551	11	0	0	0	0	0	0
3.5 -4	0	0	0	0	7	258	15	0	0	0	0	0	0
4 -4.5	0	0	0	0	0	42	19	0	0	0	0	0	0
4.5 -5	0	0	0	0	0	8	3	0	0	0	0	0	0
5 -5.5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
5.5 -6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 -6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.24: Percentuali di eventi per classi Hs-Tm per Romagna 2 p2

Hs [m]/Tm[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0 -0.5	0.06	21.48	10.17	0.86	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5 -1	0.00	3.75	29.66	10.20	1.89	0.31	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 -1.5	0.00	0.00	1.39	8.72	2.06	0.70	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.5 -2	0.00	0.00	0.00	1.97	2.34	0.40	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2 -2.5	0.00	0.00	0.00	0.08	1.77	0.21	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.5 -3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.23	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3 -3.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.5 -4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 -4.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5 -5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 -5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5 -6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 -6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Tabella 4.25: Numero di eventi per classi Hs-Tp per Romagna 2 p2

Hs [m]/Tp[s]		0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
		1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0	-0.5	0	13171	40571	10705	3693	3424	3272	1215	766	327	114	52	32
0.5	-1	0	103	23679	40353	19132	10968	9578	2581	1351	541	117	44	23
1	-1.5	0	0	20	3739	11733	6826	5463	1814	730	253	47	11	0
1.5	-2	0	0	0	25	1374	6818	1665	941	595	86	6	0	0
2	-2.5	0	0	0	0	16	3197	1189	318	236	87	19	0	0
2.5	-3	0	0	0	0	0	273	1930	104	71	26	9	0	0
3	-3.5	0	0	0	0	0	0	810	44	17	4	3	0	0
3.5	-4	0	0	0	0	0	0	203	63	8	5	1	0	0
4	-4.5	0	0	0	0	0	0	3	41	10	7	0	0	0
4.5	-5	0	0	0	0	0	0	0	3	5	3	0	0	0
5	-5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
5.5	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	-6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.26: Percentuali di eventi per classi Hs-Tp per Romagna 2 p2

Hs [m]/Tp[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0 -0.5	0.00	5.57	17.14	4.52	1.56	1.45	1.38	0.51	0.32	0.14	0.05	0.02	0.01
0.5 -1	0.00	0.04	10.01	17.05	8.08	4.63	4.05	1.09	0.57	0.23	0.05	0.02	0.01
1 -1.5	0.00	0.00	0.01	1.58	4.96	2.88	2.31	0.77	0.31	0.11	0.02	0.00	0.00
1.5 -2	0.00	0.00	0.00	0.01	0.58	2.88	0.70	0.40	0.25	0.04	0.00	0.00	0.00
2 -2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.35	0.50	0.13	0.10	0.04	0.01	0.00	0.00
2.5 -3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.82	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
3 -3.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
3.5 -4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 -4.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5 -5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 -5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5 -6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 -6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Tabella 4.27: Numero di eventi per classi Hs-Dir per Romagna 2 p2

Hs [m]/Dir	0°	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°
	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°	360°
0 -0.5	5550	13879	15286	14855	18718	42528	14578	4152	2544	2216	2061	2045	2387	3467	3140	2816
0.5 -1	992	4401	7352	7732	6807	17474	3814	1306	1025	1127	819	282	394	569	349	387
1 -1.5	203	1416	4192	3656	2260	5084	854	233	120	146	74	30	68	96	45	65
1.5 -2	95	823	2593	1535	647	1487	102	18	10	6	1	1	2	7	0	10
2 -2.5	32	474	1731	657	187	452	11	0	0	0	0	0	0	0	0	5
2.5 -3	10	190	876	234	33	146	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 -3.5	1	27	384	64	20	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5 -4	0	2	81	25	9	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 -4.5	0	0	10	9	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5 -5	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 -5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5 -6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 -6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.28: Percentuali di eventi per classi Hs-Dir per Romagna 2 p2

Hs [m]/Dir		0°	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°
		22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°	360°
0	-0.5	2.35	5.86	6.46	6.28	7.91	17.97	6.16	1.75	1.07	0.94	0.87	0.86	1.01	1.46	1.33	1.19
0.5	-1	0.42	1.86	3.11	3.27	2.88	7.38	1.61	0.55	0.43	0.48	0.35	0.12	0.17	0.24	0.15	0.16
1	-1.5	0.09	0.60	1.77	1.54	0.95	2.15	0.36	0.10	0.05	0.06	0.03	0.01	0.03	0.04	0.02	0.03
1.5	-2	0.04	0.35	1.10	0.65	0.27	0.63	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	-2.5	0.01	0.20	0.73	0.28	0.08	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.5	-3	0.00	0.08	0.37	0.10	0.01	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	-3.5	0.00	0.01	0.16	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.5	-4	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	-4.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5	-5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	-5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5	-6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	-6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

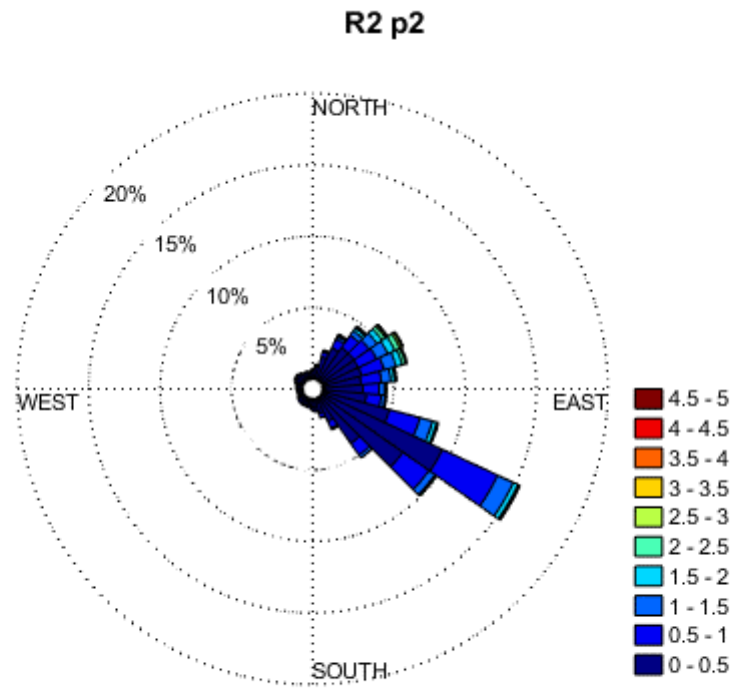


Figura 4.4: Rosa delle onde al punto di griglia Romagna2 p2



4.1.1.5 Romagna 2 p3

Tabella 4.29: Statistiche base di Hs per Romagna 2 p3

	Hs m	Tm s	Tp s	Dir °N
Max	5.62	8.01	14.86	360
Mean	0.62	2.72	4.11	119
Std	0.57	0.96	1.73	75



Tabella 4.30: Numero di eventi per classi Hs-Tm per Romagna 2 p3

Hs [m]/Tm[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0 -0.5	125	49662	20878	1424	130	10	0	0	0	0	0	0	0
0.5 -1	0	9970	73184	21227	3542	564	20	5	0	0	0	0	0
1 -1.5	0	0	4760	22566	4414	1449	137	1	0	0	0	0	0
1.5 -2	0	0	4	6418	5121	941	335	25	0	0	0	0	0
2 -2.5	0	0	0	313	4466	572	176	38	0	0	0	0	0
2.5 -3	0	0	0	4	2155	467	47	21	2	0	0	0	0
3 -3.5	0	0	0	0	496	514	29	1	0	0	0	0	0
3.5 -4	0	0	0	0	15	324	12	0	0	0	0	0	0
4 -4.5	0	0	0	0	0	58	26	0	0	0	0	0	0
4.5 -5	0	0	0	0	0	9	4	0	0	0	0	0	0
5 -5.5	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
5.5 -6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 -6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.31: Percentuali di eventi per classi Hs-Tm per Romagna 2 p3

Hs [m]/Tm[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0 -0.5	0.05	20.98	8.82	0.60	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5 -1	0.00	4.21	30.92	8.97	1.50	0.24	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 -1.5	0.00	0.00	2.01	9.54	1.87	0.61	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.5 -2	0.00	0.00	0.00	2.71	2.16	0.40	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2 -2.5	0.00	0.00	0.00	0.13	1.89	0.24	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.5 -3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.91	0.20	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3 -3.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.22	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.5 -4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 -4.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5 -5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 -5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5 -6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 -6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Tabella 4.32: Numero di eventi per classi Hs-Tp per Romagna 2 p3

Hs [m]/Tp[s]		0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
		1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0	-0.5	0	12445	40199	8654	2987	2795	2754	1167	761	300	104	36	27
0.5	-1	0	135	26371	41862	16896	9782	8623	2614	1431	574	148	55	21
1	-1.5	0	0	24	5566	13140	5977	5637	1753	819	335	65	11	0
1.5	-2	0	0	0	35	2197	6938	1896	1086	598	87	7	0	0
2	-2.5	0	0	0	0	27	3527	1183	407	324	79	18	0	0
2.5	-3	0	0	0	0	0	534	1899	121	93	39	10	0	0
3	-3.5	0	0	0	0	0	1	902	84	36	14	3	0	0
3.5	-4	0	0	0	0	0	0	272	60	11	5	3	0	0
4	-4.5	0	0	0	0	0	0	10	49	14	11	0	0	0
4.5	-5	0	0	0	0	0	0	0	9	1	3	0	0	0
5	-5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
5.5	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	-6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.33: Percentuali di eventi per classi Hs-Tp per Romagna 2 p3

Hs [m]/Tp[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0 -0.5	0.00	5.26	16.99	3.66	1.26	1.18	1.16	0.49	0.32	0.13	0.04	0.02	0.01
0.5 -1	0.00	0.06	11.14	17.69	7.14	4.13	3.64	1.10	0.60	0.24	0.06	0.02	0.01
1 -1.5	0.00	0.00	0.01	2.35	5.55	2.53	2.38	0.74	0.35	0.14	0.03	0.00	0.00
1.5 -2	0.00	0.00	0.00	0.01	0.93	2.93	0.80	0.46	0.25	0.04	0.00	0.00	0.00
2 -2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.49	0.50	0.17	0.14	0.03	0.01	0.00	0.00
2.5 -3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.80	0.05	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00
3 -3.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
3.5 -4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 -4.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5 -5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 -5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5 -6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 -6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Tabella 4.34: Numero di eventi per classi Hs-Dir per Romagna 2 p3

Hs [m]/Dir	0°	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°
	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°	360°
0 -0.5	8516	13440	12603	12250	14053	35107	18094	5990	2947	2263	2121	2266	2743	4089	3585	3771
0.5 -1	1857	4741	6856	7185	5579	16765	6096	2095	1255	1292	1156	482	620	675	485	634
1 -1.5	391	1562	4076	3631	1736	5808	1496	492	206	249	187	69	98	149	68	106
1.5 -2	186	897	2559	1611	525	1874	331	55	25	20	14	14	15	21	14	36
2 -2.5	107	522	1728	674	163	698	53	2	4	0	0	0	0	0	0	6
2.5 -3	35	269	864	261	36	242	17	0	0	0	0	0	0	0	0	3
3 -3.5	6	83	377	87	22	41	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5 -4	0	11	116	19	7	29	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 -4.5	0	0	10	14	1	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5 -5	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 -5.5	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5 -6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 -6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.35: Percentuali di eventi per classi Hs-Dir per Romagna 2 p3

Hs [m]/Dir	0°	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°
	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°	360°
0 -0.5	3.60	5.68	5.33	5.18	5.94	14.83	7.65	2.53	1.25	0.96	0.90	0.96	1.16	1.73	1.51	1.59
0.5 -1	0.78	2.00	2.90	3.04	2.36	7.08	2.58	0.89	0.53	0.55	0.49	0.20	0.26	0.29	0.20	0.27
1 -1.5	0.17	0.66	1.72	1.53	0.73	2.45	0.63	0.21	0.09	0.11	0.08	0.03	0.04	0.06	0.03	0.04
1.5 -2	0.08	0.38	1.08	0.68	0.22	0.79	0.14	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
2 -2.5	0.05	0.22	0.73	0.28	0.07	0.29	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.5 -3	0.01	0.11	0.37	0.11	0.02	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3 -3.5	0.00	0.04	0.16	0.04	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.5 -4	0.00	0.00	0.05	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 -4.5	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5 -5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 -5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5 -6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 -6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

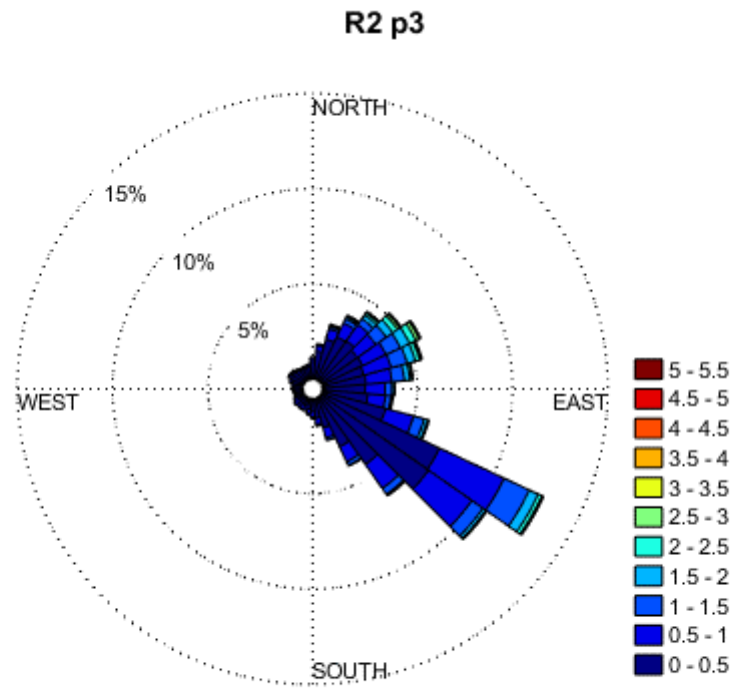


Figura 4.5: Rosa delle onde al punto di griglia Romagna2 p3



4.1.1.6 Romagna 2 p4

Tabella 4.36: Statistiche base di Hs per Romagna 2 p4

	Hs m	Tm s	Tp s	Dir °N
Max	5.77	8.09	14.86	360
Mean	0.63	2.73	4.10	124
Std	0.58	0.96	1.72	81



Tabella 4.37: Numero di eventi per classi Hs-Tm classes per 2 p4

Hs [m]/Tm[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0 -0.5	120	48311	19797	1136	95	7	0	0	0	0	0	0	0
0.5 -1	0	9859	74957	20022	3103	446	16	6	0	0	0	0	0
1 -1.5	0	0	5388	23784	4307	1380	117	2	0	0	0	0	0
1.5 -2	0	0	6	7066	5189	997	317	20	0	0	0	0	0
2 -2.5	0	0	0	377	4607	608	222	24	0	0	0	0	0
2.5 -3	0	0	0	2	2199	507	65	38	2	0	0	0	0
3 -3.5	0	0	0	0	503	525	39	4	2	0	0	0	0
3.5 -4	0	0	0	0	11	346	15	1	0	0	0	0	0
4 -4.5	0	0	0	0	0	73	25	1	0	0	0	0	0
4.5 -5	0	0	0	0	0	11	5	0	0	0	0	0	0
5 -5.5	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
5.5 -6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 -6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.38: Percentuali di eventi per classi Hs-Tm per Romagna 2 p4

Hs [m]/Tm[s]		0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
		1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0	-0.5	0.05	20.41	8.37	0.48	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	-1	0.00	4.17	31.67	8.46	1.31	0.19	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	-1.5	0.00	0.00	2.28	10.05	1.82	0.58	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.5	-2	0.00	0.00	0.00	2.99	2.19	0.42	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	-2.5	0.00	0.00	0.00	0.16	1.95	0.26	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.5	-3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	0.21	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	-3.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.22	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.5	-4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	-4.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5	-5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	-5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5	-6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	-6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Tabella 4.39: Numero di eventi per classi Hs-Tp per Romagna 2 p4

Hs [m]/Tp[s]		0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
		1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0	-0.5	0	11308	40903	7706	2560	2361	2386	1086	732	276	102	25	21
0.5	-1	0	112	27023	43378	15903	9193	7908	2586	1456	599	167	63	21
1	-1.5	0	0	26	6463	13889	5784	5752	1704	902	380	68	10	0
1.5	-2	0	0	0	44	2561	7018	2056	1225	588	91	12	0	0
2	-2.5	0	0	0	0	38	3578	1271	462	402	74	13	0	0
2.5	-3	0	0	0	0	0	564	1878	167	133	59	12	0	0
3	-3.5	0	0	0	0	0	1	896	95	54	20	7	0	0
3.5	-4	0	0	0	0	0	0	275	67	22	6	3	0	0
4	-4.5	0	0	0	0	0	0	13	58	16	11	1	0	0
4.5	-5	0	0	0	0	0	0	0	6	6	4	0	0	0
5	-5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
5.5	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	-6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.40: Percentuali di eventi per classi Hs-Tp per Romagna 2 p4

Hs [m]/Tp[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0 -0.5	0.00	4.78	17.28	3.26	1.08	1.00	1.01	0.46	0.31	0.12	0.04	0.01	0.01
0.5 -1	0.00	0.05	11.42	18.33	6.72	3.88	3.34	1.09	0.62	0.25	0.07	0.03	0.01
1 -1.5	0.00	0.00	0.01	2.73	5.87	2.44	2.43	0.72	0.38	0.16	0.03	0.00	0.00
1.5 -2	0.00	0.00	0.00	0.02	1.08	2.97	0.87	0.52	0.25	0.04	0.01	0.00	0.00
2 -2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.51	0.54	0.20	0.17	0.03	0.01	0.00	0.00
2.5 -3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.79	0.07	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00
3 -3.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
3.5 -4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
4 -4.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5 -5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 -5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5 -6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 -6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Tabella 4.41: Numero di eventi per classi Hs-Dir per Romagna 2 p4

Hs [m]/Dir	0°	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°
	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°	360°
0 -0.5	10064	12714	11499	10961	11486	30396	17633	7404	3801	2502	2191	2347	2869	4578	4388	5168
0.5 -1	2309	4473	7058	7031	4841	15839	6844	2936	1580	1420	1301	733	769	896	703	941
1 -1.5	485	1534	4217	3575	1532	6064	1670	774	321	301	311	123	143	194	136	166
1.5 -2	222	901	2591	1603	490	2013	407	134	33	30	23	23	34	53	29	50
2 -2.5	140	492	1679	691	151	832	83	8	4	7	2	0	0	4	6	15
2.5 -3	51	276	852	251	45	276	24	0	0	0	0	0	0	0	2	3
3 -3.5	8	109	336	92	21	75	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3.5 -4	0	23	117	23	8	26	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 -4.5	0	0	15	18	5	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5 -5	0	0	3	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 -5.5	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5 -6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 -6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.42: Percentuali di eventi per classi Hs-Dir per Romagna 2 p4

Hs [m]/Dir	0°	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°
	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°	360°
0 -0.5	4.25	5.37	4.86	4.63	4.85	12.84	7.45	3.13	1.61	1.06	0.93	0.99	1.21	1.93	1.85	2.18
0.5 -1	0.98	1.89	2.98	2.97	2.05	6.69	2.89	1.24	0.67	0.60	0.55	0.31	0.32	0.38	0.30	0.40
1 -1.5	0.20	0.65	1.78	1.51	0.65	2.56	0.71	0.33	0.14	0.13	0.13	0.05	0.06	0.08	0.06	0.07
1.5 -2	0.09	0.38	1.09	0.68	0.21	0.85	0.17	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
2 -2.5	0.06	0.21	0.71	0.29	0.06	0.35	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.5 -3	0.02	0.12	0.36	0.11	0.02	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3 -3.5	0.00	0.05	0.14	0.04	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.5 -4	0.00	0.01	0.05	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 -4.5	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5 -5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 -5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5 -6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 -6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

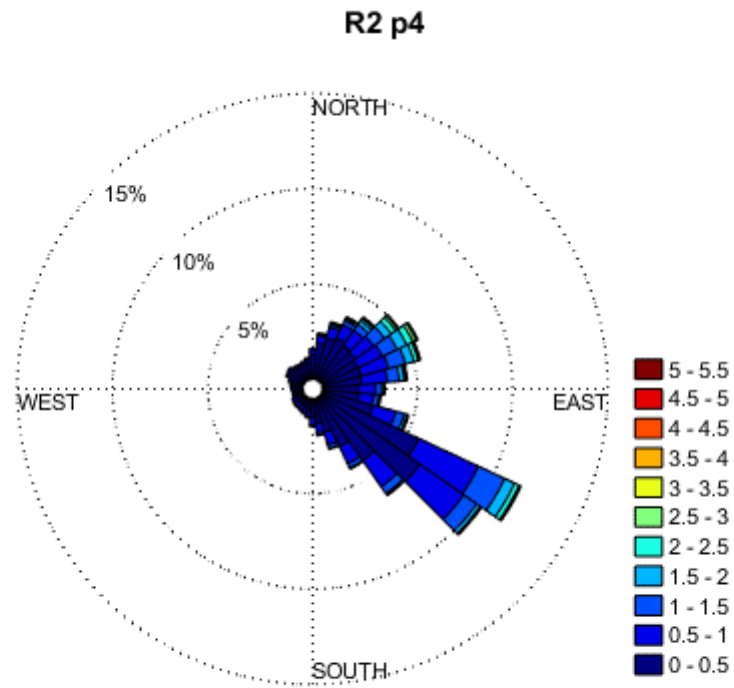


Figura 4.6: Rosa delle onde al punto di griglia Romagna2 p4



4.1.1.7 Romagna 2 p5

Tabella 4.43: Statistiche base di Hs per Romagna 2 p5

	Hs m	Tm s	Tp s	Dir °N
Max	5.80	8.05	14.86	360
Mean	0.63	2.72	4.09	123
Std	0.57	0.95	1.73	77



Tabella 4.44: Numero di eventi per classi Hs-Tm per Romagna 2 p5

Hs [m]/Tm[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0 -0.5	126	49553	20032	1224	104	9	0	0	0	0	0	0	0
0.5 -1	0	9643	74111	20068	3219	490	20	5	0	0	0	0	0
1 -1.5	0	0	5265	23692	4193	1363	120	2	0	0	0	0	0
1.5 -2	0	0	4	7321	4921	953	291	25	0	0	0	0	0
2 -2.5	0	0	0	406	4577	582	197	18	0	0	0	0	0
2.5 -3	0	0	0	4	2121	467	55	34	2	0	0	0	0
3 -3.5	0	0	0	0	524	461	37	3	1	0	0	0	0
3.5 -4	0	0	0	0	15	300	13	0	0	0	0	0	0
4 -4.5	0	0	0	0	0	48	28	0	0	0	0	0	0
4.5 -5	0	0	0	0	0	8	4	0	0	0	0	0	0
5 -5.5	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
5.5 -6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
6 -6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.45: Percentuali di eventi per classi Hs-Tm per Romagna 2 p5

Hs [m]/Tm[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	>12.5	
0 -0.5	0.05	20.94	8.46	0.52	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5 -1	0.00	4.07	31.31	8.48	1.36	0.21	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 -1.5	0.00	0.00	2.22	10.01	1.77	0.58	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.5 -2	0.00	0.00	0.00	3.09	2.08	0.40	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2 -2.5	0.00	0.00	0.00	0.17	1.93	0.25	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.5 -3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.20	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3 -3.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.19	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.5 -4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 -4.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5 -5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 -5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5 -6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 -6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Tabella 4.46: Numero di eventi per classi Hs-Tp per Romagna 2 p5

Hs [m]/Tp[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
0 -0.5	0	11976	41150	7646	2716	2595	2576	1158	745	324	101	37	24
0.5 -1	0	99	26659	42919	15646	9167	8111	2573	1472	641	179	66	24
1 -1.5	0	0	19	6354	14117	5652	5539	1664	837	369	73	11	0
1.5 -2	0	0	0	31	2829	6824	2021	1145	567	88	10	0	0
2 -2.5	0	0	0	0	29	3734	1139	438	357	69	14	0	0
2.5 -3	0	0	0	0	0	657	1677	162	123	52	12	0	0
3 -3.5	0	0	0	0	0	0	843	115	43	21	4	0	0
3.5 -4	0	0	0	0	0	0	259	41	19	6	3	0	0
4 -4.5	0	0	0	0	0	0	12	35	18	9	2	0	0
4.5 -5	0	0	0	0	0	0	0	7	2	3	0	0	0
5 -5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0
5.5 -6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
6 -6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.47: Percentuali di eventi per classi Hs-Tp per Romagna 2 p5

Hs [m]/Tp[s]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	>12.5
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	>12.5	
0 -0.5	0.00	5.06	17.39	3.23	1.15	1.10	1.09	0.49	0.31	0.14	0.04	0.02	0.01	0.01
0.5 -1	0.00	0.04	11.26	18.13	6.61	3.87	3.43	1.09	0.62	0.27	0.08	0.03	0.01	0.01
1 -1.5	0.00	0.00	0.01	2.68	5.96	2.39	2.34	0.70	0.35	0.16	0.03	0.00	0.00	0.00
1.5 -2	0.00	0.00	0.00	0.01	1.20	2.88	0.85	0.48	0.24	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
2 -2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.58	0.48	0.19	0.15	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
2.5 -3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.71	0.07	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
3 -3.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
3.5 -4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 -4.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5 -5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 -5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5 -6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 -6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Tabella 4.48: Numero di eventi per classi Hs-Dir per Romagna 2 p5

Hs [m]/Dir	0°	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°
	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°	360°
0 -0.5	9664	12878	11328	11052	11637	30577	19678	8222	3679	2519	2255	2595	3308	4074	3508	4286
0.5 -1	2143	4666	6435	7083	5040	15406	7503	2964	1578	1509	1237	686	763	651	498	715
1 -1.5	458	1592	3907	3696	1603	5745	1937	821	351	340	293	87	136	137	83	141
1.5 -2	221	915	2422	1681	502	2021	500	155	34	29	19	22	24	27	16	43
2 -2.5	139	515	1589	699	131	848	121	12	4	6	1	0	0	2	1	13
2.5 -3	41	263	782	271	41	277	27	0	0	0	0	0	0	0	0	6
3 -3.5	6	68	331	80	21	71	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5 -4	0	14	63	25	7	25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 -4.5	0	0	13	12	3	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5 -5	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 -5.5	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5 -6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 -6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabella 4.49: Percentuali di eventi per classi Hs-Dir per Romagna 2 p5

Hs [m]/Dir	0°	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°
	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°	360°
0 -0.5	4.08	5.44	4.79	4.67	4.92	12.92	8.31	3.47	1.55	1.06	0.95	1.10	1.40	1.72	1.48	1.81
0.5 -1	0.91	1.97	2.72	2.99	2.13	6.51	3.17	1.25	0.67	0.64	0.52	0.29	0.32	0.28	0.21	0.30
1 -1.5	0.19	0.67	1.65	1.56	0.68	2.43	0.82	0.35	0.15	0.14	0.12	0.04	0.06	0.06	0.04	0.06
1.5 -2	0.09	0.39	1.02	0.71	0.21	0.85	0.21	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
2 -2.5	0.06	0.22	0.67	0.30	0.06	0.36	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.5 -3	0.02	0.11	0.33	0.11	0.02	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3 -3.5	0.00	0.03	0.14	0.03	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.5 -4	0.00	0.01	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 -4.5	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.5 -5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 -5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5 -6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 -6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

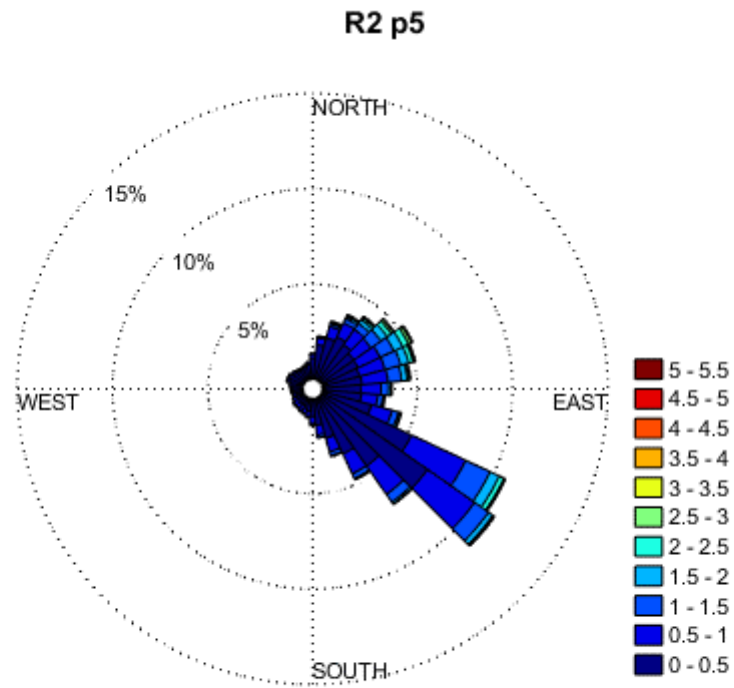


Figura 4.7: Rosa delle onde al punto di griglia Romagna2 p5



4.1.2 Analisi di ondosità a lungo termine

Per valutare le condizioni d'onda estreme, la Guida DNV consente l'uso di tutti e tre i metodi alternativi: (a) globale, (b) massimi annuali e (c) POT per un parametro come l'altezza d'onda significativa. I metodi basati sugli eventi sono preferiti nei casi in cui il clima è relativamente calmo per la maggior parte del tempo e ci sono pochi eventi molto intensi ("tempeste").

Il metodo globale (a) utilizza tutti i dati così come sono stati registrati durante un certo numero di anni. Ogni punto di dati è considerato rappresentativo delle condizioni durante un determinato intervallo di tempo (ad esempio, 1 ora per l'altezza d'onda significativa). Alla distribuzione cumulativa empirica dei dati vengono applicate forme diverse di una funzione di distribuzione cumulativa (CDF).

A meno che i dati non indichino diversamente, nel metodo globale si può assumere una distribuzione di Weibull a 3 parametri per la distribuzione marginale di H_s . Nel metodo POT, si raccomanda l'uso di una distribuzione di Weibull a 2 parametri o di una distribuzione esponenziale o di una distribuzione di Gumbel per modellare la distribuzione dei valori di soglia in eccesso (la differenza tra il valore di picco di H_s durante un superamento della soglia e il livello di soglia).

Quando si utilizza il metodo dei massimi annuali, si può ipotizzare che i valori massimi annuali seguano una distribuzione di Gumbel.

I risultati del metodo POT possono essere sensibili al livello di soglia scelto. Pertanto, se possibile, è necessario eseguire un'analisi di sensibilità rispetto al livello di soglia. DNV non specifica un criterio per determinare se 2 superamenti successivi della soglia possano essere considerati tempeste indipendenti o se debbano essere considerati parte di un unico evento.

Il miglior adattamento può quindi essere utilizzato per determinare il valore per un determinato periodo di ritorno: cioè il valore che si prevede venga superato in almeno un intervallo di tempo (1 ora per le onde) durante l'intero periodo di ritorno.

La teoria della statistica richiede che i singoli punti di dati utilizzati siano statisticamente indipendenti e, seguendo il metodo globale, ogni altezza d'onda oraria dipende molto dalle altezze d'onda delle ore precedenti, quindi la condizione teorica di indipendenza statistica non è soddisfatta. Per produrre punti di dati indipendenti, dobbiamo pensare alle mareggiate piuttosto che alle singole altezze d'onda orarie.

Gli altri due metodi (b. e c.) utilizzano invece solo il valore massimo registrato durante determinati periodi della serie temporale ("eventi") e sono quindi chiamati anche metodi degli eventi. Il metodo dei massimi annuali utilizza periodi fissi di 1 anno e quindi conserva per ogni anno osservato solo il massimo annuale. Il metodo POT considera i periodi di tempo in cui la variabile misurata supera una determinata soglia e conserva per ciascuno di questi periodi solo il valore di picco.

Tra i due metodi b) e c) per separare le altezze delle onde in "tempeste", l'analisi Peak Over Threshold (POT) permette di avere una serie temporale più lunga di dati indipendenti.



Un problema tipico nell'applicazione del metodo POT è la definizione dei due parametri, la soglia t e il ritardo minimo, per garantire l'indipendenza degli eventi. DNV non fornisce indicazioni sul valore di soglia, tuttavia è disponibile un'ampia letteratura; in questo caso si segue la raccomandazione di Kamphuis (2000).

La scelta di d , insieme alla scelta della soglia t , permette di determinare tempeste indipendenti e i loro valori di picco. Una stima empirica di t può essere data come circa 2-3 volte la media dell'altezza d'onda significativa H_s . Un numero di riferimento di eventi all'anno $\lambda = N/Y$ è circa 10, dove N è il numero di eventi e Y il numero di anni.

Un esempio di selezione dei picchi per le serie temporali di H_s nella località Romagna1 p1 è mostrato in Figura 4.8.

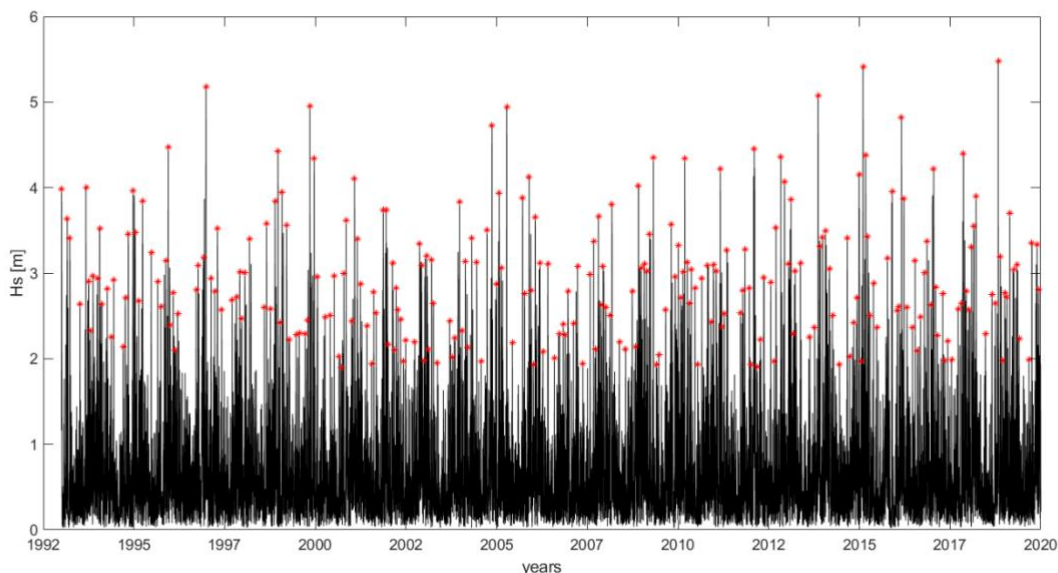


Figura 4.8: Esempio di selezione dei picchi per le serie temporali di H_s . Dati relativi al punto R1 p1

La scelta della distribuzione migliore per adattarsi ai dati è dettata dal miglior adattamento. Abbiamo considerato le tre distribuzioni: lognormale, Gumbel e Weibull.

Nei grafici gli assi Y e X vengono trasformati in modo che l'adattamento appaia come una linea lineare. La Y è chiamata variabile ridotta; i dettagli sono riportati nel manuale di base di statistica o nel capitolo 4 di Kamphuis (2000).

La Figura 4.9 illustra l'adattamento della distribuzione lognormale dei dati del mare totali omnidirezionali. Sull'asse X sono riportati i $\log(H)$ e sull'asse Y i quantili di una distribuzione normale di $\ln(H)$, vale a dire

$$Z = \frac{\ln(H) - \overline{\ln(H)}}{\sigma(\ln(H))}$$



dove $\overline{\ln(H)}$ è la media e σ la deviazione standard di $\ln(H)$.

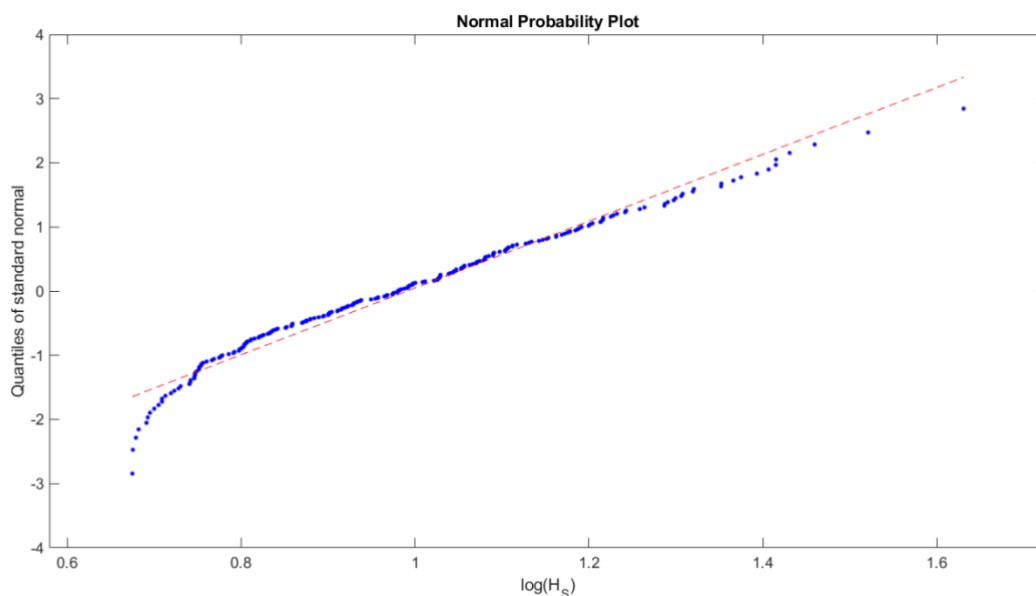


Figura 4.9: Grafico della probabilità normale

In modo simile, la Figura 4.10 rappresenta sull'asse X il parametro H e sull'asse Y il parametro Gumbel ridotto $G = -\ln(-\ln(F))$

dove F è la probabilità di non superamento.

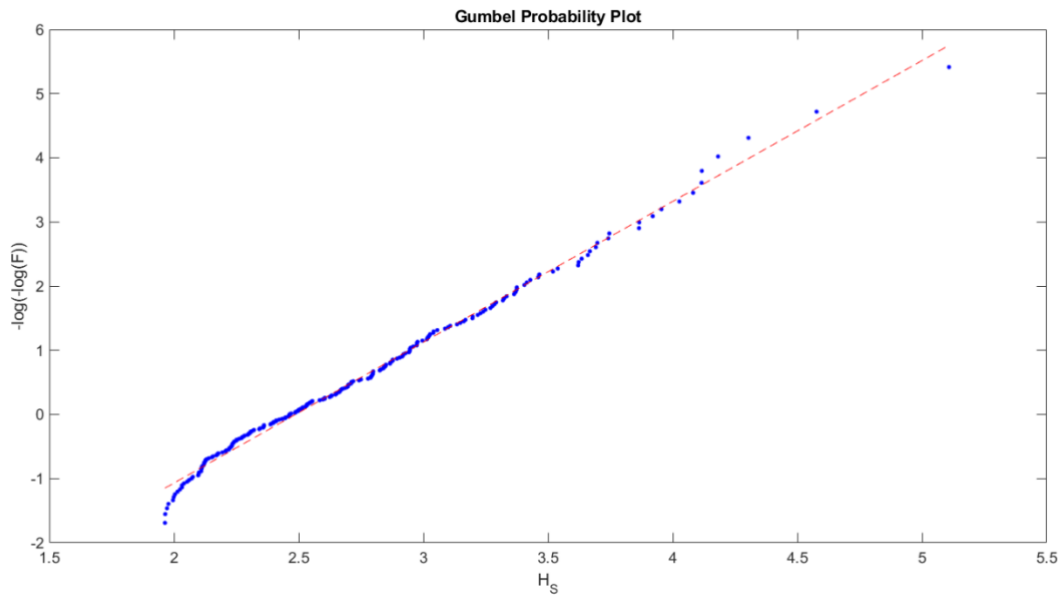


Figura 4.10: Grafico della probabilità di Gumbel

La Figura 4.11 rappresenta il grafico della probabilità di Weibull, in cui la variabile ridotta $W = \left[\ln \left(\frac{1}{F} \right) \right]^{1/\alpha}$.

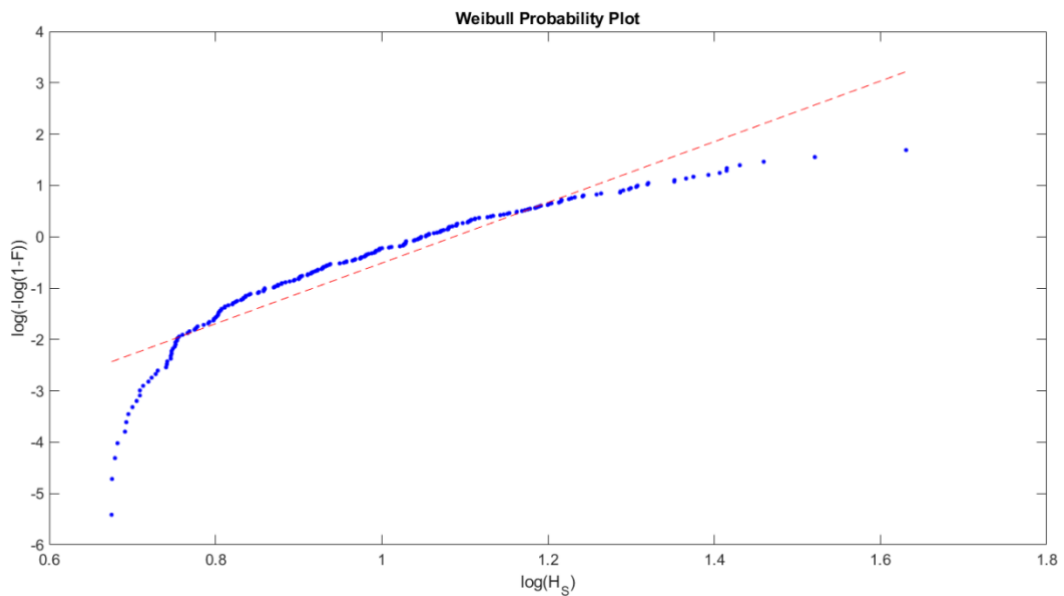


Figura 4.11: Grafico della probabilità di Weibull



Il miglior adattamento al set di dati basato sulla selezione POT è fornito dalla distribuzione di Gumbel con un coefficiente di correlazione di 0,98.

L'analisi a lungo termine è stata eseguita seguendo le indicazioni di DNV (2010). Come descritto, è stato scelto il metodo POT, Peak Over Threshold, perché le serie temporali disponibili sono troppo brevi per applicare il metodo dei massimi annuali. Come suggerito dal rapporto già citato e dal libro di riferimento di Kamphuis (2000), l' H_s viene estratto con la seguente formulazione: $F(x)=1-1/(\lambda TR)$ dove $F(x)$ è la probabilità di non superamento del valore di H_s e λ è il numero di eventi di picco all'anno.

L'analisi di sensibilità della soglia t e dell'intervallo di tempo tra due temporali consecutivi d è stata eseguita ripetendo l'analisi a lungo termine, adattandola a una distribuzione di Gumbel, con selezione dei dati con POT.

L'analisi di sensibilità della soglia t e dell'intervallo di tempo tra due mareggiate consecutive d è stata eseguita ripetendo l'analisi a lungo termine, adattandola a una distribuzione di Gumbel, con selezione dei dati con POT.

L'analisi è stata ripetuta per tempi di mareggiata compresi tra 6 e 18 ore e per una soglia minima definita da $Y_{min}=C \cdot \text{mean}(H_s)$, con C compreso tra 2 e 3, come suggerito da Kamphuis (2000). È stato osservato che la qualità dei risultati (rms) è sempre molto alta, e le altezze d'onda risultanti per ogni periodo di ritorno Tr non cambiano molto cambiando l'intervallo di tempo d . L'influenza della soglia di altezza d'onda t è invece più importante, t più basso dà H_s più alto.

Come già discusso, la stima del valore di soglia è una fonte di incertezza. Esiste un'ampia letteratura in merito. Un recente articolo (Soumyakanti, 2019) dichiara che "non esiste un metodo per determinare il valore di soglia da utilizzare nel modello POT", ma esistono molte analisi sulla sensibilità della soglia.

La scelta dei due parametri t e d è stata un compromesso dei riferimenti bibliografici disponibili: un intervallo di tempo $d = 18$ ore è credibile considerando la durata tipica delle mareggiate, e tra i valori di soglia, $C=3$ garantisce un numero di mareggiate all'anno pari a circa 10, dando un dataset di dimensioni significative dal punto di vista statistico, e rientrando nel range di valori suggeriti in letteratura.

Per l'analisi a lungo termine è stato utilizzato un valore $d= 18$ ore e $C=3.0$.

Per verificare la qualità dei risultati, seguendo i suggerimenti di DNV (2010), per i soli dati della località R1_p1, l'analisi degli eventi estremi è stata ripetuta anche con la selezione del dataset (b) dei massimi annuali. I dati disponibili sono 26 (come gli anni analizzati). I risultati e il confronto tra le due metodologie sono presentati nella sezione 4.1.1.1. (Tab. 4.50 vs Tab 4.51). E' possibile osservare risultati simili.

I periodi d'onda sono stimati dopo una correlazione empirica tra H_s-T_p e H_s-T_m . Per i dati della località Romagna_p1 si fa riferimento a quanto di seguito esposto.

$$T_p = 0.28 + 5.33 \cdot H_s^{0.3}$$

$$T_m = 0.89 + 3.11 \cdot H_s^{0.41}$$

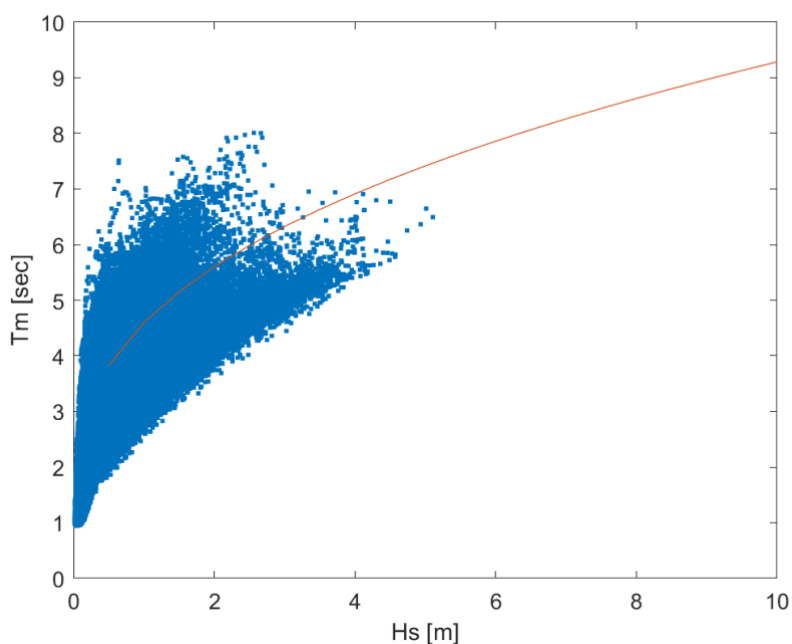


Figura 4.12: Correlazione empirica tra Hs e Tm per R1_p1.

I risultati dell'analisi a lungo termine nei 7 punti selezionati sono illustrati nelle seguenti sottosezioni.

A causa dell'elevato numero di incertezze nella stima dei picchi più alti, che potrebbero portare a una sottostima delle condizioni estreme, si suggerisce di utilizzare per la progettazione le condizioni d'onda stimate nella località più profonda, ovvero Romagna 1 p1.

4.1.2.1 Onde estreme in R1 p1

Tabella 4.50: Stima delle onde estreme in Romagna 1 p1 in base alla selezione dei dati POT.

Tr anni	Hs m	Tp s	Tm s
1	3.96	8.33	6.36
5	4.94	8.89	6.88
10	5.36	9.10	7.08
50	6.33	9.55	7.52
100	6.74	9.73	7.69
200	7.15	9.90	7.86



Tabella 4.51: Onde estreme stimate in Romagna 1 p1 in base alla selezione dei dati estremi annuali.

Tr anni	Hs m	Tp s	Tm s
1	3.96	8.33	6.36
5	4.84	8.84	6.83
10	5.24	9.04	7.03
50	6.13	9.46	7.43
100	6.50	9.63	7.59
200	6.87	9.78	7.74

4.1.2.2 Onde estreme in R1 p2

Tabella 4.52: Onde estreme stimate in Romagna 1 p2

Tr anni	Hs m	Tp s	Tm s
1	3.90	8.30	6.32
5	4.86	8.84	6.84
10	5.26	9.05	7.03
50	6.19	9.49	7.46
100	6.59	9.66	7.63
200	6.99	9.83	7.79

4.1.2.3 Onde estreme in R2 p1

Tabella 4.53: Onde estreme stimate in Romagna 2 p1

Tr anni	Hs m	Tp s	Tm s
1	3.85	8.27	6.30



5	4.78	8.80	6.80
10	5.18	9.01	6.99
50	6.09	9.44	7.41
100	6.48	9.62	7.58
200	6.87	9.78	7.74

4.1.2.4 Onde estreme in R2 p2

Tabella 4.54: Onde estreme stimate in Romagna 2 p2

Tr anni	Hs m	Tp s	Tm s
1	3.86	8.27	6.30
5	4.78	8.80	6.80
10	5.17	9.01	6.99
50	6.07	9.44	7.40
100	6.46	9.61	7.57
200	6.84	9.77	7.73

4.1.2.5 Onde estreme in R2 p3

Tabella 4.55: Onde estreme stimate in Romagna 2 p3

Tr anni	Hs m	Tp s	Tm s
1	3.86	8.27	6.30
5	4.78	8.80	6.80
10	5.17	9.01	6.99
50	6.07	9.44	7.40
100	6.46	9.61	7.57
200	6.84	9.77	7.73

4.1.2.6 Onde estreme in R2 p4

Tabella 4.56: Onde estreme stimate in Romagna 2 p4

Tr anni	Hs m	Tp s	Tm s
------------	---------	---------	---------



1	3.92	8.31	6.34
5	4.85	8.84	6.83
10	5.25	9.05	7.03
50	6.16	9.48	7.44
100	6.55	9.65	7.61
200	6.95	9.82	7.78

4.1.2.7 Onde estreme in R2 p5

Tabella 4.57: Onde estreme stimate in Romagna 2 p5

Tr anni	Hs m	Tp s	Tm s
1	3.85	8.27	6.30
5	4.76	8.79	6.79
10	5.14	8.99	6.97
50	6.03	9.42	7.39
100	6.41	9.59	7.55
200	6.79	9.75	7.71

Le onde stimate sono inferiori ai valori presentati da Katalinic e Parunovin (2021), dove gli autori analizzano il database WW per il Mare Adriatico. In una località più vicina a quella in oggetto stimano un'altezza d'onda con Tr=100 anni Hs=7,23 m.

4.1.3 Altezza d'onda massima

L'altezza d'onda massima è nell'intervallo tra 1,8 e 2,1 dell'SWH, come presentato da Benettazzo et al. (2021) per un sito vicino alla posizione di AGNES, nel Mare Adriatico settentrionale.

Si raccomanda di stimare H_{max} come

$$H_{max} = 2 H_S$$



4.2 Vento

Le serie temporali del vento ECMWF - ERA 5 nella località offshore riguardano valori di velocità del vento a 10 m s.l.m. su 1 ora.

Le statistiche si basano sull'analisi e sull'interpretazione dei dati del vento. Includono rose dei venti e tabelle che mostrano le distribuzioni di frequenza della velocità e della direzione del vento e, per gli eventi estremi rari nell'analisi del servizio, vengono presentati i periodi di ritorno da 10 a 100 anni. I risultati principali riguardano i valori estremi (omnidirezionali e direzionali) valutati dalla distribuzione annuale della velocità del vento.

Tabella 4.58: Statistiche base del vento al punto di griglia W1

	Velocità m/s	Direzione °N
MIN	0.00	0.00
MAX	20.68	360.00
MEAN	4.53	197.40
MEDIAN	4.03	209.73
STD	2.69	98.36



4.2.1 Condizioni operative del vento

Tabella 4.59: Percentuali di eventi per classi di velocità del vento- direzione del vento per W1

Speed m/s Dir [°N]	<1	1-3	3-5	5-7	7-9	9-11	11- 13	13- 15	15- 17	17- 19	19- 21	>21	ToT.
0	0.13	0.92	0.82	0.35	0.12	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.38
10	0.12	0.91	0.82	0.40	0.17	0.07	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	2.53
20	0.13	0.89	0.84	0.47	0.23	0.12	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	2.78
30	0.13	0.87	0.85	0.56	0.38	0.22	0.13	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	3.25
40	0.12	0.86	0.81	0.67	0.51	0.41	0.29	0.14	0.06	0.01	0.00	0.00	3.90
50	0.13	0.86	0.79	0.70	0.66	0.52	0.36	0.16	0.06	0.01	0.00	0.00	4.25
60	0.12	0.84	0.78	0.64	0.59	0.47	0.25	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	3.80
70	0.13	0.84	0.73	0.56	0.50	0.33	0.15	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	3.30
80	0.12	0.88	0.73	0.46	0.33	0.19	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	2.83
90	0.13	0.91	0.87	0.39	0.23	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	2.67
100	0.14	0.96	1.06	0.45	0.17	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.87
110	0.12	0.97	1.31	0.65	0.20	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	3.35
120	0.12	0.96	1.44	0.93	0.33	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	3.93
130	0.12	0.90	1.40	1.04	0.46	0.14	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	4.12
140	0.10	0.85	1.24	0.96	0.46	0.16	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	3.84
150	0.10	0.79	1.06	0.75	0.39	0.15	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	3.32
160	0.11	0.68	0.83	0.59	0.30	0.13	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	2.68
170	0.11	0.63	0.69	0.51	0.28	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.35
180	0.10	0.54	0.58	0.48	0.28	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.09
190	0.09	0.50	0.56	0.49	0.25	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.97
200	0.10	0.51	0.56	0.48	0.21	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.91
210	0.09	0.48	0.54	0.48	0.19	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.82
220	0.10	0.46	0.55	0.48	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.84
230	0.10	0.49	0.56	0.51	0.24	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.99
240	0.11	0.53	0.55	0.49	0.24	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.02
250	0.11	0.56	0.57	0.40	0.18	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.87
260	0.11	0.61	0.60	0.33	0.11	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.78
270	0.11	0.70	0.68	0.30	0.10	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.92
280	0.11	0.78	0.79	0.36	0.12	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.21
290	0.11	0.89	1.02	0.50	0.19	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.79
300	0.12	0.99	1.33	0.65	0.21	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.38
310	0.12	1.02	1.38	0.70	0.19	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.46
320	0.13	1.00	1.24	0.58	0.14	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.14
330	0.12	0.98	1.07	0.44	0.11	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.76
340	0.12	0.98	0.94	0.37	0.10	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.54
350	0.13	0.91	0.85	0.34	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.38



ToT.	4.18	28.44	31.45	19.48	9.46	4.21	1.85	0.68	0.20	0.04	0.00	0.00
------	------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------

Tabella 4.60: Percentuali di eventi per classi di Velocità del vento – Direzione del vento per W2

Speed m/s Dir [°N]	<1	1-3	3-5	5-7	7-9	9-11	11- 13	13- 15	15- 17	17- 19	19- 21	>21	ToT.
0	0.14	0.87	0.73	0.27	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.13
10	0.13	0.88	0.80	0.35	0.12	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	2.36
20	0.13	0.90	0.88	0.45	0.20	0.08	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	2.71
30	0.13	0.91	0.98	0.58	0.33	0.16	0.10	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	3.27
40	0.14	0.94	0.99	0.75	0.50	0.32	0.22	0.12	0.04	0.01	0.00	0.00	4.03
50	0.13	0.93	0.99	0.83	0.71	0.56	0.38	0.17	0.07	0.01	0.00	0.00	4.78
60	0.12	0.96	0.98	0.81	0.72	0.56	0.34	0.13	0.03	0.00	0.00	0.00	4.65
70	0.13	0.97	0.90	0.69	0.55	0.36	0.19	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	3.86
80	0.13	0.97	0.94	0.53	0.39	0.21	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	3.27
90	0.13	1.01	1.07	0.48	0.26	0.12	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	3.11
100	0.12	1.04	1.26	0.54	0.21	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.28
110	0.13	1.06	1.51	0.76	0.21	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.76
120	0.12	1.02	1.59	0.99	0.28	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	4.11
130	0.12	0.96	1.52	1.01	0.36	0.11	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	4.13
140	0.12	0.88	1.28	0.90	0.35	0.13	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	3.71
150	0.11	0.78	1.02	0.68	0.30	0.12	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	3.08
160	0.11	0.70	0.81	0.47	0.24	0.11	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	2.48
170	0.12	0.62	0.64	0.40	0.21	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.12
180	0.11	0.55	0.55	0.39	0.20	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.88
190	0.10	0.51	0.51	0.35	0.16	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70
200	0.11	0.50	0.49	0.35	0.14	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.62
210	0.11	0.51	0.48	0.35	0.14	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.62
220	0.12	0.49	0.51	0.40	0.19	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.75
230	0.11	0.54	0.53	0.42	0.25	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.93
240	0.10	0.59	0.54	0.45	0.23	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.96
250	0.11	0.68	0.59	0.39	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.92
260	0.13	0.73	0.70	0.37	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.03
270	0.12	0.89	0.86	0.37	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.35
280	0.13	0.99	1.01	0.42	0.11	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70
290	0.12	1.06	1.20	0.48	0.13	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.03
300	0.14	1.08	1.20	0.44	0.11	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00
310	0.13	1.06	1.09	0.36	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.75
320	0.12	1.04	0.96	0.29	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.49
330	0.13	0.98	0.84	0.26	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.27
340	0.13	0.89	0.76	0.24	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.09
350	0.13	0.89	0.73	0.24	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.07
ToT.	4.40	30.40	32.43	18.07	8.28	3.80	1.76	0.64	0.19	0.03	0.00	0.00	

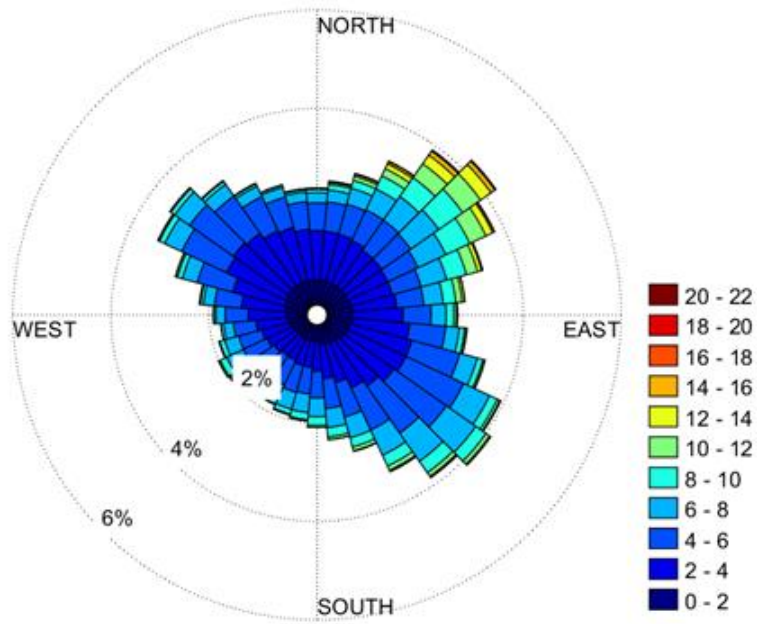


Figura 4.13: Rosa dei venti al punto di griglia ERA W1

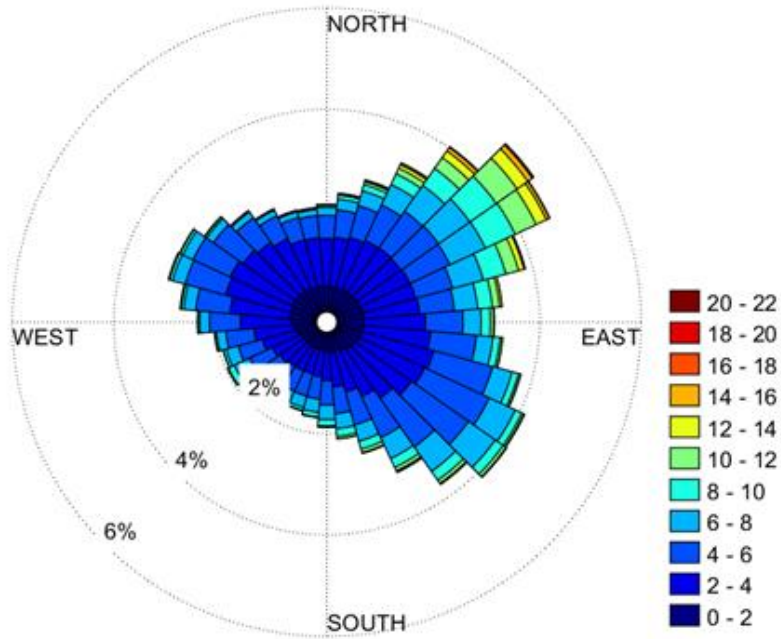


Figura4.14: Rosa dei venti al punto di griglia ERA W2



4.2.2 Venti estremi

Come introdotto nel capitolo 3.6 delle specifiche DNV 2010, si raccomanda di utilizzare uno dei seguenti metodi per l'analisi dei venti estremi, a meno che i dati non contraddicano questa ipotesi:

- I. Un metodo globale con l'assunzione che le velocità del vento abbiano distribuzione di Weibull.
- II. Un metodo dei massimi annuali con l'assunzione che i massimi annuali abbiano distribuzione di Gumbel.

Per valutare la migliore distribuzione per i nostri dati, oltre alla selezione e alla distribuzione dei dati precedenti, sono stati adattati i dati.

La serie temporale dei dati disponibili copre 63 anni, il che è statisticamente significativo per l'estrapolazione a 100 anni.

I valori estremi del vento omnidirezionali e direzionali sono stati ricavati utilizzando il metodo della popolazione totale (cioè il metodo globale), come suggerito dalla guida DNV. Per ottenere un adattamento adeguato della distribuzione di Weibull raccomandata per i dati, le velocità più basse vengono omesse: a una determinata soglia, il cosiddetto livello di censura, viene considerata solo la frequenza cumulativa delle velocità del vento al di sotto di tale soglia e la distribuzione effettiva delle velocità del vento al di sotto di tale soglia non viene confrontata. Questo "tail fitting" è una pratica standard e garantisce la conformità con le specifiche DNV, secondo cui l'ipotesi di una distribuzione di Weibull non deve essere contraddetta dai dati, in particolare per le velocità del vento più elevate.

La velocità del vento estrema per N anni è la velocità del vento che ci si aspetta si verifichi quando la velocità del vento di 1 ora viene osservata ogni ora durante N anni: vale a dire che ha probabilità di superamento $1/N$ con N espresso in ore.

Si noti che il metodo globale raccomandato può portare a risultati conservativi perché vengono utilizzati tutti i dati e non viene considerata la correlazione tra le velocità del vento successive di 1 ora nel tempo. Più precisamente, i risultati sono conservativi quando il superamento del valore estremo di N anni ha una durata media superiore a 1 ora. Questa condizione si applica maggiormente ai valori estremi più bassi (cioè quelli ottenuti per il periodo di ritorno di 1 anno). Per i periodi di ritorno più elevati, è atteso un grado di più ridotto.

È importante notare che i dati ECMWF non includono il fenomeno transitorio dei venti di burrasca.

More important to note is that the ECMWF data do not include the transitory phenomenon of squall winds.



4.2.2.1 W1

La bontà di ciascuna distribuzione è data da:

Tabella 4.61: Test di bontà per la distribuzione dei dati W1

	Weibull	Gumbel
ChiSquaredTest	TRUE	TRUE
ChiSquaredStatistic	7.6349204	7.6349204
ChiSquaredLevel	26.608821	36.588363
KolmogorovSmirnovTest	TRUE	TRUE
KolmogorovSmirnovStatistic	0.0896799	0.1081023
KolmogorovSmirnovLevel	25	25
SLSCTest	TRUE	TRUE
SLSCTestStatistic	0.0336394	0.0433636
PPCCTest	TRUE	TRUE
PPCCStatistic	0.9939696	0.9779693
PPCC2Test	TRUE	TRUE
PPCC2Statistic	0.9869441	0.9779693
LogLikelihood	TRUE	TRUE
LogLikelihoodStatistic	-113.90	-116.25

Le probabilità di venti estremi e i periodi di ritorno sono riportati nelle Figure seguenti:

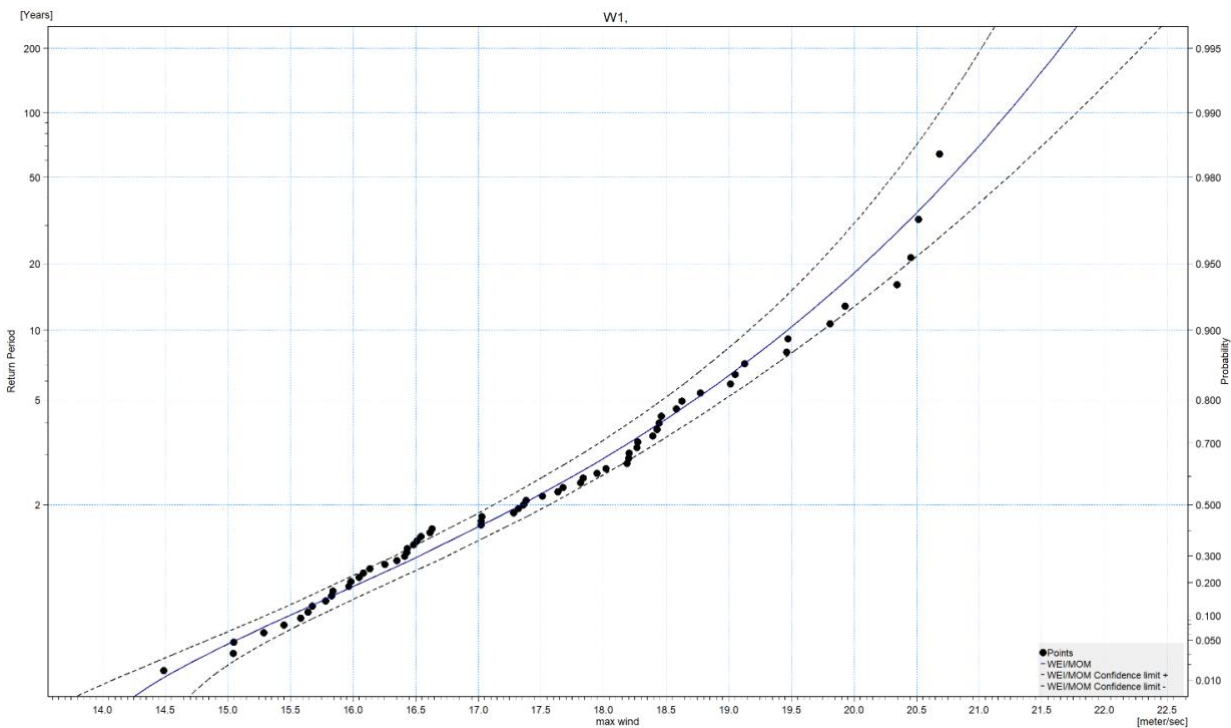


Figura 4.15: Distribuzione Weibull dei massimi annuali dei dati ERA5 Wind nel punto di griglia W1

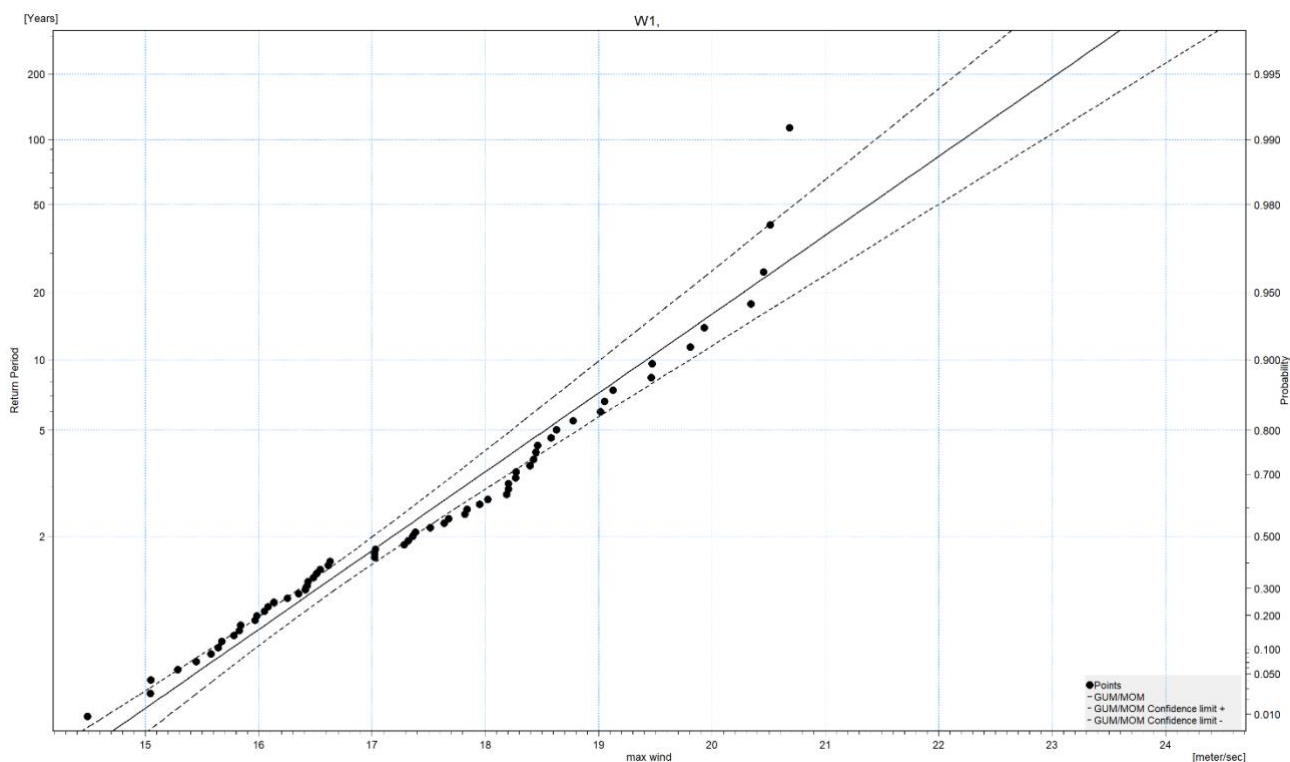


Figura 4.16: Distribuzione Gumbel dei massimi annuali dei dati ERA5 Wind al punto di griglia W1

Dai fits omnidirezionali della velocità del vento di **1 ora** sono state ricavate le velocità del vento estreme decennali, cinquantennali, centennali e duecentennali nella *Tabella 4.62* per le distribuzioni di Gumbel e Weibull.

Tabella 4.62: Stima della velocità estrema del vento per W1

Tr anni	Weibul [m/s]	Gumbel [m/s]
10	19.47	19.42
50	20.77	21.39
100	21.23	22.22
200	21.65	23.04

Le tabelle 4.63 e 4.64 riportano le medie di 10 minuti, 1 minuto e 3 secondi della velocità del vento ottenute applicando la correzione della durata dell'eq.

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



Tabella 4.63: Periodo di ritorno Velocità del vento secondo il metodo globale di selezione dei dati con l'ipotesi che le velocità del vento abbiano distribuzione Weibull per W1

Tempo di Ritorno	1 h	10 min	3 min	1 min
[anni]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
10	19.47	21.05	22.11	23.07
50	20.77	22.50	23.67	24.73
100	21.23	23.02	24.22	25.32
200	21.65	23.49	24.73	25.86

Tabella 4.64: Periodo di ritorno Velocità del vento in base alla selezione dei dati del metodo globale con l'ipotesi che le velocità del vento abbiano distribuzione Gumbel per W1

Tempo di Ritorno	1 h	10 min	3 min	1 min
[anni]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
10	19.42	20.99	22.05	23.01
50	21.39	23.20	24.42	25.53
100	22.22	24.14	25.42	26.60
200	23.04	25.06	26.42	27.66



4.2.2.2 W2

L'analisi effettuata nella posizione W2 mostra risultati molto simili a quelli presentati per la posizione W1

Tabella 4.65: Test di bontà per la distribuzione dei dati W2

	Weibull	Gumbel
ChiSquaredTest	TRUE	TRUE
ChiSquaredStatistic	8.269841	8.26984102
ChiSquaredLevel	21.89931	30.9402146
KolmogorovSmirnovTest	TRUE	TRUE
KolmogorovSmirnovStatistic	0.084966	0.10026394
KolmogorovSmirnovLevel	25	25
SLSCTest	TRUE	TRUE
SLSCTestStatistic	0.029108	0.0405537
PPCCTest	TRUE	TRUE
PPCCStatistic	0.992979	0.98076523
PPCC2Test	TRUE	TRUE
PPCC2Statistic	0.990281	0.98076523
LogLikelihood	TRUE	TRUE
LogLikelihoodStatistic	-115.28	-117.396

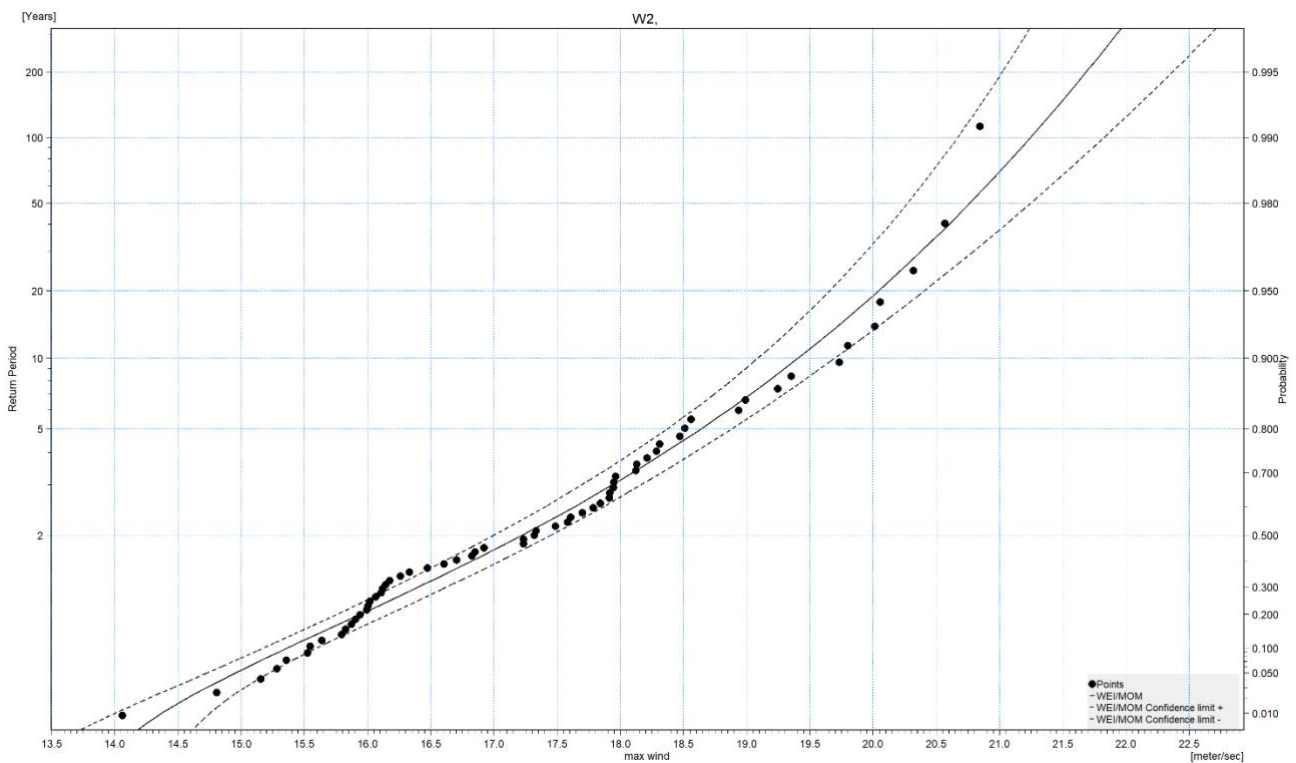


Figura 4.17: Distribuzione di Weibull dei massimi annuali dei dati ERA5 Wind nel punto di griglia W2.



Tabella 4.66: Stima della velocità estrema del vento per W2

Tr Anni	Weibull [m/s]	Gumbel [m/s]
10	19.41	19.35
50	20.77	21.35
100	21.25	22.19
200	21.69	23.03

Le tabelle 4.67 e 4.68 riportano le medie di 10 minuti, 1 minuto e 3 secondi della velocità del vento ottenute applicando la correzione della durata dell'eq:

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

Tabella 4.67: Periodo di ritorno Velocità del vento in base alla selezione dei dati del metodo globale assumendo che le velocità del vento abbiano distribuzione di Weibull per W2

Periodo di ritorno	1 h	10 min	3 min	1 min
[anni]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
10	19.41	20.98	22.03	23.00
50	20.77	22.50	23.67	24.73
100	21.25	23.04	24.25	25.35
200	21.69	23.54	24.78	25.91



Tabella 4.68: Periodo di ritorno Velocità del vento in base alla selezione dei dati del metodo globale assumendo che le velocità del vento abbiano distribuzione di Gumbel per W2

Periodo di ritorno	1 h	10 min	3 min	1 min
[anni]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
10	19.42	20.99	22.05	23.01
50	21.39	23.20	24.42	25.53
100	22.22	24.14	25.42	26.60
200	23.04	25.06	26.42	27.66

4.3 Cambiamenti climatici

La valutazione degli effetti del riscaldamento globale sugli eventi marini estremi è oggi di enorme interesse anche per la progettazione di strutture e impianti offshore con una durata di vita di 50-100 anni.

Il problema principale è quello di prevedere come le mareggiate estreme saranno influenzate dagli effetti dei cambiamenti climatici previsti dai diversi scenari ipotizzati dall'IPCC (2014 e 2020). Tra questi Benetazzo et al. (2012) propongono uno studio rivolto proprio al bacino dell'Adriatico. I risultati dimostrano che il clima di mareggiata sarà generalmente più mite, con meno estremi di vento e onda, in un futuro climatico più caldo dell'attuale. Nel 2020 altri autori, attraverso uno studio basato su modelli ad alta risoluzione combinati con tecniche di downscaling, hanno quantificato i cambiamenti previsti nella SWH per le tempeste di Bora e Scirocco per il periodo 2060-2100 (Denamiel et al., 2020). Questo studio conferma una generale diminuzione dell'intensità degli eventi estremi (Hs minori) e dei periodi di picco sia per gli scenari intermedi che per quelli "peggiori".

In base a quanto detto, la valutazione delle onde progettuali di eventi estremi passati, come quello presentato in questo studio, sembrerebbe non costituire una criticità ma essere potenzialmente conservativa per gli scenari futuri.



4.4 Correnti

4.4.1 Circolazione generale su larga scala

L'identificazione e la qualificazione dei processi critici rilevanti per le dinamiche oceaniche e climatiche nella ricerca rivelano la presenza di tre masse d'acqua distinte: superficiale, intermedia e profonda nei due bacini del Mar Mediterraneo (El-Geziry & Bryden, 2010; Pinardi et al., 2013).

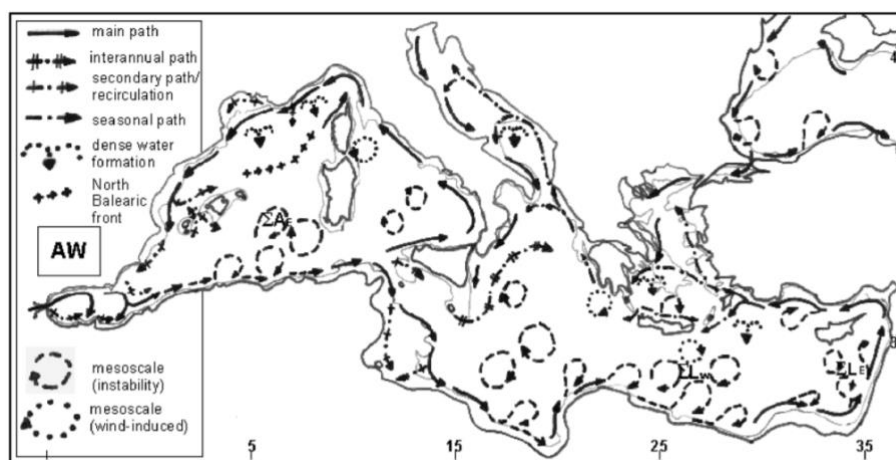


Figura 4.18: Circolazione delle acque superficiali nel bacino del Mediterraneo (Millot & Taupier-Letage, 2005)

Il modello di circolazione superficiale dell'intero bacino del Mediterraneo è illustrato nella Fig. 4.18. Nel bacino occidentale del Mediterraneo, l'afflusso di acque Atlantiche è diretto dapprima verso nord-est a causa dell'orientamento dello Stretto di Gibilterra, poi descrive generalmente un vortice in senso orario a est del Mare di Alboran tra Spagna e Marocco (El-Geziry & Bryden, 2010; Pinardi et al., 2013).

La circolazione nell'Alto Adriatico è dovuta principalmente a fenomeni di natura termoalina legati al deflusso delle acque del Po. Il carattere è ciclonico con intensificazioni lungo la costa occidentale soggette a variabilità stagionale. Le correnti superficiali lungo la costa italiana sono dirette a Sud-Est con intensità medie di circa $0,15 \div 0,20$ m/s durante l'anno. I valori massimi sono tipici della tarda primavera.

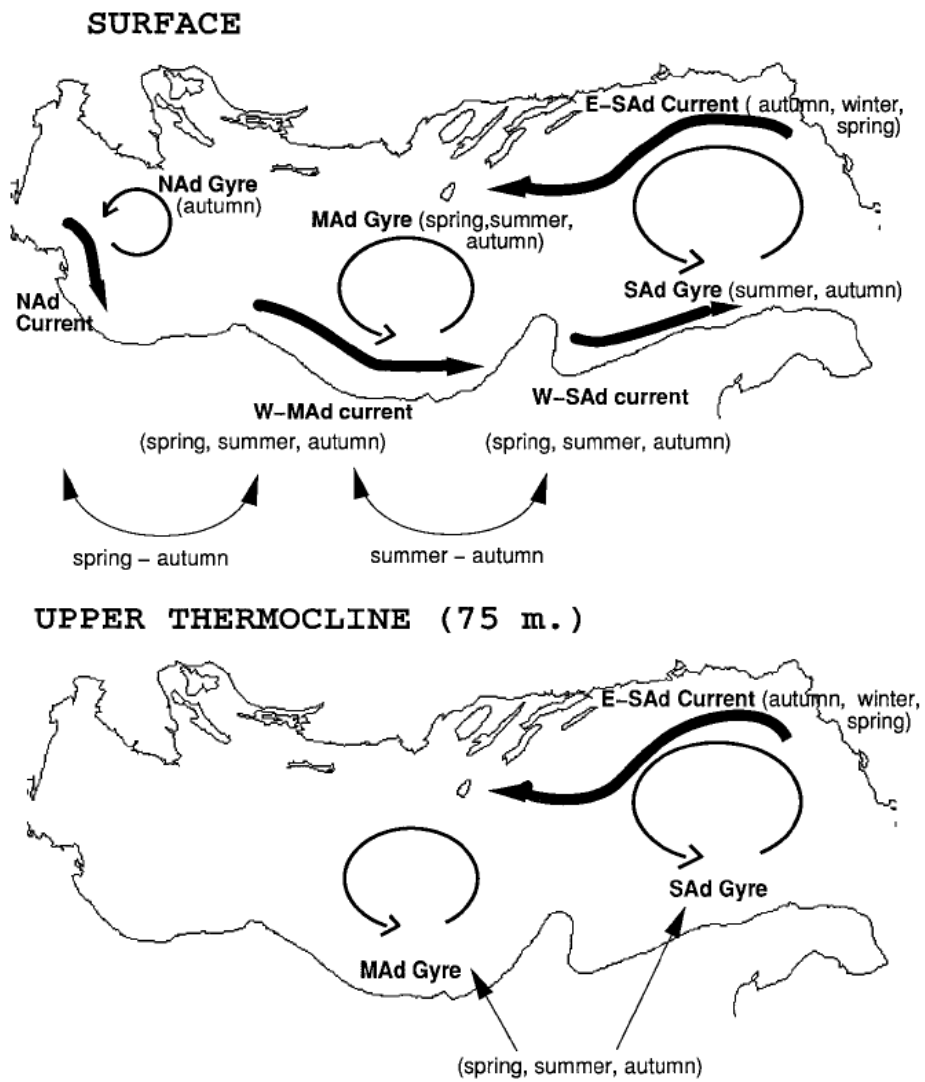


Figura 4.19: Circolazione delle acque superficiali e del termoclino superiore nel Mare Adriatico settentrionale (Artegiani et al., 1997)



4.4.2 Regime di correnti locale

Le rose delle correnti e le tabelle di distribuzione di frequenza della corrente sono riportate per i punti Phys_1 e Phys_2 nei seguenti paragrafi.

Il punto di forza di una modellazione idrodinamica calibrata in 3D come il database hindcast di CMEMS-Med Physics comprende la possibilità di riprodurre abbastanza bene la stratificazione della colonna d'acqua e la dinamica delle picnoclini associate.

Tabella 4.69: Frequenza per la velocità della corrente (m/s)/direzione (da) nel punto Phys_1 a -1 m.

Dir (°N)	Corrente a -1.0 m (m/s)					Tot.
	<0.01	0.01-0.15	0.15-0.2	0.2-0.25	>0.3	
22.5	0.113	5.293	0.518	0.170	0.065	6.16
45	0.105	2.468	0.138	0.049	0.024	2.78
67.5	0.081	1.489	0.097	0.016	0.000	1.68
90	0.065	1.012	0.024	0.016	0.000	1.12
112.5	0.089	0.898	0.024	0.016	0.000	1.03
135	0.057	1.044	0.000	0.024	0.000	1.12
157.5	0.081	1.586	0.065	0.024	0.008	1.76
180	0.105	2.185	0.065	0.065	0.032	2.45
202.5	0.081	2.654	0.178	0.073	0.032	3.02
225	0.089	3.051	0.275	0.065	0.057	3.54
247.5	0.073	3.213	0.299	0.097	0.032	3.71
270	0.097	4.580	0.388	0.138	0.032	5.24
292.5	0.065	7.251	0.704	0.259	0.057	8.34
315	0.121	11.896	1.894	0.736	0.146	14.79
337.5	0.121	19.778	4.030	1.570	0.469	25.97
360	0.105	13.644	2.331	0.947	0.259	17.29
Tot.	1.449	82.043	11.030	4.265	1.214	100.00



Tabella 4.70: Frequenza per la velocità della corrente (m/s)/direzione (da) per il punto Phys_1 a -10 m.

Dir (°N)	Corrente a -10.0 m (m/s)					Tot.
	<0.01	0.01-0.15	0.15-0.2	0.2-0.25	>0.3	
22.5	0.331	6.048	0.024	0.000	0.000	6.40
45	0.250	2.701	0.000	0.000	0.000	2.95
67.5	0.282	1.476	0.000	0.000	0.000	1.76
90	0.226	1.121	0.000	0.000	0.000	1.35
112.5	0.298	0.976	0.000	0.000	0.000	1.27
135	0.194	1.613	0.000	0.000	0.000	1.81
157.5	0.290	2.629	0.056	0.000	0.000	2.98
180	0.202	3.024	0.032	0.024	0.000	3.28
202.5	0.226	2.105	0.032	0.000	0.000	2.36
225	0.347	1.250	0.000	0.000	0.000	1.60
247.5	0.226	1.145	0.000	0.000	0.000	1.37
270	0.234	1.629	0.000	0.000	0.000	1.86
292.5	0.218	3.000	0.024	0.000	0.000	3.24
315	0.379	8.628	0.081	0.024	0.000	9.11
337.5	0.403	31.764	2.379	0.790	0.290	35.63
360	0.314	21.555	0.895	0.218	0.048	23.03
Tot.	4.419	90.662	3.524	1.056	0.339	100.00



Tabella 4.71: Frequenza di occorrenza per la velocità della corrente (m/s)/direzione (da) per il punto Phys_1 a -30 m..

Dir (°N)	Corrente a -30.0 m (m/s)					Tot.
	<0.01	0.01-0.15	0.15-0.2	0.2-0.25	>0.3	
22.5	1.618	2.488	0.000	0.000	0.000	4.11
45	1.981	1.796	0.000	0.000	0.000	3.78
67.5	2.094	2.569	0.000	0.000	0.000	4.66
90	3.615	6.554	0.000	0.000	0.000	10.17
112.5	4.163	19.277	0.000	0.000	0.000	23.44
135	2.794	13.761	0.000	0.000	0.000	16.56
157.5	1.224	2.504	0.000	0.000	0.000	3.73
180	0.676	0.604	0.000	0.000	0.000	1.28
202.5	0.491	0.169	0.000	0.000	0.000	0.66
225	0.378	0.113	0.000	0.000	0.000	0.49
247.5	0.346	0.209	0.000	0.000	0.000	0.56
270	0.684	0.435	0.000	0.000	0.000	1.12
292.5	1.079	2.166	0.000	0.000	0.000	3.25
315	1.409	7.199	0.040	0.008	0.000	8.66
337.5	1.812	8.801	0.032	0.000	0.000	10.64
360	1.844	5.065	0.000	0.000	0.000	6.91
Tot.	26.210	73.710	0.072	0.008	0.000	100.00



Relazione meteomarina
AGNROM_EP-R_REL-METEO

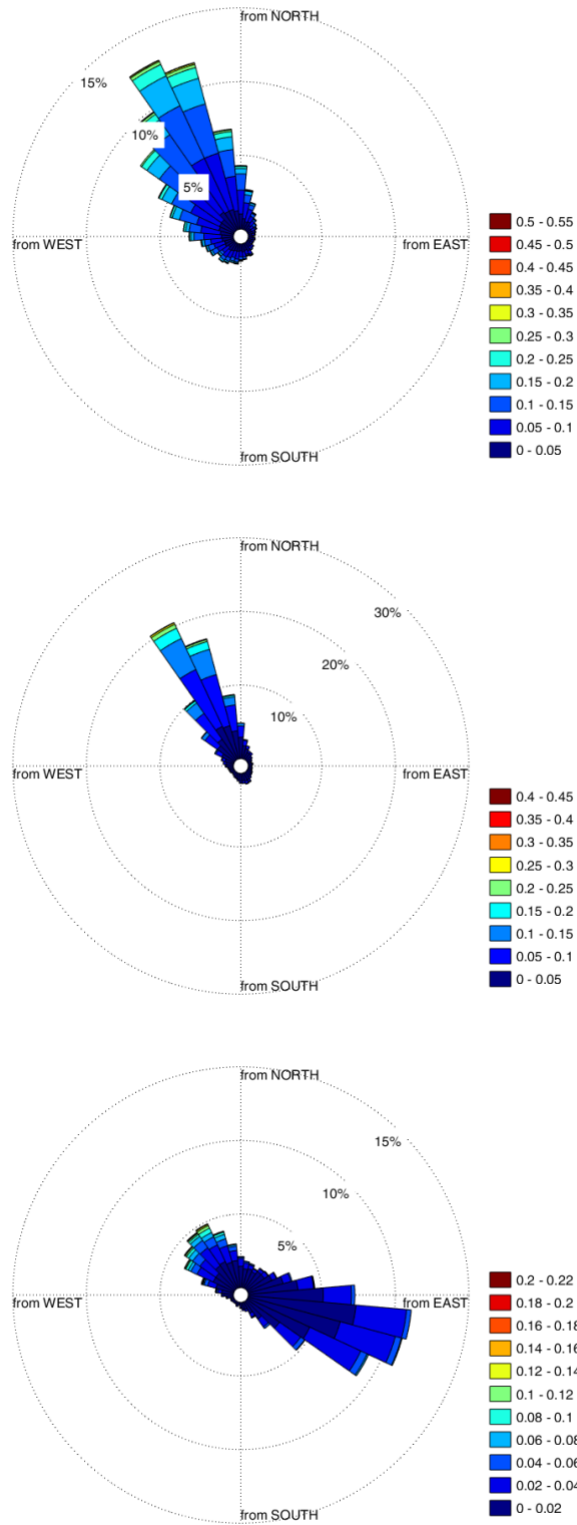


Figura 4.20: Rosa delle correnti al punto Phys_1, profondità -1 m (a), -10 m (b) e -30 m (c).



Tabella 4.72: Frequenza della velocità della corrente (m/s)/direzione (da) per il punto Phys_2 a -1 m.

Dir (°N)	Corrente a -1.0 m (m/s)					Tot.
	<0.01	0.01-0.15	0.15-0.2	0.2-0.25	>0.3	
22.5	0.242	12.923	0.913	0.299	0.073	14.45
45	0.218	9.095	0.662	0.186	0.121	10.28
67.5	0.194	6.268	0.396	0.194	0.040	7.09
90	0.250	5.153	0.258	0.089	0.016	5.77
112.5	0.234	3.853	0.170	0.073	0.040	4.37
135	0.202	4.135	0.186	0.040	0.016	4.58
157.5	0.250	4.846	0.137	0.032	0.016	5.28
180	0.250	5.573	0.178	0.040	0.040	6.08
202.5	0.234	4.539	0.210	0.057	0.008	5.05
225	0.121	2.819	0.218	0.113	0.024	3.30
247.5	0.113	2.480	0.121	0.089	0.000	2.80
270	0.145	2.568	0.162	0.048	0.016	2.94
292.5	0.153	3.231	0.234	0.032	0.000	3.65
315	0.218	4.741	0.347	0.129	0.040	5.48
337.5	0.145	6.098	0.428	0.137	0.032	6.84
360	0.202	10.678	0.856	0.267	0.040	12.04
Tot.	3.174	88.999	5.476	1.825	0.525	100.00

Tabella 4.73: Frequenza per la velocità della corrente (m/s)/direzione (da) per il punto Phys_2 a -10 m..

Dir (°N)	Corrente a -10.0 m (m/s)					Tot.
	<0.01	0.01-0.15	0.15-0.2	0.2-0.25	>0.3	
22.5	0.604	18.135	0.306	0.089	0.000	19.13
45	0.612	12.216	0.129	0.024	0.008	12.99
67.5	0.523	7.248	0.008	0.000	0.000	7.78
90	0.483	5.001	0.000	0.000	0.000	5.48
112.5	0.523	4.397	0.000	0.000	0.000	4.92
135	0.628	4.187	0.000	0.000	0.000	4.82
157.5	0.548	5.307	0.008	0.000	0.000	5.86
180	0.548	5.597	0.024	0.000	0.000	6.17
202.5	0.475	3.696	0.016	0.000	0.000	4.19
225	0.387	2.037	0.000	0.000	0.000	2.42
247.5	0.266	1.433	0.008	0.000	0.000	1.71
270	0.330	1.627	0.000	0.000	0.000	1.96
292.5	0.314	1.747	0.008	0.000	0.000	2.07
315	0.395	2.392	0.000	0.000	0.000	2.79



337.5	0.362	4.840	0.000	0.000	0.000	5.20
360	0.411	11.926	0.161	0.016	0.000	12.51
Tot.	7.409	91.786	0.668	0.129	0.008	100.00

Tabella 4.74: Frequenza per la velocità della corrente (m/s)/direzione (da) per il punto Phys_2 a -30 m

Dir (°N)	Corrente a -30.0 m (m/s)					Tot.
	<0.01	0.01-0.15	0.15-0.2	0.2-0.25	>0.3	
22.5	1.361	8.503	0.008	0.000	0.000	9.87
45	1.562	4.284	0.000	0.000	0.00E+00	5.85
67.5	1.643	2.810	0.000	0.000	0.00E+00	4.45
90	1.651	2.730	0.000	0.000	0.00E+00	4.38
112.5	2.271	4.775	0.000	0.000	0.00E+00	7.05
135	2.247	10.854	0.000	0.000	0.00E+00	13.10
157.5	2.118	18.077	0.000	0.000	0.00E+00	20.19
180	1.618	6.732	0.000	0.000	0.00E+00	8.35
202.5	0.837	1.168	0.000	0.000	0.00E+00	2.00
225	0.636	0.483	0.000	0.000	0.00E+00	1.12
247.5	0.443	0.322	0.000	0.000	0.00E+00	0.76
270	0.515	0.499	0.000	0.000	0.00E+00	1.01
292.5	0.572	0.862	0.000	0.000	0.00E+00	1.43
315	0.862	2.424	0.000	0.000	0.00E+00	3.29
337.5	0.918	5.983	0.008	0.000	0.00E+00	6.91
360	1.337	8.890	0.000	0.000	0.00E+00	10.23
Tot.	20.589	79.394	0.016	0.000	0.000	100.00



Relazione meteomarina
AGNR0M_EP-R_REL-METEO

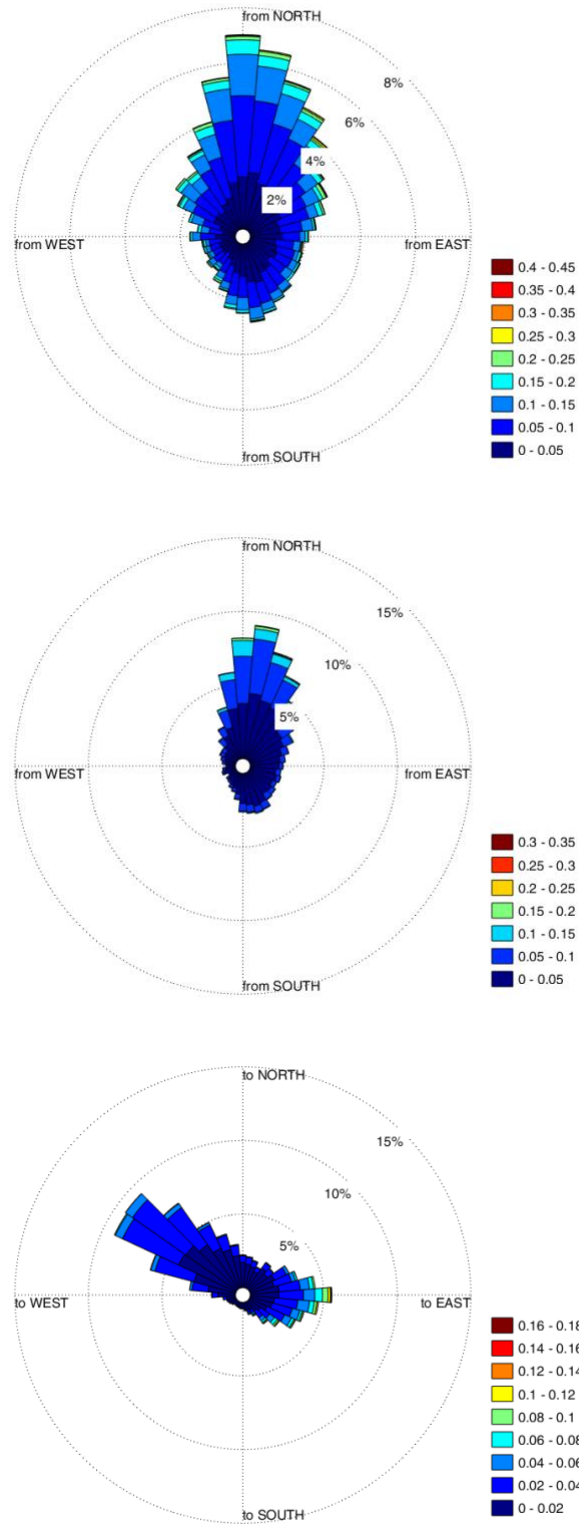


Figura 4.21: Rosa delle correnti nel punto Phys_2, profondità -1 m (a), -10 m (b) e -30 m (c).



4.4.3 Valori estremi di corrente

Per valutare le condizioni d'onda estreme, dopo un'analisi di sensibilità su diverse leggi di distribuzione delle probabilità, è stata scelta la distribuzione di Gumbel per modellare la distribuzione dei valori di soglia in eccesso (la differenza tra il valore di picco delle magnitudo delle correnti durante un superamento della soglia e il livello di soglia).

Come descritto per l'analisi delle onde, i risultati del metodo POT possono essere sensibili al livello di soglia scelto. È stata quindi eseguita un'analisi di sensibilità rispetto al livello di soglia, ottenendo i fattori di determinazione più elevati con valori di soglia pari a 2 volte i valori medi di corrente.

Infine, i valori estremi di corrente sono stati valutati utilizzando le serie temporali hindcasted con il dataset CMEMS-Physics, riferite al campo di corrente medio giornaliero. I valori estremi sono stati valutati nella colonna d'acqua a diverse profondità, ossia -1 m, -10 m, -30 m, per i due punti selezionati (Phys_1 e Phys_2) e sono riportati nelle tabelle seguenti.

Tabella 4.75: Velocità estrema stimata della corrente (m/s) per Phys_1..

Tr (anni)	Corrente (m/s) - omnidirezionale		
	-1m	-10m	-30m
1	0.313	0.253	0.121
5	0.370	0.312	0.156
10	0.395	0.338	0.172
50	0.452	0.397	0.207
100	0.476	0.422	0.222
200	0.501	0.447	0.237

Tabella 4.76: Velocità estrema stimata della corrente (m/s) per Phys_2..

Tr (anni)	Corrente (m/s) - omnidirezionale		
	-1m	-10m	-30m
1	0.293	0.172	0.107
5	0.358	0.213	0.134
10	0.385	0.231	0.146
50	0.449	0.272	0.174
100	0.477	0.289	0.185
200	0.504	0.307	0.197



4.5 Livello del Mare

Le fluttuazioni del livello del mare nell'area di studio sono analizzate per definire il comportamento tipico e le periodicità, nonché per valutare i valori estremi.

L'origine delle variazioni del livello del mare è piuttosto complessa, poiché sono molti i fenomeni che possono generare o modificare il movimento delle masse d'acqua. Il livello del mare può essere considerato come il risultato della combinazione lineare di due componenti: una deterministica e una stocastica.

La parte deterministica è costituita dall'oscillazione astronomica delle maree, mentre la parte stocastica è dovuta principalmente agli effetti indotti dal vento e dai gradienti di pressione.

Poiché le misurazioni del livello del mare nell'area di studio offshore non sono disponibili nel sito di studio, i due tipi di dati, ossia il livello di marea e la mareggiata, sono stati analizzati separatamente nel seguito, rispettivamente.

4.5.1 Componenti armoniche della marea

Le oscillazioni di marea nel Mar Mediterraneo hanno un'ampiezza approssimativamente ridotta e sono prevalentemente semidiurne. Nel Mare Adriatico settentrionale, le oscillazioni di marea sono dominate dalle componenti semidiurne M2 e K1 (Figura 4.22), con un'ampiezza massima di 80-90 cm nelle fasi sigiziali e di circa 30-40 cm nei periodi di quadratura.

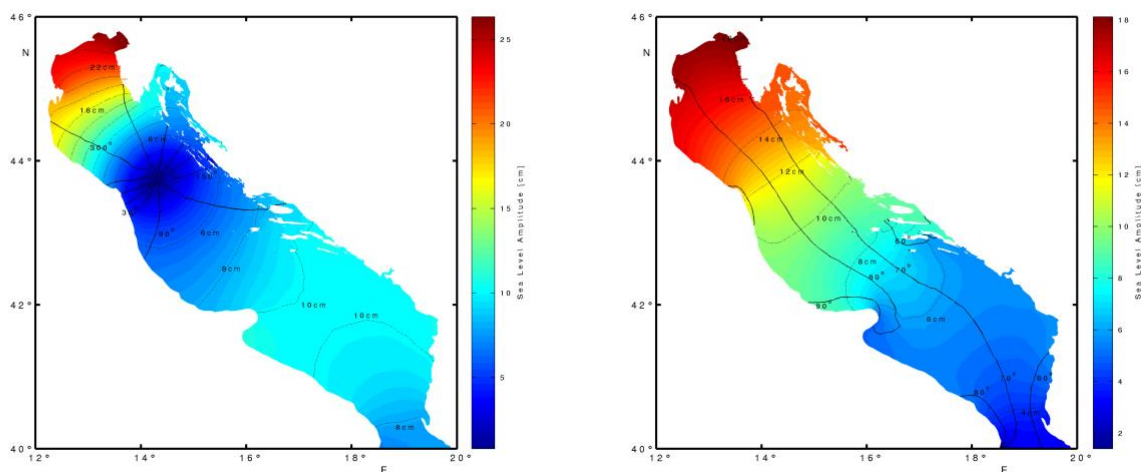


Figura 4.22: Ampiezze e fasi delle componenti di marea M2 e K1 nel Mare Adriatico settentrionale (derivate da Janekovic e Kuzmić, 2005)

Per conoscere le oscillazioni di marea in altre località più vicine all'area di studio, sono state previste serie temporali di elevazioni di marea dal 1990 al 2020 utilizzando i modelli OTPS e TPXO, sviluppati dalla Oregon State University (OSU, Egbert et al., 1994 e Egbert e Erofeeva, 2002). Le previsioni si basano su soluzioni



mareali inverse barotropiche globali e/o regionali ottenute con il modello OTIS (OSU Tidal Inversion Software), che utilizza database misurati per effettuare un hindcast delle oscillazioni di marea nel punto di interesse.

TPXO è la versione attuale di un modello globale delle maree oceaniche, che si adatta al meglio, in un senso di minimi quadrati, alle equazioni di Laplace sulle maree e ai dati mediati lungo le tracce di TOPEX/Poseidon e Jason (sulle tracce di TOPEX/POSEIDON dal 2002) ottenuti con OTIS.

Un esempio di serie temporale mensile (giugno 2014) di elevazioni di marea hindcasted del modello OTIS/TPXO in una località offshore Phys_2 è mostrato in Figura 4.23.

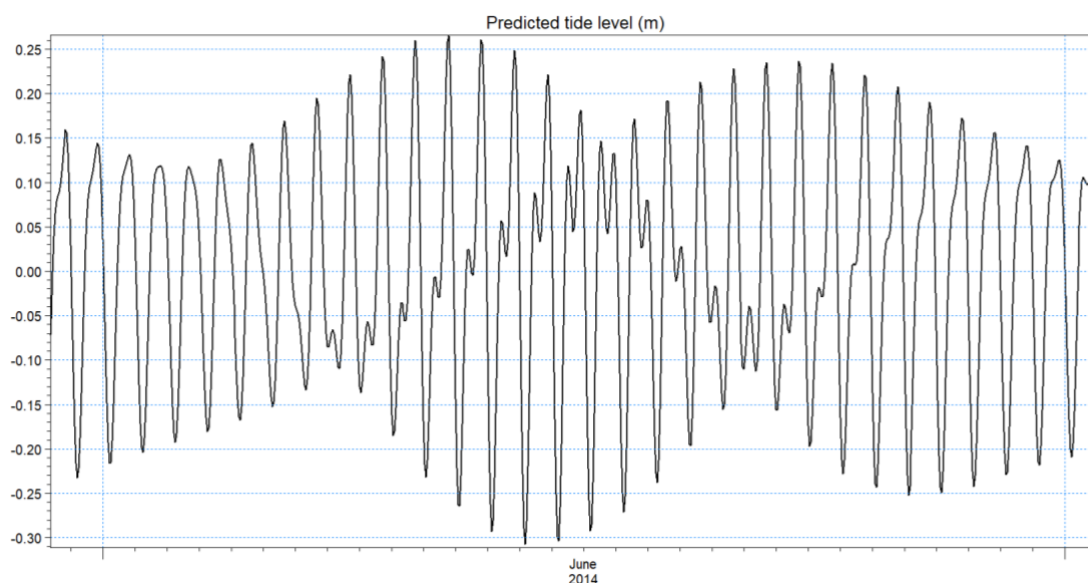


Figura 4.23: Esempio di previsione del livello del mare dal modello OTIS/TPXO a punto Phys_2, giugno 2014.

In Tabella 4.77 vengono forniti i parametri statistici tipici dei punti Phys_1 e Phys_2, dove LAT è la marea astronomica più bassa, HAT è il valore della marea astronomica più alta, MSL è il livello medio del mare.



Tabella 4.77: Statistiche delle serie temporali registrate su punti Phys_1 e Phys_2.

Livello di marea	LAT (m)	HAT (m)	MSL (m)
Phys_1	-0.3595	0.3194	1.04e ⁻⁰⁷
Phys_2	-0.3391	0.2937	1.64e ⁻⁰⁷

Le componenti armoniche estratte dalle serie temporali alle piattaforme sono riportate nelle tabelle seguenti. Le maree sono fornite come ampiezze complesse dell'elevazione della superficie marina rispetto alla terra per le oscillazioni semidiurne (M2, S2), le 4 oscillazioni diurne (K1, O1), e le 2 componenti armoniche non lineari (F4, F6).

Tabella 4.78: Componenti armoniche estratte dalle serie temporali registrate in punto Phys_1.

Componente	Amp (m)	Fase (°)
M2	0.0899	-95.95
S2	0.0184	-105.56
K1	0.1456	76.83
O1	0.0354	70.40
F4	0.0002	-87.95
F6	0.0004	19.31

Tabella 4.79: Componenti armoniche estratte dalle serie temporali registrate nel punto Phys_2.

Componente	Amp (m)	Fase (°)
M2	0.0857	-97.14



S2	0.0165	-98.50
K1	0.1306	74.90
O1	0.0334	66.93
F4	0.0002	-79.22
F6	0.0004	13.51

4.5.2 Altezza della superficie del mare (componente barometrica)

Dal set di dati hindcast CMEMS-Med Physics, sono stati estratti gli effetti del gradiente barometrico e del vento sul livello medio giornaliero del mare dal 1990 al 2020, che sono stati rappresentati in Figura 4.24.

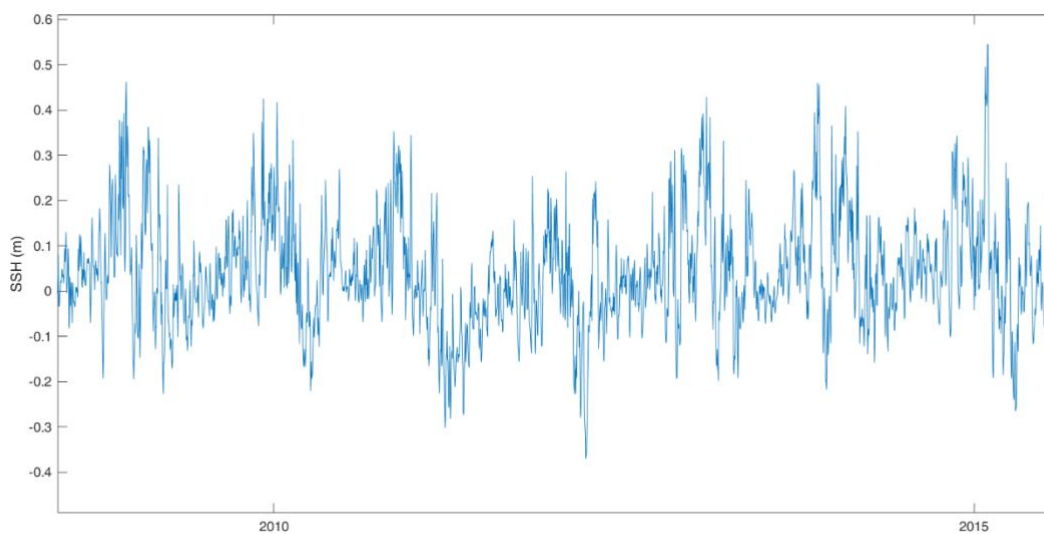


Figura 4.24: Parte della serie temporale per l'altezza della superficie del mare (SSH) dai dati hindcast al punto Phys_2 .

I valori massimi e minimi del livello del mare (a causa del gradiente barico e del vento) sono riportati nella tabella seguente:



Tabella 4.80 "Storm surge" nei punti Phys_1 e Phys_2, come stimate dai dati fisici hindcasted CMEMS

Punti	Max SSH (m)	Min SSH (m)
Phys_1	0.59	-0.41
Phys_2	0.61	-0.41

4.5.2.1 Cambiamenti a lungo termine

In questa sezione vengono discusse le aspettative sulle variazioni a lungo termine del livello del mare Adriatico dovute ai cambiamenti climatici.

Dal momento che non sono disponibili misurazioni a lungo termine, questa sezione riporta alcune considerazioni generali sull'innalzamento del livello del mare elaborate dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (IPCC, 2013).

Diversi fattori influenzano il volume o la massa dell'oceano, determinando variazioni a lungo termine del livello eustatico del mare. Le due influenze principali sono la temperatura e la massa d'acqua bloccata sulla terraferma e in mare sotto forma di acqua dolce in fiumi, laghi, ghiacciai, calotte polari e ghiaccio marino. Su tempi geologici molto lunghi, anche i cambiamenti nella forma dei bacini oceanici e nella distribuzione terra/mare influenzano il livello del mare.

L'IPCC riporta i risultati di un'analisi più accurata, riscontrando che la combinazione di dati paleo-marini e di lunghe registrazioni di mareografi mostra che il tasso di innalzamento è passato da bassi tassi di variazione durante il tardo Olocene (ordine dei decimi di mm/anno) a tassi di quasi 2 mm/anno in media nel 20th secolo, con una probabile continua accelerazione nel 20th secolo. Dal 1993, la somma dei contributi osservati all'innalzamento del livello del mare è in buon accordo con l'innalzamento osservato.

L'innalzamento futuro del livello del mare, come quello avvenuto nel 20th secolo, non dovrebbe essere uniforme a livello globale: alcune regioni potrebbero subire un innalzamento del livello del mare sostanzialmente superiore alla media globale (in molte regioni l'innalzamento potrebbe essere più del doppio della media), mentre altre regioni potrebbero subire un abbassamento del livello del mare. Modelli previsionali alternativi portano tuttavia a risultati contrastanti per quanto riguarda la distribuzione spaziale della variazione del livello del mare.

La Figura 4.25 (tratta da IPCC, 2013) mostra una serie di dati paleo-marini, dati mareografici, dati altimetrici e stime centrali e intervalli probabili per le proiezioni dell'innalzamento medio globale del livello del mare per diversi scenari, tutti relativi ai valori preindustriali.

Per valutare l'andamento futuro del Mare Adriatico, si suggerisce di assumere valori conservativi. Sulla base di un'ampia revisione della letteratura scientifica, si suggerisce di assumere un innalzamento del livello del mare di almeno 70 cm in 100 anni, come differenza tra il livello del mare nell'anno 2000 [~30 cm] e la



previsione conservativa media del livello del mare nel 2100 [~100 cm, linea rossa]). Ciò corrisponde a un aumento di almeno 0,7 cm/anno.

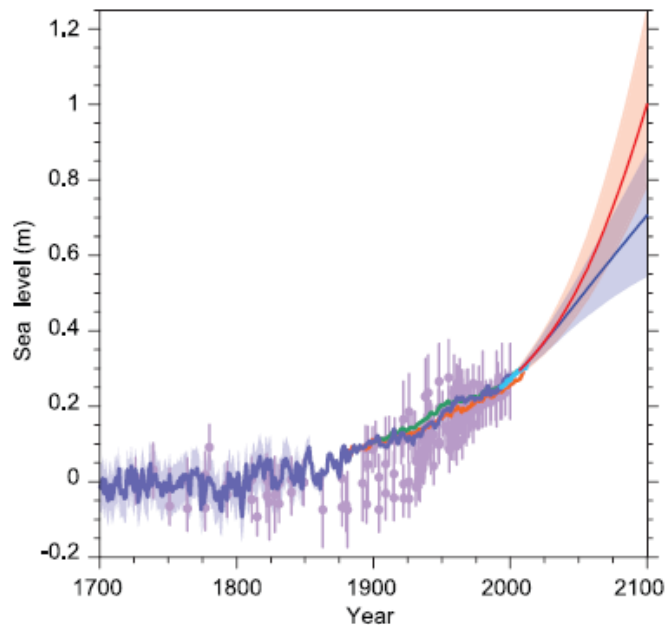


Figura 4.25: Innalzamento medio globale del livello del mare per diversi scenari (IPCC, 2013)

4.5.2.2 Valori estremi

I valori estremi del livello del mare sono valutati considerando il contributo delle maree, delle altezze della superficie del mare indotte dal meteo (storm surge) e dei cambiamenti a lungo termine.

Per valutare le condizioni di livello estremo la Guida DNV prescrive di utilizzare il metodo POT anche per i livelli della superficie del mare e la distribuzione di Gumbel (Figura 4.26) è stata scelta per modellare la distribuzione dei valori di soglia in eccesso (la differenza tra il valore di picco della corrente durante un superamento della soglia e il livello di soglia).

I risultati del metodo POT possono essere sensibili al livello di soglia scelto, per cui è necessario eseguire un'analisi di sensibilità rispetto al livello di soglia e, se possibile, confrontare i risultati del metodo POT con quelli ottenuti con metodi alternativi.

Impostando un valore di soglia pari a 0,25 volte i valori massimi (o minimi) delle altezze della superficie del mare si ottiene un coefficiente di determinazione (accuratezza) più elevato; le tabelle seguenti riportano i valori estremi derivati per l'altezza della superficie del mare dovuta alla mareggiata stimata nei due punti scelti Phys_1 e Phys_2 per i periodi di ritorno 1, 5, 10, 50 e 100 anni.

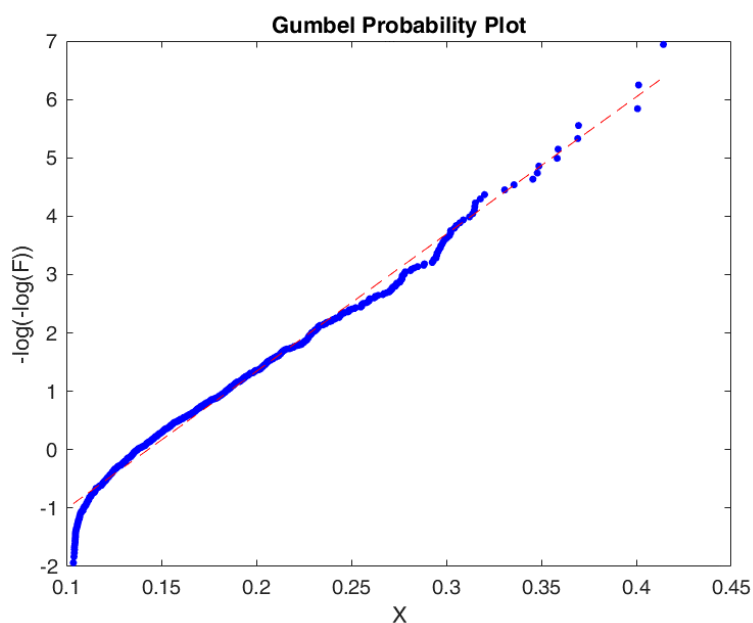


Figura 4.26: Distribuzione di Gumbel di probabilità per i livelli di storm surge più elevati nel punto Phys_1.

Tabella 4.81: Valori estremi dei livelli di storm surge al sito punto Phys_1.

Phys_1	SSH (m)	
	Max	Min
TR=1 year	0.413	-0.310
TR= 5 years	0.512	-0.379
TR=10 years	0.554	-0.409
TR=50 years	0.652	-0.477
TR=100 years	0.694	-0.507



Tabella 4.82: Valori estremi dei livelli di storm surge al sito punto *Phys_2*.

Phys_2	SSH (m)	
	Max	Min
TR=1 year	0.413	-0.310
TR= 5 years	0.512	-0.378
TR=10 years	0.554	-0.408
TR=50 years	0.652	-0.476
TR=100 years	0.694	-0.505



4.6 Caratteristiche della massa d'acqua

4.6.1 Profili di temperatura

Le serie temporali (una finestra) della temperatura a 3 profondità (superficie, -10 m e fondo) sono riportate nel punto Phys_1 (in alto) e nel punto Phys_2 (in basso) in Figura 4.27, mentre i profili medi annuali sono mostrati in Figura 4.28 e Figura 4.29, con valori medi, massimi e minimi.

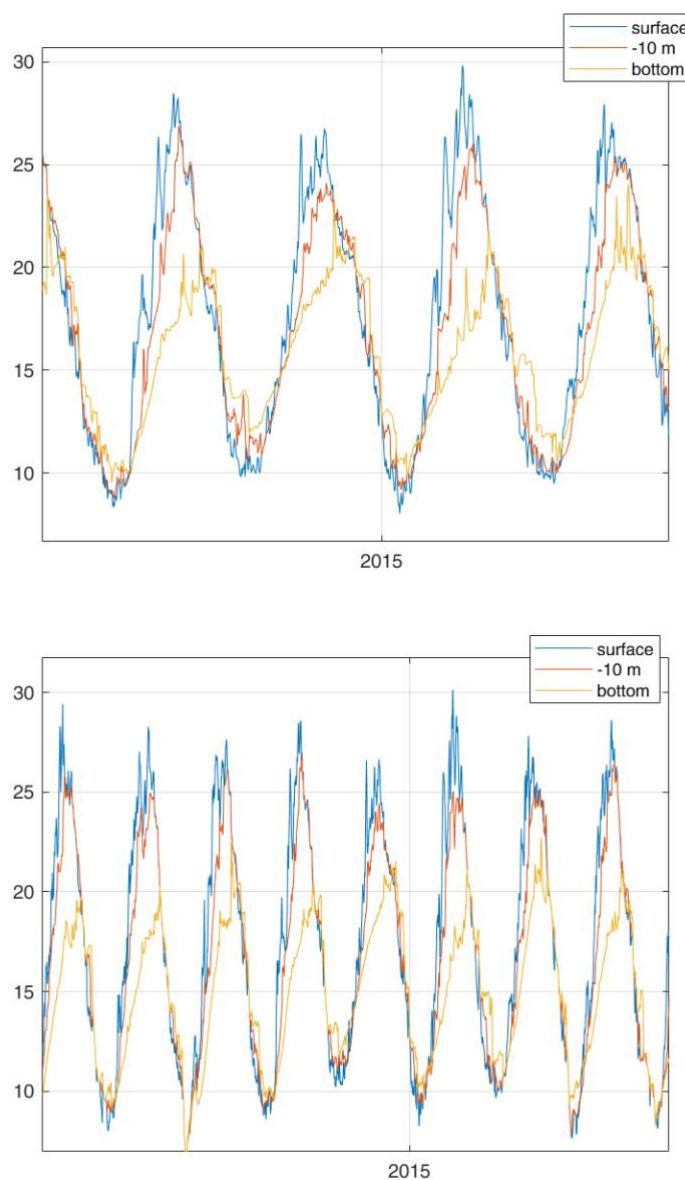


Figura 4.27: Serie temporale della temperatura nei punti Phys_1 (in alto) e Phys_2 (in basso).

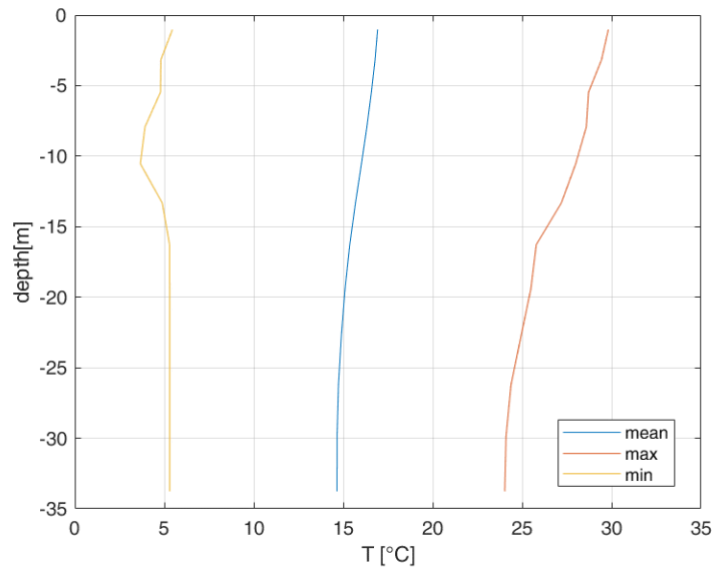


Figura 4.28: Profili di temperatura media annua nel punto Phys_1..

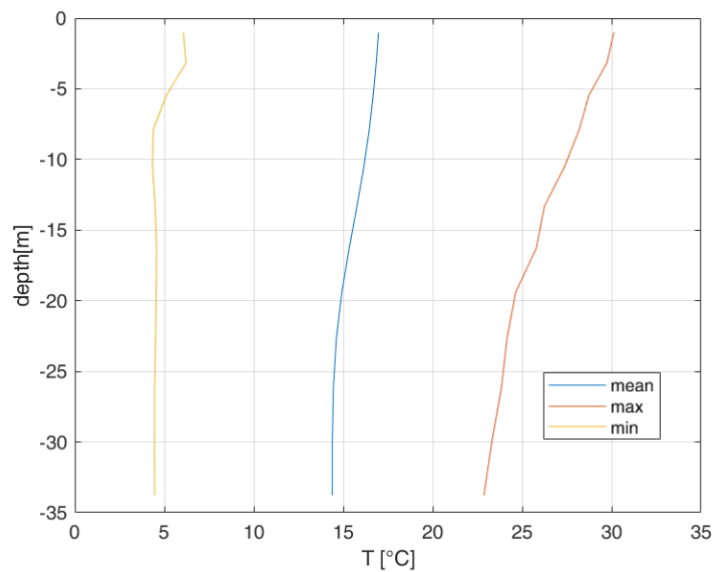


Figura 4.29: Profili di temperatura media annua nel punto Phys_2.

Le statistiche stagionali della temperatura a 3 profondità per i 2 punti selezionati sono riportate in Tabella 4.83 e Tabella 4.84.



Tabella 4.83: Statistiche stagionali per la temperatura del punto Phys_1 a 3 profondità.

Phys_1		T [°C]			
		primavera	estate	autunno	inverno
mean	superficie	15.50	24.90	17.37	9.59
	-10 m	13.14	22.53	17.97	10.16
	fondo	12.23	17.12	17.88	11.21
max	superficie	17.30	26.48	18.94	10.89
	-10 m	15.01	25.22	19.48	12.17
	fondo	15.18	19.55	19.72	13.40
min	superficie	14.01	23.49	16.03	8.25
	-10 m	11.54	19.36	16.72	8.66
	fondo	10.01	12.96	16.60	9.32

Tabella 4.84: Statistiche stagionali per la temperatura nel punto Phys_2 a 3 profondità.

Phys_2		T [°C]			
		primavera	estate	autunno	inverno
mean	superficie	15.41	24.80	17.49	9.85
	-10 m	13.44	22.68	17.89	10.28
	fondo	12.00	16.80	17.50	11.02
max	superficie	17.23	26.29	19.06	11.34
	-10 m	15.08	24.80	19.28	11.97
	fondo	14.85	19.28	19.59	13.03
min	superficie	13.92	23.45	16.18	8.53
	-10 m	11.85	19.58	16.75	8.89
	fondo	10.18	13.26	15.94	9.19



4.6.2 Profili di salinità

Le serie temporali (una finestra) della salinità a 3 profondità (superficie, -10 m e fondo) sono riportate nel punto Phys_1 (in alto) e nel punto Phys_2 (in basso) in Figura 4.30, mentre i profili medi annuali sono mostrati in Figura 4.31 e Figura 4.32 con valori medi, massimi e minimi.

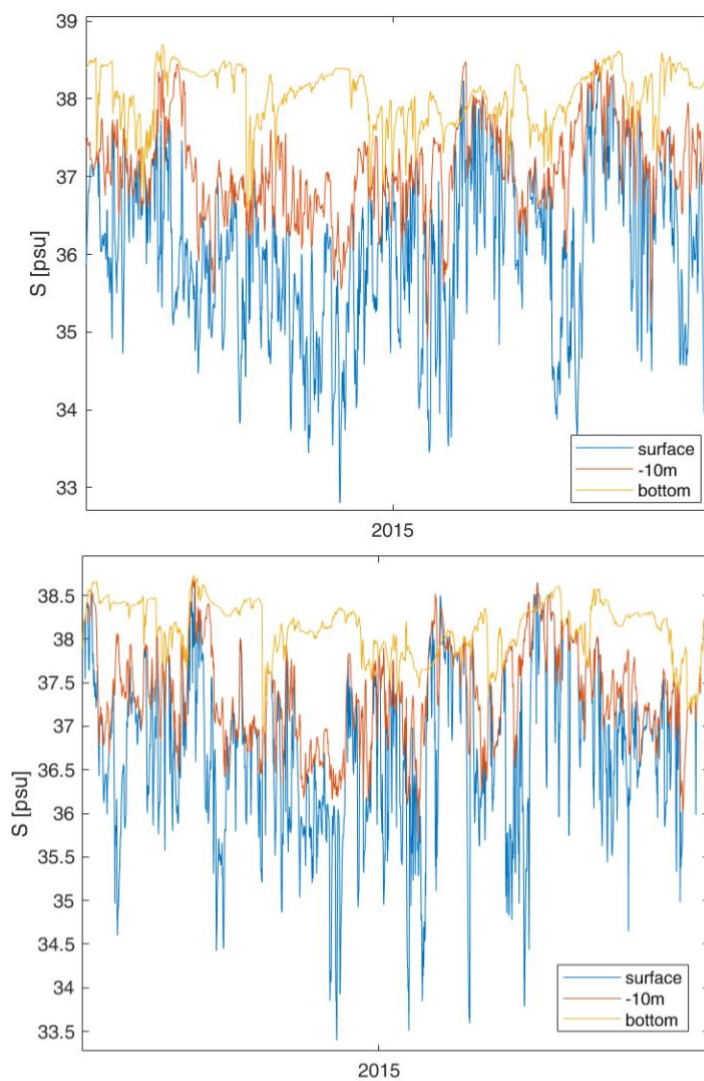


Figura 4.30: Serie temporale della salinità (psu) nei punti Phys_1 (in alto) e Phys_2 (in basso).

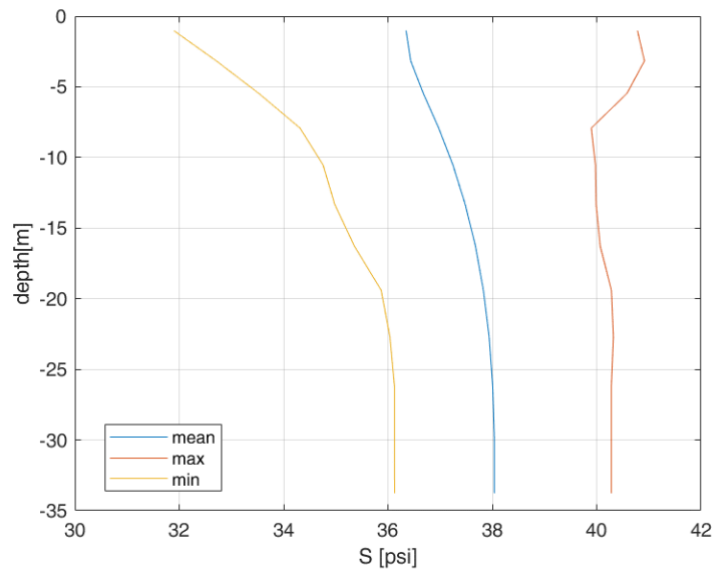


Figura 4.31: Profili di salinità media annuale (psu) nel punto Phys_1.

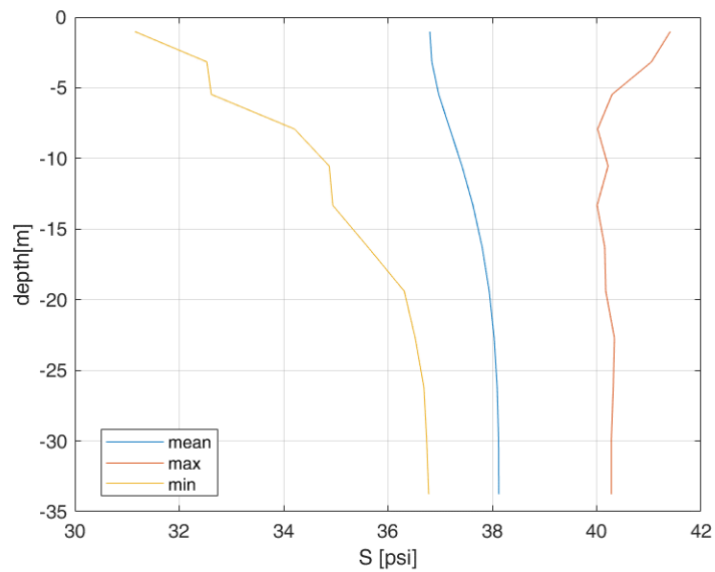


Figura 4.32: Profili di salinità media annuale (psu) nel punto Phys_2.

Le statistiche stagionali della salinità a 3 profondità per i 2 punti selezionati sono riportate in Tabella 4.85 e Tabella 4.86.



Tabella 4.85: Seasonal statistics for salinity at point Phys_1 at 3 depths.

Phys_1		S [psu]			
		primavera	estate	autunno	inverno
mean	superficie	35.82	36.41	36.47	36.64
	-10 m	37.28	37.26	37.15	37.25
	fondo	38.08	38.17	37.96	37.93
max	superficie	37.06	38.48	38.00	37.94
	-10 m	38.45	38.65	38.52	38.52
	fondo	39.15	38.75	38.88	39.14
min	superficie	34.80	35.15	35.56	35.73
	-10 m	36.57	36.33	36.13	36.56
	fondo	37.63	37.63	37.44	37.44

Tabella 4.86: Seasonal statistics for salinity at point Phys_2 at 3 depths.

Phys_2		S [psu]			
		primavera	estate	autunno	inverno
mean	superficie	36.34	36.41	36.47	36.64
	-10 m	37.33	37.26	37.15	37.25
	fondo	38.15	38.17	37.96	37.93
max	superficie	37.29	38.72	38.15	38.26
	-10 m	38.45	38.58	38.69	38.66
	fondo	39.20	38.76	39.22	39.24
min	superficie	35.45	35.61	35.46	36.14
	-10 m	36.59	36.41	36.53	36.76
	fondo	37.52	37.61	37.48	37.48



5. CONCLUSIONI

Lo studio fornisce una descrizione del clima basata su dati di rianalisi climatica e misure in situ di onde e correnti e la definizione dei parametri di progetto per l'hub energetico in oggetto.

Lo studio è basato sui seguenti database per dati del vento, onde, correnti e parametri fisici (temperatura e salinità):

- CMEMS MED – Rianalisi dei dati hindcast delle onde,
- ECMWF ERA-5 – Rianalisi dei dati hindcast del vento,
- CMEMS – Rianalisi dei dati hindcast dei parametri fisici.

Tali database sono ampiamente utilizzati. A causa della mancanza di misurazioni meteomarine nell'area, gli autori fanno riferimento all'analisi qualitativa presentata dall'agenzia che pubblica i dati. Per ogni database si fa riferimento alla report di qualità presente in letteratura. Per i dati ondometrici un'ulteriore confronto è presentato tra i dati hindcasted e i dati misurati alla posizione della boa ondometrica Nausicaa.

Per semplicità di lettura le sintesi delle condizioni di progetto per i tempi di ritorno $Tr=50$ anni e $Tr=100$ anni sono riportate nelle seguenti tabelle.

5.1 Vento

Tabella 5.1: Vento di progetto

<i>Tr</i>	<i>1 h</i>	<i>10 min</i>	<i>3 min</i>	<i>3 min</i>
anni	m/s	m/s	m/s	m/s
50	21.39	23.20	24.42	25.53
100	22.22	24.14	25.42	26.60

5.2 Onde

Tabella 5.2: Onde di progetto

<i>Tr</i>	<i>Hs</i>	<i>Tp</i>	<i>Tm</i>	<i>Hmax</i>
anni	m	s	s	m
50	6.33	9.55	7.52	12.66
100	6.74	9.73	7.69	13.48



Si ricorda che il dataset utilizzato per le onde, riferito alla regione dell'alto Adriatico, è quello che presenta per l'intero Mediterraneo la rianalisi dell'altezza d'onda significativa con la maggiore differenza relativa tra osservazioni satellitari e in-situ. Il valore medio di differenza è pari a 0.28m (vedere CMEMS 2022 e la sezione 2.6.1 a pag. 20.).

Per questa ragione, al fine di ottenere stime più conservative e in un'ottica di sicurezza, è consigliabile considerare questa differenza, aggiungendola alla altezza d'onda di progetto in tab. 5.1.

5.3 Correnti

Tabella 5.3: Correnti di progetto

Tr (anni)	Corrente (m/s) - omnidirezionale		
	-1m	-10m	-30m
50	0.449	0.272	0.174
100	0.476	0.422	0.222

5.4 Livello del mare e storm surge

Tabella 5.4: Marea astronomica

Livello di marea	LAT (m)	HAT (m)	MSL (m)
Phys_1	-0.3595	0.3194	1.04e ⁻⁰⁷

Tabella 5.5: Valori estremi di livelli di storm surge al punto Phys_1.

Phys_1	SSH (m)	
	Max	Min
TR=50 years	0.652	-0.476
TR=100 years	0.694	-0.507



Bibliografia

- Artegiani, A., Paschini, E., Russo, A., Bregant, D., Raicich, F., Pinardi, N., 1997. The Adriatic Sea General Circulation. Part I: Air–Sea Interactions and Water Mass Structure. *Journal of Physical Oceanography* 27, 1492–1514. /A2/
- Artegiani, A., Paschini, E., Russo, A., Bregant, D., Raicich, F., Pinardi, N., 1997. The Adriatic Sea General Circulation. Part II: Baroclinic Circulation Structure. *J. Phys. Oceanogr.* 27, 1515–1532.
- Benetazzo, A., Fedele, F., Carniel, S., Ricchi, A., Bucchignani, E., Sclavo, M., 2012. Wave climate of the Adriatic Sea: a future scenario simulation. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 12, 2065–2076.
- Benetazzo, A., Francesco, B., Paolo, P., Staneva, J., Behrens, A., Davison, S., Bergamasco, F., Sclavo, M., and Cavaleri, L.: Towards a unified framework for extreme sea waves from spectral models: rationale and applications, *Ocean Eng.*, 219, 108263, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108263>, 2021.
- Caloiero, T., Aristodemo, F., 2021. Trend Detection of Wave Parameters along the Italian Seas. *Water* 13, 1634.
- Dean, R. G., and R. A. Dalrymple, 1991, “Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists”, World Scientific Publishing Co., Singapore.
- Dee DP, Uppala SM, Simmons AJ, Berrisford P, Poli P, Kobayashi S, Andrae U, Balmaseda MA, Balsamo G, Bauer P, Bechtold P, Beljaars ACM, van de Berg L, Bidlot J, Bormann N, Delsol C, Dragani R, Fuentes M, Geer AJ, Haimberger L, Healy SB, Hersbach H, Hólm EV, Isaksen I, Kållberg P, Köhler M, Matricardi M, McNally AP, Monge-Sanz BM, Morcrette J-J, Park B-K, Peubey C, de Rosnay P, Tavolato C, Thépaut J-N, Vitart F. 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 137: 553–597. DOI:10.1002/qj.828
- Denamiel, C., Pranić, P., Quentin, F., Mihanović, H., Vilibić, I., 2020. Pseudo-global warming projections of extreme wave storms in complex coastal regions: the case of the Adriatic Sea. *Clim. Dyn.* 55, 2483–2509.
- DNV 2017. On-bottom stability design of submarine pipelines. RECOMMENDED PRACTICE DNVGL-RP-F109 Edition May 2017.
- DNV, 2010, “Environmental Conditions and Environmental Loads”, DNV-RP-C205.
- Dobricic S., N. Pinardi, M. Adani, M. Tonani, C. Fratianni, et al.. Daily oceanographic analyses by the Mediterranean basin scale assimilation system. *Ocean Science Discussions*, European Geosciences Union, 2006, 3 (6), pp.1977-1998.
- Drévillon M., R Bourdallé-Badie, C Derval, J M Lellouche, E Rémy, B Tranchant, M Benkiran, E Greiner, S Guinehut, N Verbrugge, G Garric, C E Testut, M Laborie, L Nouel, P Bahurel, C Bricaud, L Crosnier, E Dombrowsky, E Durand, N Ferry, F Hernandez, O Le Galloudec, F Messal & L Parent The GODAE/Mercator-Ocean global ocean forecasting system: results, applications and prospects. 2008. *Journal of Operational Oceanography*. Vol. 1(1), 2008. Pp 51-57.



Egbert, G. D., A. F. Bennett and M. G. G. Foreman, 1994, "TOPEX/POSEIDON tides estimated using a Global Inverse Model", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 99(C12), pp. 24821–24852.

Egbert, G. D., and S. Y. Erofeeva, 2002, "Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides", *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 19, pp. 183–204.

Eisma, D., and A. J. Van Bennekon, 1978, "Zaire River and Estuary and the Zaire Outflow in the Atlantic Ocean", *Journal of Sea Research*, Vol. 12(3-4), pp. 255-272.

Elfrink, B., D. M. Hanes and B. G. Ruessink, 2006, "Parameterization and Simulation of near Bed Orbital Velocities under Irregular Waves in Shallow Water", *Coastal Engineering* 53, pp. 915-927.

El-Geziry T M & I G Bryden (2010) The circulation pattern in the Mediterranean Sea: issues for modeller consideration, *Journal of Operational Oceanography*, 3:2, 39-46, DOI:10.1080/1755876X.2010.11020116.

Hasselmann K., D.B. Ross, P. Muller, W. Sell. A parametric wave prediction model *J. phys. Oceanogr.*, 6 (1976), pp. 200-228.

<https://catalogue.marine.copernicus.eu/documents/QUID/CMEMS-MED-QUID-006-017.pdf>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2013, "Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA,

International Standard ISO 19901-1:2005(E), 2005, "Petroleum and Natural Gas Industries – Specific Requirements for Offshore Structures – Part 1: Metocean Design and Operating Considerations" November.

IPCC (Ed.), 2000. Emissions scenarios: summary for policymakers; a special report of IPCC Working Group III Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC special report. Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC (Ed.), 2014. 5th Assessment Report. Technical Summary, IPCC Special Report. Intergovernmental Panel on Climate Change. /A23/

Janeković, I., and M. Kuzmić, 2005. Numerical simulation of the Adriatic Sea principal tidal constituents, *Annales Geophysicae*, 23, 3207–3218, 2005.

Kamphuis J. W. 2000. Introduction to coastal engineering and management. Advanced series in Ocean Engineering. World Scientific. Vol. 16. pp 437.

Katalinić, M., Parunov, J., 2021. Comprehensive Wind and Wave Statistics and Extreme Values for Design and Analysis of Marine Structures in the Adriatic Sea. *J. Mar. Sci. Eng.* 9, 522.

Korres, G., Ravdas, M., & Zacharioudaki, A., 2019). Mediterranean Sea Waves Hindcast (CMEMS MED-Waves) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_HINDCAST_WAV_006_012.



Madec, G., P. Delecluse, M. Imbard, and C. Levy, 1998: Opa 8 ocean general circulation model -Reference manual. Tech. rep., LODYC/IPSL Note 11.

Mediterranean Production Centre MEDSEA_ANALYSISFORECAST_WAV_006_017. 2022.

Millot C and Taupier-Letage I. 2005. Circulation in the Mediterranean Sea. The Mediterranean Sea in Handbook of Environmental Chemistry, Springer Berlin, ISBN: 978-3-540-25018-0, Vol 5k: 29–66.

Mosetti, R., Mosetti, F., Purga, N. 1983. On some short period tides in the seas around Italy. Bollettino di Oceanologia Toerica ed Applicata, 1, 49-65.

Oddo P., M. Adani, N. Pinardi, C. Fratianni, M. Tonani and D. Pettenuzzo. 2009. A nested Atlantic-Mediterranean Sea general circulation model for operational forecasting. Ocean Sci., 5, 461–473, 2009.

Pierson W. J. and L. Moskowitz, 1964: A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of A. A. Kitaigorodskii. J. Geophys. Res., 69, 5181–5190.

Pinardi, Nadia, Marco Zavatarelli, Mario Adani, Giovanni Coppini, Claudia Fratianni, Paolo Oddo, Simona Simoncelli, Marina Tonani, Vladislav Lyubartsev, Srdjan Dobricic, Antonio Bonaduce, Mediterranean Sea large-scale low-frequency ocean variability and water mass formation rates from 1987 to 2007: A retrospective analysis, Progress in Oceanography, Volume 132, 2015, Pages 318-332, ISSN 0079-6611, <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2013.11.003>.

Simoncelli, S., Fratianni, C., Pinardi, N., Grandi, A., Drudi, M., Oddo, P., & Dobricic, S. (2019). Mediterranean Sea Physical Reanalysis (CMEMS MED-Physics) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). https://doi.org/10.25423/MEDSEA_REANALYSIS_PHYS_006_004.

Tonani, M., N. Pinardi, S. Dobricic, I. Pujol, and C. Fratianni, 2008: A high-resolution free-surface model of the Mediterranean sea. Ocean Sc., 4, 1–14.

Torsethaugen K., 1996. Model for doubly peaked wave spectra Tech. Rep. No. STF22A96204, Civ. Env. Eng, Trondheim, Norway

Umesh Pranavam Ayyappan Pillai, Nadia Pinardi, Ivan Federico, Salvatore Causio, Francesco Trotta, Silvia Unguendoli, and Andrea Valentini. Wind-Wave Characteristics and extremes along the Emilia-Romagna coast. NHES. <https://doi.org/10.5194/nhess-2022-103>

Wang P. A. and Hwang D. W., 2001 Directional Distributions and Mean Square Slopes in the Equilibrium and Saturation Ranges of the Wave Spectrum. Journal of Physical Oceanography. Vol. 31 pp. 1346-1360.