

REGIONE PUGLIA
PROVINCIA DI FOGGIA

PROGETTO PRELIMINARE PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE
DI ENERGIA ELETTRICA OFFSHORE DA FONTE EOLICA

Sezione 5:

RELAZIONI ED ELABORATI SPECIALISTICI

Titolo elaborato:

RELAZIONE METEOMARINA

N. Elaborato: 5.7

Scala: -

Committente

WIND ENERGY MANFREDONIA S.r.l.

Viale Città d'Europa n° 780 Roma (RM)

P.IVA 16873531004

Pec: windenergymanfredonia@pec.it

Progettazione



sede legale e operativa

San Martino Sannita (BN) Località Chianarile snc, Area industriale

sede operativa

Lucera (FG) via Alfonso La Cava 114

P.IVA 01465940623

Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873

Legale rappresentante

Nando Zaccagnini



Progettista

Dott. Ing. Massimo Lepore



| Rev. | Data | Elaborazione | Approvazione | Emissione | DESCRIZIONE |
|------|-------------|--------------|--------------|-------------|----------------------|
| 00 | Giugno 2023 | PI sigla | ML sigla | ML sigla | Progetto preliminare |

| | | | | | |
|--------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|-------------------|----|
| Nome File sorgente | PP.OW.MFD01.5.7.R00.doc | Nome file stampa | PP.OW.MFD01.5.7.R00.pdf | Formato di stampa | A4 |
|--------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|-------------------|----|

INDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. PREMESSA | 6 |
| 2. IL CASO STUDIO | 7 |
| 2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE | 7 |
| 2.2 DESCRIZIONE GENERALE | 7 |
| 2.3 METODOLOGIA | 9 |
| 2.4 BATIMETRIA | 9 |
| 3. CARATTERISTICHE CLIMATICHE GENERALI | 10 |
| 3.1 CIRCOLAZIONE DEL MARE ADRIATICO | 12 |
| 4. CARATTERISTICHE ANEMOLOGICHE | 14 |
| 4.1 WIND SHEAR | 16 |
| 4.2 ANALISI DEI DATI ANEMOMETRICI | 18 |
| 4.3 CONDIZIONI ESTREME | 21 |
| 5. CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSI | 23 |
| 5.1 RELAZIONE TRA LE GRANDEZZE ONDAMETRICHE | 24 |
| 5.2 CONDIZIONI ESTREME | 26 |
| 6. PROFILO MAREOGRAFICO | 27 |
| 6.1 CORRENTI | 27 |
| 6.2 TEMPERATURA | 30 |
| 6.3 LIVELLO MEDIO DI MAREA | 30 |
| 6.4 LIVELLO DI SALINITÀ | 31 |
| 7. CONCLUSIONI | 33 |
| BIBLIOGRAFIA | 34 |

INDICE DELLE FIGURE

| | |
|--|----|
| Figura 1: Inquadramento geografico dell'area di impianto su ortofoto..... | 7 |
| Figura 2: Schema generale del parco eolico galleggiante..... | 8 |
| Figura 3: Layout di impianto su ortofoto..... | 8 |
| Figura 4: Batimetria dell'area di impianto..... | 10 |
| Figura 5: Andamento mensile delle precipitazioni – Vieste..... | 11 |
| Figura 6: Andamento mensile della temperatura – Vieste..... | 11 |
| Figura 7: Circolazione superficiale dell'Adriatico..... | 12 |
| Figura 8: Posizione dei punti ERA5(T)..... | 14 |
| Figura 9: Posizione della stazione mareografica di Vieste..... | 15 |
| Figura 10: Confronto del profilo verticale per i 2 nodi ERA5(T)..... | 17 |
| Figura 11: Velocità media annuale dei 2 nodi ERA5(T)..... | 18 |
| Figura 12: Rosa in frequenza dei 2 nodi ERA5(T)..... | 18 |
| Figura 13: Rosa in frequenza dei 2 nodi ERA5(T) e della stazione di Vieste..... | 19 |
| Figura 14: Posizione della stazione ondometrica di Mazara e del punto ERA5_SW..... | 23 |
| Figura 15: Rosa delle altezze d'onda significative – ERA5_SE..... | 25 |
| Figura 16: Rosa dei periodi medi d'onda – ERA5_SE..... | 25 |
| Figura 17: Posizione dei punti utilizzati per l'analisi..... | 28 |
| Figura 18: Andamento della velocità di corrente per i 2 punti analizzati..... | 29 |
| Figura 19: Mappa della corrente marina superficiale – anno 2020..... | 29 |
| Figura 20: Temperatura superficiale del mare per gli anni 2016, 2017 e 2018..... | 30 |
| Figura 21: Livello relativo medio di marea per gli anni analizzati..... | 31 |
| Figura 22: Livello di salinità media per gli anni 2016, 2017 e 2018..... | 32 |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|--|----|
| Tabella 1: Caratteristiche delle stazioni di misura | 15 |
| Tabella 2: Parametri di wind shear misurati | 17 |
| Tabella 3: Sintesi dei dati misurati dai punti ERA5(T) | 19 |
| Tabella 4: Sintesi dei dati misurati dalla stazione di Vieste | 19 |
| Tabella 5: Tabella di frequenza percentuale di accadimento di velocità del vento | 20 |
| Tabella 6: Valori estremi di velocità del vento per i 2 punti analizzati | 22 |
| Tabella 7: Tabella di frequenza percentuale di accadimento di altezza d'onda – ERA5 SE | 25 |
| Tabella 8: Valori estremi di altezza d'onda significativa e periodo di picco per il punto analizzato. | 26 |

ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

| | |
|----------------------|--|
| AT | Alta tensione |
| BESS | Battery Energy Storage Systems |
| BT | Bassa Tensione |
| C3S | Copernicus Climate Change Service |
| CDS | Climate Data Storage |
| CIO | Commissione Oceanografica Intergovernativa Unesco |
| CMEMS | Copernicus Marine Environment Monitoring Service |
| Dir | Direzione media di provenienza del moto ondoso |
| EAC | Eastern Southern Adriatic Current |
| ECMWF | European Centre for Medium-Range Weather Forecasts |
| GEBCO | General Bathymetric Chart of the Oceans |
| GEV | Generalized Extreme Value Distribution |
| H_s | Altezza d'onda significativa |
| HYCOM | HYbrid Coordinate Ocean Model |
| IHO | Organizzazione idrografica internazionale |
| ISPRA | Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale |
| MLIW | Modified Levantine Intermediate Water |
| MT | Media tensione |
| NAd | Northern Adriatic current |
| POT | Peak Over Treshold |
| RMN | Rete Mareografica Nazionale |
| RON | Rete Ondametrica nazionale |
| RTN | Rete Trasmissione Nazionale |
| T | Periodo di ritorno |
| T_m | Periodo medio d'onda |
| T_p | Periodo di picco d'onda |
| WACC | Western Adriatic Coastal Current |
| W-Mad | Western-Middle Adriatic current |

1. PREMESSA

La presente relazione fornisce un inquadramento generale del profilo meteo marino del sito scelto per l'installazione di un impianto eolico di tipo offshore galleggiante con attenzione anche alle caratteristiche anemologiche e batimetriche dell'area.

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto eolico offshore con tecnologia floating dislocato oltre le 12 miglia, circa 37 km ad est dalle coste del Comune di Vieste nella porzione di mare ricadente all'interno della ZEE (Zona Economica Esclusiva) italiana.

Proponente dell'iniziativa è la società Wind Energy Manfredonia S.r.l. con sede in Viale Città d'Europa n°780, Roma.

L'impianto è costituito da 55 aerogeneratori modello Vestas V236 di potenza unitaria pari a 15 MW, diametro del rotore di 236 m e altezza al mozzo 150 m, per una potenza totale di impianto di 825 MW.

Gli aerogeneratori sono collegati tra loro e alla stazione di trasformazione offshore, che in questa prima fase viene prevista con fondazione fissa (struttura tipo Jacket), attraverso cavi marini inter-array in alta tensione a 66 kV. Dalla stazione di trasformazione offshore 66/220 kV l'energia elettrica viene trasferita mediante l'elettrodotto marino 220 kV fino al punto di approdo dove sarà realizzata la giunzione cavo marino-terrestre.

L'elettrodotto terrestre 220 kV raggiunge, poi, la stazione di trasformazione di utenza onshore 220/380 kV che sarà realizzata in prossimità della stazione elettrica Terna "Manfredonia".

Dalla stazione di utenza parte l'elettrodotto 380 kV che consente il collegamento in antenna sull'ampliamento della SE RTN 380/150 kV di "Manfredonia".

2. IL CASO STUDIO

Come anticipato, il progetto riguarda la realizzazione di un impianto eolico galleggiante costituito da 55 WTG di potenza nominale di 15 MW, diametro del rotore 236 m e altezza al mozzo 150 m, per una potenza totale di impianto di 825 MW.

2.1 Inquadramento territoriale

L'area di studio prevista per l'installazione dell'impianto fotovoltaico di tipo "floating" copre un'area di circa 316 km² e si colloca a circa 37 km a est del promontorio del Gargano oltre le 12 miglia nautiche nell'area della Zona Economica Esclusiva (ZEE) italiana.

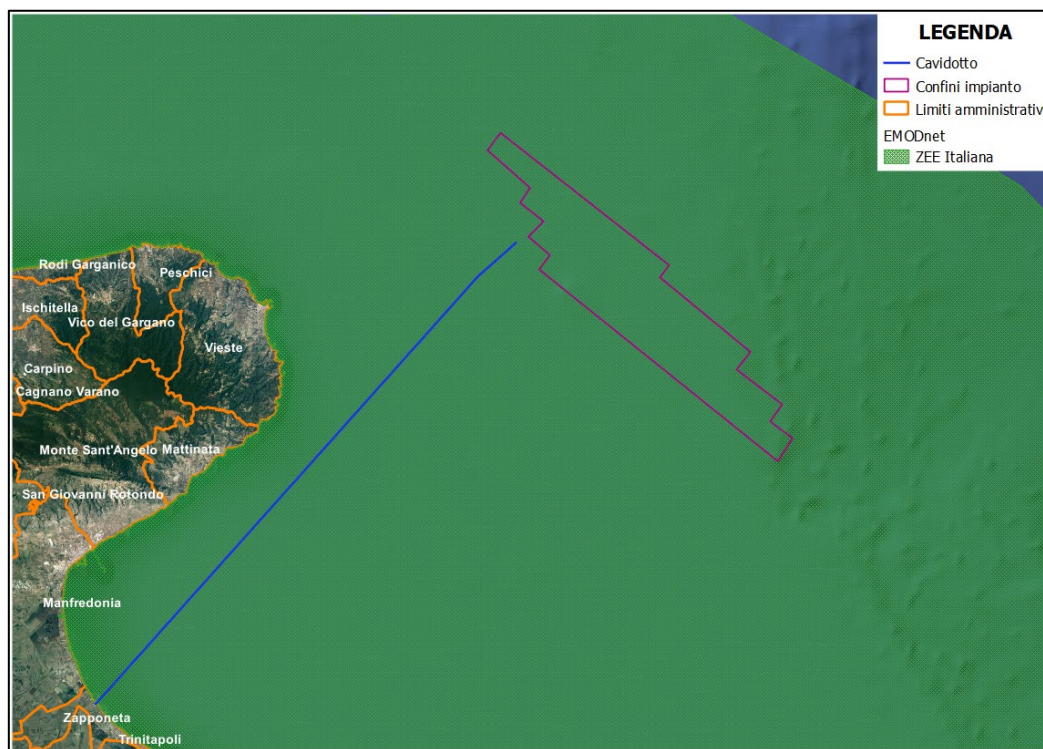


Figura 1: Inquadramento geografico dell'area di impianto su ortofoto.

2.2 Descrizione generale

L'impianto comprende un totale di 55 WTG aventi una potenza elettrica nominale di 15 MW. Gli aerogeneratori sono collegati tra loro e alla stazione di trasformazione offshore a fondazione fissa (struttura tipo Jacket), attraverso cavi marini inter-array in alta tensione a 66 kV. Dalla stazione di trasformazione offshore 66/220 kV l'energia elettrica viene trasferita mediante l'elettrodotto marino 220 kV fino al punto di approdo dove sarà realizzata la giunzione cavo marino-terrestre.

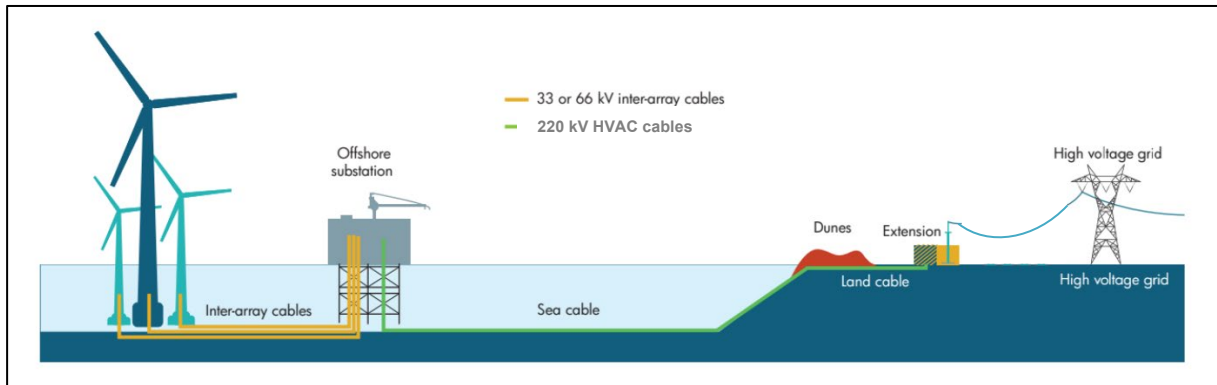


Figura 2: Schema generale del parco eolico galleggiante.

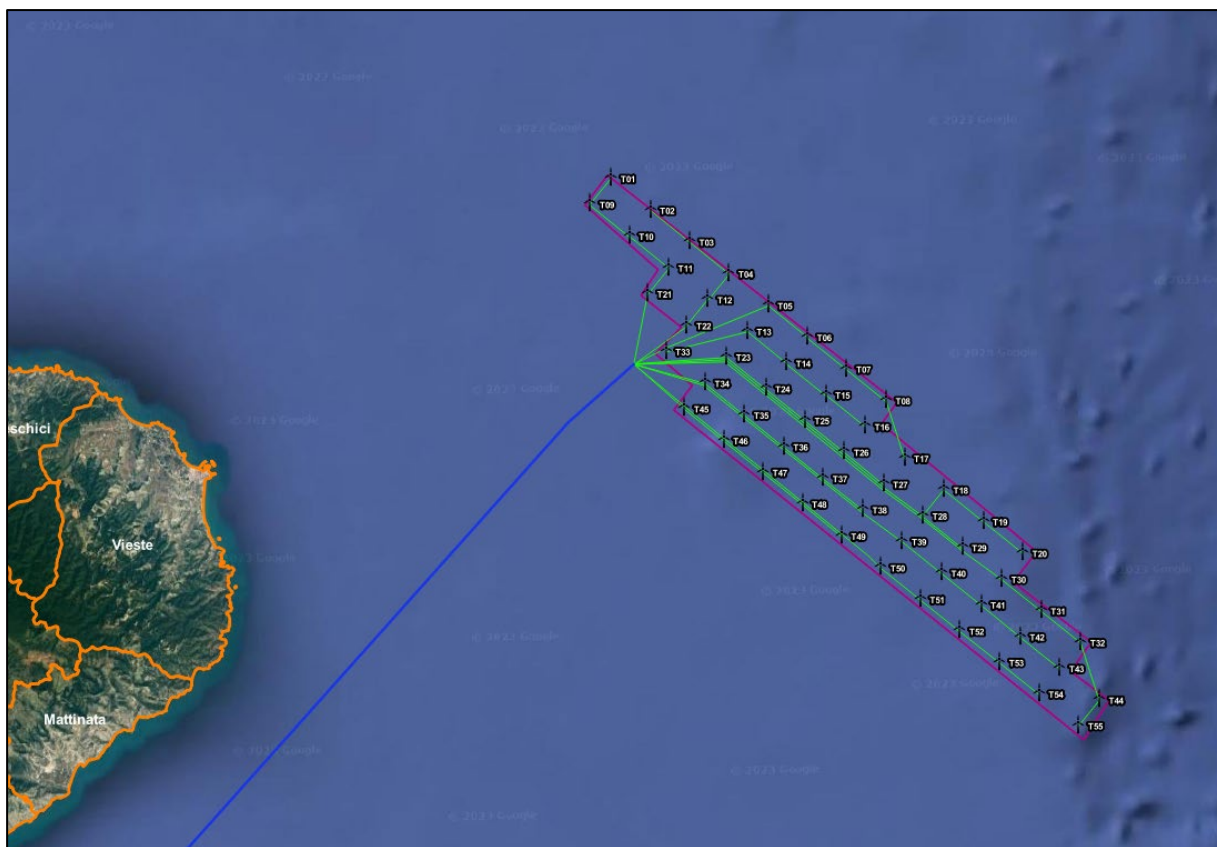


Figura 3: Layout di impianto su ortofoto.

2.3 Metodologia

La metodologia applicata prevede la definizione dei principali parametri meteo marini attraverso l'utilizzo di dati storici che devono essere rappresentativi del clima di medio e lungo termine e delle sue variabilità annuali e stagionali.

I principali parametri analizzati sono:

- **Caratteristiche anemologiche**

Valutazione dei parametri di velocità e direzione del vento estrapolati da database satellitare ERA5 di durata trentennale sviluppato attraverso il Copernicus Climate Change Service (C3S) con dati grezzi elaborati e forniti da ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasts) e resi disponibili dal software Wind Pro.

Confronto con i dati misurati dalla stazione di Vieste della Rete Mareografica Nazionale (RMN).

- **Caratteristiche batimetriche dell'area**

Valori estrapolati dalle mappe edite dal GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) per l'anno 2022.

- **Caratteristiche ondamiche**

Caratterizzazione statistica del moto ondoso in termini di direzione media di provenienza, periodo medio e di picco, altezza d'onda significativa e valutazione degli eventi estremi. Non essendo disponibili nell'area dati della Rete Ondometrica Nazionale (RON) dell'ISPRA è stato utilizzato il servizio CDS (Climate Data Storage) messo a disposizione dal programma Copernicus dell'Unione Europea.

- **Caratteristiche mareografiche**

Caratterizzazione delle condizioni termo-fisiche del mare, andamento annuale del livello di marea, correnti marine, temperatura e stima del livello di salinità medio. I dati sono stati estrapolati dal progetto Copernicus e dal modello numerico HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model) per il periodo 2016-2018.

2.4 Batimetria

I dati batimetrici sono stati ricavati dagli ultimi aggiornamenti dei database messi a disposizione da GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) congiuntamente con l'Organizzazione Idrografica Internazionale (IHO) e la Commissione Oceanografica Intergovernativa dell'Unesco (CIO). La griglia GEBCO_2022 fornisce una copertura globale di dati altimetrici, in metri, su una griglia di 15 secondi d'arco. È composta da 43200 righe x 86400 colonne, per un totale di 3.732.480.000 punti dati.

Le batimetrie dell'area di impianto sono comprese tra i -110 m e i -200 m.

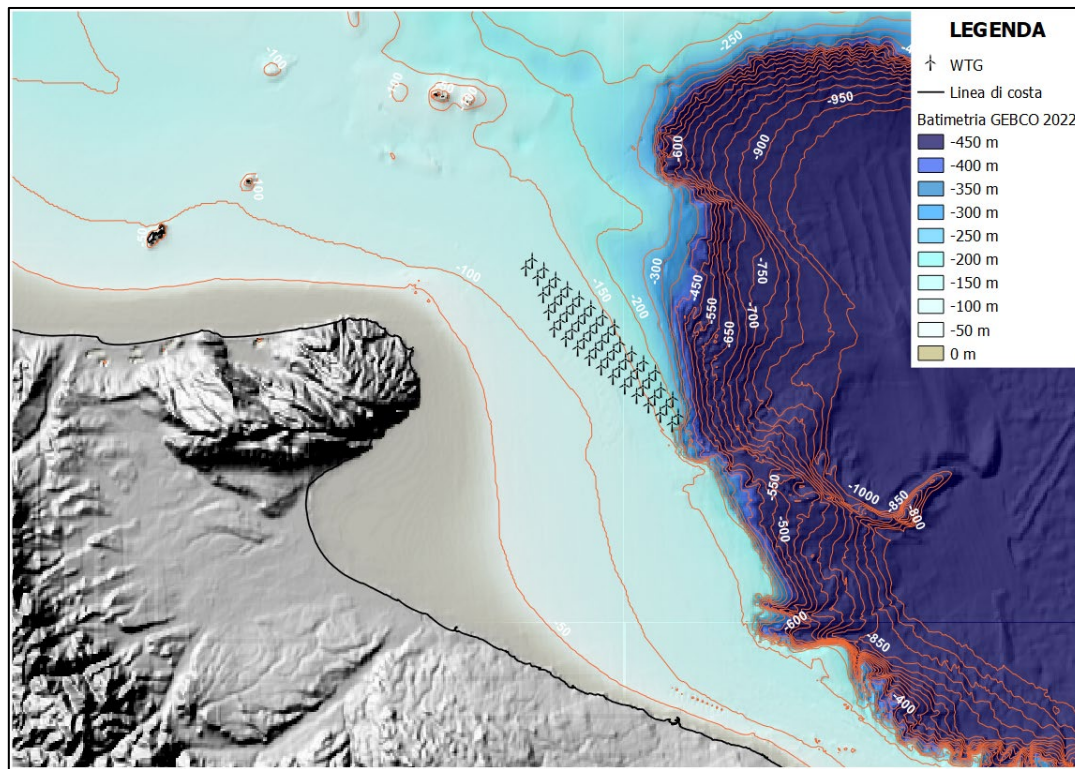
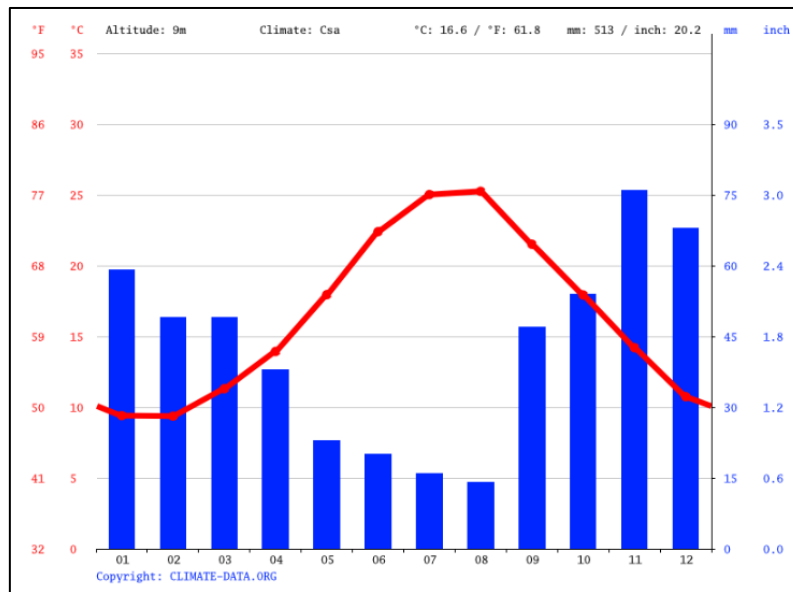
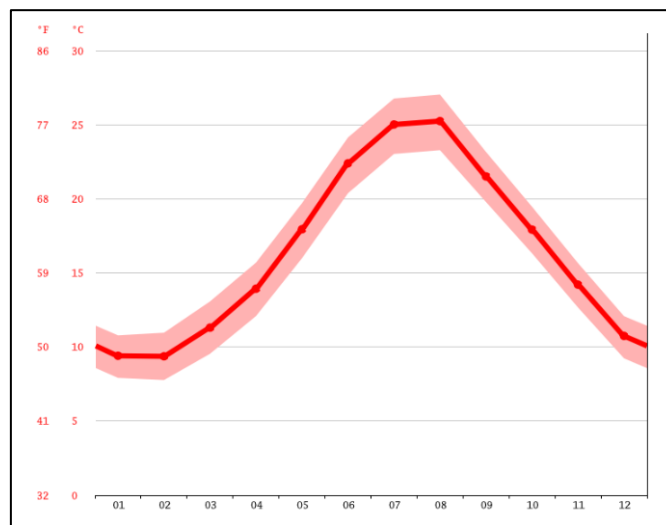


Figura 4: Batimetria dell'area di impianto.

3. CARATTERISTICHE CLIMATICHE GENERALI

Il clima della Puglia è tipicamente mediterraneo: le zone costiere e pianeggianti hanno estati calde, siccitose e ventilate, con inverni solitamente miti e relativamente piovosi. Le precipitazioni, concentrate durante l'autunno inoltrato e l'inverno, sono comunque scarse e per lo più di carattere piovoso.

Il clima di Vieste è caldo e temperato, la temperatura media annuale è di 16.6 °C mentre la piovosità media annuale è di circa 20 mm. Agosto è il mese più secco con 14 mm di pioggia, Novembre quello con maggiori precipitazioni con una media di 76 mm di pioggia [1].


Figura 5: Andamento mensile delle precipitazioni – Vieste.


| | January | February | March | April | May | June | July | August | September | October | November | December |
|----------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Avg. Temperature °C (°F) | 9.4 °C (48.9) °F | 9.4 °C (48.9) °F | 11.3 °C (52.3) °F | 13.9 °C (57.1) °F | 17.9 °C (64.3) °F | 22.4 °C (72.3) °F | 25 °C (77) °F | 25.2 °C (77.4) °F | 21.5 °C (70.7) °F | 17.9 °C (64.3) °F | 14.2 °C (57.6) °F | 10.7 °C (51.3) °F |
| Min. Temperature °C (°F) | 7.9 °C (46.2) °F | 7.8 °C (46) °F | 9.5 °C (49.2) °F | 12.1 °C (53.8) °F | 16 °C (60.8) °F | 20.4 °C (68.7) °F | 23 °C (73.5) °F | 23.3 °C (73.9) °F | 19.8 °C (67.6) °F | 16.3 °C (61.4) °F | 12.7 °C (54.8) °F | 9.2 °C (48.6) °F |
| Max. Temperature °C (°F) | 10.8 °C (51.4) °F | 11 °C (51.7) °F | 13.1 °C (55.5) °F | 15.7 °C (60.2) °F | 19.7 °C (67.5) °F | 24.1 °C (75.5) °F | 26.8 °C (80.2) °F | 27 °C (80.7) °F | 23.2 °C (73.7) °F | 19.5 °C (67) °F | 15.7 °C (60.2) °F | 12.1 °C (53.7) °F |
| Precipitation / Rainfall mm (in) | 59 (2) | 49 (1) | 49 (1) | 38 (1) | 23 (0) | 20 (0) | 16 (0) | 14 (0) | 47 (1) | 54 (2) | 76 (2) | 68 (2) |
| Humidity(%) | 72% | 71% | 72% | 74% | 73% | 69% | 66% | 68% | 70% | 75% | 74% | 73% |
| Rainy days (d) | 7 | 6 | 5 | 5 | 4 | 2 | 2 | 4 | 4 | 6 | 7 | 8 |
| avg. Sun hours (hours) | 6.6 | 7.6 | 9.2 | 11.0 | 12.4 | 13.2 | 13.1 | 12.2 | 10.4 | 8.5 | 7.3 | 6.5 |

Figura 6: Andamento mensile della temperatura – Vieste.

3.1 Circolazione del Mare Adriatico

Il bacino Adriatico è sottoposto all'azione di forzanti atmosferici caratterizzati da un ampio range di variabilità; ciò comporta che le proprietà oceanografiche dell'Adriatico, la circolazione che lo contraddistingue e la distribuzione delle masse d'acqua, dipendano in grande misura dalle caratteristiche degli scambi oceano-atmosfera. Il bacino è un bacino di diluizione [2] in quanto il bilancio d'acqua è negativo:

$$W = E - (P + R)$$

Dove:

- E = evaporazione
- P = precipitazione
- R = runoff

Questo è dovuto principalmente agli apporti fluviali, poiché evaporazione e precipitazioni si compensano su tale scala; l'Adriatico può essere considerato come una fonte d'acqua dolce per tutto il Mediterraneo, dove al contrario il bilancio è positivo. Ogni anno, in media, il bacino riceve dai numerosi fiumi 5700 m³/s di acqua dolce [2] [3] di cui circa il 28% proviene dal fiume Po, il cui delta si trova nel settore nord ovest dell'Adriatico settentrionale.

La circolazione generale dell'Adriatico risulta ciclonica: verso nord lungo la costa orientale, verso sud in quella occidentale, in parte determinata dagli apporti fluviali. La circolazione dei tre sotto-bacini è spesso dominata da gyres, vortici a scala di bacino, ciclonici che variano in intensità a seconda delle stagioni; il gyre del sotto-bacino meridionale persiste per tutto l'anno, quello del sotto-bacino centrale è più evidente in estate ed autunno, nella parte settentrionale sembra essere presente solo in autunno [4].

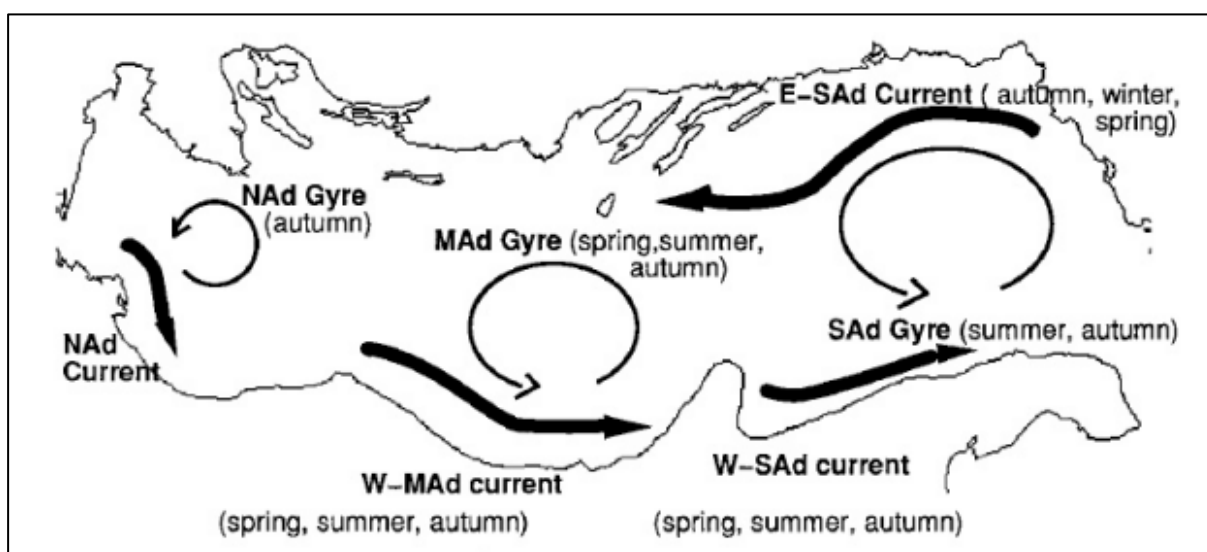


Figura 7: Circolazione superficiale dell'Adriatico.

I tre gyres sono collegati tra di loro da due correnti costiere, una che fluisce verso sud parallelamente alla costa occidentale per tutta la lunghezza del bacino, dalla foce del fiume Po sino allo Stretto di Otranto (la Western Adriatic Coastal Current, WACC) durante la stagione autunnale, la quale si presenta discontinua in primavera-estate, composta da tre distinti segmenti situati nei rispettivi sotto-bacini (Northern, Western-Middle e Southern Adriatic current) [4]; la seconda dallo Stretto di Otranto si dirige verso nord lungo la costa orientale sino a raggiungere il sotto-bacino centrale (la Eastern Southern Adriatic Current, EAC o E-SAd current).

Nel nord Adriatico la struttura predominante è la Northern Adriatic current, NAd, osservabile di fronte al Po. Durante l'inverno la NAd è un "segmento", che dal delta del Po si estende per circa 100 km verso sud. In primavera la corrente si estende lungo la costa italiana fino a circa metà del sotto-bacino meridionale dove si intensifica. La parte della NAd che passa nell'Adriatico centrale è chiamata Western-Middle Adriatic current (W-MAd), poichè in estate si separa dalla NAd. Fra la primavera e l'estate le due correnti tendono a spostarsi più al largo formando dei meandri, che interessano anche il centro del bacino. In autunno la NAd e la W-MAd si uniscono in una sola corrente che percorre le coste italiane (la Western Adriatic Coastal Current, WACC). Durante l'inverno la circolazione baroclina (forzata dai gradienti orizzontali di densità) è più debole e prevale la parte barotropica ed i moti verticali. In estate ed in autunno in superficie si nota l'ampia struttura del gyre nord Adriatico (NAd gyre). Nell'Adriatico centrale e in quello meridionale è forte l'influenza stagionale e la circolazione è caratterizzata da i gyres del medio e del sud Adriatico (MAd e SAd gyre), dalla Eastern Southern Adriatic current (E-SAd current) e dalla Western Southern Adriatic current (W-SAd current). Queste strutture sono molto evidenti in estate e particolarmente in autunno, mentre diminuiscono in primavera e durante l'inverno sono quasi assenti. In inverno il campo è meno energetico ed è dominato da deboli flussi da sud a nord lungo il centro del bacino. E' probabile che la circolazione baroclina superficiale necessiti di un flusso lungo costa per chiudere la circolazione ciclonica durante l'inverno. In estate ed in autunno, sia il MAd gyre che il SAd gyre si intensificano. In estate la W-MAd e la W-SAd si estendono oltre Otranto. Solo la W-MAd si mantiene fino all'autunno, quando i due gyre raggiungono la massima estensione. Questo è il periodo in cui la E-SAd è meglio definita e occupa una ampia parte della regione est del bacino. Generalizzando si può dire che la circolazione invernale è composta da due correnti principali la NAd e la SAd. In primavera ed estate la circolazione superficiale è caratterizzata dai due maggiori gyres ciclonici e dalla presenza dei due segmenti costieri corrispondenti (W-MAd e W-SAd). Si suppone che la stratificazione verticale del bacino provochi sia la comparsa dei gyres che l'intensificarsi delle correnti costiere. In autunno le strutture su grande scala sono più stabili, con tre gyres ciclonici e la Western Adriatic Coastal Current che collega i tre sotto-bacini. Questa è la stagione che vede il massimo di MLIW (Modified Levantine Intermediate Water) entrare dallo Stretto di Otranto, uno strato di rimescolamento ben definito ed un massimo di temperatura negli strati 12 sottosuperficiali del nord Adriatico. Il motivo per cui la circolazione generale abbia scale così ampie, è riconducibile sia alle condizioni di stabilità della colonna d'acqua sia alle caratteristiche dei forzanti agenti sul bacino. La MLIW, che penetra nel bacino attraverso lo Stretto di Otranto, può essere considerata come un forzante esterno, insieme allo Scirocco, che rinforza l'entrata del flusso da Otranto.

4. CARATTERISTICHE ANEMOLOGICHE

Le caratteristiche anemologiche di sito sono state valutate utilizzando 2 set di dati ad altezza 100m s.l.m. provenienti dal database satellitare *ERA5(T) Rectangular Grid* messo a disposizione del software Wind Pro. Il database in questione è il dato ERA5 più aggiornato disponibile in Wind Pro contenente un sottoinsieme di parametri climatici che copre un periodo di più di 30 anni con una disponibilità del 100%. Di seguito una panoramica del set di dati utilizzato:

- **Risoluzione spaziale:** la griglia del set di dati deriva da una griglia geografica regolare interpolata (lat/lon) con risoluzione 0,25x0,25 (circa 27,8 km).
- **Risoluzione temporale:** valori orari.
- **Copertura:** La copertura è globale per le aree terrestri e le regioni costiere. In WindPRO, la copertura offshore si trova a una distanza di circa 300 km da qualsiasi costa conosciuta.
- **Periodo:** > 30 anni.
- **Programma di aggiornamento:** attualmente, EMD aggiorna questo set di dati una volta al mese, con i dati disponibili con un ritardo di una settimana rispetto al tempo reale.

I 2 set di dati utilizzati si trovano ad una distanza di circa 3 e 17 km dall'area di impianto come mostrato in figura.

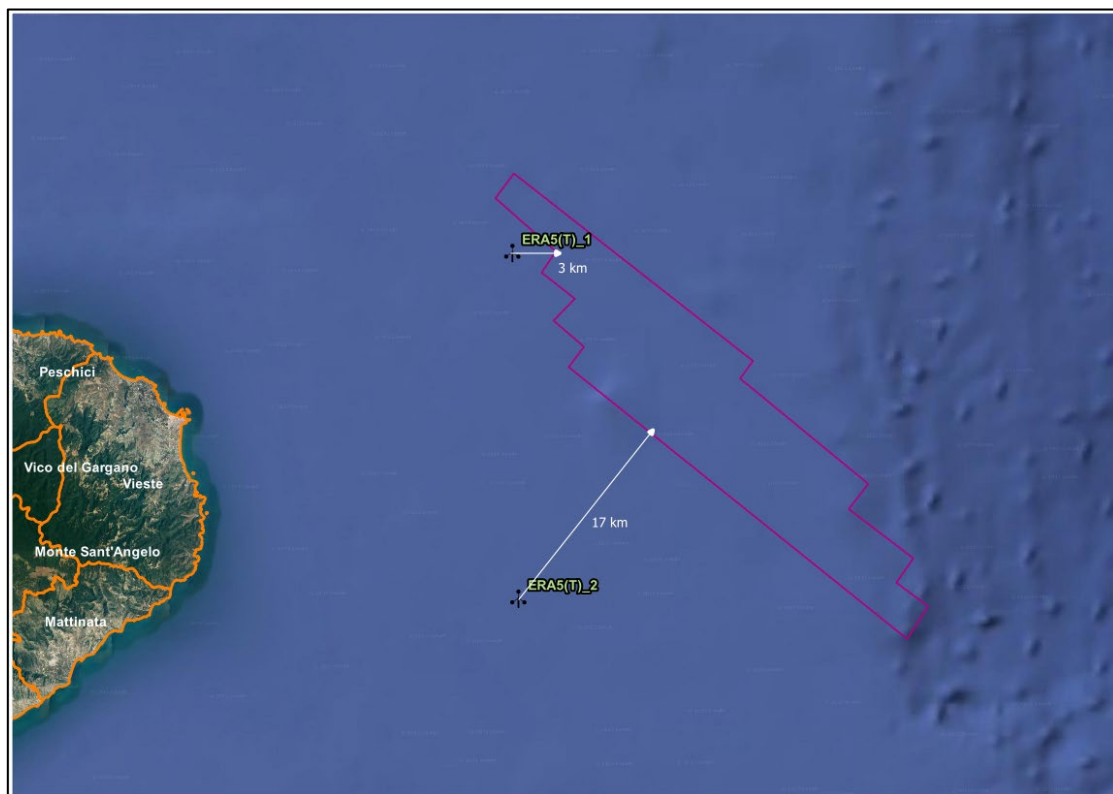


Figura 8: Posizione dei punti ERA5(T).

La sensibilità del dato anemometrico è stata successivamente valutata tramite il confronto, per il periodo di misurazione sovrapponibile, con la stazione della Rete Mareografica Nazionale (RMN) dell'Ispra installata presso il molo del porto di Vieste e distante circa 30 km dall'area di impianto. La stazione di Vieste risulta quindi non propriamente rappresentativa delle condizioni anemologiche dell'area.



Figura 9: Posizione della stazione mareografica di Vieste.

La tabella a seguire mostra le informazioni relative ai nodi satellitari ERA5(T) e alla stazione di misura di Vieste.

Tabella 1: Caratteristiche delle stazioni di misura

| ID Stazione | UTM WGS 84 fuso 33 | | Altezza di misura s.l.m. [m] | Altitudine s.l.m. [m] | Periodo misurazione | | |
|-------------------|--------------------|--------------|------------------------------|-----------------------|---------------------|------------|---------|
| | Long Est [m] | Lat Nord [m] | | | Inizio | Fine | n° anni |
| <i>ERA5(T)_1</i> | 624228 | 4650864 | 100 | 0 | 01/01/1992 | 31/12/2022 | 30 |
| <i>ERA5(T)_2</i> | 624713 | 4623107 | 100 | 0 | 01/01/1992 | 31/12/2022 | 30 |
| <i>RMN Vieste</i> | 597649 | 4638020 | 10 | 0 | 01/01/2010 | 31/12/2022 | 12 |

4.1 Wind shear

È noto che l'attrito tra aria e terreno rallenta il vento in prossimità del suolo, determinando un profilo di velocità in funzione dell'altezza denominato anche *strato limite*. L'andamento della velocità con la quota risente in modo significativo della natura del terreno (scabrezza), degli ostacoli eventualmente presenti (edifici, alberi, rocce, ecc...), delle direzioni e delle stagionalità.

In generale il wind shear, o legge di potenza α , indica la variazione verticale della velocità del vento al variare dell'altezza dal suolo ed è calcolato sulla base di due altezze di monitoraggio utilizzando il profilo della legge di potenza espressa come:

$$\alpha = \frac{\ln(V_{Z_1})}{\ln(V_{Z_2})} / \frac{\ln(Z_1)}{\ln(Z_2)}$$

con:

V_{Z_1} = velocità del vento misurata all'altezza 1 [m/s]

V_{Z_2} = velocità del vento misurata all'altezza 2 [m/s]

Z_1 = altezza di misura 1 sul livello del suolo [m]

Z_2 = altezza di misura 2 sul livello del suolo [m]

Il profilo del vento lungo lo strato limite atmosferico è quindi definito da una curva logaritmica sebbene sul suo andamento incidano anche le azioni della stabilità termica e della rugosità superficiale. Di solito ci si riferisce a *classi di rugosità* o *lunghezze di rugosità* per valutare le condizioni di vento in un determinato paesaggio. Una classe di rugosità elevata da 3 a 4 si riferisce a paesaggi con alberi ed edifici, mentre la superficie del mare ha una classe di rugosità prossima a 0.

L'immagine a seguire evidenzia il parametro di Wind Shear misurato in funzione delle differenti altezze (10m e 100m s.l.m.) delle stazioni satellitari considerate.

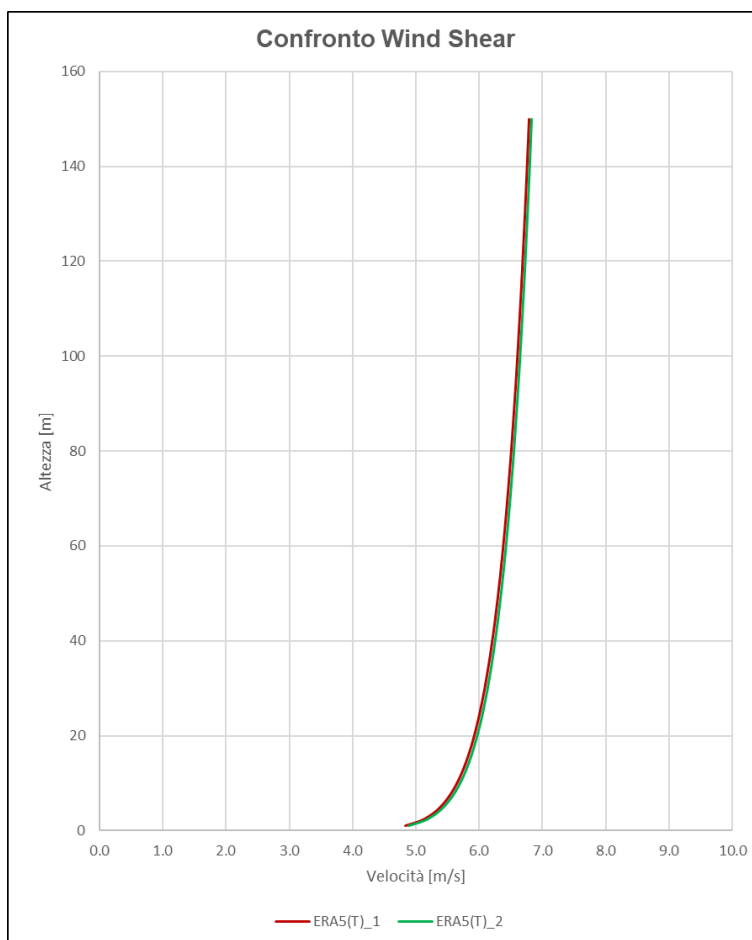


Figura 10: Confronto del profilo verticale per i 2 nodi ERA5(T).

La tabella a seguire mostra il valore dello shear medio misurato per le 2 stazioni satellitari con evidenza della lunghezza di rugosità e classe di rugosità del sito.

Tabella 2: Parametri di wind shear misurati

| | Shear exponent | Lunghezza di rugosità [m] | Classe di Rugosità |
|------------------|----------------|---------------------------|--------------------|
| ERA5(T)_1 | 0.068 | 0 | 0 |
| ERA5(T)_2 | 0.066 | 0 | 0 |

Appare evidente dalla tabella precedente, che le 2 stazioni sono rappresentative delle reali condizioni anemometriche in mare; il valore dello shear misurato e della classe di rugosità del sito sono infatti rappresentativi di un'area marina.

4.2 Analisi dei dati anemometrici

Le figure a seguire mostrano l'andamento delle velocità medie annuali e la rosa in frequenza delle direzioni del vento alla quota di 100 m s.l.m. per i punti ERA5(T) analizzati.

Il grafico dà evidenza di un valore di velocità media dei 2 punti ERA5(T) molto simile.

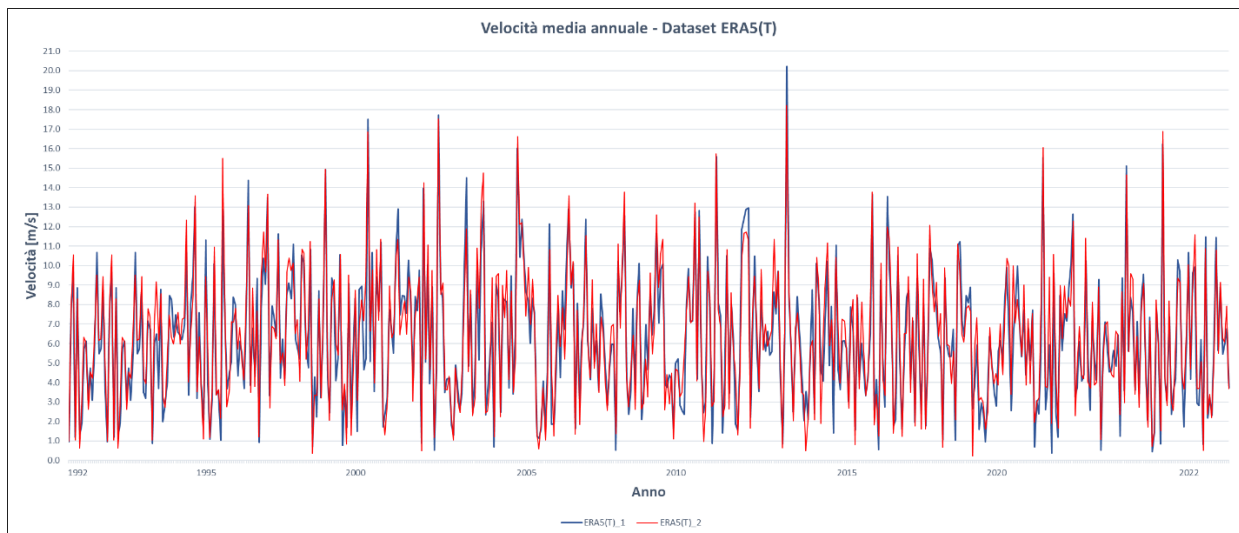


Figura 11: Velocità media annuale dei 2 nodi ERA5(T).

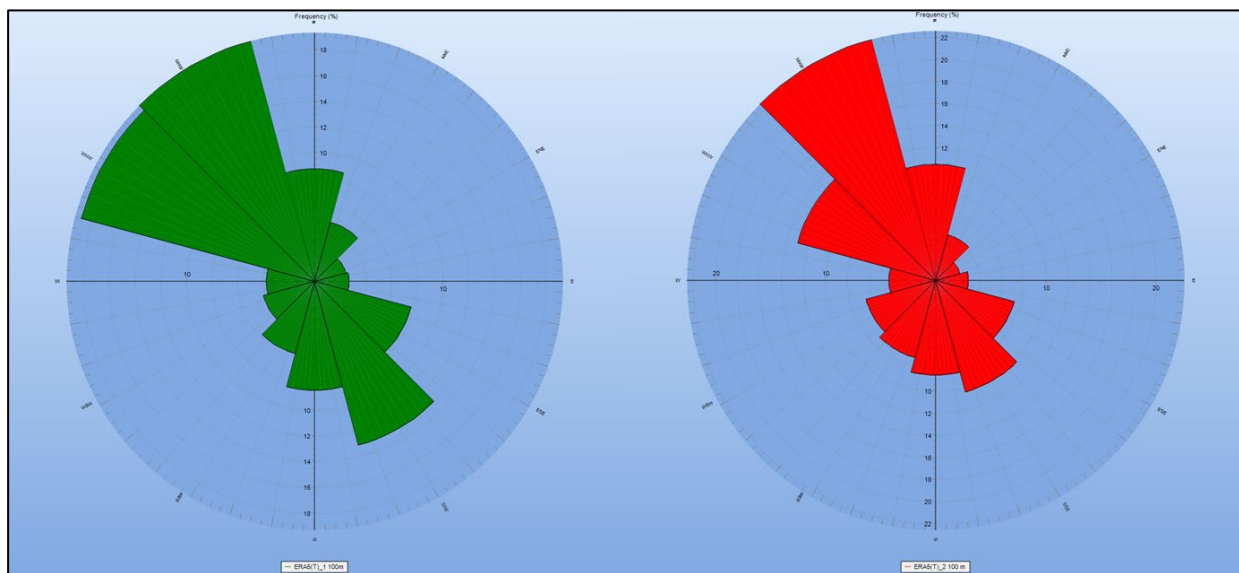


Figura 12: Rosa in frequenza dei 2 nodi ERA5(T).

Per quanto riguarda le direzioni principali misurate, entrambi i punti presentano un settore nord nord ovest predominante ma la rosa del punto ERA_5(2) presenta una prevalenza anche del settore ovest nord ovest.

Nella tabella a seguire sono presentati i dati relativi alle diverse altezze di monitoraggio.

Tabella 3: Sintesi dei dati misurati dai punti ERA5(T)

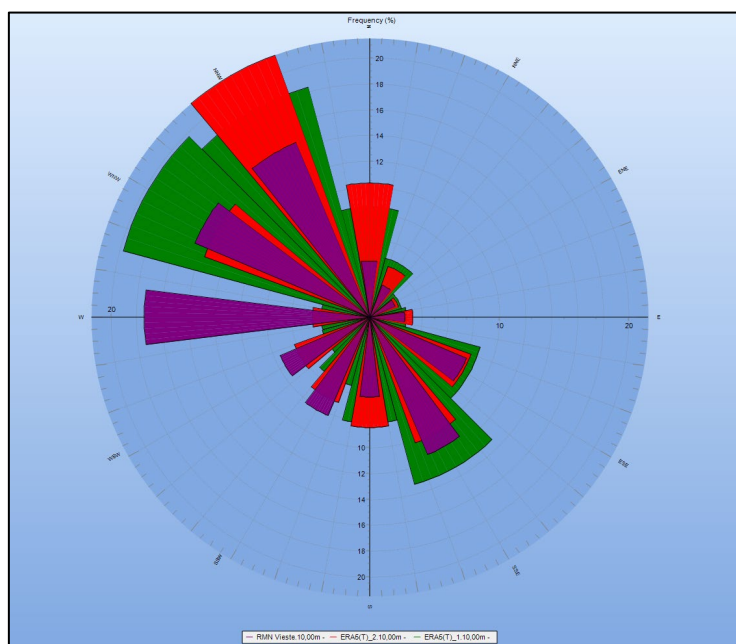
| ERA5(T)_1 | unit | count | Of period | Mean | Std dev | Min | Max | Weibull mean | Weibull A par | Weibull k par |
|-------------------------|--------------------------|--------|-----------|-------|---------|------|-------|--------------|---------------|---------------|
| | Mean wind speed, enabled | | | | | | | | | |
| 10,00m | m/s | 262968 | 100,0 % | 5,58 | - | 0,01 | 19,47 | 5,65 | 6,37 | 20,78 |
| 100,00m | m/s | 262968 | 100,0 % | 6,52 | - | 0,01 | 25,93 | 6,61 | 7,45 | 19,72 |
| Wind direction, enabled | | | | | | | | | | |
| 10,00m | Degrees | 262968 | 100,0 % | 302,8 | - | 0,0 | 359,9 | - | - | - |
| 100,00m | Degrees | 262968 | 100,0 % | 302,0 | - | 0,0 | 359,9 | - | - | - |

| ERA5(T)_2 | unit | count | Of period | Mean | Std dev | Min | Max | Weibull mean | Weibull A par | Weibull k par |
|-------------------------|--------------------------|--------|-----------|-------|---------|------|-------|--------------|---------------|---------------|
| | Mean wind speed, enabled | | | | | | | | | |
| 10,00m | m/s | 262968 | 100,0 % | 5,66 | - | 0,01 | 18,93 | 5,70 | 6,43 | 20,26 |
| 100,00m | m/s | 262968 | 100,0 % | 6,58 | - | 0,01 | 24,50 | 6,64 | 7,49 | 19,60 |
| Wind direction, enabled | | | | | | | | | | |
| 10,00m | Degrees | 262968 | 100,0 % | 301,3 | - | 0,0 | 359,9 | - | - | - |
| 100,00m | Degrees | 262968 | 100,0 % | 301,0 | - | 0,0 | 359,9 | - | - | - |

Tabella 4: Sintesi dei dati misurati dalla stazione di Vieste

| RMN Vieste | unit | count | Of period | Mean | Std dev | Min | Max | Weibull mean | Weibull A par | Weibull k par |
|-------------------------|--------------------------|--------|-----------|-------|---------|------|-------|--------------|---------------|---------------|
| | Mean wind speed, enabled | | | | | | | | | |
| 10,00m | m/s | 544933 | 79,7 % | 3,69 | - | 0,00 | 23,80 | 4,42 | 4,93 | 16,01 |
| Wind direction, enabled | | | | | | | | | | |
| 10,00m | Degrees | 460365 | 67,3 % | 262,4 | - | 0,0 | 359,0 | - | - | - |

Da notare come il dato relativo alla velocità media sia coerente tra i 2 nodi ERA5(T). Per quanto riguarda la direzione c'è uno scostamento di circa 40° tra quanto misurato dalla stazione di Vieste e dai nodi ERA5(T). È infatti da sottolineare che il punto di Vieste è ubicato in una rientranza della costa, in un punto sul molo del porto dove risente dell'orografia e dei flussi provenienti dall'entroterra.


Figura 13: Rosa in frequenza dei 2 nodi ERA5(T) e della stazione di Vieste.

Le tabelle seguenti riportano la distribuzione delle frequenze percentuali di accadimento di velocità del vento rispetto alla direzione di provenienza calcolate analizzando le serie temporali estratte dai database ERA5(T) e dalla stazione di Vieste.

Dalla tabella si evince che la direzione di provenienza in tali intervalli abbraccia maggiormente i settori ovest nord ovest, nord nord ovest e nord.

Tabella 5: Tabella di frequenza percentuale di accadimento di velocità del vento

| ERA5(T)_1 | | | | | | | | | | | | | | | Somma |
|-----------|--------------|------------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| Media | Inizio [m/s] | Fine [m/s] | N | NNE | ENE | E | ESE | SSE | S | SSW | WSW | W | WNW | NNW | |
| | 0.0 | 0.5 | 7.66% | 7.26% | 9.28% | 8.56% | 6.67% | 9.15% | 8.74% | 7.17% | 9.10% | 9.46% | 8.61% | 8.34% | 100% |
| | 0.5 | 1.5 | 8.78% | 7.30% | 6.78% | 7.55% | 8.72% | 9.43% | 8.43% | 7.69% | 7.30% | 8.36% | 9.40% | 10.24% | 100% |
| | 1.5 | 2.5 | 8.60% | 5.43% | 4.77% | 5.99% | 10.21% | 10.96% | 8.57% | 6.10% | 6.32% | 7.46% | 12.05% | 13.53% | 100% |
| | 2.5 | 3.5 | 8.03% | 4.14% | 3.36% | 4.58% | 11.08% | 12.81% | 7.89% | 5.09% | 3.97% | 5.76% | 15.26% | 18.04% | 100% |
| | 3.5 | 4.5 | 7.47% | 3.80% | 2.46% | 2.99% | 10.90% | 13.22% | 7.60% | 4.49% | 3.39% | 4.28% | 18.39% | 20.99% | 100% |
| | 4.5 | 5.5 | 7.14% | 4.00% | 1.86% | 2.03% | 9.50% | 13.16% | 6.87% | 4.41% | 2.94% | 3.20% | 22.86% | 22.03% | 100% |
| | 5.5 | 6.5 | 7.15% | 3.74% | 1.61% | 1.34% | 7.61% | 12.78% | 7.33% | 4.72% | 2.90% | 2.60% | 27.20% | 21.03% | 100% |
| | 6.5 | 7.5 | 7.70% | 4.01% | 1.39% | 1.14% | 6.71% | 12.98% | 8.07% | 5.36% | 2.95% | 2.24% | 28.62% | 18.85% | 100% |
| | 7.5 | 8.5 | 7.85% | 4.73% | 1.32% | 0.84% | 7.26% | 13.04% | 8.89% | 6.05% | 3.16% | 1.73% | 26.37% | 18.75% | 100% |
| | 8.5 | 9.5 | 10.29% | 5.24% | 1.44% | 0.98% | 7.08% | 15.25% | 9.70% | 6.63% | 3.40% | 1.56% | 19.76% | 18.67% | 100% |
| | 9.5 | 10.5 | 12.45% | 5.88% | 1.57% | 1.49% | 7.70% | 17.03% | 9.94% | 6.88% | 3.16% | 1.35% | 14.87% | 17.67% | 100% |
| | 10.5 | 11.5 | 13.71% | 6.02% | 1.60% | 1.82% | 7.79% | 18.44% | 11.17% | 6.20% | 3.66% | 1.16% | 11.59% | 16.84% | 100% |
| | 11.5 | 12.5 | 15.42% | 7.49% | 1.74% | 2.63% | 8.48% | 20.76% | 9.71% | 4.81% | 2.88% | 0.97% | 9.16% | 15.95% | 100% |
| | 12.5 | 13.5 | 15.36% | 8.01% | 1.29% | 3.24% | 9.82% | 23.46% | 7.87% | 3.67% | 2.19% | 1.14% | 8.15% | 15.78% | 100% |
| | 13.5 | 14.5 | 16.72% | 7.72% | 2.44% | 3.71% | 11.34% | 24.44% | 5.38% | 1.56% | 1.56% | 1.27% | 9.19% | 14.66% | 100% |
| | 14.5 | 15.5 | 15.99% | 4.90% | 2.13% | 5.33% | 13.01% | 28.14% | 4.69% | 0.64% | 0.64% | 1.49% | 10.02% | 13.01% | 100% |
| | 15.5 | 16.5 | 11.73% | 5.10% | 1.02% | 2.04% | 8.67% | 26.53% | 3.06% | 0.00% | 0.51% | 2.04% | 9.69% | 29.59% | 100% |
| | 16.5 | 17.5 | 17.57% | 4.05% | 0.00% | 0.00% | 6.76% | 22.97% | 8.11% | 0.00% | 2.70% | 2.70% | 9.46% | 25.68% | 100% |
| | 17.5 | 18.5 | 0.00% | 6.25% | 0.00% | 0.00% | 12.50% | 43.75% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 15.63% | 21.88% | 100% |
| | 18.5 | >19.5 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 50.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 25.00% | 25.00% | 100% |

| ERA5(T)_2 | | | | | | | | | | | | | | | Somma |
|-----------|--------------|------------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| Media | Inizio [m/s] | Fine [m/s] | N | NNE | ENE | E | ESE | SSE | S | SSW | WSW | W | WNW | NNW | |
| | 0.0 | 0.5 | 9.18% | 8.05% | 9.13% | 8.39% | 7.94% | 8.39% | 7.88% | 8.50% | 7.60% | 8.33% | 8.11% | 8.50% | 100% |
| | 0.5 | 1.5 | 9.58% | 7.90% | 7.79% | 8.08% | 8.95% | 9.03% | 8.00% | 7.41% | 7.18% | 8.15% | 8.51% | 9.42% | 100% |
| | 1.5 | 2.5 | 9.89% | 6.78% | 6.04% | 7.28% | 9.30% | 9.04% | 8.24% | 6.66% | 7.18% | 7.93% | 10.33% | 11.35% | 100% |
| | 2.5 | 3.5 | 10.54% | 4.89% | 3.80% | 6.14% | 10.25% | 9.77% | 8.00% | 6.34% | 6.07% | 7.03% | 11.69% | 15.47% | 100% |
| | 3.5 | 4.5 | 9.37% | 3.60% | 2.17% | 4.16% | 10.58% | 10.50% | 8.10% | 6.22% | 5.47% | 5.62% | 14.36% | 19.86% | 100% |
| | 4.5 | 5.5 | 8.56% | 2.72% | 1.35% | 2.35% | 9.64% | 10.16% | 8.83% | 7.05% | 5.44% | 4.41% | 15.96% | 23.52% | 100% |
| | 5.5 | 6.5 | 7.70% | 2.51% | 0.91% | 1.56% | 7.69% | 10.20% | 9.13% | 7.53% | 5.71% | 3.51% | 17.25% | 26.29% | 100% |
| | 6.5 | 7.5 | 7.74% | 2.84% | 0.81% | 1.19% | 7.15% | 9.95% | 9.07% | 7.64% | 6.34% | 3.03% | 18.25% | 25.98% | 100% |
| | 7.5 | 8.5 | 9.36% | 3.08% | 0.93% | 0.97% | 6.85% | 9.98% | 9.39% | 8.53% | 6.53% | 2.33% | 16.14% | 25.92% | 100% |
| | 8.5 | 9.5 | 11.27% | 3.80% | 0.82% | 0.81% | 6.07% | 11.42% | 9.25% | 8.41% | 6.87% | 1.71% | 12.35% | 27.23% | 100% |
| | 9.5 | 10.5 | 14.30% | 4.67% | 0.99% | 1.20% | 5.59% | 12.19% | 9.15% | 7.48% | 7.10% | 1.08% | 9.80% | 26.44% | 100% |
| | 10.5 | 11.5 | 18.80% | 5.63% | 1.12% | 1.50% | 5.48% | 12.06% | 8.24% | 5.51% | 6.21% | 0.89% | 7.05% | 27.50% | 100% |
| | 11.5 | 12.5 | 22.74% | 5.83% | 0.98% | 2.17% | 5.43% | 14.07% | 5.85% | 3.50% | 5.87% | 0.74% | 6.17% | 26.65% | 100% |
| | 12.5 | 13.5 | 29.04% | 6.53% | 1.13% | 3.11% | 5.67% | 12.16% | 3.64% | 1.46% | 4.92% | 1.09% | 6.68% | 24.58% | 100% |
| | 13.5 | 14.5 | 28.78% | 8.16% | 0.59% | 2.97% | 7.64% | 13.72% | 2.23% | 0.96% | 2.37% | 0.45% | 7.72% | 24.41% | 100% |
| | 14.5 | 15.5 | 34.56% | 6.76% | 1.38% | 4.45% | 7.37% | 13.06% | 2.00% | 0.92% | 1.23% | 0.15% | 7.68% | 20.43% | 100% |
| | 15.5 | 16.5 | 33.06% | 7.44% | 0.00% | 3.31% | 5.37% | 15.70% | 1.65% | 0.00% | 2.07% | 1.24% | 5.79% | 24.38% | 100% |
| | 16.5 | 17.5 | 29.20% | 5.84% | 0.00% | 0.00% | 2.92% | 11.68% | 0.00% | 0.00% | 1.46% | 0.73% | 11.68% | 36.50% | 100% |
| | 17.5 | 18.5 | 23.73% | 6.78% | 0.00% | 0.00% | 1.69% | 15.25% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 5.08% | 47.46% | 100% |
| | 18.5 | >19.5 | 33.33% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 22.22% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 44.44% | 100% |

| RMN Vieste | | | | | | | | | | | | | | | Somma |
|------------|--------------|------------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-------|
| Media | Inizio [m/s] | Fine [m/s] | N | NNE | ENE | E | ESE | SSE | S | SSW | WSW | W | WNW | NNW | |
| | 0.0 | 0.5 | 5.03% | 3.73% | 4.58% | 4.64% | 6.84% | 8.06% | 10.73% | 14.31% | 14.25% | 13.14% | 8.20% | 6.51% | |
| | 0.5 | 1.5 | 3.43% | 3.31% | 3.61% | 2.97% | 4.22% | 5.64% | 10.05% | 23.47% | 21.21% | 12.02% | 5.87% | 4.21% | |
| | 1.5 | 2.5 | 4.30% | 3.87% | 4.25% | 4.73% | 8.28% | 7.87% | 9.95% | 19.25% | 12.66% | 12.16% | 6.99% | 5.69% | |
| | 2.5 | 3.5 | 4.50% | 2.71% | 2.62% | 4.37% | 11.69% | 13.29% | 9.02% | 7.00% | 7.84% | 20.05% | 8.46% | 8.45% | |
| | 3.5 | 4.5 | 3.61% | 1.67% | 1.45% | 2.16% | 11.18% | 19.18% | 5.41% | 2.56% | 5.16% | 25.17% | 11.09% | 11.34% | |
| | 4.5 | 5.5 | 3.43% | 1.53% | 0.89% | 1.40% | 10.27% | 18.74% | 4.07% | 1.93% | 2.67% | 25.09% | 14.69% | 15.28% | |
| | 5.5 | 6.5 | 2.94% | 1.62% | 0.79% | 1.14% | 8.38% | 15.29% | 3.34% | 1.99% | 2.21% | 22.12% | 19.58% | 20.60% | |
| | 6.5 | 7.5 | 3.25% | 1.91% | 0.73% | 1.44% | 6.54% | 10.11% | 2.55% | 2.00% | 1.78% | 16.92% | 25.42% | 27.36% | |
| | 7.5 | 8.5 | 4.01% | 2.49% | 0.76% | 1.55% | 5.03% | 5.77% | 1.80% | 1.67% | 1.87% | 12.20% | 30.32% | 32.54% | |
| | 8.5 | 9.5 | 5.71% | 2.97% | 0.85% | 1.56% | 3.84% | 4.45% | 1.36% | 1.51% | 1.50% | 8.83% | 34.91% | 32.50% | |
| | 9.5 | 10.5 | 9.07% | 3.92% | 0.90% | 2.03% | 2.99% | 2.61% | 1.02% | 1.29% | 1.47% | 6.07% | 36.19% | 32.45% | |
| | 10.5 | 11.5 | 13.40% | 5.44% | 1.05% | 2.04% | 2.54% | 1.43% | 0.41% | 1.45% | 0.98% | 5.61% | 33.94% | 31.71% | |
| | 11.5 | 12.5 | 16.02% | 6.79% | 1.25% | 1.44% | 1.68% | 0.92% | 0.35% | 1.33% | 1.28% | 5.73% | 31.42% | 31.78% | |
| | 12.5 | 13.5 | 17.66% | 5.74% | 1.59% | 1.24% | 2.38% | 0.88% | 0.26% | 1.10% | 1.99% | 5.96% | 30.07% | 31.13% | |
| | 13.5 | 14.5 | 19.27% | 4.29% | 2.81% | 0.78% | 2.42% | 1.09% | 0.23% | 1.09% | 0.47% | 7.33% | 26.44% | 33.78% | |
| | 14.5 | 15.5 | 22.69% | 2.17% | 4.48% | 0.43% | 2.02% | 0.43% | 0.58% | 0.14% | 0.14% | 5.92% | 20.09% | 40.90% | |
| | 15.5 | 16.5 | 16.55% | 0.73% | 2.43% | 1.46% | 0.24% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 3.89% | 20.19% | 54.50% | |
| | 16.5 | 17.5 | 14.35% | 0.46% | 0.46% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.46% | 0.00% | 1.85% | 15.74% | 66.67% | |
| | 17.5 | 18.5 | 14.17% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 2.50% | 19.17% | 64.17% | |
| | 18.5 | 19.5 | 8.22% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 1.37% | 28.77% | 61.64% | |
| | 19.5 | 20.5 | 22.22% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 5.56% | 72.22% | |
| | 20.5 | 21.5 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | |
| | 21.5 | 22.5 | 33.33% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 66.67% | |
| | 22.5 | 23.5 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 100.00% | |
| | 23.5 | 24.5 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 100.00% | |

4.3 Condizioni estreme

L'analisi dei parametri meteo marini si basa sulla stima dei valori estremi di una grandezza (vento, onde, correnti ecc.), cioè valori che hanno un rischio di superamento nel tempo. La stima degli estremi comporta la definizione di parametri caratteristici di una distribuzione statistica dei valori rilevati, che nel caso analizzato è la distribuzione generalizzata dei valori estremi GEV/Gumbel (*Generalized Extreme Value Distribution*).

Poiché questo approccio prende in considerazione solo un valore massimo per epoca (1 anno), il set di dati da cui sono tratti gli estremi epocali, deve essere lungo: [5] suggerisce l'utilizzo di una serie con almeno 20 anni di dati per ottenere risultati affidabili (20 valori estremi), e afferma che il metodo non va impiegato con serie aventi meno di 10 anni di dati. Nelle applicazioni legate all'energia eolica questa lunga serie di dati spesso non è disponibile e pertanto l'applicazione del metodo di Gumbel può portare a una stima non affidabile.

Un approccio alternativo per l'analisi dei valori estremi è quello che prende il nome di "Peak Over Threshold method" (P.O.T) che tende a fornire un insieme appropriato di valori ottenuto dall'analisi di eventi estremi indipendenti i cui valori minimi vengono considerati al di sopra di una soglia stabilita.

Il metodo POT tiene conto di tutte le velocità estreme indipendenti e identicamente distribuite che superano un valore specifico di soglia. I campioni delle velocità estreme possono essere analizzati, come detto, con la funzione di distribuzione di "Gumbel" o altri tipi di funzioni di distribuzione (ad esempio la Gumbel modificata).

Questo tipo di approccio richiede una combinazione appropriata nella scelta sia della soglia minima di valore estremo di riferimento, sia del tempo di separazione minimo tra gli eventi sulla base del quale poter selezionare i campioni indipendenti. Questi due parametri possono essere altamente determinanti

e vengono scelti attraverso un processo iterativo. La scelta dei valori estremi può essere fatta sia sui dati reali misurati, sia sul loro valore al quadrato.

La tabella a seguire riporta i valori estremi omnidirezionali della velocità del vento riferiti alla durata di un'ora e alla quota di 100 m s.l.m. per i 2 nodi ERA5(T) e 10m s.l.m. per la stazione di Vieste ottenuti utilizzando i massimi valori annuali registrati e la distribuzione di Gumbel, relativi ai periodi di ritorno di 1, 10, 50 e 100 anni.

Tabella 6: Valori estremi di velocità del vento per i 2 punti analizzati

| ERA5(T)_1 | | |
|--|-----------------------------|--------------------------------|
| <i>T</i> (periodo di ritorno) [anni] | <i>Tempo di riferimento</i> | <i>Valore estremo</i> [m/s] |
| 1 | 1h | 18.7 |
| 10 | 1h | 23.9 |
| 50 | 1h | 26.2 |
| 100 | 1h | 27.2 |

| ERA5(T)_2 | | |
|--|-----------------------------|--------------------------------|
| <i>T</i> (periodo di ritorno) [anni] | <i>Tempo di riferimento</i> | <i>Valore estremo</i> [m/s] |
| 1 | 1h | 18.9 |
| 10 | 1h | 23.6 |
| 50 | 1h | 25.6 |
| 100 | 1h | 26.5 |

| RMN Vieste | | |
|--|-----------------------------|--------------------------------|
| <i>T</i> (periodo di ritorno) [anni] | <i>Tempo di riferimento</i> | <i>Valore estremo</i> [m/s] |
| 1 | 1h | 14.1 |
| 10 | 1h | 20.9 |
| 50 | 1h | 20.8 |
| 100 | 1h | 25.1 |

5. CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO

Nella seguente parte del documento verranno valutati i principali parametri che caratterizzano il moto ondoso dell'area di progetto intesi come altezza d'onda significativa, periodo medio d'onda e periodo di picco. Tale analisi è stata effettuata attraverso l'elaborazione dei dati provenienti dai dataset ERA5 messi a disposizione dal ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts).

Nella figura a seguire è mostrato il posizionamento del dataset analizzato rispetto all'area di impianto.

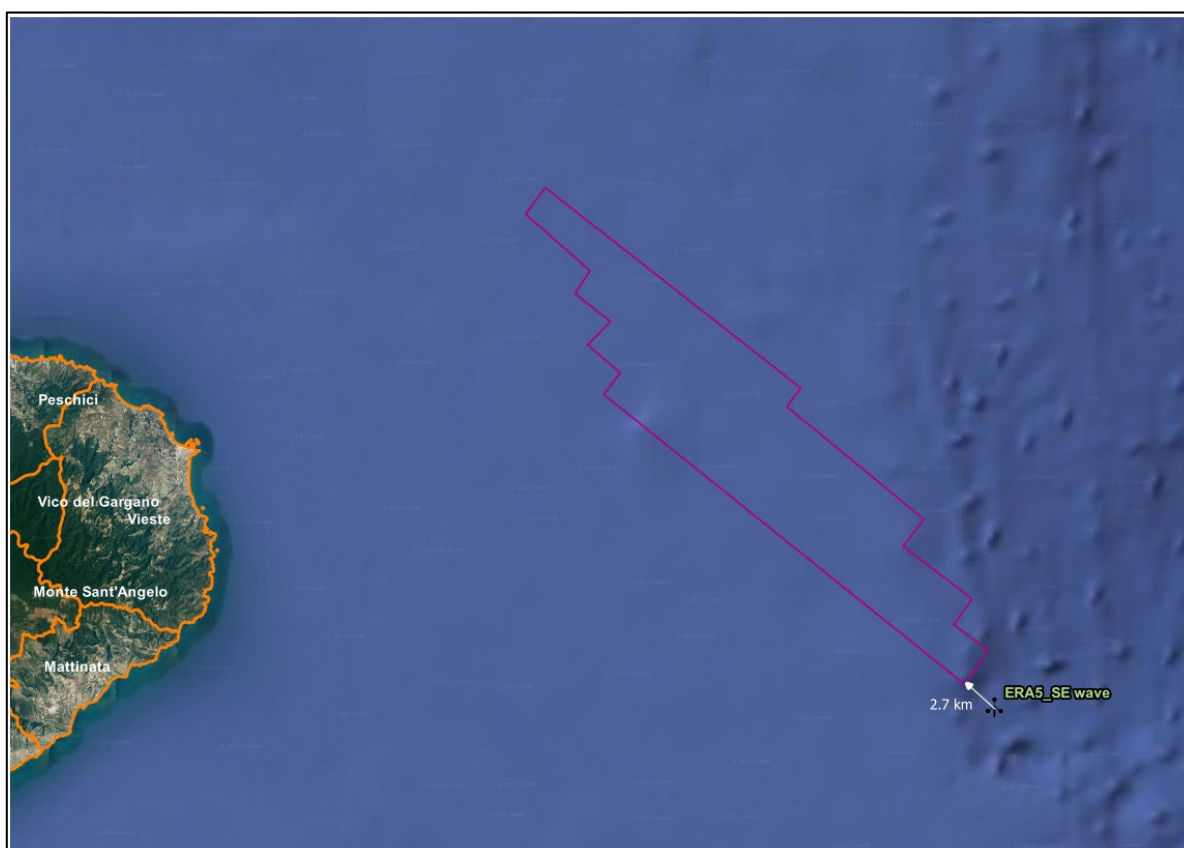


Figura 14: Posizione del punto ERA5_SW

I dati ERA5, rilasciati dal ECMWF, provengono da una rianalisi che combina i dati del modello con le osservazioni provenienti da tutto il mondo in un set di dati globalmente completo e coerente utilizzando leggi fisiche. Questo principio, chiamato assimilazione dei dati, si basa sul metodo utilizzato dai centri numerici di previsione meteorologica, dove ogni 12 ore una previsione precedente viene combinata con nuove osservazioni disponibili in modo ottimale per produrre una nuova migliore stima dello stato dell'atmosfera. La rianalisi funziona allo stesso modo, ma a risoluzione ridotta per consentire la fornitura di un set di dati che risale a diversi decenni fa. I dati comprendono i seguenti parametri:

- Altezza d'onda significativa (H_s);
- Periodo medio dell'onda (T_m);

- Periodo di picco dell'onda (T_p);
- Direzione media di provenienza del moto ondoso (Dir)

L'altezza d'onda significativa d'onda H_s è l'altezza media del terzo più alto di un gruppo di onde registrate in un certo punto e ordinate per altezza crescente. L'altezza significativa ha il vantaggio di essere abbastanza simile all'altezza che percepisce un osservatore a occhio nudo ed è quindi di facile interpretazione e assunzione.

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.

Una descrizione di lungo termine dell'altezza d'onda significativa H_s è necessaria per stabilire i carichi d'onda di progetto corrispondenti a un certo periodo di ritorno. È necessario stabilire una distribuzione di probabilità per l' H_s massima annuale che così come descritto per la parte anemologica può essere una distribuzione di Weibull o una distribuzione di valori estremi di Gumbel.

Anche le statistiche relative alla direzione delle onde possono essere rilevanti e devono essere opportunamente valutate così come il periodo di picco T_p soprattutto per le strutture suscettibili all'azione dinamica delle onde [6]. In acque profonde, l'intervallo di T_p che dovrebbe essere associato a H_s è riportato in [6]:

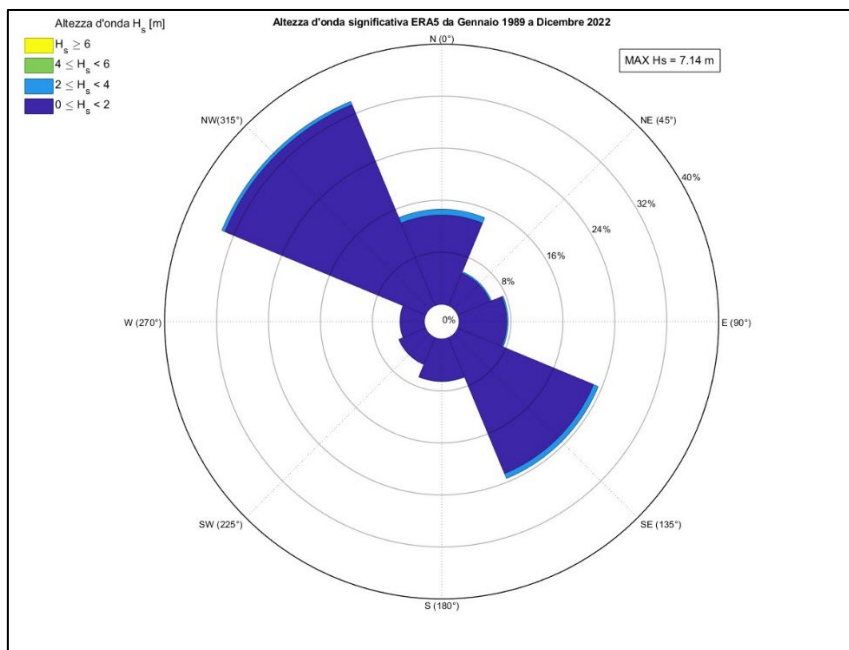
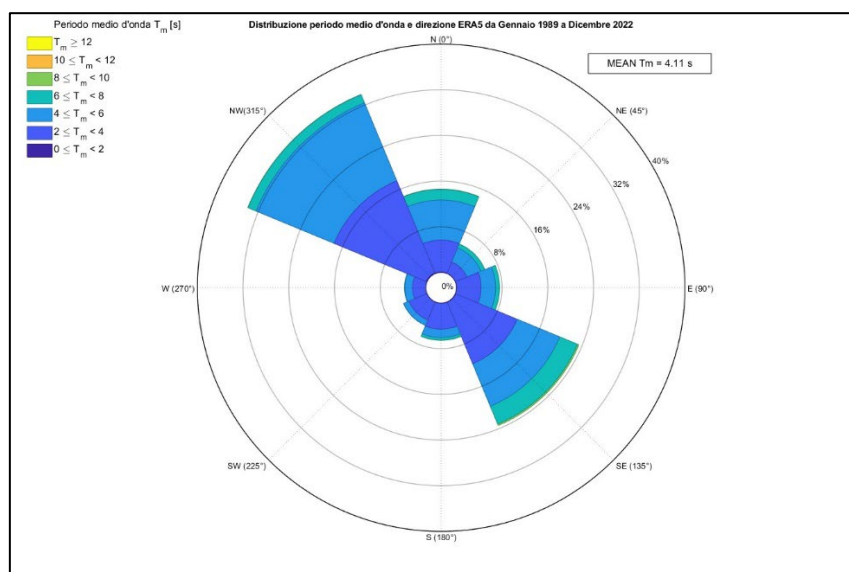
$$11.1 \sqrt{\frac{H_s}{g}} \leq T_p \leq 14.3 \sqrt{\frac{H_s}{g}}$$

Dove g è l'accelerazione di gravità.

5.1 Relazione tra le grandezze ondamiche

Climate Data Storage (CDS) - ERA_5

I dati disponibili dal database ERA5 del programma Copernicus coprono il periodo che va da Gennaio 1989 a Dicembre 2022 con una percentuale di disponibilità del 100% sull'intero periodo. Di seguito è presentata la rosa delle altezze d'onda significative e dei periodi medi d'onda rispetto ai settori di provenienza e la tabella di distribuzione delle frequenze percentuali di accadimento di altezza d'onda rispetto alla direzione di provenienza calcolate analizzando le serie temporali estratte dal database.


Figura 15: Rosa delle altezze d'onda significative – ERA5_SE.

Figura 16: Rosa dei periodi medi d'onda – ERA5_SE.
Tabella 7: Tabella di frequenza percentuale di accadimento di altezza d'onda – ERA5 SE

| | | ERA5 SE | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|------------|----------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--|
| | Inizio [m] | Fine [m] | N | NNE | ENE | E | ESE | SSE | S | SSW | WSW | W | WNW | NNW | Somma | |
| Media | | | 0,68 | 0,86 | 0,78 | 0,66 | 0,57 | 0,62 | 0,84 | 0,70 | 0,62 | 0,65 | 0,56 | 0,63 | | |
| | 0.0 | 0.5 | 7.63% | 4.11% | 3.67% | 5.90% | 18.05% | 8.44% | 3.48% | 2.68% | 2.87% | 2.69% | 9.91% | 30.57% | 100% | |
| | 0.5 | 1.5 | 9.37% | 4.71% | 2.88% | 3.14% | 13.68% | 13.43% | 5.25% | 3.31% | 3.54% | 2.16% | 10.65% | 27.86% | 100% | |
| | 1.5 | 2.5 | 18.10% | 7.43% | 3.86% | 4.08% | 12.88% | 20.17% | 2.95% | 1.21% | 1.84% | 1.13% | 6.17% | 20.19% | 100% | |
| | 2.5 | 3.5 | 26.80% | 10.29% | 4.37% | 4.98% | 12.06% | 16.17% | 0.64% | 0.11% | 0.60% | 0.26% | 5.24% | 18.47% | 100% | |
| | 3.5 | 4.5 | 20.73% | 2.55% | 0.73% | 0.36% | 11.64% | 15.27% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 2.91% | 45.82% | 100% | |
| | 4.5 | >5.50 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 66.67% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 16.67% | 16.67% | 100% | |

I risultati presentano una maggiore percentuale di accadimento nei settori sud est e nord ovest.

5.2 Condizioni estreme

Allo stesso modo fatto per i parametri anemologici, la caratterizzazione degli eventi di mareggiata estremi è stata effettuata processando il dataset a disposizione.

Le caratteristiche dell'onda estrema sono generalmente descritte in relazione ad un fissato tempo di ritorno degli stati di mare il quale identifica il periodo minimo atteso per il manifestarsi di un'onda con altezza superiore ad una certa soglia. L'obiettivo è, in altri termini, la determinazione della massima altezza d'onda statisticamente prevedibile in un certo intervallo temporale compatibile con la vita media della struttura a mare.

A seguire si riportano i valori estremi omnidirezionali della dell'altezza d'onda significativa e del periodo di picco riferiti alla durata di un'ora ottenuti utilizzando i massimi valori annuali registrati e la distribuzione di Gumbel, relativi ai periodi di ritorno di 1, 10, 50 e 100 anni.

Tabella 8: Valori estremi di altezza d'onda significativa e periodo di picco per il punto analizzato.

| ERA5_SO | | | |
|---|------------------------------------|--|--|
| <i>T</i> <i>(periodo di ritorno)</i> <i>[anni]</i> | <i>Tempo di riferimento</i> | <i>Valore estremo</i> <i>H_s</i> <i>[m]</i> | <i>Valore estremo</i> <i>T_p</i> <i>[s]</i> |
| 1 | 1h | 3.1 | 8.1 |
| 10 | 1h | 4.4 | 9.5 |
| 50 | 1h | 4.9 | 10.1 |
| 100 | 1h | 5.2 | 10.3 |

6. PROFILO MAREOGRAFICO

Nel seguente capitolo saranno mostrati gli andamenti, su una definita scala temporale, dei principali aspetti termo-fisici del mare quali, ad esempio, il campo delle correnti locali, il livello medio di marea, il profilo di salinità e il livello termico medio.

6.1 Correnti

I dati di corrente sono stati estratti da 2 database globale di dati di hindcast.

Il modello numerico **HYCOM** (HYbrid Coordinate Ocean Model) 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 [7].

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

- V_x componente Ovest-Est della velocità di corrente;
- V_y componente Sud-Nord della velocità di corrente.

I dati HYCOM analizzati sono disponibili su un grigliato globale caratterizzato da maglie di $1/12^\circ$, a partire dal gennaio 2016 fino al dicembre 2018, con frequenza giornaliera. Nel caso in esame i dati di corrente superficiale (10 m sotto il livello medio del mare), relativi al punto di coordinate latitudine: 41.92°N , longitudine: 16.64°E .

Il Servizio Marino di **Copernicus** (o Copernicus Marine Environment Monitoring Service) è la componente di monitoraggio marino del Programma Copernicus dell'Unione Europea. Fornisce informazioni autorevoli gratuite, regolari e sistematiche sullo stato dell'oceano Blu (fisico), Bianco (ghiacci marini) e Verde (biogeochimico) su scala globale e regionale. È finanziato dalla Commissione Europea e realizzato da Mercator Ocean International. È studiato per assistere le politiche UE e gli impegni legali presi a livello internazionale relativamente alla governance degli oceani, per provvedere alle esigenze della società nel suo complesso in merito alla loro conoscenza e per promuovere l'Economia Blu in tutti i settori marittimi, fornendo dati e informazioni gratuiti e aggiornati sugli oceani stessi.

Vengono attualmente impiegate grandi quantità di dati globali provenienti da satelliti (tra cui i satelliti Sentinel Copernicus), da sistemi di misurazione terrestri, aerei e marini e da modelli numerici, al fine di fornire informazioni ai fornitori di servizi, alle autorità pubbliche e ad altre organizzazioni internazionali che siano di supporto al miglioramento della qualità della vita dei cittadini del mondo. L'accesso ai servizi informativi da parte degli utenti è libero e gratuito [8].

Anche in questo caso il database fornisce i seguenti parametri a livello globale e a diverse profondità

lungo la colonna d'acqua:

- V_x componente Ovest-Est della velocità di corrente;
- V_y componente Sud-Nord della velocità di corrente.

I dati Copernicus analizzati sono disponibili su un grigliato globale caratterizzato da maglie di $1/24^\circ$, a partire dal gennaio 2016 fino al dicembre 2018, con frequenza giornaliera. Nel caso in esame i dati di corrente superficiale (10 m sotto il livello medio del mare), relativi al punto di coordinate latitudine: 41.98°N , longitudine: 16.50°E .

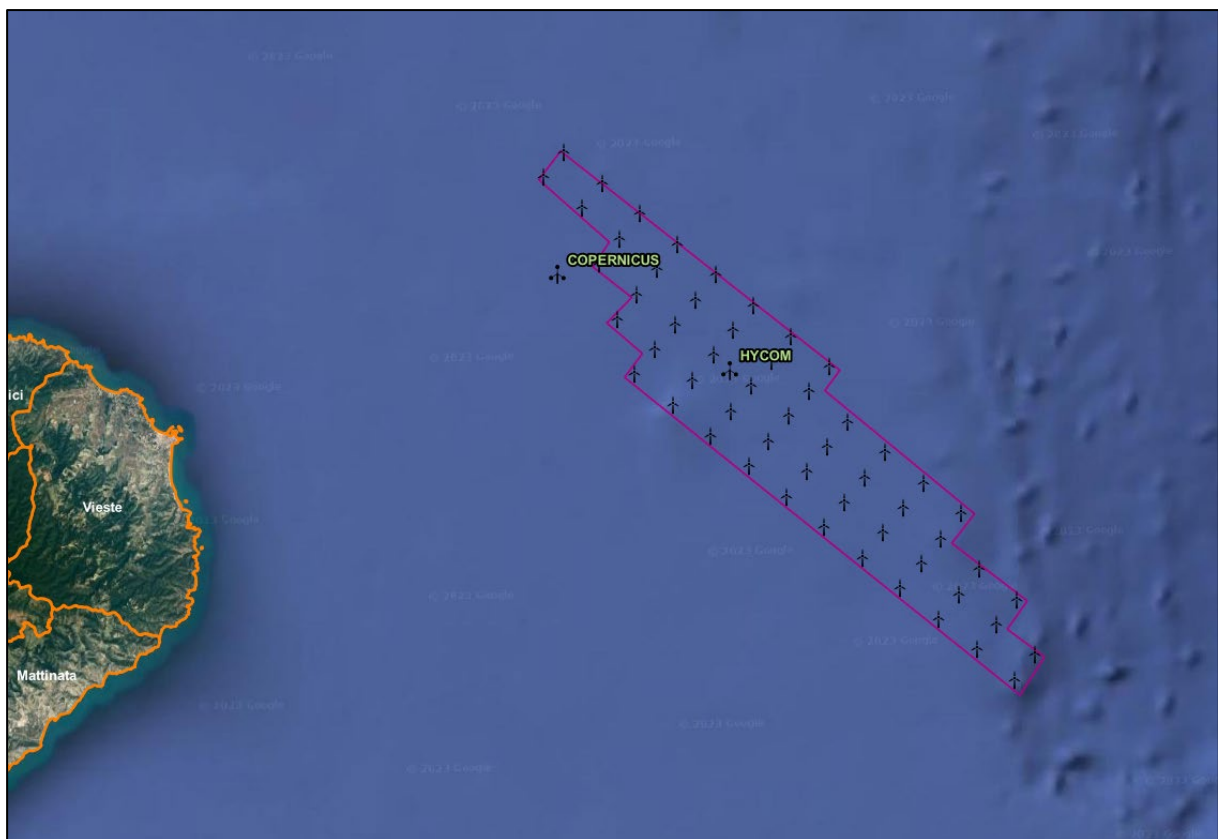


Figura 17: Posizione dei punti utilizzati per l'analisi

A partire dalle componenti ovest-est e sud-nord è stato valutato il modulo della velocità di corrente per i 2 nodi ricadenti nell'area di impianto. Come è possibile vedere nel grafico successivo, per il periodo analizzato, i dati sono coerenti tra di loro con il punto Copernicus che misura una media di 0,20 m/s e il punto Hycom che misura una media di 0,21 m/s.

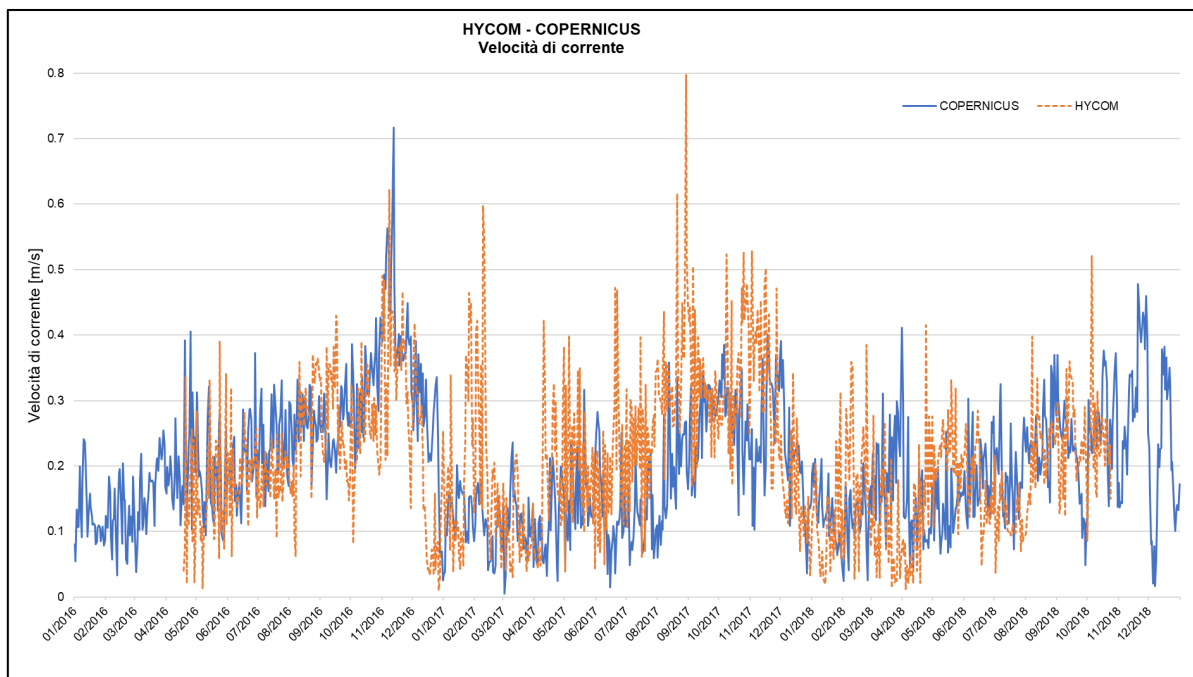


Figura 18: Andamento della velocità di corrente per i 2 punti analizzati

Nella figura seguente è invece proposto, su base stagionale per l'anno 2020, la direzione media della corrente nell'area dell'impianto che, come sottolineato al Par 3.1, ha un andamento ciclonico in primavera, autunno e inverno e proviene da nord nord ovest in estate.

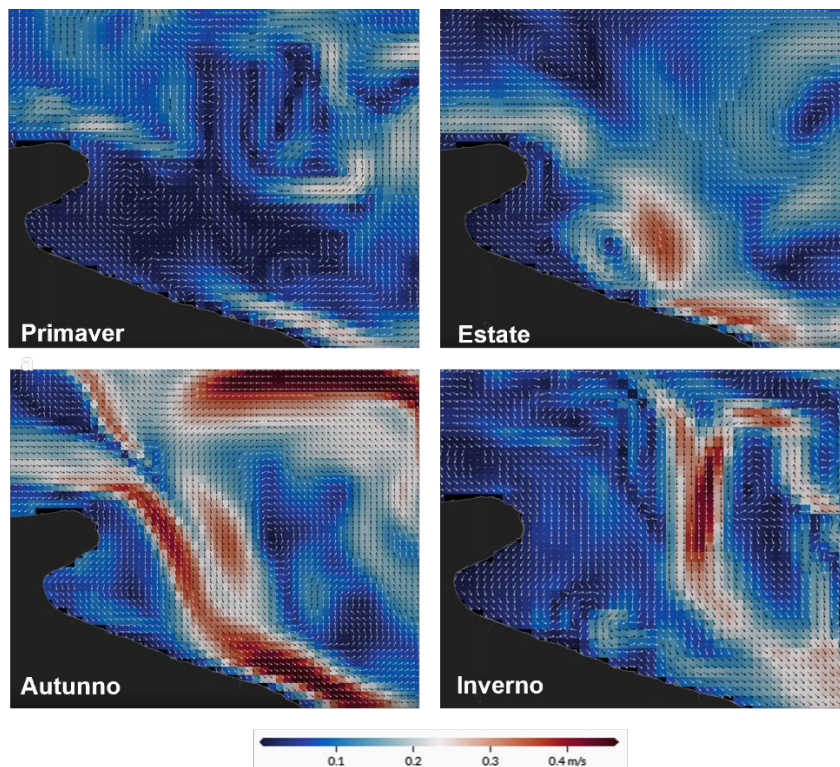


Figura 19: Mappa della corrente marina superficiale – anno 2020.

6.2 Temperatura

I dati sui livelli di temperatura del mare per la località di progetto sono stati estratti dal database europeo del Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS, 2019) in riferimento al dataset MEDSEA_ANALYSIS_FORECAST_PHY_006_004 e dal punto al largo HYCOM.

In figura è mostrato il confronto tra i livelli termici superficiali per gli anni 2016, 2017 e 2018 rilevati in corrispondenza dei 2 punti.

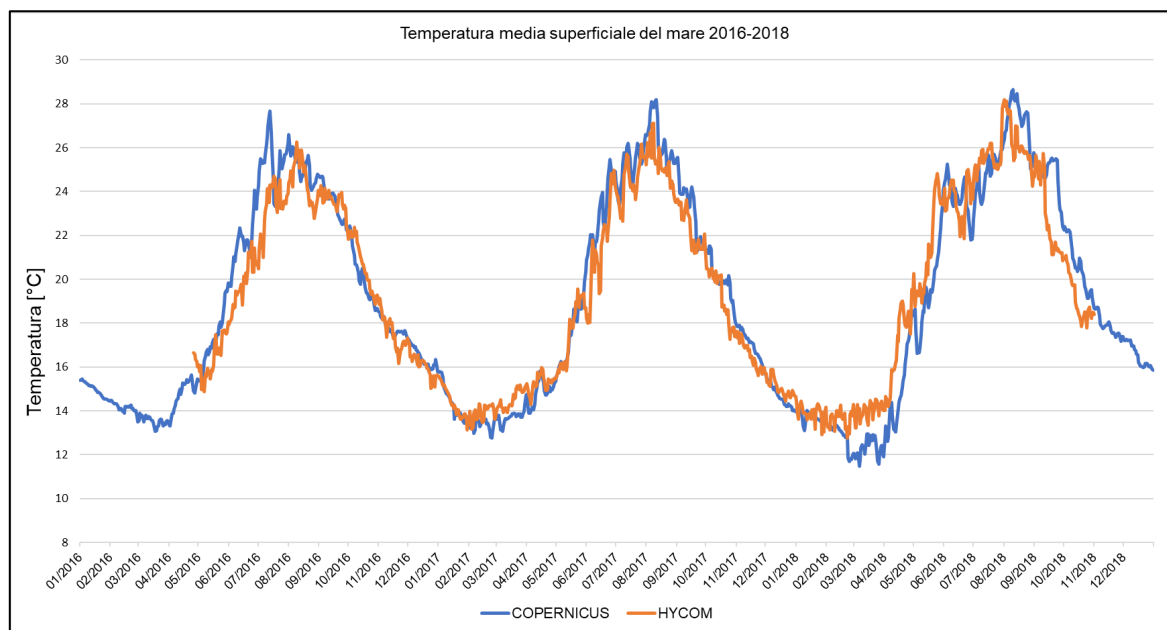


Figura 20: Temperatura superficiale del mare per gli anni 2016, 2017 e 2018.

Per gli anni investigati la temperatura superficiale oscilla tra gli 11°C e i 29°C con media di circa 19°C.

6.3 Livello medio di marea

I dati per la caratterizzazione del livello di marea della località sono stati estratti dal database europeo del Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS, 2019) le cui informazioni sono estrapolazioni numeriche pseudo - puntuali ottenute mediante l'applicazione di un modello numerico globale ad alta risoluzione spaziale (circa 4.5 km).

Il livello di marea restituito dal dataset Copernicus MEDSEA_ANALYSIS_FORECAST_PHY_006_004 è espresso in metri relativi al livello mare standard. L'informazione è disponibile, su base annuale sottoforma di media mensile.

La figura a seguire mostra la variazione del livello di marea medio mensile per gli anni 2019, 2020 e 2021 per il periodo a disposizione. I dati mostrano una generale depressione del livello medio mare nella zona di progetto con una media di livello circa pari a -0,49 m sul livello mare standard e valori compresi tra un minimo relativo di marea di -0,79 m (mese di marzo 2021) ed un massimo pari a -0,10 m (mese di novembre 2019).

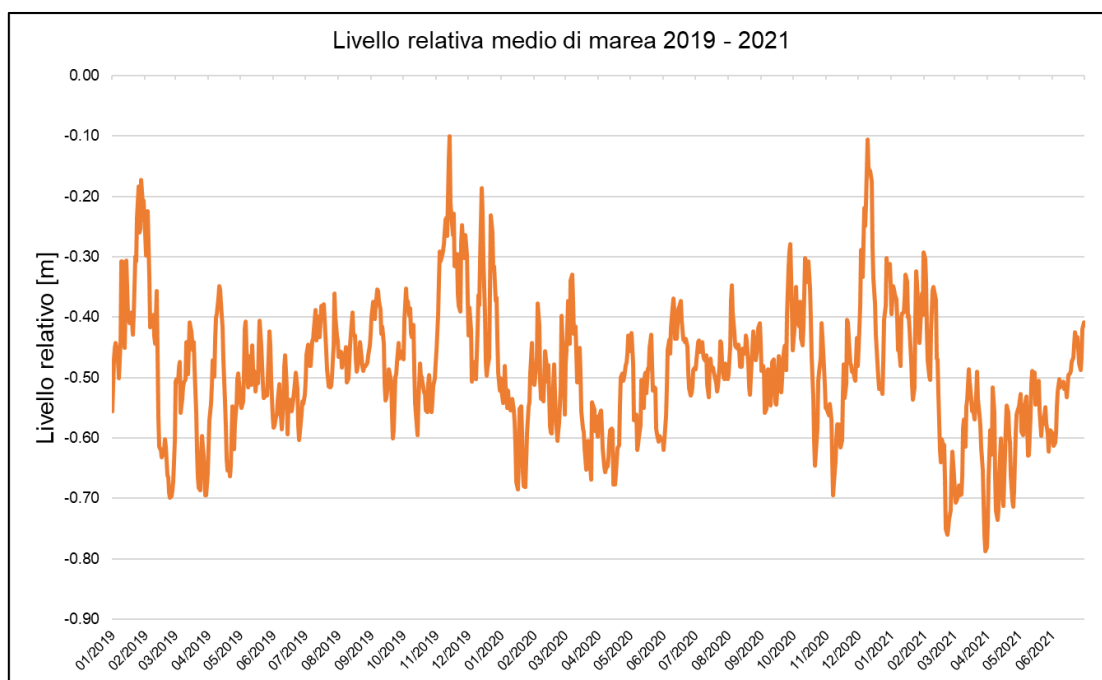


Figura 21: Livello relativo medio di marea per gli anni analizzati.

6.4 Livello di salinità

A causa dell'esigua comunicazione idrica tra il Mar Mediterraneo e gli oceani Atlantico e Indiano, oltretutto per la forte evaporazione, le acque del bacino mediterraneo sono generalmente molto salate; la salinità media si aggira infatti attorno al 38,5‰ con un livello locale variabile tra il 36‰ e 39‰ muovendosi dalle regioni dello Stretto di Gibilterra verso il Mar di Levante [9].

L'analisi dei dati di salinità del Copernicus Marine Environment Monitoring Service e del punto HYCOM, evidenziano, per la località di progetto, una differenza tra i valori misurati.

Il punto Copernicus registra un livello di salinità medio per gli anni 2016, 2017 e 2018 del 38,06‰ con un valore massimo del 38,60‰. Il punto Hycom mostra valori concordi a quelli del punto Copernicus.

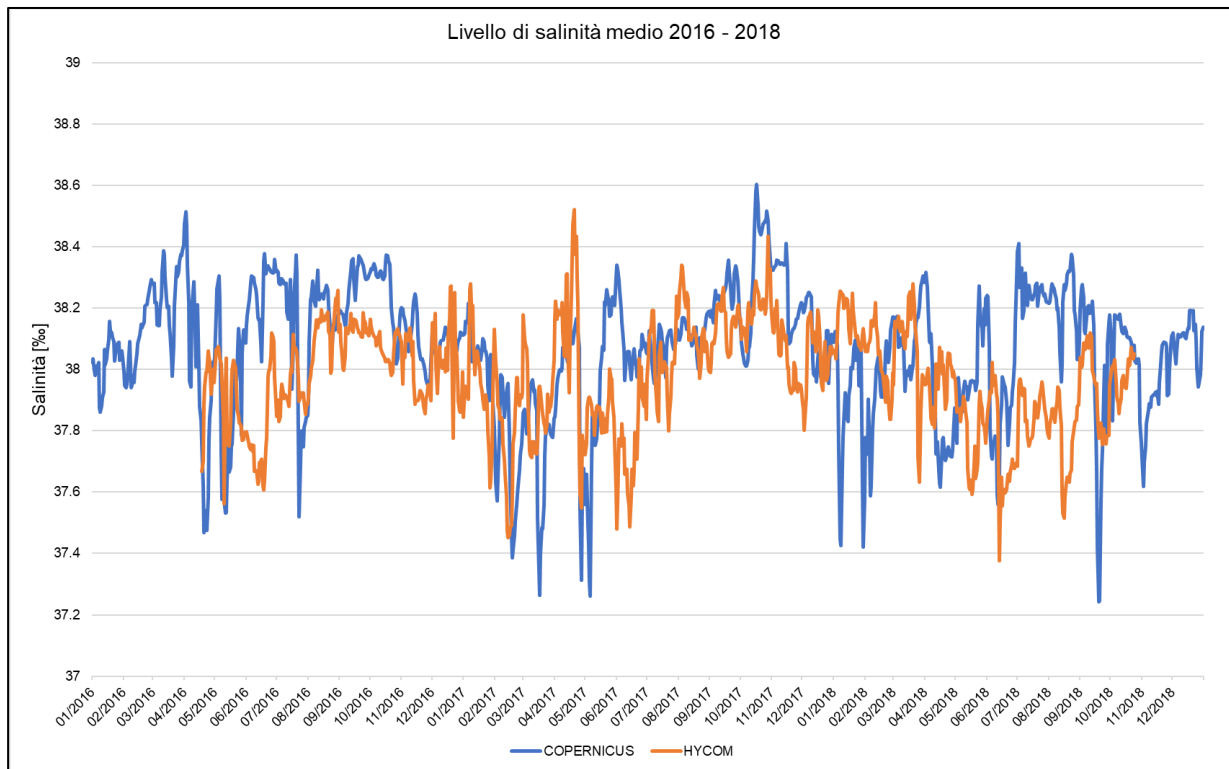


Figura 22: Livello di salinità media per gli anni 2016, 2017 e 2018.

7. CONCLUSIONI

Lo scopo della presente relazione è stato quello di fornire un inquadramento generale del profilo meteo marino del sito scelto per l'installazione di un impianto eolico di tipo offshore galleggiante.


La metodologia applicata ha previsto la definizione dei principali parametri meteo marini attraverso l'utilizzo di dati storici che sono rappresentativi del clima di medio e lungo termine e delle sue variabilità annuali e stagionali.

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 dell'ECMWF (ERA5) e della Rete Mareografica Nazionale (RMN).

Per quanto riguarda la corrente superficiale, i valori di temperatura, il livello medio di marea e il livello di salinità, il relativo clima tipico è stato definito considerando serie temporali caratterizzate da step orari giornalieri, derivanti dal database pubblico HYCOM e Copernicus.

I principali risultati dello studio meteomarinico per il sito di Pantelleria sono:

- per quanto riguarda l'analisi anemologica, i due nodi ERA5 analizzati riportano valori coerenti tra loro sulla media di velocità del vento e sulla direzione; la velocità media del vento registrata a 100m s.l.m. si attesta su valori di circa 6,5 – 6,6 m/s;
- I dati di altezza significativa registrati mostrano un massimo valore di altezza d'onda significativa di 7,14 m e un periodo medio d'onda di 4,11 s;
- l'analisi del profilo mareografico, attraverso i dati Hycom e Copernicus, ha riguardato diversi parametri, in particolare velocità di corrente superficiale, temperatura media, livello medio di marea e livello medio di salinità. I valori di corrente si attestano intorno a una media di 0,19 - 0,20 m/s. Per quanto riguarda il livello di marea i dati estratti si attestano su escursioni di livello di circa 68 cm.

| | | | |
|---|-------------------------------|--|---|
|  | RELAZIONE METEO MARINA | Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina | PP.OW.MFD01.5.7.R00 00 01/02/2023 34 di 34 |
|---|-------------------------------|--|---|

Bibliografia

- [1] «<https://en.climate-data.org/>,» [Online].
- [2] F. Raicich, «On the fresh water balance of the Adriatic Sea,» 1996, pp. 305-319.
- [3] V. A. Sekulic B., «Balance of average annual fresh water inflow into the Adriatic Sea,» 1996, pp. 89-97.
- [4] A. e. al., «The Adriatic Sea General Circulation,» in *Journal of Physical Oceanography*, 1997.
- [5] M. J. Cook N.J., «A novel working approach to the assessment of wind loads for equivalent static design,» 1985.
- [6] DNV, «Design, development and operation of floating solar photovoltaic systems,» p. 29, Marzo 2021.
- [7] «HYbrid Coordinate Ocean Model,» [Online]. Available: www.hycom.org.
- [8] «Copernicus Marine Service,» [Online]. Available: <https://marine.copernicus.eu/it/informazioni#mercator-ocean-international>.
- [9] «Treccani, il portale del sapere,» [Online]. Available: www.treccani.it.
- [10] «Dati ISPRA ambiente,» [Online]. Available: dati.isprambiente.it/dataset/ron-rete-ondametrica-nazionale/.
- [11] A. Salot, «The Mediterranean sea,» 2007.
- [12] H. T. S, «Physical processes in the Mediterranean basins,» pp. 269-310, 1978.
- [13] M. C. Taupiere-Letage, «Circulation in the Mediterranean Sea,» *The Mediterranean Sea in handbook of enviromental chemistry*, vol. 5k, pp. 29-66, 2005.
- [14] S. S. V. A. M. S., «Tidal and subtidal currents in the Strait of Sicily,» *Journal of Geophysical Reasearch*, p. 109, 2004.
- [15] M. F, «Distribuzione delle maree nei mari italiani,» pp. 65-71, 1987.
- [16] G. G. M. A, «Current structure and variability in the straight of Sicily and adjacent area,» pp. 75-88, 1987.
- [17] S. R. D. A. R. A., «Seasonal variability in the Central Mediterranean Sea circulation,» *Ann. Geophys.*, pp. 299-322, 2003.
- [18] W.-V. A. S. J. H. J. P. J. L. W. G. L. C. J, «Strait of Sicily water mass,» pp. 437-469, 1999.