



Kailia Energia S.r.l.

Progetto preliminare per la realizzazione di un parco eolico offshore - Brindisi - Kailia Energia

Relazione Meteomarina

Doc. No. P0025305-1-BRD-H13 - Rev. 01 – Settembre 2021

Rev.	Descrizione	Preparato da	Controllato da	Approvato da	Data
01	Seconda Emissione	Cecilia Evangelista	Eleonora Duchini	Omar Zanolì S.Sadowski/R.Zacone	22/09/2021
00	Prima Emissione	Cecilia Evangelista	Eleonora Duchini	Omar Zanolì S.Sadowski/R.Zacone	30/07/2021

Tutti i diritti, traduzione inclusa, sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere divulgata a terzi, per scopi diversi da quelli originali, senza il permesso scritto di RINA Consulting S.p.A.

INDICE

	Page
INDICE DELLE TABELLE	2
INDICE DELLE FIGURE	3
ABBREVIAZIONE E ACRONIMI	4
1 INTRODUZIONE	5
2 SCOPO DEL DOCUMENTO	6
3 AREA DI STUDIO	7
3.1 CARATTERISTICHE CLIMATICHE GENERALI	7
3.2 LA CIRCOLAZIONE GENERALE DEL MEDITERRANEO	11
3.2.1 Circolazione dell'Adriatico	13
4 DATI DISPONIBILI	15
4.1 DATI DI VENTO E ONDA	15
4.1.1 Dati NOAA	15
4.1.2 Dati ERA5	15
4.2 VALIDAZIONE DEI DATI DI ONDA	16
4.3 DATI DI MAREA	18
4.4 DATI DI CORRENTE	19
4.5 BATIMETRIA	19
5 CRITERI METODOLOGICI	21
5.1 CRITERI GENERALI	21
5.2 STIMA DEI VALORI ESTREMI	21
5.3 VENTO	22
5.3.1 Profilo della Velocità del Vento	22
5.3.2 Durata del vento	23
5.4 MOTO ONDOSO	23
5.4.1 Relazioni fra le Grandezze Caratteristiche del Moto Ondoso	23
5.5 LIVELLO MARINO	24
5.6 CORRENTI	24
5.6.1 Profilo Verticale di Corrente	25
6 REGIME ANEMOLOGICO	26
6.1 CONDIZIONI TIPICHE	26
6.2 CONDIZIONI ESTREME	29
7 CARATTERIZZAZIONE DEL MOTO ONDOSO	30
7.1 RELAZIONE HS – TP	30
7.2 CONDIZIONI TIPICHE	31
7.3 CONDIZIONI ESTREME	35
8 VARIAZIONI DEL LIVELLO MARINO	36
8.1 OSCILLAZIONI DOVUTE ALLA MAREA	36
9 CORRENTI	37
9.1 CONDIZIONI TIPICHE	37
9.2 CONDIZIONI ESTREME	38
10 CONCLUSIONI	40
BIBLIOGRAFIA	41
APPENDICE A: REGIME ANEMOLOGICO MENSILE	

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 6.1:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - NOAA	27
Tabella 6.2:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – ERA5	28
Tabella 6.3:	Valori Estremi Omnidirezionali della Velocità del Vento (m/s) a 10 m di Quota sul Livello Medio del Mare per Periodi di Ritorno di 1, 10, 50 e 100 Anni - NOAA	29
Tabella 7.1:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento dell’Altezza d’Onda Significativa vs Direzione di Provenienza - NOAA	32
Tabella 7.2:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento dell’Altezza d’Onda Significativa vs Periodo di Picco – NOAA	32
Tabella 7.3:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento dell’Altezza d’Onda Significativa vs Direzione di Provenienza – ERA5	33
Tabella 7.4:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento dell’Altezza d’Onda Significativa vs Periodo di Picco – ERA5	34
Tabella 7.5:	Valori Estremi Omnidirezionali di Altezza d’Onda Significativa (m) e Associato periodo di Picco (s) per Periodi di Ritorno di 1, 10, 50 e 100 Anni - NOAA	35
Tabella 9.1:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente Superficiale vs Direzione di Propagazione	37
Tabella 9.2:	Valori Estremi Omnidirezionali della Velocità del Vento (m/s) per Periodi di Ritorno di 1, 10, 50 e 100 Anni	38

INDICE DELLE FIGURE

Figura 3.1:	Localizzazione del Sito di Progetto	7
Figura 3.2:	Andamento Annuale e Mensile delle Precipitazioni per il Sito di Brindisi	8
Figura 3.3:	Andamento mensile della Temperatura	9
Figura 3.4:	Andamento Mensile della Temperatura dell'Acqua	10
Figura 3.5:	Venti Caratteristici del Mediterraneo	11
Figura 3.6:	Schema di Circolazione delle Acque Modificate dell'Atlantico (MAW)	12
Figura 3.7:	Schema di Circolazione delle Acque Levantine Intermedie (LIW)	12
Figura 3.8:	Schema di Circolazione delle Acque Profonde (MWD)	13
Figura 3.9:	Schema di Circolazione Generale dell'Adriatico	14
Figura 3.10:	Andamento della Velocità della Corrente Indotto dalla Marea in Fase di Neap (A) e Spring (B)	14
Figura 4.1:	Punti di Estrazione delle Serie Temporalì NOAA ed ERA5 di Vento e Onde	16
Figura 4.2:	Q-Q Plot relativo alla Serie NOAA non Calibrata (In Alto) e a quella a Valle della Calibrazione effettuata con Dati Satellitari (In Basso)	17
Figura 4.3:	Q-Q Plot relativo alla Serie ERA5 non Calibrata (In Alto) e a quella a Valle della Calibrazione effettuata con Dati Satellitari (In Basso)	18
Figura 4.4:	Punto di Estrazione della Serie Temporale HYCOM	19
Figura 4.5:	Batimetria dell'Area di Studio – Navionics	20
Figura 4.6:	Confronto Tra Le Fonti di Dati Batimetrici: Navionics – ETOPO (in blu)	20
Figura 6.1:	Rosa Annuale del Vento – NOAA	27
Figura 6.2:	Rosa Annuale del Vento – ERA5	28
Figura 6.3:	Fitting dei Dati di Vento con Distribuzione Biparametrica di Weibull	29
Figura 7.1:	Scatter Plot Altezza d'Onda Significativa – Periodo di Picco Post Validazione - NOAA	30
Figura 7.2:	Scatter Plot Altezza d'Onda Significativa – Periodo di Picco Post Validazione – ERA5	31
Figura 7.3:	Rosa Annuale delle Onde - NOAA	33
Figura 7.4:	Rosa Annuale delle Onde – ERA5	34
Figura 7.5:	Fitting dei Dati di Onda con Distribuzione Biparametrica di Weibull	35
Figura 8.1:	Oscillazione del Livello Dovuta alla Marea – Anno 2020	36
Figura 8.2:	Oscillazione del Livello Dovuta alla Marea – Gennaio 2020	36
Figura 9.1:	Rosa Annuale della Corrente	38
Figura 9.2:	Fitting dei Dati di Corrente con Distribuzione Biparametrica di Weibull	39

ABBREVIAZIONE E ACRONIMI

COMPANY	Kailia Energia S.r.l.
CONTRACTOR	RINA Consulting Spa.

NOAA	National Oceanic Atmospheric Administration
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
W	Velocità del Vento a 10 m di Quota dal Livello del Mare del
DW	Direzione di Provenienza del Vento a 10 m di Quota dal Livello del Mare
Hs	Altezza d'Onda Significativa
Tp	Periodo di Picco
Dp	Direzione Media al Picco
HYCOM	Hybrid Coordinate Ocean Model

1 INTRODUZIONE

La presente relazione è stata commissionata da Kailia Energia S.r.l. (la Committente), operatore internazionale nel campo delle energie rinnovabili, attivo nello sviluppo, nella progettazione, realizzazione e gestione di impianti di produzione di energia pulita.

La Committente è intenzionata a realizzare un parco eolico offshore composto da 98 aerogeneratori, per una taglia totale di 1176 MW, di fronte alla costa nord-orientale della Regione Puglia, in particolare nello specchio di mare antistante la città di Brindisi.

Questo sito è stato individuato basandosi su uno studio di prefattibilità eseguito da SENER Ingenieria y Sistemas S.A. sotto incarico della Committente.

Nel dettaglio la scelta di tale sito è stata effettuata tenendo conto della risorsa eolica potenzialmente disponibile, della distanza dalla costa, dei possibili nodi di connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) gestita da Terna S.p.A. e, non da ultimo, minimizzando/evitando il più possibile le aree di maggior interferenza a livello ambientale.

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Lo scopo del presente documento consiste nella caratterizzazione meteomarina del sito scelto al largo di Brindisi. Lo studio condotto pertanto ha portato alla definizione di:

- ✓ Regime anemologico;
- ✓ regime del moto ondoso;
- ✓ regime di corrente superficiale;
- ✓ Variazioni di livello dovute alla marea.

Al fine di caratterizzare il clima tipico annuale ed i valori estremi di onde e vento, sono stati analizzate le serie temporali estratte dai database del NOAA ed ECMWF ERA5, per diversi punti disponibili al largo della città di Brindisi, rappresentativi del sito in esame.

Per la definizione dell'oscillazione di livello dovuta alla marea è stata considerata la serie temporale relativa all'anno 2020, estratta dalla Dashboard di Delft 3D, basato sul database TPXO (par. 4.3) [6].

Per quanto riguarda il regime di corrente superficiale, sono stati utilizzati 11 anni di dati giornalieri estratti dal database HYCOM da cui sono stati ricavati clima tipico ed estremi omnidirezionali della velocità di corrente.

Riassumendo, il documento riporta i seguenti risultati:

- ✓ Caratterizzazione del regime annuale, mensile e valori estremi omnidirezionali del vento;
- ✓ Caratterizzazione del regime annuale delle onde e valori estremi omnidirezionali;
- ✓ Caratterizzazione del regime annuale della corrente superficiale e valori estremi omnidirezionali;
- ✓ Oscillazione di livello dovuta alla marea.

3 AREA DI STUDIO

L'area di interesse per il parco eolico è situata al largo della città di Brindisi, estendendosi da circa 10 km a partire dalla costa fino a circa 23 km dal litorale. L'ingombro del campo eolico lungo l'asse nord ovest – sud est è di circa 20 km. La Figura 3.1 riporta lo schema dell'area di studio.



Figura 3.1: Localizzazione del Sito di Progetto

3.1 CARATTERISTICHE CLIMATICHE GENERALI

Il clima generale del sito è di tipo mediterraneo, caratterizzato da inverni miti e piovosi ed estati calde. In Figura 3.2 è riportato il tipico andamento mensile della temperatura a confronto con l'andamento della piovosità. Il mese più piovoso risulta essere novembre con una media di circa 92 mm, mentre il più aridi sono i mesi estivi di luglio e agosto, durante i quali la media si abbassa a circa 15 mm. La temperatura, come si vede anche in Figura 3.3, raggiunge il picco durante i mesi di luglio e agosto, tocca invece i valori minimi nel periodo gennaio-febbraio. La temperatura media si mantiene nel range 9-27°C nell'arco dell'anno. La Figura 3.4 rappresenta l'andamento della temperatura dell'acqua; la temperatura media annuale è di circa 19°C, la temperatura minima di circa 13.6°C viene raggiunta in febbraio, mentre la massima in (26.4°C) in agosto [1].

Per quanto riguarda invece l'esposizione del paraggio, come si vede dalla Figura 3.5, la zona in esame è frequentemente soggetta al vento di Scirocco.

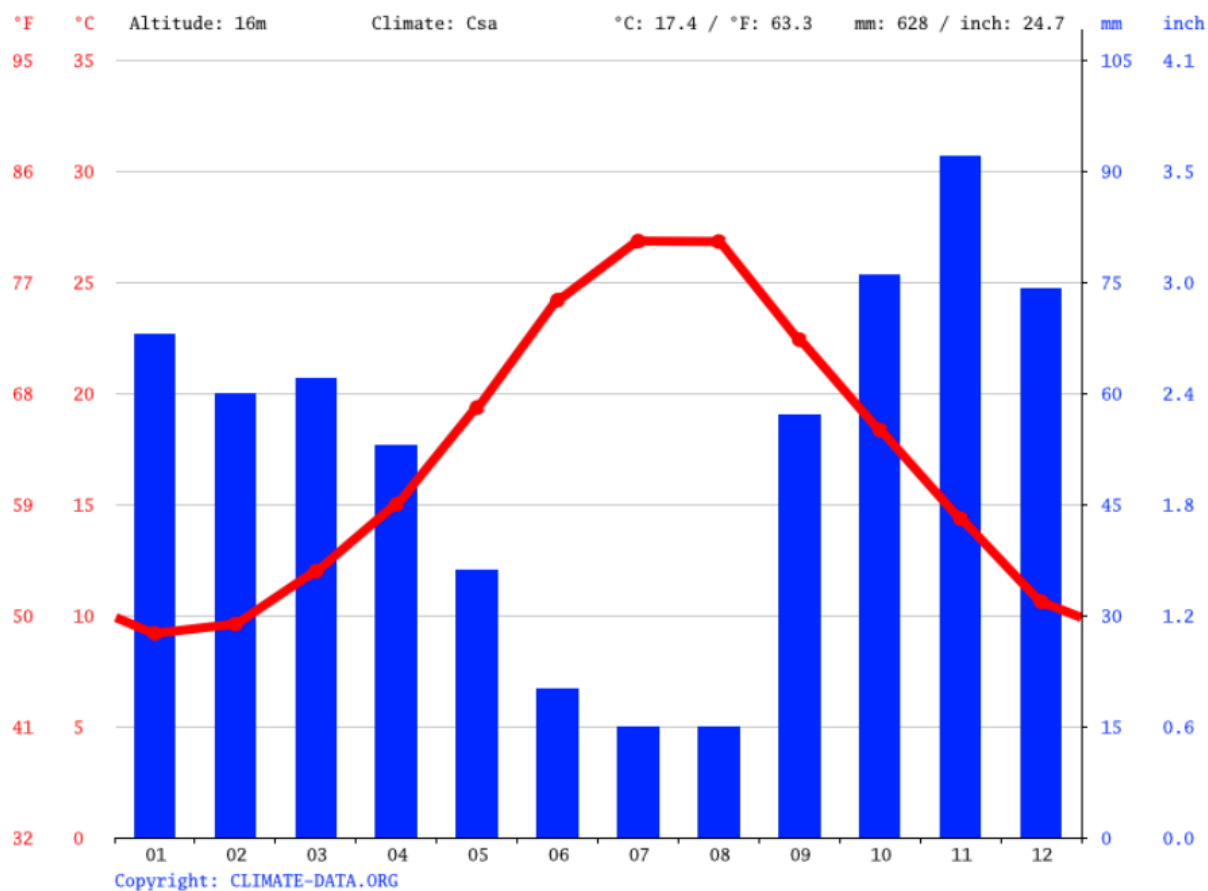
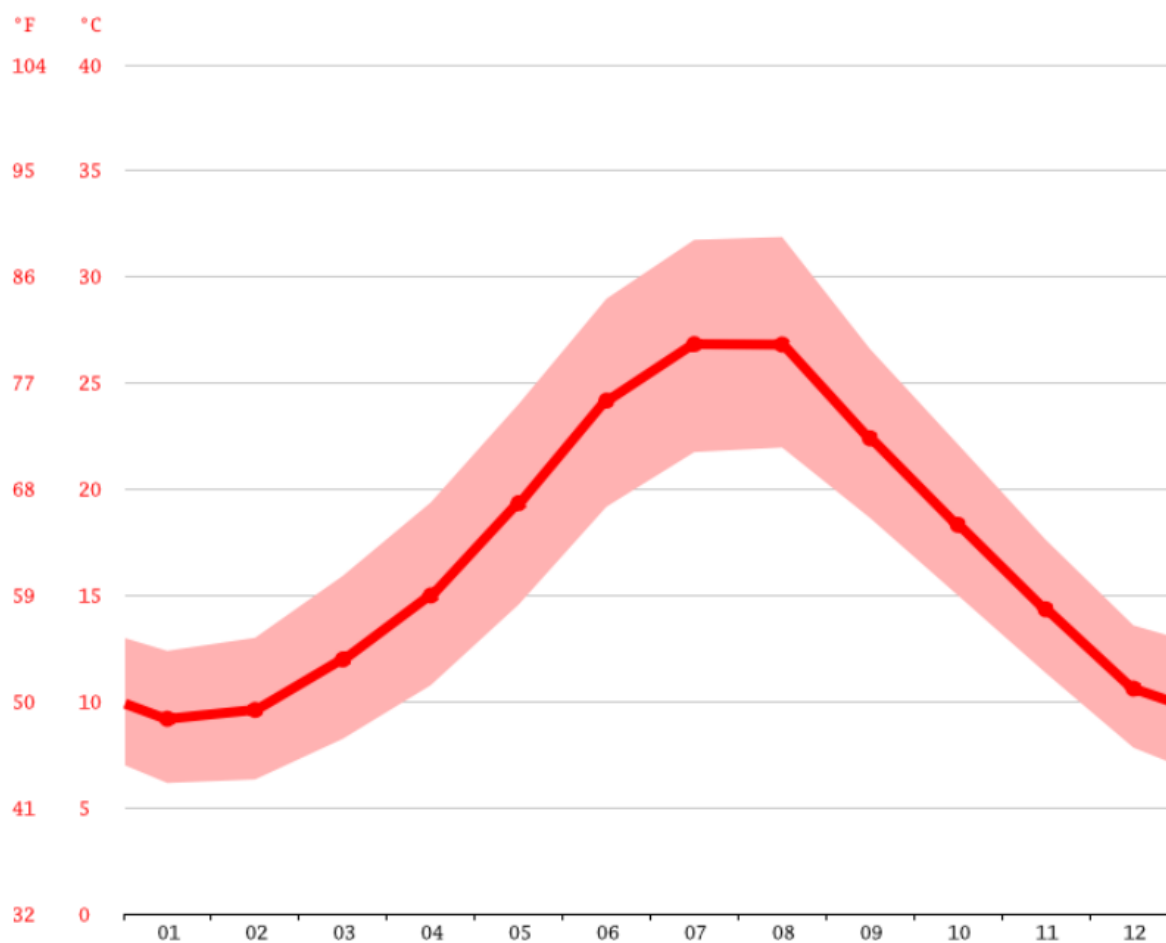


Figura 3.2: Andamento Annuale e Mensile delle Precipitazioni per il Sito di Brindisi



	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Medie Temperatura (°C)	9.2	9.6	12	15	19.3	24.2	26.8	26.8	22.4	18.3	14.3	10.6
Temperatura minima (°C)	6.2	6.3	8.2	10.8	14.6	19.2	21.8	22	18.7	15	11.3	7.8
Temperatura massima (°C)	12.4	13	15.9	19.4	24	29	31.8	31.9	26.6	22.1	17.6	13.6
Precipitazioni (mm)	68	60	62	53	36	20	15	15	57	76	92	74
Umidità(%)	76%	73%	72%	69%	64%	57%	54%	57%	67%	76%	77%	77%
Giorni di pioggia (g.)	7	7	6	6	4	3	2	2	5	6	7	8

Figura 3.3: Andamento mensile della Temperatura

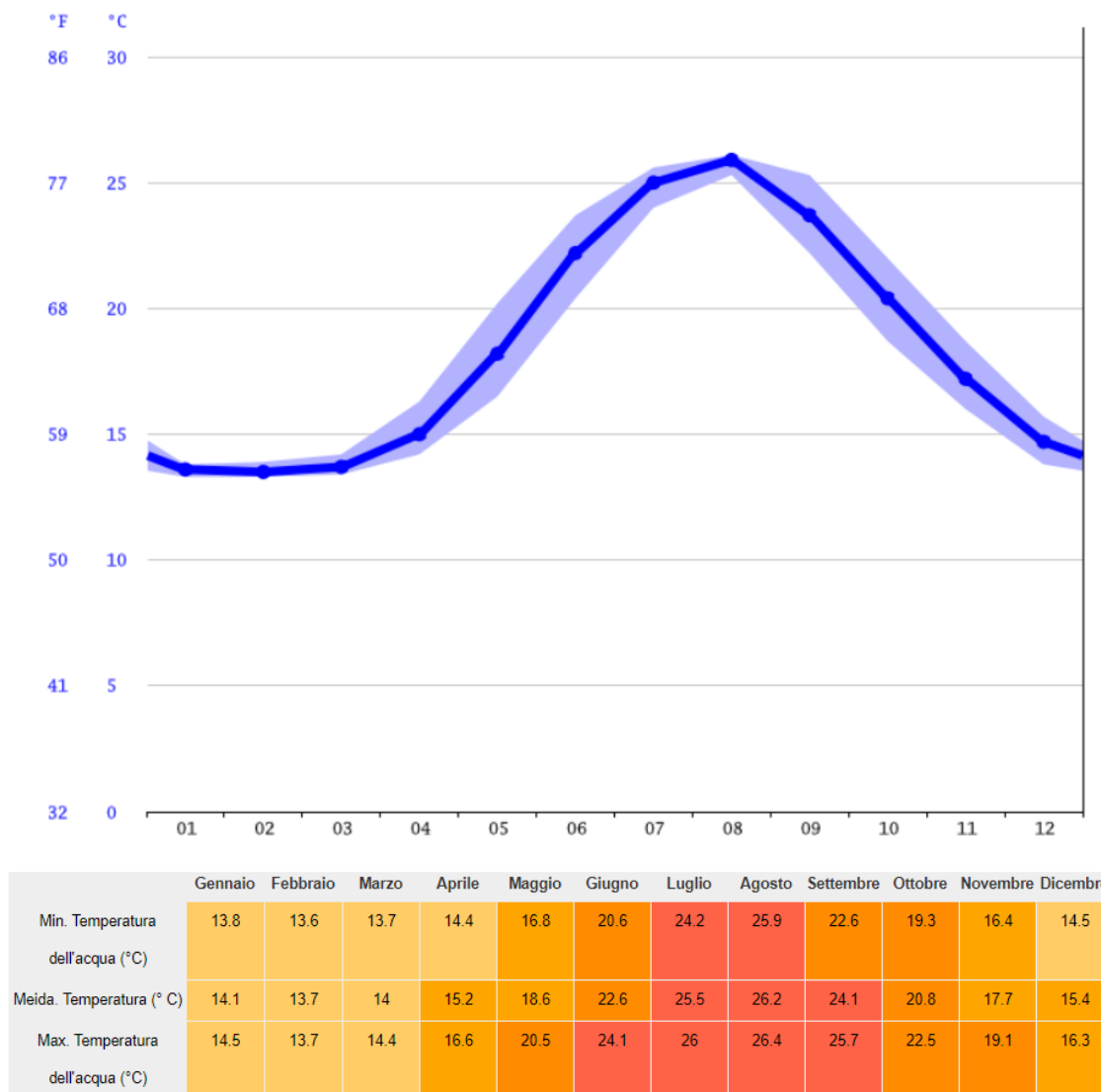


Figura 3.4: Andamento Mensile della Temperatura dell'Acqua

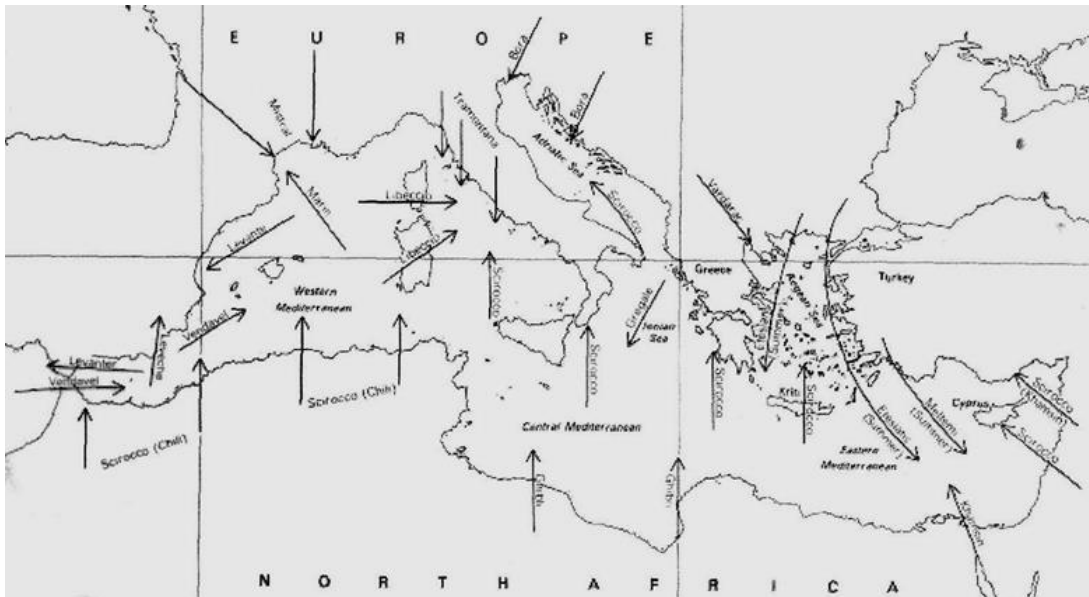


Figura 3.5: Venti Caratteristici del Mediterraneo

3.2 LA CIRCOLAZIONE GENERALE DEL MEDITERRANEO

Il Mar Mediterraneo ha l'importante funzione di trasformare le acque atlantiche entranti dallo Stretto di Gibilterra, lungo il loro percorso nel bacino, attraverso un aumento progressivo della loro densità [14]. Le acque atlantiche entranti sono fondamentali per la circolazione del bacino; infatti, dal momento che l'ammontare di acqua che evapora è superiore alla quantità di acqua che il Mediterraneo riceve sotto forma di precipitazione e ruscellamento, se non fosse per le acque entranti il livello del mare si abbasserebbe in maniera significativa. Nonostante il loro contributo il Mediterraneo è definito come bacino di concentrazione. La circolazione è almeno parzialmente indotta dai gradienti di densità e di livello del mare tra il bacino e l'oceano Atlantico, e dalla trasformazione delle masse d'acqua che comporta una forte componente termalina.

Dal punto di vista della circolazione delle correnti il Mar Mediterraneo può essere diviso in due sottobacini: Mediterraneo Occidentale e Mediterraneo Orientale, rispettivamente ad ovest e ad est dello Stretto di Sicilia. Quest'ultimo è caratterizzato da una profondità massima di 500 m, pertanto rappresenta una barriera per le acque profonde che quindi nascono e si muovono sempre nello stesso sottobacino.

Possono essere individuate, sulla base della temperatura, della salinità e della densità, tre distinte masse d'acqua nel Mediterraneo [15]:

- ✓ le Acque Modificate dell'Atlantico (MAW) Figura 3.6;
- ✓ le Acque Levantine Intermedie (LIW) Figura 3.7
- ✓ le Acque Mediterranee Profonde (MDW) Figura 3.8.

La circolazione superficiale è dovuta alle acque atlantiche (MAW) entranti da Gibilterra la cui densità diminuisce a causa del mescolamento con le acque del bacino. A partire dal Mare di Alboran il flusso si divide in due rami, uno passa nel Canale di Sardegna, mentre l'altro si muove lungo le coste del Nord Africa. Del secondo ramo, una gran parte si concentra nel Mar Ionio, la restante parte prosegue al sottobacino di Levante.

Le Acque Intermedie Levantine (LIW) si generano nascono nella parte orientale del bacino Levantino, principalmente nei pressi delle isole di Rodi e Creta, durante i processi convettivi della stagione invernale. Queste acque si muovono verso ovest costeggiando la Sicilia meridionale, circolando nel Mar Tirreno a profondità nel range di 200-600 m, per poi oltrepassare lo Stretto di Gibilterra.

Le acque profonde (MDW) circolano sempre all'interno del loro bacino di appartenenza poiché si muovono al di sotto del minimo livello dello Stretto di Gibilterra e dello Stretto di Sicilia. Le sorgenti delle acque profonde sono il Mar Adriatico ed il Mar Egeo per il sottobacino orientale, mentre il Golfo dei Leoni per quello occidentale. Le acque

profonde occidentali circolano a profondità di circa 1900-2000 m, mentre quelle orientali si muovono a circa 4000-5000 m.

Tutte le correnti finora citate circolano a diverse profondità e sono soggette a scambi di massa verticali con le masse d'acqua ubicate negli strati inferiori e superiori.

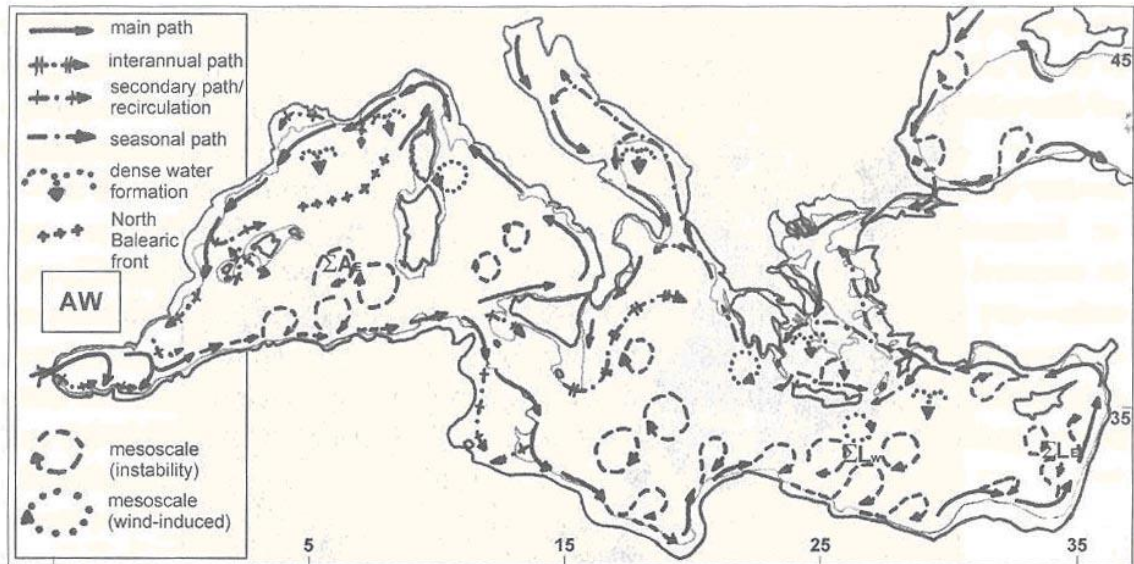


Figura 3.6: Schema di Circolazione delle Acque Modificate dell'Atlantico (MAW)

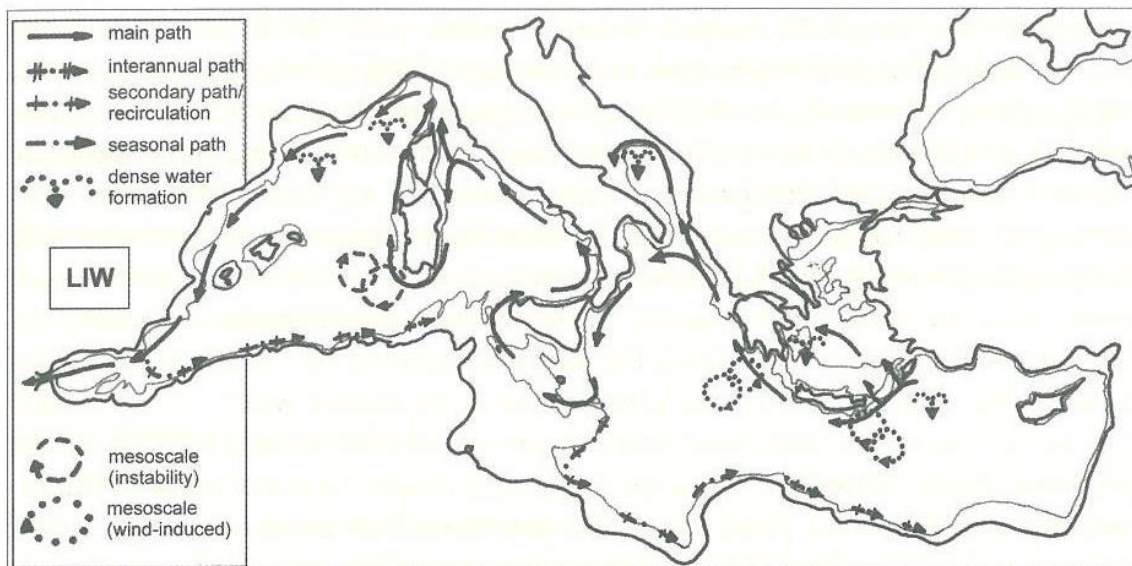


Figura 3.7: Schema di Circolazione delle Acque Levantine Intermedie (LIW)

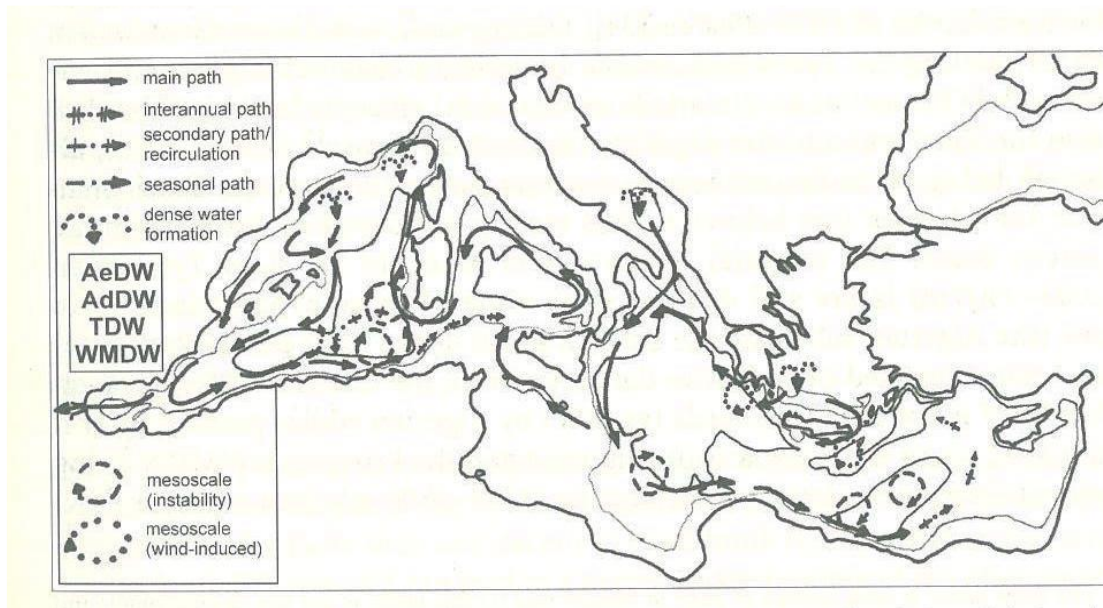


Figura 3.8: Schema di Circolazione delle Acque Profonde (MWD)

3.2.1 Circolazione dell'Adriatico

Il campo di corrente in Adriatico è principalmente dovuto alla combinazione della componente di marea, generata dall'oscillazione del livello marino dovuto alla marea astronomica, della componente di gradiente, dovuta allo spostamento di masse d'acqua di caratteristiche differenti, e dalla componente da vento, indotta dal passaggio di perturbazioni atmosferiche, cui fanno seguito oscillazioni smorzate del bacino, (sesse) fino a che la condizione di equilibrio viene raggiunta. D'importanza notevole sono anche le correnti inerziali.

Inoltre, si assiste a una variabilità stagionale per cui, a un sistema omogeneo (barotropico) presente nei mesi invernali, si passa ad un sistema stratificato (baroclinico) in estate, con caratteristiche del tutto differenti.

Per quanto riguarda gli spostamenti dovuti alle diverse caratteristiche delle masse d'acqua, la circolazione dell'Adriatico è dominata da un nucleo di acqua salata e densa che tende a risalire nell'Adriatico dallo Ionio attraverso il Canale d'Otranto. Il richiamo di quest'acqua è causato dalla presenza di acqua poco salata e poco densa nell'Alto Adriatico. Il movimento a grande scala delle masse d'acqua in Adriatico presenta due periodicità tipiche, una stagionale, dipendente dalle differenti condizioni climatiche, e una a lungo termine, dominata dall'influsso di acqua ionica in Adriatico. Tale processo è forzato da variazioni climatiche a grande scala.

Il dislivello generato dalle diverse condizioni di densità determina la circolazione fondamentale di questo mare, con il concorso anche della forza di Coriolis causata dalla rotazione terrestre.

A causa dei maggiori apporti di acqua dolce che si hanno nel bacino settentrionale, è sempre presente un pendio della superficie libera del mare principalmente in senso NO-SE. Altri pendii esistono tra le zone costiere, in cui le acque generalmente sono meno dense, e il largo.

Il senso principale della corrente è dunque in uscita per le acque superficiali cui necessariamente consegue, per l'equilibrio, l'entrata delle acque intermedie. L'azione della forza di Coriolis fa sì che le acque uscenti fluiscano lungo le coste italiane e le acque entranti lungo le coste orientali. Flusso e deflusso non sono ovviamente costanti nel tempo: le forti variazioni di densità tra estate e inverno causano variazioni anche vistose del regime delle correnti. Inoltre, gli apporti superficiali di acqua dolce sono tali da determinare acque costiere più sollevate di quelle a largo, tanto che vengono favorite circuitazioni (Figura 3.9) tra la corrente ascendente orientale e corrente discendente occidentale, rami che girano da Est a Ovest in corrispondenza del Po, del Conero e del Gargano [16].

Per quanto riguarda la componente di marea, un esempio della circolazione da essa indotta è mostrato nelle Figura 3.10 in cui il grafico in alto si riferisce al flusso di marea allo "spring", periodo in cui la corrente indotta dalla marea assume i valori più elevati, mentre quello in basso al "neap". Nelle figure il campo di corrente è rappresentato da frecce la cui lunghezza e il cui colore sono proporzionali alla velocità e la cui orientazione indica la direzione di propagazione. Si noti come le correnti siano decisamente più consistenti nell'Alto Adriatico, a nord del nodo

anfidromico esistente al largo di Ancona per le componenti semidiurne della marea, mentre assumono valori molto più ridotti nell'Adriatico centrale e meridionale.

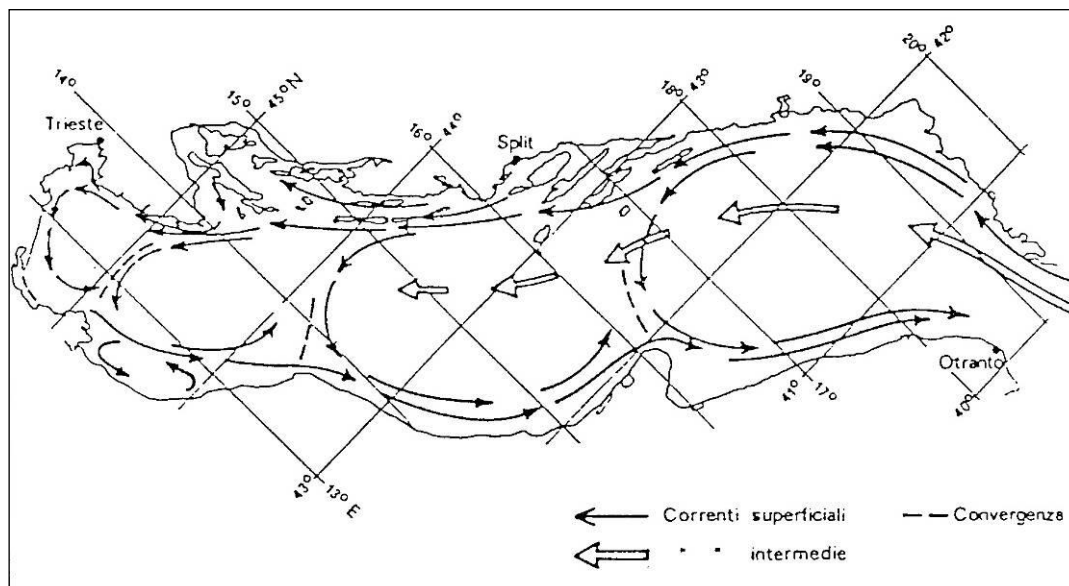


Figura 3.9: Schema di Circolazione Generale dell'Adriatico

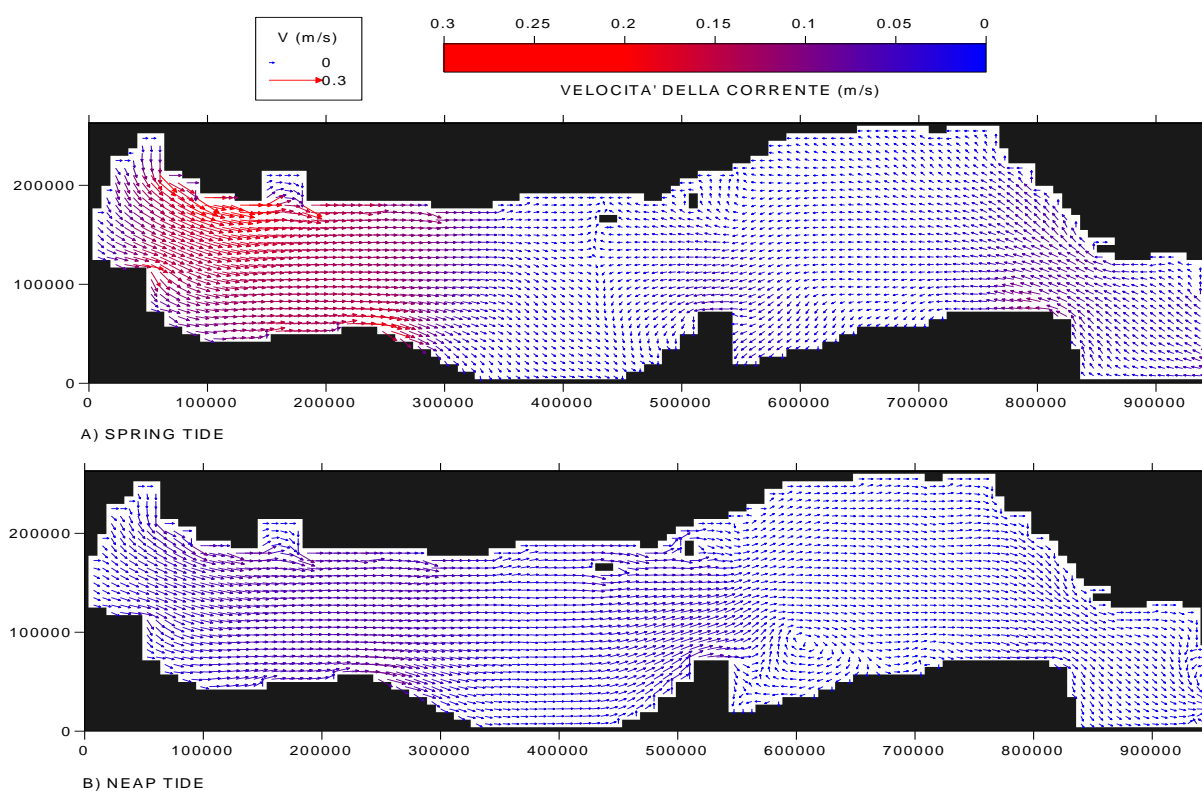


Figura 3.10: Andamento della Velocità della Corrente Indotto dalla Marea in Fase di Neap (A) e Spring (B)

4 DATI DISPONIBILI

4.1 DATI DI VENTO E ONDA

I dati di vento e onda utilizzati in questo studio sono stati estratti dai database NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) ed ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) ERA5.

4.1.1 Dati NOAA

La serie temporale, comprensiva di 30 anni di dati, è stata generata mediante il modello NOAA WAVEWATCH III® utilizzando il physics package di Arduin et al. [2], 15 griglie regolari di latitudine e longitudine, e il dataset omogeneo ad alta risoluzione di vento orario del the NCEP Climate Forecast System Reanalysis and Reforecast (CFSRR). Tali dati coprono il periodo gennaio 1979 – dicembre 2009. Il modello di onda consiste in grigliati globali e regionali innestati tra loro. Le griglie rettilinee sono state sviluppate usando ETOPO-1 bathymetry [3] insieme al Global Self-Consistent Hierarchical High-Resolution Shoreline (GSHHS) Database versione v1.10

NOAA WAVEWATCH III® è un modello di terza generazione validato a mezzo di osservazioni provenienti da boe oceaniche. La serie temporale in questione è relativa ai risultati del modello NOAA WAVEWATCH III® per la griglia del Mediterraneo. I dati sono caratterizzati da uno step orario di 3 ore e comprendono i seguenti parametri:

- ✓ W e DW rispettivamente intensità (m/s) e direzione di provenienza (°N) del vento a 10 m dal livello del mare;
- ✓ Hs altezza d'onda significativa (m);
- ✓ Tp periodo di picco (s);
- ✓ Dp direzione media al picco (°N).

I parametri spettrali delle onde e i dati di vento per il Mediterraneo sono disponibili con una discretizzazione spaziale di 1/6°, dal 01/01/1979 al 31/12/2009 (30 anni). I dati utilizzati si riferiscono al punto di coordinate 18.50° E, 40.66°N (Figura 4.1), situato a circa 32 km dalla costa.

4.1.2 Dati ERA5

I dati ERA5, rilasciati dal European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, provengono da una rianalisi del database globale di hindcast (onde e atmosfera), a partire da 1979 ad oggi.

I dati di onda sono simulati dal modello spettrale di terza generazione WAM che utilizza come input i campi di vento simulati dai modelli meteorologici globali. Le onde modellate sono validate mediante confronto con dati acquisiti dagli altimetri dei satelliti. Il grigliato globale utilizzato per le onde è caratterizzato da una risoluzione di 1/2°, mentre i parametri atmosferici hanno una risoluzione spaziale di 1/4°. Tutti i dati di hindcast vengono depurati dagli errori sistematici.

I dati sono caratterizzati da step orario e comprendono i seguenti parametri:

- ✓ u e v rispettivamente componente sud-nord e ovest-est del vento a 10 m dal livello del mare;
- ✓ Hs altezza d'onda significativa (m);
- ✓ Tp periodo di picco (s);
- ✓ Dm direzione media di provenienza (°N).

Considerando le diverse risoluzioni spaziali del dato, la vicinanza con il sito di progetto e la rappresentatività della posizione, sono stati scelti due distinti punti di estrazione delle serie temporali. I dati di vento, disponibili con una discretizzazione spaziale di 0.25°, sono stati estratti per il periodo 01/1979 – 12/2020 (42 anni) e per il punto di coordinate 18.50° E, 40.75°N, ubicato a circa 40 km dalla costa. I dati spettrali di onda considerati, caratterizzati da una risoluzione spaziale di 0.5°, si riferiscono al periodo 01/2001 – 12/2020 (20 anni) e al punto griglia 18.50° E, 40.50°N, situato a circa 21 km dalla costa (Figura 4.1).



Figura 4.1: Punti di Estrazione delle Serie Temporalì NOAA ed ERA5 di Vento e Onde

4.2 VALIDAZIONE DEI DATI DI ONDA

I dati satellitari (SWH) sono stati estratti dal server dell'Ifremer Cersat allo scopo di valutare i dati di onda considerati.

Le misure degli altimetri, provenienti dalle missioni ERS-1&2, TOPEX-Poseidon, GEOSAT Follow-ON (GFO), Jason-1, Jason-2, ENVISAT, Cryosat e SARAL, sono disponibili per un periodo di 26 anni.

Il confronto con boe [4][5] mostra che la stima dell'altimetro è, in generale, in accordo con le misure acquisite in sito, con deviazioni standard dell'ordine di 0.30 m, ma tende a sovrastimare leggermente le altezze significative più basse e a sovrastimare le più alte. Ai dati grezzi, pertanto, vengono applicate delle correzioni, generalmente lineari (tranne che per ENVISAT), regolarmente aggiornate utilizzando il metodo di confronto con le boe di Queffeuilou [5].

I dati satellitari mediati nel tempo e nello spazio sono stati confrontati con i dati NOAA ed ERA5 simultanei, a mezzo della tecnica del Q-Q plot.

I risultati per il caso studio sono riportati in Figura 4.2 e Figura 4.3 (in alto) rispettivamente per i dataset NOAA ed ERA5. Sebbene, per il sito in esame, risulti un maggiore accordo fra i dati satellitari e le onde estratte dal database NOAA, i Q-Q plot mostrano in generale una sottostima dell'altezza d'onda da parte del modello in entrambi i casi. Le serie di dati, pertanto, sono state corrette al fine di raggiungere una buona corrispondenza con le misure da altimetro. Le stesse Figura 4.2 e Figura 4.3 (in basso) mostrano il Q-Q plot a valle della validazione.

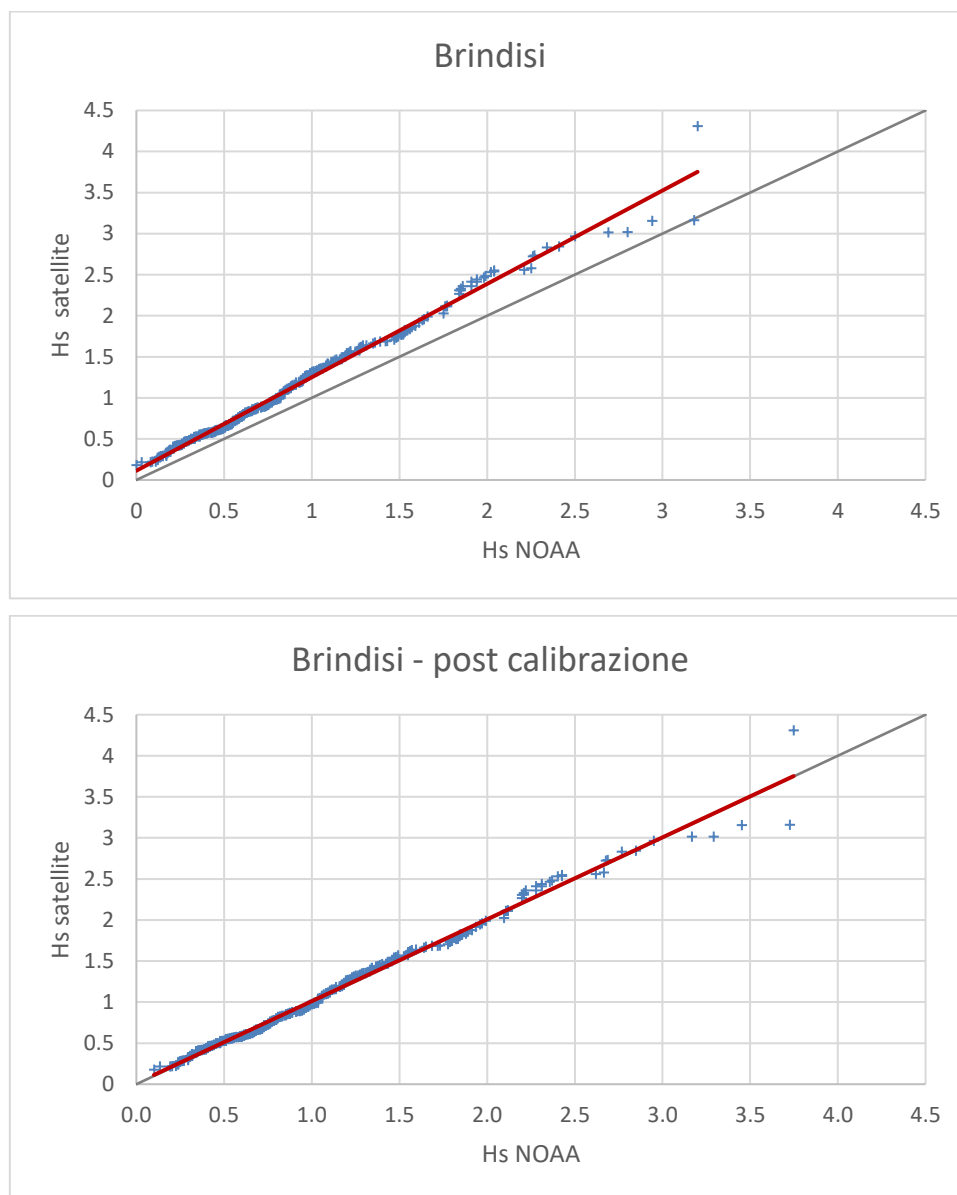


Figura 4.2: Q-Q Plot relativo alla Serie NOAA non Calibrata (In Alto) e a quella a Valle della Calibrazione effettuata con Dati Satellitari (In Basso)

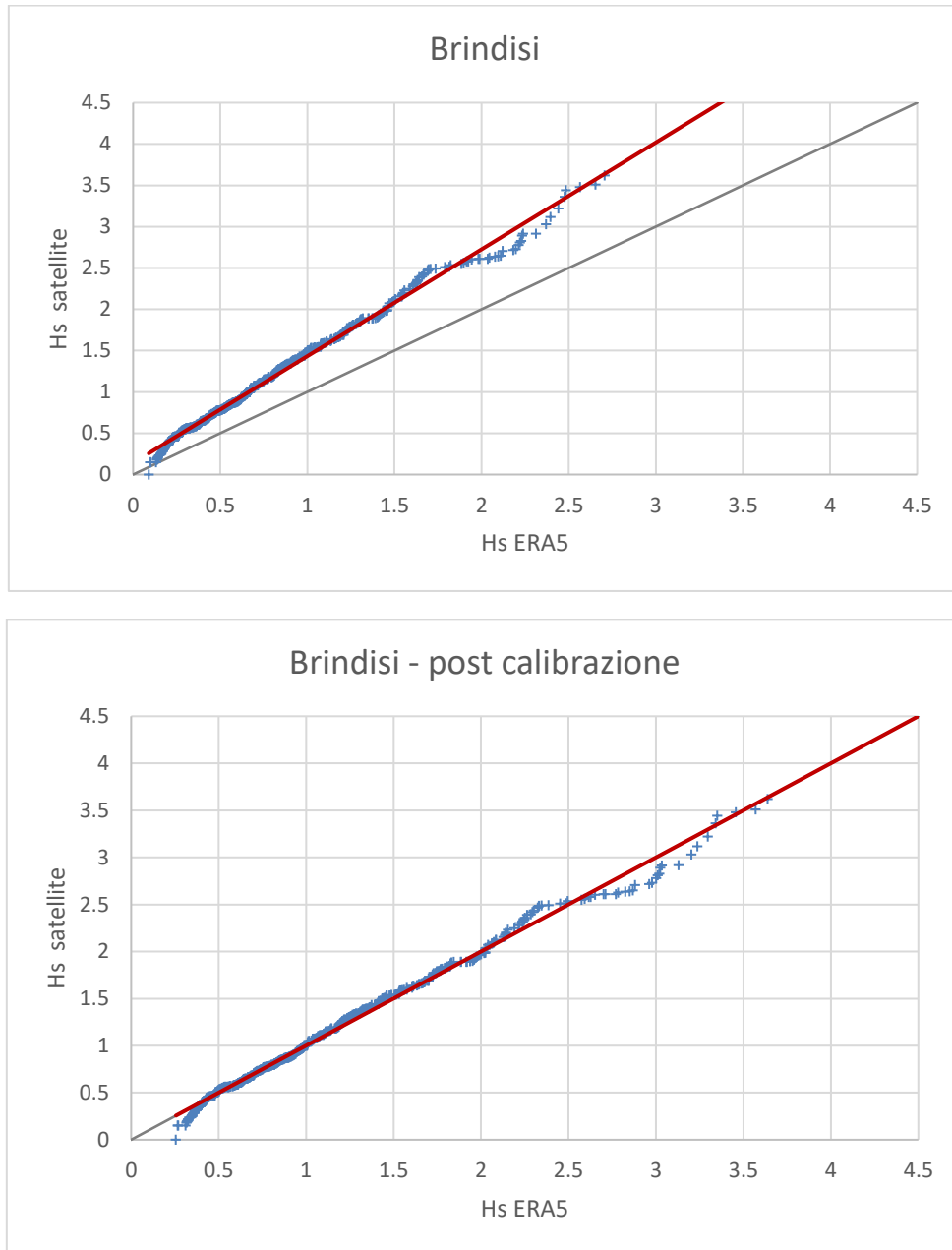


Figura 4.3: Q-Q Plot relativo alla Serie ERA5 non Calibrata (In Alto) e a quella a Valle della Calibrazione effettuata con Dati Satellitari (In Basso)

4.3 DATI DI MAREA

I dati utilizzati per la rappresentazione delle variazioni di livello dovute alla marea astronomica sono stati ottenuti dalla dashboard di Delft3D, che fornisce previsioni di marea per varie stazioni basandosi sul database TPXO. TPXO Global Tidal Models consiste in una serie di modelli globali di marea oceanica che approssimano al meglio (in termini di minimi quadrati) le equazioni di marea di Laplace e i dati da altimetria [6]. È stato estratto dal database l'intero anno 2020 caratterizzato da uno step orario pari a 0.5 ore, per il punto di coordinate 18.50°E, 40.66°N.

4.4 DATI DI CORRENTE

I dati di corrente sono stati estratti da un database globale di dati di hindcast, ottenuto mediante l'utilizzo del modello numerico HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model). Tale modello si basa sull'equazione primitiva della circolazione generale isopigna al largo, nell'oceano aperto e stratificato, ma via via che ci si avvicina alla costa passa progressivamente alle "terrain-following coordinates" e alle "z-level coordinates" nei mari stratificati. Tale modello, quindi, sfrutta il vantaggio delle coordinate isopigne nel mare aperto e stratificato e garantisce un'elevata risoluzione nelle zone costiere, fornendo una migliore rappresentazione della fisica che caratterizza la parte superficiale degli oceani.

Il database di hindcast fornisce i seguenti parametri a livello globale e a diverse profondità lungo la colonna d'acqua:

- ✓ Vx componente Ovest-Est della velocità di corrente;
- ✓ Vy componente Sud-Nord della velocità di corrente.

I dati sono disponibili su un grigliato globale caratterizzato da maglie di $1/12^\circ$, a partire dal gennaio 2002 fino al dicembre 2012, con frequenza giornaliera. Nel caso in esame i dati di corrente superficiale (6 m sotto il livello medio del mare), relativi al punto di coordinate latitudine: 40.64° , longitudine: 18.40° , sono disponibili per il periodo 01/2002 – 11/2011 (Figura 4.4).

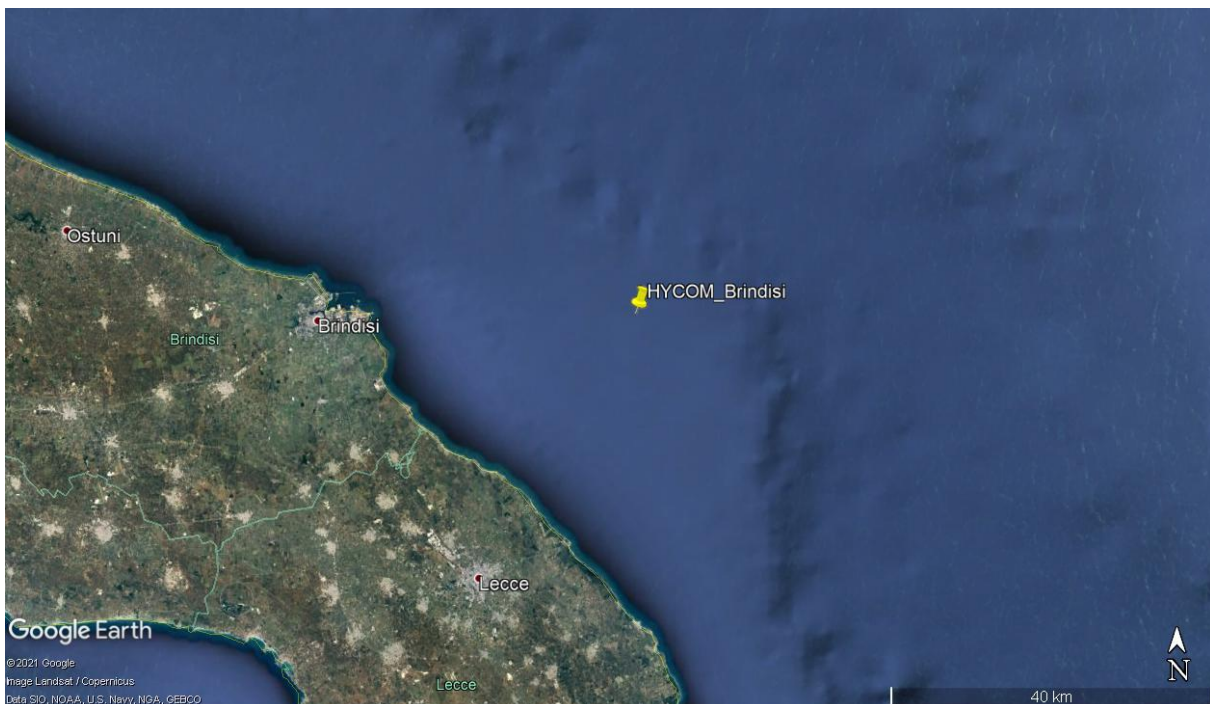


Figura 4.4: Punto di Estrazione della Serie Temporale HYCOM

4.5 BATIMETRIA

La batimetria per l'area in esame è stata ricavata dal ChartViewer della Navionics disponibile sul sito: <https://webapp.navionics.com/> (Figura 4.5). Considerando l'estensione del campo eolico previsto per il sito in esame, essa si estende a partire dalla costa fino a circa 25 km al largo e dal porto di Brindisi fino a circa 35 km a sud est. Tale batimetria è stata confrontata con quella estratta dal database ETOPO (rilasciato dal NOAA), mediante il tool "Extract xyz Grid – Topography or Gravity" disponibile sul sito https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi. Dalla sovrapposizione delle fonti, riportato in Figura 4.6, si è riscontrata una buona corrispondenza.

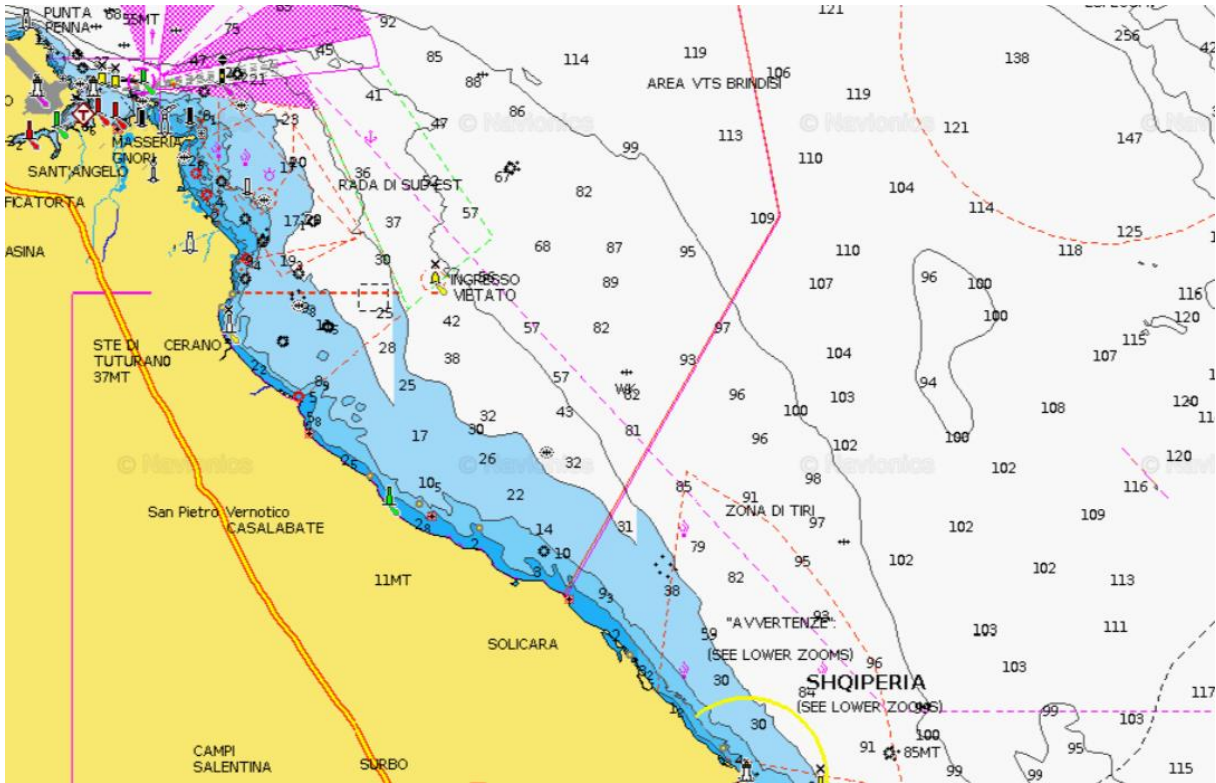


Figura 4.5: Batimetria dell'Area di Studio – Navionics

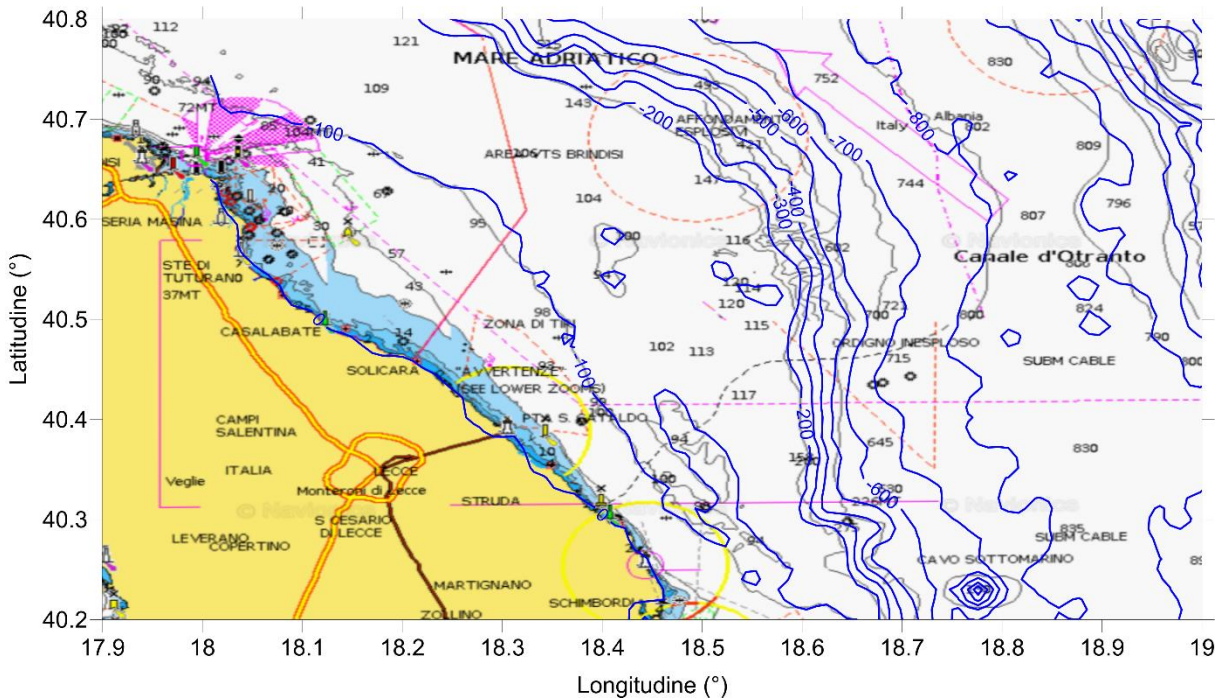


Figura 4.6: Confronto Tra Le Fonti di Dati Batimetrici: Navionics – ETOPO (in blu)

5 CRITERI METODOLOGICI

Nel seguito vengono presentati i principali criteri metodologici utilizzati.

5.1 CRITERI GENERALI

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

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

- ✓ raccolta dei dati storici relativi all'area di studio: con "dati storici" ci si riferisce generalmente a serie temporali di dati anemologici (intensità e direzione del vento), di moto ondoso (altezza, periodo e direzione delle onde), di livello marino e di corrente;
- ✓ analisi dei dati storici ed individuazione delle caratteristiche del clima del luogo e del regime idrodinamico;
- ✓ comprensione dei fenomeni fisici tipici dell'area;
- ✓ stima dei valori estremi nell'area di studio.

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

5.2 STIMA DEI VALORI ESTREMI

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

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

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

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

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

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

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

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

dove λ è il numero medio di eventi annui.

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

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

(Si indica con P^- la probabilità di non-superamento, con P^+ quella di superamento. È evidente che $P^- + P^+ = 1$). Con l'esclusione dei più bassi valori di T , la (5.2) è sostituibile con ottima precisione [7] con:

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

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

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

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

Nel caso attuale si è ritenuto utile fornire i valori estremi per i periodi di ritorno di 1, 10, 50 e 100 anni, tipicamente utilizzati nella progettazione di opere costiere e offshore.

5.3 VENTO

Nel seguito si riportano alcune considerazioni.

5.3.1 Profilo della Velocità del Vento

Secondo lo standard di riferimento ISO 19901-1 [8], il profilo della velocità media del vento $U_w(z)$ è descritto più accuratamente da un profilo logaritmico piuttosto che da una legge di potenza. In riferimento alla velocità del vento orario $U_{w,1h}(z)$, il profilo logaritmico che si raccomanda è il seguente:

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

dove

$U_{w,1h}(z)$	velocità del vento orario alla quota z al di sopra del livello del mare
U_{w0}	velocità del vento orario alla quota di riferimento z_r e velocità di riferimento
C	è un coefficiente dimensionale il cui valore è dipendente dalla quota di riferimento e dalla velocità del vento U_{w0} . Per $z_r = 10$ m: $C = (0.0573) (1 + 0.15 U_{w0})^{1/2}$ dove U_{w0} è espresso in metri al secondo (m/s)
z	quota sul livello del mare
z_r	quota di riferimento sul livello del mare ($z_r = 10$ m)

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

5.3.2 Durata del vento

Nel caso fossero necessarie durate diverse, le rispettive velocità possono venir calcolate mediante la nota formula [9]:

$$\frac{W_t}{W_{3600}} = 1.277 + 0.296 \tanh\left(0.9 \log_{10}\left(\frac{45}{t}\right)\right) \quad \text{per } 1 < t < 3600s \quad (5.5)$$

dove W_t è la velocità del vento di durata t e W_{3600} è la velocità di durata 1 ora.

5.4 MOTO ONDOSO

5.4.1 Relazioni fra le Grandezze Caratteristiche del Moto Ondoso

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

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

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

Per definire il periodo significativo da associare all'altezza d'onda significativa estrema occorre dunque effettuare un'analisi della probabilità congiunta altezza-periodo sulla base dei dati misurati, in quanto il periodo dell'onda non è una variabile indipendente ma, al contrario, è strettamente legato all'altezza d'onda.

Il problema, particolarmente attuale nell'ingegneria off-shore quando si stimano le onde di progetto, è stato a lungo studiato ed analizzato: non esistono tuttavia relazioni valide in ogni situazione, in quanto sono l'orografia/morfologia del bacino e le caratteristiche anemologiche dell'area a generare onde più o meno ripide.

Per l'area in esame è stata utilizzata la relazione:

$$H_s = 0.055 T_s^2 \quad (5.6)$$

dedotta dall'analisi di numerosi dati rilevati in vari bacini [10] [11] [12].

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

$$H_{max} = 1.87 H_s \quad (5.7)$$

Tale relazione deriva dal considerare valida la distribuzione teorica di Rayleigh [13]. La natura "random" dell'onda massima è tale che records di onde individuali caratterizzati dallo stesso valore di H_s possono contenere valori di H_{max} differenti. La stima deterministica dei valori di H_{max} da treni d'onde individuali è quindi impossibile.

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

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

5.5 LIVELLO MARINO

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

$$V = \sum \eta_i \quad (5.8)$$

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

$$\eta(t) = \eta_T(t) + \eta_S(t) \quad (5.9)$$

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

5.6 CORRENTI

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

$$V = \sum V_i \quad (5.10)$$

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

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

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

$$V(t) = V_T(t) + V_S(t) \quad (5.11)$$

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

$$V_S(t) = V_{Wind}(t) + V_{Slope}(t) \quad (5.12)$$

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

5.6.1 Profilo Verticale di Corrente

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

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

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

Per quanto concerne il profilo verticale della corrente, essendo in acque costiere si può utilizzare un "power profile" [13] caratterizzato cioè da una relazione del tipo:

$$\frac{V_{z1}}{V_{z2}} = \left(\frac{z_1}{z_2}\right)^{1/n} \quad (5.13)$$

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

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

6 REGIME ANEMOLOGICO

Il presente capitolo descrive le condizioni tipiche del regime anemologico del sito in esame (paragrafo 6.1) in termini di velocità del vento vs direzione di provenienza e le condizioni estreme per diversi periodi di ritorno (paragrafo 6.2).

6.1 CONDIZIONI TIPICHE

Di seguito si riportano le condizioni tipiche annuali di vento ottenute analizzando le serie temporali estratte dai database NOAA ed ERA5.

La Tabella 6.1 e la Figura 6.1 riportano la distribuzione delle frequenze percentuali di accadimento della velocità del vento rispetto alla direzione di provenienza dello stesso, relativa ai dati NOAA. Dalla tabella si evince che le massime velocità di cui siano apprezzabili le frequenze ricadono nella classe 20-22 m/s e provengono prevalentemente dai settori direzionali 150°N e 180°N; il valore massimo della velocità del vento è invece pari a 25.2 m/s. I venti prevalenti spirano dunque da sud sud-est (circa il 28%) e da nord nord-ovest (330-360°N circa il 35% degli eventi). Circa il 99% del totale degli eventi è caratterizzato da una velocità minore o uguale a 16 m/s, mentre solamente lo 0.01% ricade nella classe più alta 20 – 22 m/s.

Le tabelle di frequenze di accadimento mensili delle velocità e le relative rose sono riportate in appendice A. Novembre è il mese che riporta frequenze di accadimento nella classe più alta (20-22 m/s), mentre luglio ed agosto sono i mesi caratterizzati da una minore intensità del vento.

Al fine di avere un confronto, la Tabella 6.2 e la Figura 6.2 riportano la distribuzione delle frequenze percentuali di accadimento della velocità del vento rispetto alla sua direzione di provenienza, riferita ai dati ERA5. Dalla tabella si nota che le massime velocità di cui si apprezzano le frequenze percentuali appartengono alla classe 18-20 m/s e provengono prevalentemente dai settori direzionali 150°N e 180°N; il valore massimo della velocità del vento è invece pari a 20.5 m/s. Il settore di provenienza prevalente risulta essere il nord ovest (330°N) con circa il 24%, seguito dal nord (circa il 15% degli eventi) e da 150°N – 180°N (con circa il 28%). Circa il 99% del totale degli eventi è caratterizzato da una velocità minore o uguale a 14 m/s; solamente lo 0.02% ricade nella classe più alta.

Dal confronto delle distribuzioni risulta che:

- ✓ La serie temporale ERA5, per il sito in esame, è caratterizzata da un settore 330°N di provenienza più marcato rispetto a quanto riportato dalla distribuzione ottenuta dal NOAA;
- ✓ Il clima tipico ricavato dai dati del NOAA riporta una classe in più della velocità del vento (20-22 m/s) e un maggiore valore di velocità massima (25.2 m/s). I dati NOAA sono stati pertanto cautelativamente utilizzati per il calcolo dei valori estremi (paragrafo 6.2).

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

Dir (N)	Velocità del Vento (m/s) - Annuale													TOT.
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	>24	
0	1.14	3.70	5.41	3.79	1.82	0.79	0.35	0.10	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	17.11
30	1.03	2.47	1.88	1.39	0.85	0.49	0.21	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	8.42
60	0.88	1.39	0.95	0.52	0.24	0.11	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.15
90	1.03	1.23	0.70	0.41	0.16	0.10	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.68
120	0.86	1.36	0.81	0.48	0.29	0.16	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	4.08
150	0.99	2.35	2.29	1.69	1.24	0.94	0.62	0.36	0.17	0.06	0.01	0.00	0.00	10.72
180	2.26	2.49	3.07	3.11	2.56	1.73	1.04	0.45	0.16	0.04	0.01	0.00	0.00	16.91
210	0.80	1.43	1.24	1.15	0.74	0.39	0.16	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	5.96
240	0.65	0.81	0.63	0.57	0.44	0.19	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.39
270	0.77	0.85	0.57	0.43	0.22	0.11	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	3.02
300	0.71	1.38	1.19	0.81	0.51	0.24	0.09	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	4.99
330	0.98	2.98	4.88	4.66	2.66	1.03	0.28	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	17.57
TOT.	12.09	22.45	23.63	19.02	11.72	6.28	3.04	1.19	0.44	0.10	0.01	0.00	0.00	100.00

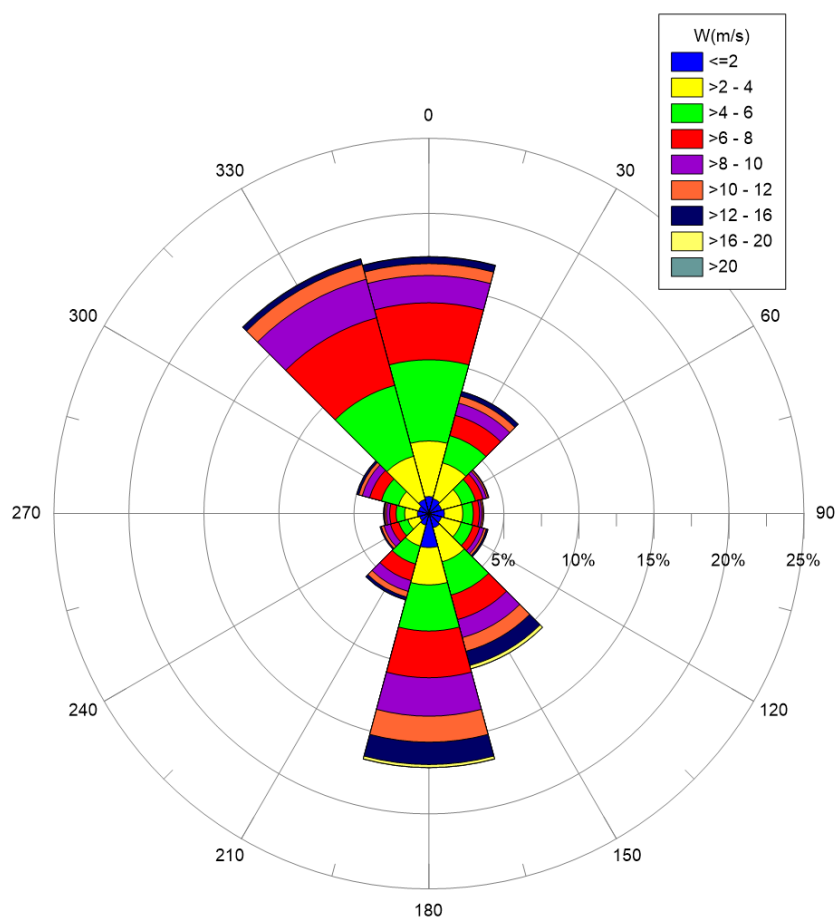


Figura 6.1: Rosa Annuale del Vento – NOAA

Tabella 6.2: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza – ERA5

Dir (N)	Velocità del Vento (m/s) - Annuale												TOT.
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	>22	
0	1.18	4.32	4.60	2.62	1.38	0.85	0.36	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	15.41
30	1.08	2.30	1.40	1.08	0.86	0.50	0.24	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	7.52
60	0.98	1.59	0.78	0.43	0.28	0.15	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	4.27
90	0.95	1.46	0.56	0.32	0.18	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.58
120	0.90	1.76	0.72	0.31	0.22	0.13	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	4.11
150	0.82	2.15	2.60	2.63	2.26	1.66	1.03	0.46	0.13	0.02	0.00	0.00	13.76
180	0.68	1.89	2.86	3.29	2.52	1.45	0.59	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00	13.46
210	0.57	1.04	1.08	0.92	0.53	0.20	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.38
240	0.48	0.63	0.50	0.42	0.22	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.32
270	0.51	0.62	0.40	0.25	0.11	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.96
300	0.66	1.27	1.26	0.98	0.59	0.30	0.12	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	5.22
330	0.98	3.65	7.61	7.24	3.23	0.95	0.25	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	24.00
TOT.	9.79	22.69	24.40	20.50	12.38	6.38	2.78	0.88	0.19	0.02	0.00	0.00	100.00

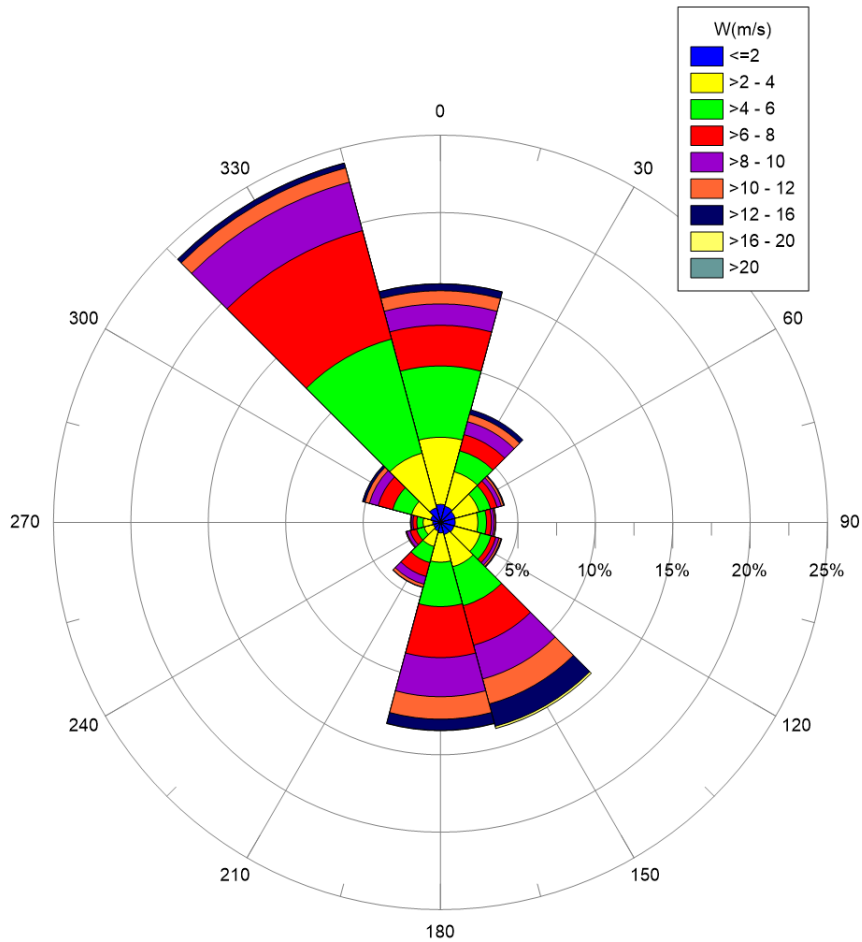


Figura 6.2: Rosa Annuale del Vento – ERA5

6.2 CONDIZIONI ESTREME

La Tabella 6.3 riporta I valori estremi omnidirezionali della velocità del vento riferiti alla durata di 1 ora e alla quota di 10 m sul livello medio del mare, espressi in m/s, ottenuti utilizzando l'intera serie di vento (i.e. Global Method) e la distribuzione di Weibull bi-parametrica (Figura 6.3), relativi ai periodi di ritorno di 1, 10, 50 e 100 anni.

Tabella 6.3: Valori Estremi Omnidirezionali della Velocità del Vento (m/s) a 10 m di Quota sul Livello Medio del Mare per Periodi di Ritorno di 1, 10, 50 e 100 Anni - NOAA

Dir (N)	Periodo di Ritorno (anni)			
	1	10	50	100
OMNI	21.6	24.4	26.2	26.9

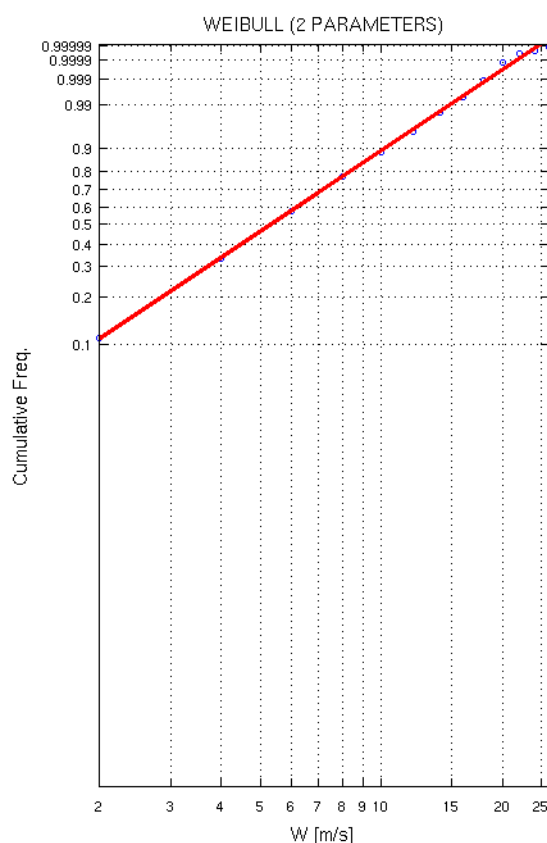


Figura 6.3: Fitting dei Dati di Vento con Distribuzione Biparametrica di Weibull

7 CARATTERIZZAZIONE DEL MOTO ONDOSONO

In questo capitolo è riportata la descrizione del regime di moto ondoso. In particolare, il paragrafo 7.1 riporta la relazione H_s - T_p , il paragrafo 7.2 descrive le condizioni tipiche di onda in termini di altezza significativa e periodo di picco vs direzione di provenienza, mentre nel paragrafo 7.3 sono riportate le condizioni estreme per diversi periodi di ritorno.

7.1 RELAZIONE H_s – T_p

La Figura 7.1 e la Figura 7.2 rappresentano lo scatter plot dell'altezza significativa rispetto al periodo di picco, a valle della calibrazione di H_s mediante dati satellitari, rispettivamente per i dataset NOAA ed ERA5. La relazione che lega le due grandezze è ben rappresentata dalla relazione di JONSWAP:

$$H_s = 0.055 * T_p^2$$

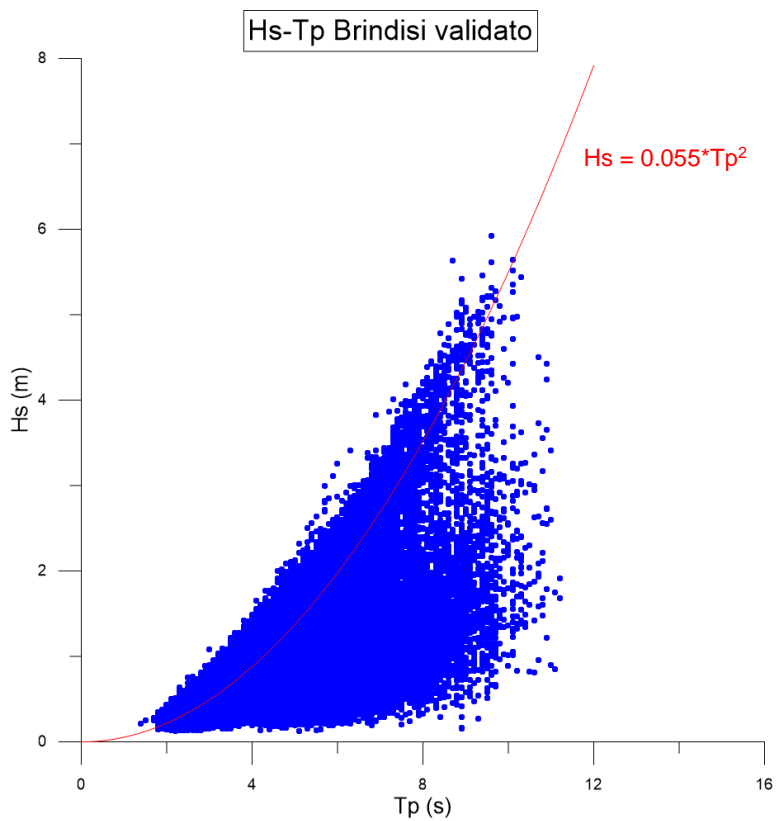


Figura 7.1: Scatter Plot Altezza d'Onda Significativa – Periodo di Picco Post Validazione - NOAA

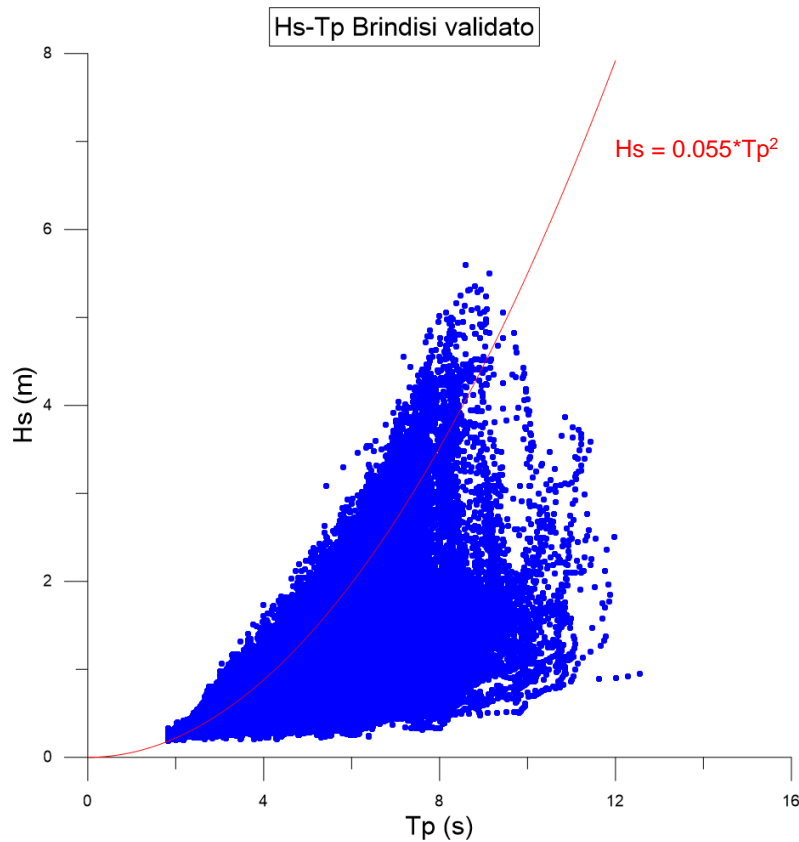


Figura 7.2: Scatter Plot Altezza d'Onda Significativa – Periodo di Picco Post Validazione – ERA5

7.2 CONDIZIONI TIPICHE

Di seguito si riportano le condizioni tipiche annuali di onda ottenute analizzando le serie temporali estratte dai database NOAA ed ERA5.

La Tabella 7.1 e la Figura 7.3 riportano la distribuzione delle frequenze percentuali di accadimento degli eventi di onda in termini di altezza significativa rispetto alla direzione di provenienza, relativa ai dati NOAA. Circa il 98% degli eventi totali è caratterizzato da altezze significative minori o al più uguali a 3 m, mentre soltanto lo 0.01% delle onde ricade nella classe più alta 5.5 – 6 m. Le onde provengono prevalentemente dai settori direzionali 150°N, 180°N e 330°N, le più alte dalla direzione 150°N. La Tabella 7.2, analogamente alla precedente, riporta la distribuzione delle altezze d'onda rispetto ai periodi di picco. I periodi caratterizzati da una maggior frequenza di accadimento sono compresi tra 3 e 6 s, per un totale di circa l'84% degli eventi. I periodi di picco massimi ricadono nella classe 10-11 s e sono associato ad altezze d'onda superiori ai 5 m.

Le distribuzioni sono ricavate a partire da una serie depurata dagli eventi caratterizzati da altezza significativa nulla ritenuti privi di significato. Il 100% degli eventi, pertanto, si riferisce ad un totale di 90399 eventi, ovvero il 99.8% degli eventi di onda della serie originaria (90584).

Analizzando i dati ERA5 (Tabella 7.3 e Figura 7.4) si evince che circa il 98% degli eventi ondosi totali è caratterizzato da altezze significative minori o al più uguali a 3 m, mentre soltanto lo 0.01% delle onde ricade nella classe più alta 5-5.5 m. Le onde provengono prevalentemente dai settori direzionali 150°N, 0°N e 330°N, le più alte dalla direzione 150°N. La Tabella 7.4 riporta la distribuzione delle altezze d'onda rispetto ai periodi di picco. I periodi caratterizzati da una maggior frequenza di accadimento sono compresi tra 3 e 7 s, per un totale di circa il 92% degli eventi. I periodi di picco massimi ricadono nella classe 11-12 s e sono associato ad altezze d'onda superiori ai 3.5 m

Dal confronto delle distribuzioni risulta che:

- ✓ Le serie temporali sono caratterizzate da una distribuzione direzionale molto simile;
- ✓ Il clima tipico ricavato dai dati del NOAA riporta una classe in più di altezza significativa (5.5-6 m). I dati NOAA sono stati pertanto cautelativamente utilizzati per il calcolo dei valori estremi (paragrafo 7.3).

Tabella 7.1: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento dell'Altezza d'Onda Significativa vs Direzione di Provenienza - NOAA

Dir (N)	Hs (m) - Annuale														TOT.
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	> 6.5	
0	3.54	4.37	1.73	0.75	0.32	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.86
30	1.76	2.04	1.05	0.44	0.17	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.55
60	0.81	0.47	0.17	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.56
90	0.66	0.30	0.09	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.11
120	0.95	0.34	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.42
150	4.89	8.03	5.08	2.93	1.72	1.01	0.54	0.26	0.14	0.09	0.02	0.01	0.00	0.00	24.72
180	3.33	5.63	2.76	1.21	0.53	0.23	0.09	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.82
210	0.42	0.58	0.31	0.11	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45
240	0.23	0.34	0.20	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.87
270	0.25	0.32	0.15	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80
300	1.82	4.02	2.03	0.77	0.27	0.09	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.06
330	6.85	12.59	5.87	2.12	0.83	0.31	0.12	0.05	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	28.78
TOT.	25.52	39.04	19.54	8.59	3.96	1.83	0.84	0.37	0.19	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	100.00

Tabella 7.2: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento dell'Altezza d'Onda Significativa vs Periodo di Picco - NOAA

Tp (s)	Hs (m) - Annuale														TOT.
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	> 6.5	
1	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
2	0.64	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	0.64
3	14.64	3.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.99
4	7.09	18.39	1.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.91
5	1.39	10.52	10.36	1.21	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.49
6	1.11	2.73	4.52	4.99	1.43	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.82
7	0.52	2.35	1.24	1.31	1.78	1.13	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.47
8	0.11	1.38	1.07	0.50	0.37	0.47	0.53	0.20	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.64
9	0.02	0.29	0.74	0.40	0.22	0.11	0.11	0.13	0.13	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	2.21
10	0.00	0.04	0.16	0.14	0.11	0.08	0.04	0.02	0.03	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.68
11	0.00	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
12	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
>12	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
TOT.	25.52	39.04	19.54	8.59	3.96	1.83	0.84	0.37	0.19	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	100.00

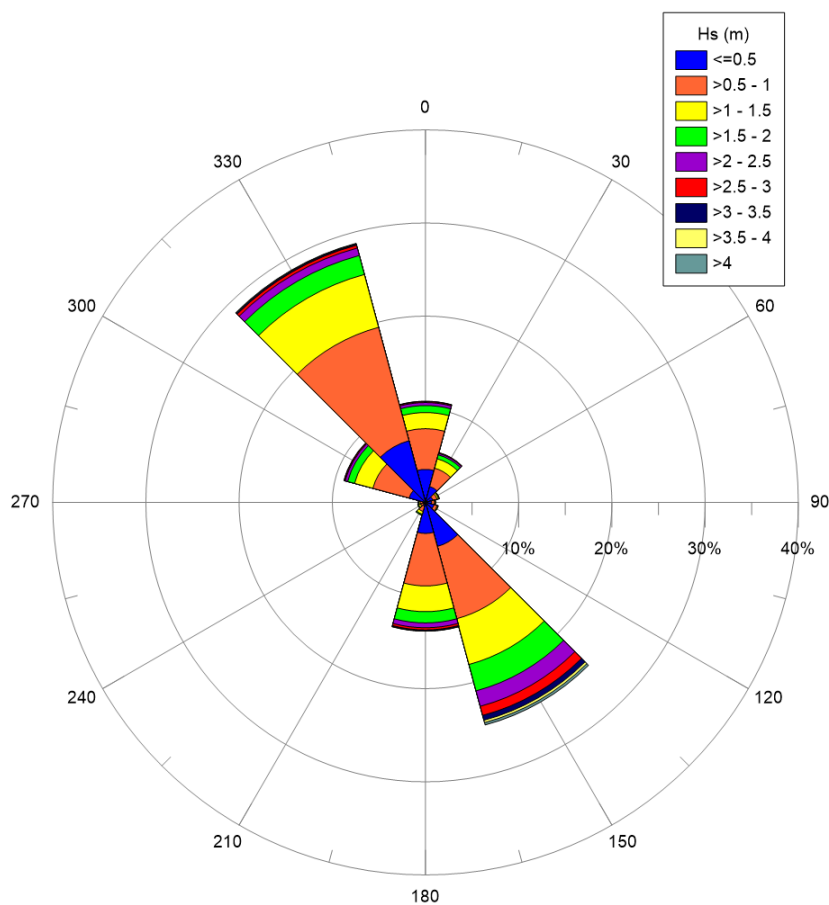


Figura 7.3: Rosa Annuale delle Onde - NOAA

Tabella 7.3: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento dell'Altezza d'Onda Significativa vs Direzione di Provenienza – ERA5

Dir (N)	Hs (m) - Annuale													TOT.
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	> 6	
0	5.53	6.28	2.67	1.37	0.80	0.50	0.25	0.11	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00	17.58
30	1.79	1.53	1.06	0.62	0.37	0.22	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	5.74
60	0.95	0.58	0.28	0.16	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.03
90	0.70	0.51	0.23	0.13	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.63
120	0.96	1.03	0.47	0.26	0.12	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.91
150	3.31	8.84	5.81	3.26	1.67	0.90	0.38	0.16	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	24.41
180	2.28	3.90	1.83	0.71	0.26	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.11
210	0.55	0.93	0.48	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.08
240	0.34	0.70	0.22	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.28
270	0.37	0.60	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.14
300	0.65	1.20	0.48	0.18	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60
330	5.11	14.93	6.35	1.99	0.69	0.23	0.11	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	29.49
TOT.	22.54	41.04	20.03	8.83	4.08	2.02	0.89	0.36	0.17	0.04	0.01	0.00	0.00	100.00

Tabella 7.4: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento dell'Altezza d'Onda Significativa vs Periodo di Picco – ERA5

Tp (s)	Hs (m) - Annuale													TOT.
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	> 6	
1	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
2	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23
3	12.28	2.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.07
4	6.59	15.38	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.86
5	1.98	13.37	8.93	0.63	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.92
6	0.71	4.06	6.15	5.13	1.11	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.20
7	0.64	3.16	1.94	1.92	2.28	1.36	0.33	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.67
8	0.09	1.54	0.96	0.52	0.41	0.44	0.41	0.22	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	4.68
9	0.01	0.64	0.84	0.35	0.14	0.11	0.10	0.10	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	2.43
10	0.00	0.07	0.23	0.20	0.07	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.66
11	0.00	0.03	0.08	0.06	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
12	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
13	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
>13	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
TOT.	22.54	41.04	20.03	8.83	4.08	2.02	0.89	0.36	0.17	0.04	0.01	0.00	0.00	100.00

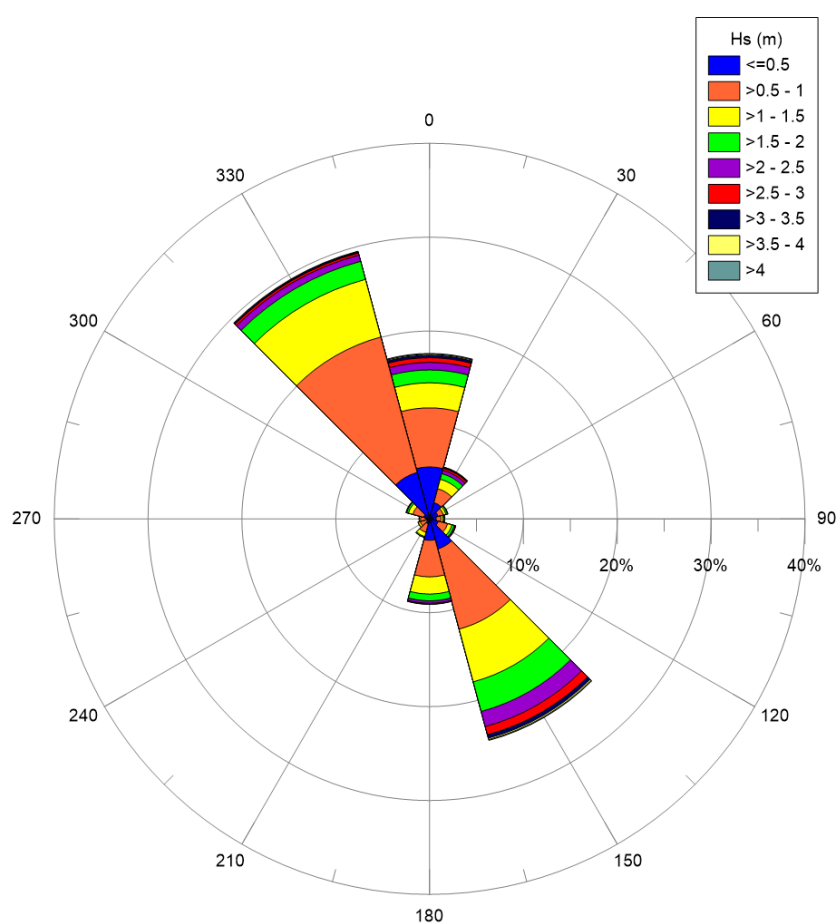


Figura 7.4: Rosa Annuale delle Onde – ERA5

7.3 CONDIZIONI ESTREME

La Tabella 7.5 riporta i valori estremi omnidirezionali dell'altezza d'onda significativa riferiti alla durata di 1 ora e relativi periodi di picco, ottenuti utilizzando l'intera serie di onde (i.e. Global Method) e la distribuzione di Weibull bi-parametrica Figura 7.5), associati ai periodi di ritorno di 1, 10, 50 e 100 anni.

I periodi di picco associati agli estremi di altezza significativa sono stati ricavati utilizzando la relazione riportata nel paragrafo 7.1.

Tabella 7.5: Valori Estremi Omnidirezionali di Altezza d'Onda Significativa (m) e Associato periodo di Picco (s) per Periodi di Ritorno di 1, 10, 50 e 100 Anni - NOAA

Dir (N)	Periodo di Ritorno (anni)							
	1		10		50		100	
	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)
OMNI	5.31	9.83	6.06	10.50	6.55	10.91	6.76	11.09

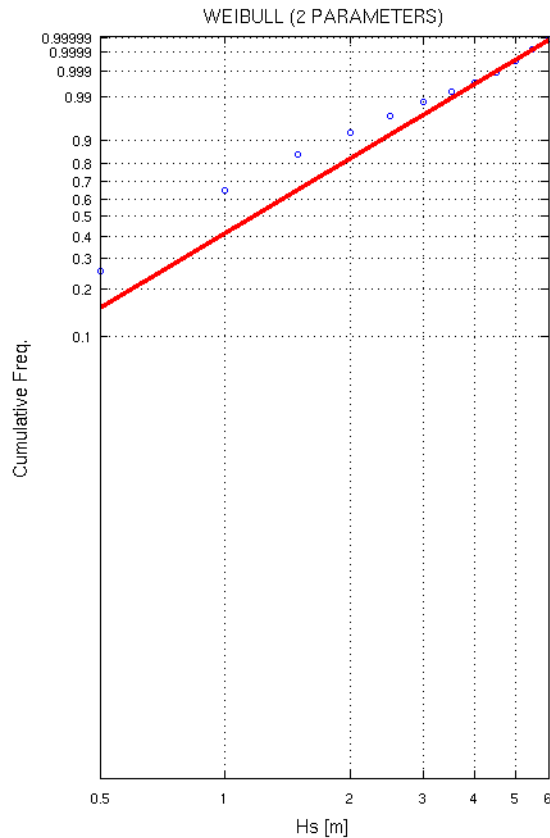


Figura 7.5: Fitting dei Dati di Onda con Distribuzione Biparametrica di Weibull

8 VARIAZIONI DEL LIVELLO MARINO

Nel presente capitolo è riportata una descrizione della variazione del livello marino, in riferimento all'oscillazione della marea astronomica.

8.1 OSCILLAZIONI DOVUTE ALLA MAREA

Le Figura 8.1 e Figura 8.2 riportano l'oscillazione del livello marino dovuta alla marea astronomica, rispettivamente per l'intero anno 2020 e per il singolo mese, allo scopo di rappresentare l'oscillazione mensile. I valori sono riferiti al livello medio del mare. L'escursione di marea nell'anno è circa pari a 40 cm, da un minimo di -0.18 m.s.l.m. ad un massimo di circa 0.20 m.s.l.m.

Il regime è semidiurno, caratterizzato quindi da due alte e due basse maree nell'arco di 24 ore.

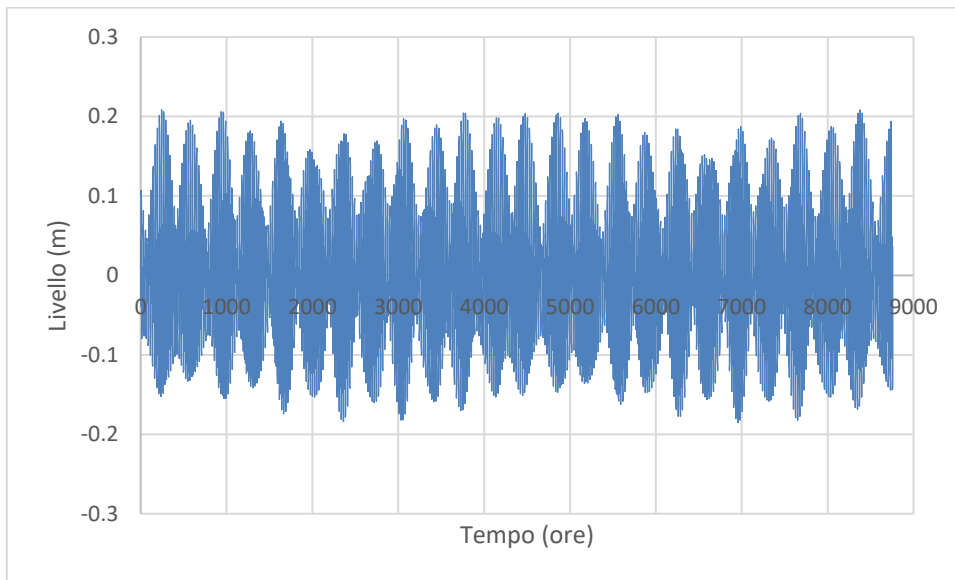


Figura 8.1: Oscillazione del Livello Dovuta alla Marea – Anno 2020

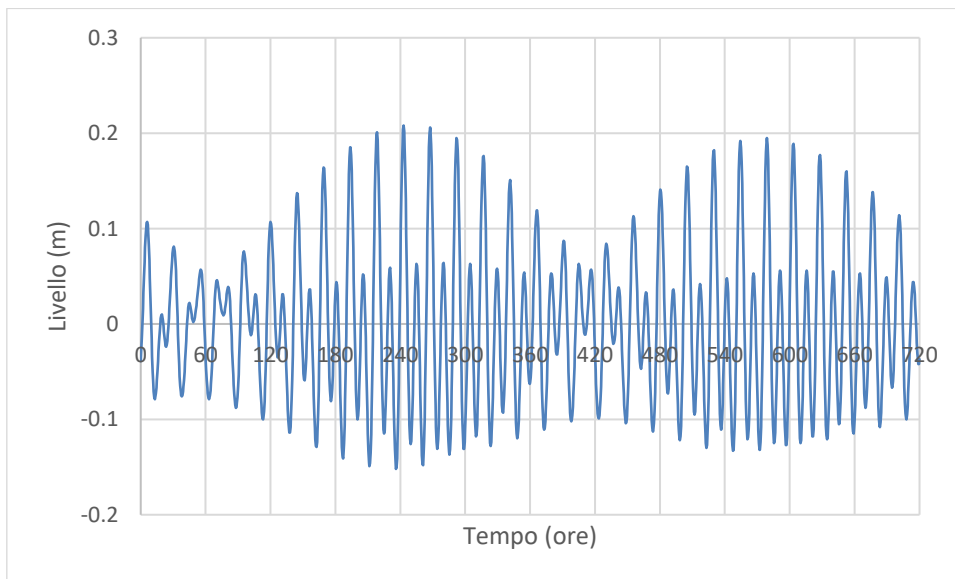


Figura 8.2: Oscillazione del Livello Dovuta alla Marea – Gennaio 2020

9 CORRENTI

Il presente capitolo è dedicato alla descrizione delle condizioni di corrente nell'area di studio. In particolare, nel paragrafo 3.2. sono riportati i valori tipici velocità della corrente superficiale per il punto al largo HYCOM (paragrafo 4.4), mentre nel paragrafo 9.1 sono descritte le condizioni estreme.

9.1 CONDIZIONI TIPICHE

La Tabella 9.1 e la Figura 9.1 riportano la distribuzione delle frequenze percentuali di occorrenza della velocità di corrente superficiale rispetto alla direzione di propagazione. Circa il 90% degli eventi totali è caratterizzato da una velocità minore uguale a 0.4 m/s. Le correnti più intense, ricadenti nelle classi 0.5 - 0.6 m/s e 0.6 - 0.7 m/s, si dirigono rispettivamente verso le direzioni 30°N e 150°N. Il 60% circa delle correnti ha direzione di propagazione 120 – 180°N.

Tabella 9.1: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità di Corrente Superficiale vs Direzione di Propagazione

Dir (N)	Velocità di Corrente (m/s) - Annuale									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	> 0.8	TOT.
0	2.66	1.61	0.25	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	4.63
30	2.40	1.44	0.25	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	4.15
60	2.68	1.55	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.38
90	4.21	2.71	0.45	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.43
120	6.33	8.25	3.48	0.62	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	18.76
150	6.53	11.86	6.30	1.64	0.25	0.00	0.03	0.00	0.00	26.61
180	5.03	6.38	2.09	0.51	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	14.07
210	3.59	2.49	0.31	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	6.41
240	2.03	1.10	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.25
270	2.01	1.04	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.11
300	2.37	1.38	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.87
330	2.29	0.96	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33
TOT.	42.12	40.79	13.61	2.96	0.45	0.03	0.03	0.00	0.00	100.00

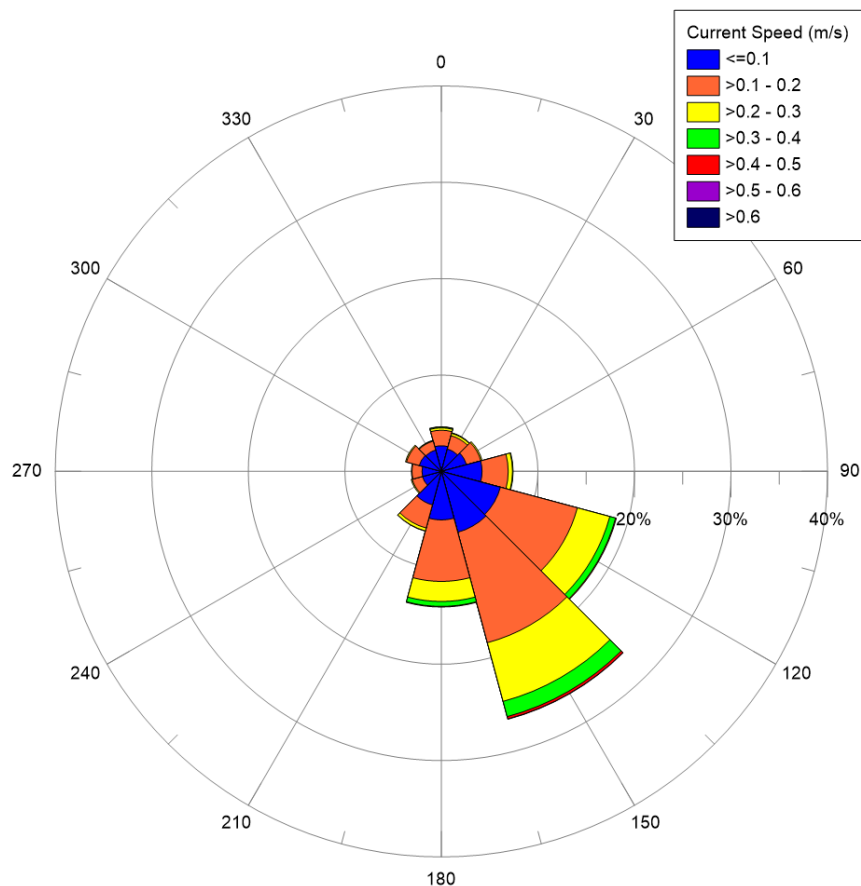


Figura 9.1: Rosa Annuale della Corrente

9.2 CONDIZIONI ESTREME

La Tabella 9.2 riporta i valori estremi omnidirezionali della velocità di corrente, espressi in m/s, ottenuti utilizzando la distribuzione di Weibull bi-parametrica (Figura 9.2), relativi ai periodi di ritorno di 1, 10, 50 e 100 anni.

Tabella 9.2: Valori Estremi Omnidirezionali della Velocità del Vento (m/s) per Periodi di Ritorno di 1, 10, 50 e 100 Anni

Dir (N)	Periodo di Ritorno (anni)			
	1	10	50	100
OMNI	0.46	0.47	0.64	0.67

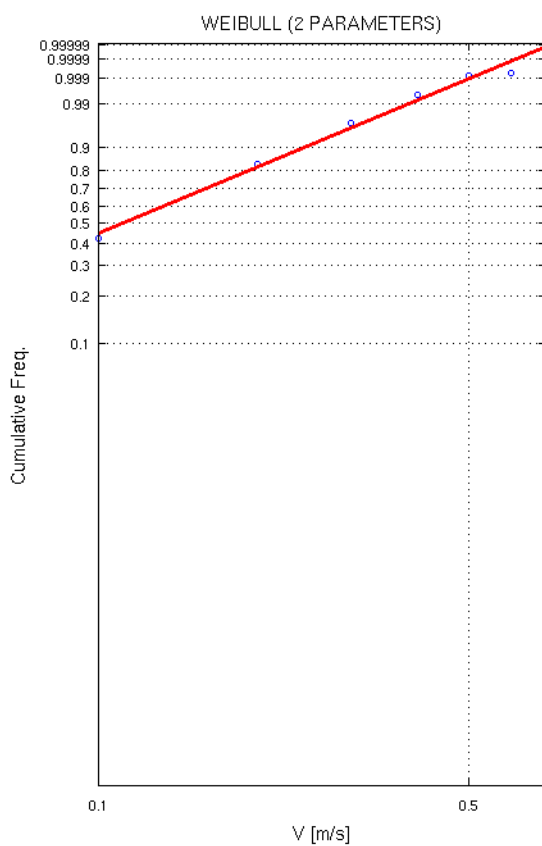


Figura 9.2: Fitting dei Dati di Corrente con Distribuzione Biparametrica di Weibull

10 CONCLUSIONI

Lo scopo del presente documento è quello di fornire la caratterizzazione del sito in esame in termini di regime anemologico, del moto ondoso, di corrente e una descrizione dell'oscillazione del livello marino dovuta alla marea.

Al fine di descrivere il clima tipico di vento e onda al largo della costa, per il sito di interesse, sono state estratte e messe a confronto serie temporali dai database pubblici del NOAA e dell'ECMWF (ERA5). Sono stati inoltre forniti gli estremi omnidirezionali di intensità del vento e di altezza d'onda significativa, relativi ai dati del NOAA ritenuti più cautelativi per l'area di studio. Per quanto riguarda la corrente superficiale, il clima tipico ed i valori estremi omnidirezionali sono stati definiti considerando una serie temporale di 11 anni, caratterizzata da step temporale giornaliero, derivante dal database pubblico HYCOM. L'oscillazione del livello del mare dovuta alla marea infine è stata analizzata sulla base di un anno di dati (2020) estratto dalla Dashboard di Delft3D (database TPXO).

I principali risultati dello studio meteomarina per il sito di Brindisi sono:

- ✓ I dati di vento e onda estratti dal database del NOAA presentano una classe climatica in più rispetto ai dati di ERA5; le più alte velocità del vento ricadono infatti nel range 20-22 m/s (a fronte di 18-20 m/s), le altezze significative maggiori nell'intervallo 5.5-6 m (a fronte di 5-5.5 m);
- ✓ La distribuzione direzionale del vento ottenuto dal database di ERA5 presenta un settore di provenienza nord ovest (330°N) più marcato rispetto alla distribuzione ricavata con dati del NOAA;
- ✓ Considerando i dati del NOAA, si possono individuare due marcati settori direzionali di provenienza del vento, nord-nord ovest e sud-sud est;
- ✓ il regime di onda, caratterizzato da altezze d'onda significative tipicamente entro i 6 m, ha come direzioni di provenienza prevalenti nord-nord ovest e sud-sud est;
- ✓ il regime semi diurno della marea è caratterizzato da un'escursione di livello di circa 40 cm.

I dati di vento e onda provenienti dal database del NOAA sono stati ritenuti maggiormente rappresentativi del sito in esame per la vicinanza del punto di estrazione e maggiormente cautelativi, per quanto detto sopra, al fine del calcolo dei valori estremi.

Con particolare riferimento ai dati di vento (a 10 m dal livello medio del mare) del database NOAA è stato riscontrato un buon allineamento con i dati riportati nello studio di prefattibilità "Offshore Wind Locations in Italy, Preliminary Analysis" [17], ricavati dal Global Wind Atlas, in termini di direzioni di provenienza e valore medio dell'intensità del vento, nonostante la differenza delle sorgenti.

CEV02/EDI/OZ:tds

BIBLIOGRAFIA

- [1] <https://it.climate-data.org/europa/italia/>
- [2] Ardhuin, F., Rogers, E., Babanin, A.V., Filipot, J.F., Magne, R., Roland, A., Van Der Westhuysen, A., Queffelec, P., Lefevre, J.M., Aouf, L. and F. Collard, (2010) "Semiempirical Dissipation Source Functions for Ocean Waves. Part I: Definition, Calibration, and Validation", *Journal of Physical Oceanography* 40(9):1917 - September 2010
- [3] Amante, C; Eakins, B W (2009), "ETOPO1 Global Relief Model converted to PanMap layer format", NOAA-National Geophysical Data Center, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.769615>
- [4] Queffelec P., 2003, Long term quality status of wave height and wind speed measurements from satellite altimeters. Proceedings of the ISOPE conference, Honolulu, Hawaii, USA, May 25-30.
- [5] Queffelec P., 2004, Long term validation of wave height measurements from altimeters, *Marine Geodesy*, 27, 495-510.
- [6] Egbert et al., 2002, "Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides", *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 19.2: 1083-204.
- [7] Gumbel E.J., 1958. "Statistics of Extremes", Columbia University Press.
- [8] 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.
- [9] Army Corps of Engineers, "Shore Protection Manual", vol. 1, 2. edition, 1984;
- [10] Grancini G.F., Iovenitti L.M. e De Filippi G.L., 1979. "Analisi del moto ondoso nel Canale di Sicilia" Cetena, Genova;
- [11] Cavaliere L., De Filippi G.L., Grancini G.F., Iovenitti L.M. and Tosi R., 1986. "Extreme wave conditions in the Tyrrhenian Sea" *Ocean Engng.*, Vol. 13, no. 2, pp. 257 – 280;
- [12] Rampolli M., Biancardi A. and De Filippi G.L., 1996. "Meteo-oceanographic Premises for Structural Design Purposes in the Adriatic Sea: Acquisition and processing of data", 15 th Int. Conf. O.M.A.E., Firenze;
- [13] Goda Y., 1985. "Random Seas and Design of Maritime Structures". University of Tokio Press, Japan;
- [14] Alain Salot Editor, 2007, "The Mediterranean Sea", Springer
- [15] Millot C., 1999, "Circulation in the Western Mediterranean Sea", *J. Mar. Res.*, 20, 423-442
- [16] Mosetti F., 1984 – "Caratteristiche fondamentali dell'idrologia dell'Adriatico" – *Boll. Ocean. Teor e Applic.*, Vol. II, 2, pp. 169-194
- [17] SENER Doc. P00227608-U7-SRMA-IN-0001, 2020. "Offshore Wind Farm Location in Italy, Preliminary Analysis"

Appendice A

Regime Anemologico Mensile

Doc. No. P0025305-1-BRD-H13 - Rev. 01 – Settembre
2021



LISTA DELLE TABELLE

Tabella A.1:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Gennaio	2
Tabella A.2:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Febbraio	2
Tabella A.3:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Marzo	3
Tabella A.4:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Aprile	3
Tabella A.5:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Maggio	4
Tabella A.6:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Giugno	4
Tabella A.7:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Luglio	5
Tabella A.8:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Agosto	5
Tabella A.9:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Settembre	6
Tabella A.10:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Ottobre	6
Tabella A.11:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Novembre	7
Tabella A.12:	Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Dicembre	7

LISTA DELLE FIGURE

Figura A.1:	Rose Mensili del Vento – Gennaio, Febbraio, Marzo, Aprile	8
Figura A.2:	Rose Mensili del Vento – Maggio, Giugno, Luglio, Agosto	9
Figura A.3:	Rose Mensili del Vento – Settembre, Ottobre, Novembre, Dicembre	10

Tabella A.1: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Gennaio

Dir (N)	Velocità del Vento (m/s) - Gennaio													TOT.
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	>24	
0	0.62	2.21	4.08	4.36	2.60	1.03	0.83	0.35	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	16.23
30	0.71	1.85	2.41	2.26	1.76	1.26	0.73	0.30	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	11.32
60	0.53	1.21	1.47	1.03	0.47	0.30	0.21	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.28
90	0.58	1.08	1.22	0.82	0.46	0.19	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.41
120	0.51	1.43	1.37	0.94	0.61	0.25	0.17	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.32
150	0.42	1.34	1.69	1.41	1.72	1.25	0.92	0.55	0.27	0.07	0.00	0.00	0.00	9.63
180	0.60	1.74	1.82	2.03	2.22	1.54	1.20	0.69	0.26	0.13	0.01	0.00	0.00	12.24
210	0.60	1.33	1.51	2.21	1.52	0.77	0.39	0.13	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	8.52
240	0.47	0.92	0.84	1.12	0.92	0.39	0.31	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	5.03
270	0.58	0.73	0.48	0.66	0.39	0.27	0.07	0.03	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	3.25
300	0.46	1.34	1.15	0.87	0.58	0.29	0.23	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	4.99
330	0.55	2.22	3.41	3.81	2.35	0.87	0.36	0.14	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	13.77
TOT.	6.63	17.40	21.45	21.51	15.61	8.40	5.46	2.42	0.85	0.25	0.01	0.00	0.00	100.00

Tabella A.2: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Febbraio

Dir (N)	Velocità del Vento (m/s) - Febbraio													TOT.
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	>24	
0	0.69	2.54	4.05	4.68	3.31	1.60	1.01	0.20	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	18.16
30	0.63	1.78	2.48	2.74	1.90	1.11	0.51	0.17	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	11.37
60	0.54	1.50	1.94	1.38	0.58	0.33	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.36
90	0.40	1.06	1.41	0.67	0.13	0.09	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	3.81
120	0.60	0.96	1.00	0.64	0.41	0.26	0.17	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	4.11
150	0.54	1.51	1.24	1.21	1.24	1.10	1.10	0.60	0.44	0.11	0.03	0.00	0.00	9.13
180	0.67	1.61	1.93	2.97	3.05	2.28	1.08	0.64	0.37	0.13	0.00	0.00	0.00	14.74
210	0.37	1.13	1.51	1.64	1.17	0.84	0.29	0.06	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00	7.09
240	0.60	0.73	0.81	0.86	0.87	0.43	0.14	0.07	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	4.55
270	0.40	0.94	0.57	0.70	0.29	0.11	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.14
300	0.31	1.11	1.13	0.67	0.67	0.43	0.14	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	4.57
330	0.56	2.00	3.67	3.01	2.13	0.89	0.44	0.17	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	12.96
TOT.	6.31	16.87	21.75	21.18	15.75	9.46	5.14	2.05	1.17	0.30	0.03	0.00	0.00	100.00

Tabella A.3: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Marzo

Dir (N)	Velocità del Vento (m/s) - Marzo													TOT.
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	>24	
0	1.11	2.34	3.93	3.28	2.34	1.86	0.62	0.17	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	15.66
30	0.66	1.31	1.60	1.59	1.51	1.00	0.46	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.27
60	0.57	1.30	1.00	0.82	0.47	0.18	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.44
90	0.56	1.04	0.64	0.43	0.17	0.09	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.98
120	0.65	1.41	0.87	0.68	0.36	0.19	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	4.23
150	0.82	2.12	2.43	2.07	1.46	1.42	1.08	0.55	0.22	0.14	0.03	0.00	0.00	12.33
180	0.68	2.59	3.55	3.69	3.42	2.55	1.61	0.68	0.35	0.05	0.03	0.00	0.00	19.20
210	0.65	1.41	1.44	1.91	1.25	0.58	0.17	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	7.52
240	0.43	0.81	0.87	0.78	0.69	0.31	0.10	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.02
270	0.33	0.71	0.66	0.46	0.29	0.16	0.14	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	2.80
300	0.51	1.13	1.22	0.79	0.74	0.36	0.14	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.01
330	0.92	2.12	3.94	3.76	1.69	0.86	0.14	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	13.55
TOT.	7.88	18.29	22.16	20.25	14.38	9.57	4.62	1.94	0.65	0.20	0.05	0.00	0.00	100.00

Tabella A.4: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Aprile

Dir (N)	Velocità del Vento (m/s) - Aprile													TOT.
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	>24	
0	0.75	2.57	3.95	2.30	1.17	0.43	0.38	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.63
30	0.73	2.16	1.52	0.94	0.43	0.23	0.03	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	6.08
60	0.75	1.10	0.97	0.43	0.18	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.48
90	0.98	1.00	0.52	0.21	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.81
120	1.21	1.33	0.83	0.40	0.30	0.09	0.05	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	4.27
150	1.21	2.42	3.19	2.23	1.71	1.43	0.69	0.40	0.15	0.05	0.00	0.00	0.00	13.47
180	0.98	3.16	4.76	3.88	3.55	2.59	1.88	0.62	0.23	0.03	0.00	0.00	0.00	21.68
210	0.90	2.02	1.68	1.12	0.78	0.24	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.84
240	0.70	1.09	0.91	0.65	0.78	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.27
270	0.60	0.83	1.01	0.73	0.40	0.13	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.76
300	0.73	1.29	1.60	1.24	0.75	0.27	0.11	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.02
330	0.77	2.37	4.45	4.30	2.58	0.90	0.27	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	15.69
TOT.	10.31	21.33	25.39	18.43	12.69	6.55	3.55	1.25	0.42	0.09	0.00	0.00	0.00	100.00

Tabella A.5: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Maggio

Dir (N)	Velocità del Vento (m/s) - Maggio													TOT.
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	>24	
0	1.41	4.23	5.02	2.60	1.16	0.30	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.76
30	1.13	2.52	1.15	0.46	0.26	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.59
60	1.00	1.09	0.58	0.14	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.91
90	1.38	1.09	0.35	0.16	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00
120	1.18	1.42	0.78	0.16	0.16	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.76
150	1.51	3.65	3.02	2.05	1.13	0.73	0.27	0.09	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	12.49
180	1.54	3.68	4.67	4.49	2.63	1.57	0.77	0.18	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	19.58
210	1.25	1.90	1.42	0.79	0.38	0.13	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.91
240	0.95	1.08	0.70	0.29	0.26	0.12	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.42
270	1.64	1.72	0.79	0.35	0.14	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.68
300	1.01	1.69	1.04	0.75	0.33	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.89
330	1.20	3.47	5.14	5.06	2.76	1.12	0.19	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	19.00
TOT.	15.20	27.55	24.66	17.30	9.29	4.21	1.36	0.34	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	100.00

Tabella A.6: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Giugno

Dir (N)	Velocità del Vento (m/s) - Giugno													TOT.
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	>24	
0	1.37	4.72	6.52	3.51	0.89	0.16	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.19
30	1.32	3.47	1.30	0.48	0.18	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.84
60	1.09	1.29	0.35	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.76
90	1.07	0.98	0.18	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.27
120	1.22	1.48	0.42	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.20
150	1.38	3.33	2.59	1.64	0.60	0.32	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.95
180	1.26	3.62	4.60	3.88	2.45	1.17	0.19	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.18
210	1.03	1.67	1.10	0.62	0.19	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.62
240	0.83	0.85	0.42	0.15	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.34
270	1.01	1.06	0.43	0.27	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.86
300	1.00	2.06	1.64	1.06	0.43	0.13	0.05	0.03	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	6.44
330	1.18	3.94	7.00	6.72	3.83	1.26	0.36	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	24.35
TOT.	13.78	28.45	26.55	18.45	8.68	3.22	0.71	0.08	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Tabella A.7: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Luglio

Dir (N)	Velocità del Vento (m/s) - Luglio													TOT.
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	>24	
0	1.73	5.76	8.56	5.80	1.57	0.25	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.69
30	1.72	3.12	1.99	0.82	0.17	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.86
60	1.12	1.33	0.52	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.08
90	1.22	0.86	0.16	0.10	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.39
120	1.01	1.30	0.33	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.76
150	1.04	2.44	2.20	0.86	0.13	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.75
180	0.98	2.29	2.69	2.07	0.86	0.43	0.21	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	9.60
210	1.04	1.51	0.62	0.48	0.12	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.82
240	0.79	0.73	0.23	0.19	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.02
270	0.79	0.77	0.25	0.10	0.09	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.06
300	0.94	1.81	1.64	0.86	0.58	0.18	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.04
330	1.63	4.11	7.66	8.57	5.28	2.30	0.36	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.94
TOT.	14.01	26.03	26.85	20.04	8.92	3.38	0.66	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Tabella A.8: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Agosto

Dir (N)	Velocità del Vento (m/s) - Agosto													TOT.
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	>24	
0	1.89	6.27	8.60	4.94	1.15	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.09
30	1.59	3.65	1.68	0.60	0.18	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.78
60	1.57	1.67	0.40	0.13	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.80
90	0.86	1.13	0.19	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.28
120	1.17	1.27	0.48	0.09	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.11
150	1.34	2.80	2.41	0.95	0.34	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.91
180	1.18	2.85	2.77	2.63	1.35	0.53	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.54
210	1.03	1.65	0.71	0.46	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.95
240	0.73	0.53	0.33	0.17	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.81
270	0.81	0.68	0.21	0.21	0.07	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
300	1.13	1.90	1.38	0.62	0.33	0.09	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	5.52
330	1.82	5.01	7.00	7.83	4.10	1.27	0.18	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.22
TOT.	15.11	29.41	26.16	18.66	7.76	2.37	0.47	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Tabella A.9: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Settembre

Dir (N)	Velocità del Vento (m/s) - Settembre													TOT.
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	>24	
0	1.32	5.30	6.99	4.34	1.67	0.42	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.12
30	1.37	3.23	2.37	1.22	0.38	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.67
60	1.47	1.81	0.83	0.30	0.16	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.66
90	1.24	1.48	0.67	0.24	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.67
120	1.03	1.92	0.85	0.50	0.19	0.12	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	4.65
150	1.47	3.31	3.08	2.06	1.21	0.46	0.15	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	11.80
180	1.06	2.92	3.13	3.06	2.67	1.22	0.54	0.16	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	14.80
210	0.97	1.05	0.97	0.67	0.35	0.08	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.13
240	0.81	0.67	0.46	0.34	0.20	0.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.57
270	0.71	0.67	0.43	0.23	0.13	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.23
300	0.78	1.44	1.05	0.60	0.38	0.19	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.48
330	0.98	3.80	5.50	4.32	2.37	1.00	0.20	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	18.23
TOT.	13.20	27.59	26.32	17.88	9.72	3.79	1.10	0.32	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Tabella A.10: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Ottobre

Dir (N)	Velocità del Vento (m/s) - Ottobre													TOT.
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	>24	
0	1.30	3.67	5.75	3.64	1.99	0.70	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.17
30	1.30	3.07	2.30	1.95	1.13	0.40	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.29
60	0.92	1.85	0.96	0.64	0.26	0.12	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.77
90	0.96	1.38	0.94	0.46	0.22	0.13	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.18
120	0.88	1.42	1.07	0.66	0.29	0.25	0.14	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.73
150	1.00	2.35	2.82	2.59	2.09	1.55	0.88	0.52	0.12	0.05	0.00	0.00	0.01	14.00
180	0.86	2.52	2.95	3.63	3.40	2.08	1.30	0.46	0.08	0.00	0.01	0.00	0.00	17.29
210	0.78	1.13	1.11	1.21	0.78	0.49	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.63
240	0.55	0.62	0.52	0.66	0.25	0.10	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.73
270	0.46	0.58	0.49	0.34	0.19	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.16
300	0.57	1.04	0.88	0.74	0.26	0.08	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	3.63
330	0.98	2.78	4.21	2.91	1.69	0.57	0.21	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	13.42
TOT.	10.56	22.42	24.01	19.43	12.55	6.54	3.08	1.04	0.26	0.07	0.01	0.00	0.01	100.00

Tabella A.11: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Novembre

Dir (N)	Velocità del Vento (m/s) - Novembre													TOT.
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	>24	
0	0.82	2.57	4.17	4.06	2.45	1.28	0.55	0.19	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	16.12
30	0.67	2.14	2.22	2.03	1.18	0.58	0.18	0.19	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	9.19
60	0.60	1.22	1.13	0.60	0.23	0.07	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	3.91
90	0.85	1.18	0.81	0.47	0.24	0.30	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.90
120	0.47	1.43	1.02	0.73	0.46	0.39	0.16	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	4.73
150	0.74	1.93	1.77	2.10	2.03	1.83	1.55	0.89	0.34	0.16	0.00	0.01	0.00	13.35
180	0.59	1.77	2.65	3.33	3.37	2.93	2.11	0.91	0.26	0.03	0.01	0.00	0.00	17.97
210	0.51	1.33	1.79	1.50	0.94	0.59	0.42	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.12
240	0.63	0.78	0.77	0.87	0.59	0.34	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.09
270	0.47	0.56	0.60	0.54	0.23	0.20	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.69
300	0.55	0.93	0.73	0.78	0.46	0.32	0.19	0.11	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	4.09
330	0.66	2.33	3.57	3.23	1.68	0.75	0.44	0.13	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	12.85
TOT.	7.57	18.17	21.22	20.24	13.86	9.57	5.85	2.52	0.76	0.20	0.01	0.01	0.00	100.00

Tabella A.12: Distribuzione delle Frequenze Percentuali di Accadimento della Velocità del Vento vs Direzione di Provenienza - Dicembre

Dir (N)	Velocità del Vento (m/s) - Dicembre													TOT.
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	>24	
0	0.60	2.15	3.16	1.98	1.61	1.26	0.62	0.13	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	11.54
30	0.44	1.35	1.64	1.68	1.24	0.95	0.46	0.22	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	7.99
60	0.38	1.34	1.35	0.77	0.40	0.14	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.44
90	2.16	2.42	1.37	1.30	0.56	0.35	0.14	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	8.36
120	0.42	0.92	0.75	0.84	0.60	0.29	0.18	0.07	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	4.11
150	0.44	1.00	1.01	1.12	1.25	1.09	0.77	0.65	0.49	0.09	0.01	0.00	0.00	7.93
180	16.38	1.15	1.31	1.68	1.81	1.89	1.41	0.96	0.36	0.07	0.00	0.00	0.00	27.00
210	0.42	1.07	1.01	1.22	1.31	0.95	0.38	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.43
240	0.35	0.87	0.74	0.79	0.64	0.33	0.19	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.94
270	1.37	0.99	0.90	0.64	0.34	0.23	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.60
300	0.53	0.81	0.82	0.70	0.60	0.47	0.16	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	4.19
330	0.47	1.54	2.95	2.29	1.37	0.57	0.21	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	9.47
TOT.	23.94	15.60	17.03	15.01	11.72	8.52	4.69	2.29	1.01	0.17	0.01	0.00	0.00	100.00

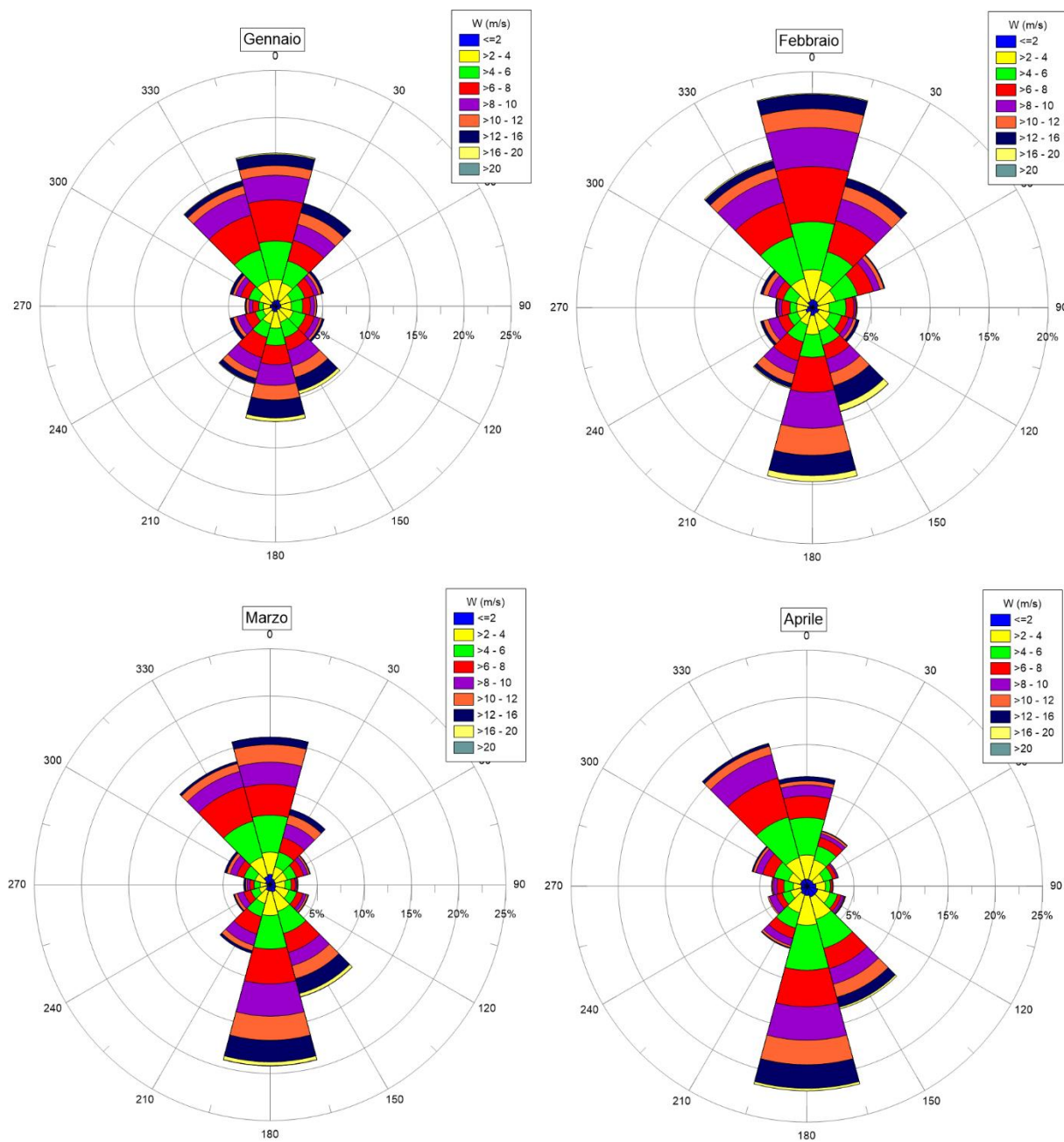


Figura A.1: Rose Mensili del Vento – Gennaio, Febbraio, Marzo, Aprile

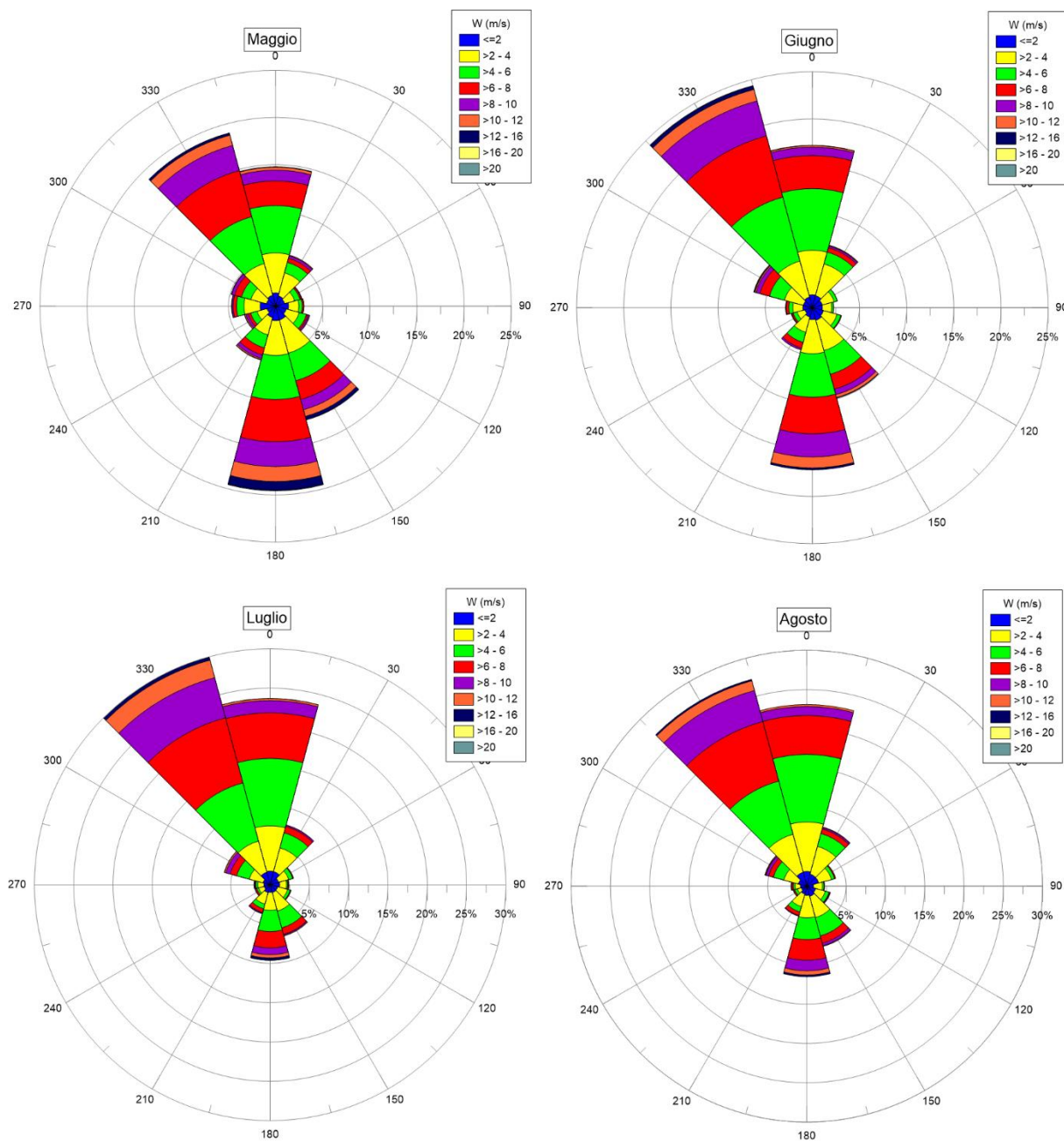


Figura A.2: Rose Mensili del Vento – Maggio, Giugno, Luglio, Agosto

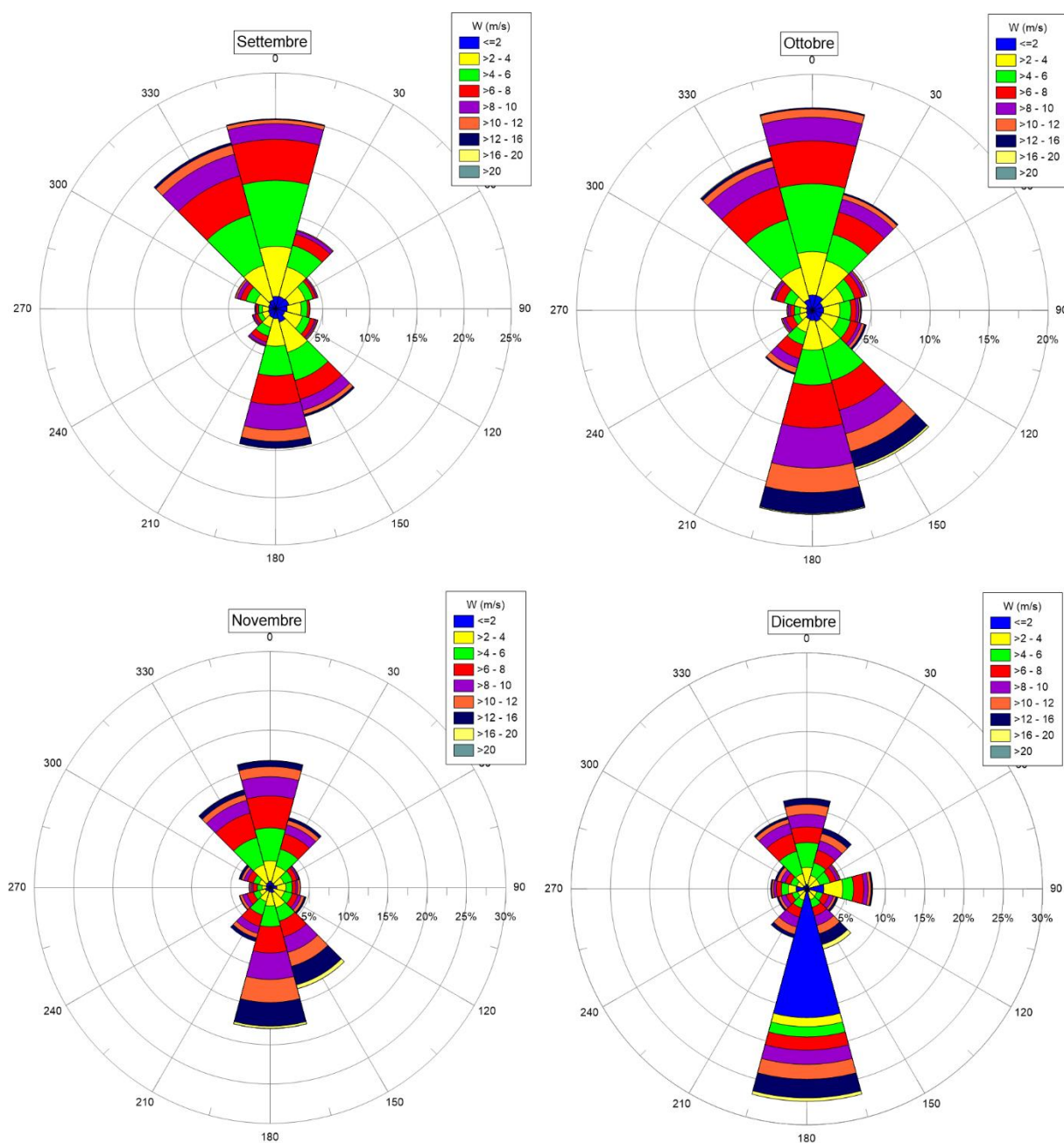


Figura A.3: Rose Mensili del Vento – Settembre, Ottobre, Novembre, Dicembre



RINA Consulting S.p.A. | Società soggetta a direzione e coordinamento amministrativo e finanziario del socio unico RINA S.p.A.
Via Cecchi, 6 - 16129 GENOVA | P. +39 010 31961 | rinaconsulting@rina.org | www.rina.org
C.F./P. IVA/R.I. Genova N. 03476550102 | Cap. Soc. € 20.000.000,00 i.v.