

Monty Wind S.R.L.

**Parco Eolico "Monty" sito nei Comuni di:
Montenero di Bisaccia e Montecilfone**

STIMA DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO

Settembre 2022



Committente:

Monti Wind S.R.L.

Monti Wind S.R.L.

Via Sardegna, 40
00187 Roma
P.IVA/C.F. 16368881005

Titolo del Progetto:

Parco Eolico "Guardiola" sito nei Comuni di: Montenero di Bisaccia e Montecilfone

Documento:

STIMA DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO

N° Documento:

IT-VESMON-TEN-SPE-TR-03

Progettista:



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




Progettista
Dott. Ing. Massimo Lepore



| Rev | Data Revisione | Descrizione | Redatto | Controllato | Approvato |
|-----|----------------|--------------|---------|-------------|-----------|
| 00 | Settembre 2022 | Richiesta AU | GT | PI | ML |
| | | | | | |

INDICE

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <u>1. INTRODUZIONE</u> | 3 |
| 1.1 PREMESSA | 3 |
| 1.1.1 ATTIVITÀ SVOLTE | 3 |
| 1.1.2 INDAGINE DI SITO | 4 |
| <u>2. METODOLOGIA DI ANALISI</u> | 10 |
| <u>3. DATI DI INPUT</u> | 12 |
| 3.1 MODELLO DIGITALE OROGRAFICO | 12 |
| 3.2 MAPPA DI RUGOSITÀ | 12 |
| 3.3 DENSITÀ DELL'ARIA | 14 |
| 3.4 RISORSA EOLICA | 16 |
| 3.5 CARATTERISTICHE STAZIONI DI MISURA | 16 |
| 3.6 CARATTERISTICHE DI VENTOSITÀ PREVISTE AL SITO | 19 |
| 3.7 DATI TECNICI AEROGENERATORE | 20 |
| <u>4. CLASSIFICAZIONE DI SITO E VERIFICA PRELIMINARE DI COMPLIANCE</u> | 24 |
| 4.1 VREF – VERIFICA PRELIMINARE DEI PARAMETRI DI SITO | 25 |
| 4.2 INTENSITÀ DI TURBOLENZA AMBIENTALE | 25 |
| <u>5. STIMA DI PRODUZIONE ENERGETICA</u> | 27 |
| 5.1 ANALISI DELLE PERDITE TECNICHE | 30 |
| 5.2 ANALISI DELLE INCERTEZZE | 32 |
| 5.3 CONCLUSIONI | 34 |

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|  TENPROJECT | STIMA DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO | Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina | IT-VESMON-TEN-SPE-TR-03 00 15/09/2022 15/09/2022 3 di 34 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|

1. INTRODUZIONE

1.1 PREMESSA

La società Monty Wind S.r.l., di seguito indicata come “Committente”, ha incaricato la Ten Project Srl di eseguire una valutazione delle caratteristiche anemologiche e stima di producibilità per un impianto eolico costituito da 9 aerogeneratori della potenza di 7,2 MW ciascuno, per una potenza complessiva di 64,8 MW previsto in agro del territorio dei comuni di Montecilfone e Montenero di Bisaccia, in Provincia di Campobasso in località “Guardiola”.


Il sito di installazione degli aerogeneratori è ubicato tra i centri abitati di Montecilfone e Montenero di Bisaccia, dai quali gli aerogeneratori più prossimi distano rispettivamente 2,2 km e 2,5 km.

La finalità di questo report è quella di caratterizzare le condizioni anemologiche esplicative della risorsa eolica di sito e determinare, partendo dai dati anemometrici di eventuali stazioni di misura disponibili, la stima del rendimento energetico dell'impianto su base annuale.

1.1.1 ATTIVITÀ SVOLTE

Per le finalità di questo studio sono state eseguite le seguenti attività:

- Analisi e validazione dei set di dati di stazioni anemometriche satellitari disponibili.
- Analisi statistica della velocità del vento in sito;
- Analisi e stima previsionale dell'energia annuale attesa dalla produzione delle turbine;
- Analisi e stima previsionale dell'energia annuale prodotta dall'impianto al netto di tutte le perdite rilevanti;
- Analisi dell'incertezza e calcolo dei livelli percentili della produzione energetica attesa dall'impianto di progetto.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|  TENPROJECT | STIMA DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO | Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina | IT-VESMON-TEN-SPE-TR-03 00 15/09/2022 15/09/2022 4 di 34 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|

1.1.2 INDAGINE DI SITO

Il sito di installazione è localizzato nel sud dell'Italia, in regione Molise, provincia di Campobasso, nella località "Guardiola" compresa tra i centri abitati di Montecilfone e Montenero di Bisaccia, dai quali gli aerogeneratori più prossimi distano rispettivamente 2,2 km e 2,5 km.

Gli aerogeneratori saranno collegati tra di loro mediante un cavidotto in alta tensione 36 kV interrato che sarà posato in gran parte al di sotto della viabilità di progetto di nuova realizzazione per l'accesso agli aerogeneratori e della viabilità esistente ed in minima parte su terreno agricolo.

I cavidotti in partenza dagli aerogeneratori saranno collegati ad una cabina di raccolta a 36 kV, la quale sarà collegata tramite un cavidotto in alta tensione a 36 kV, anch'esso interrato, alla sezione a 36 kV della futura Stazione Elettrica di Trasformazione di Terna S.p.A. a 380/150/

Complessivamente, il sito si inserisce in ambito agricolo con prevalenza di seminativi ed il layout d'impianto si sviluppa in maniera diffusa in una zona collinare con quote comprese tra i 165 m e i 370 m s.l.m.

L'area nel suo contesto agricolo con prevalenza di seminativi ed incolto-pascolo, non è interessata dalla presenza di altri impianti eolici.

Nel suo insieme l'area di progetto risulta essere ben esposta ai venti dominanti soprattutto per le componenti energeticamente più importanti che provengono sostanzialmente dai settori Nord occidentali e Sud occidentali (NW e SW).

Le immagini seguenti mostrano l'inquadramento territoriale generale e poi il prospetto su stralcio cartografico di tipo topografico con a seguire il modello orografico 2D e 3D estratto da Google Earth.



Figura 1: Inquadramento geografico del sito in località “Guardiola” in agro dei comuni di Montecilfone e Montenero di Bisaccia (CB).

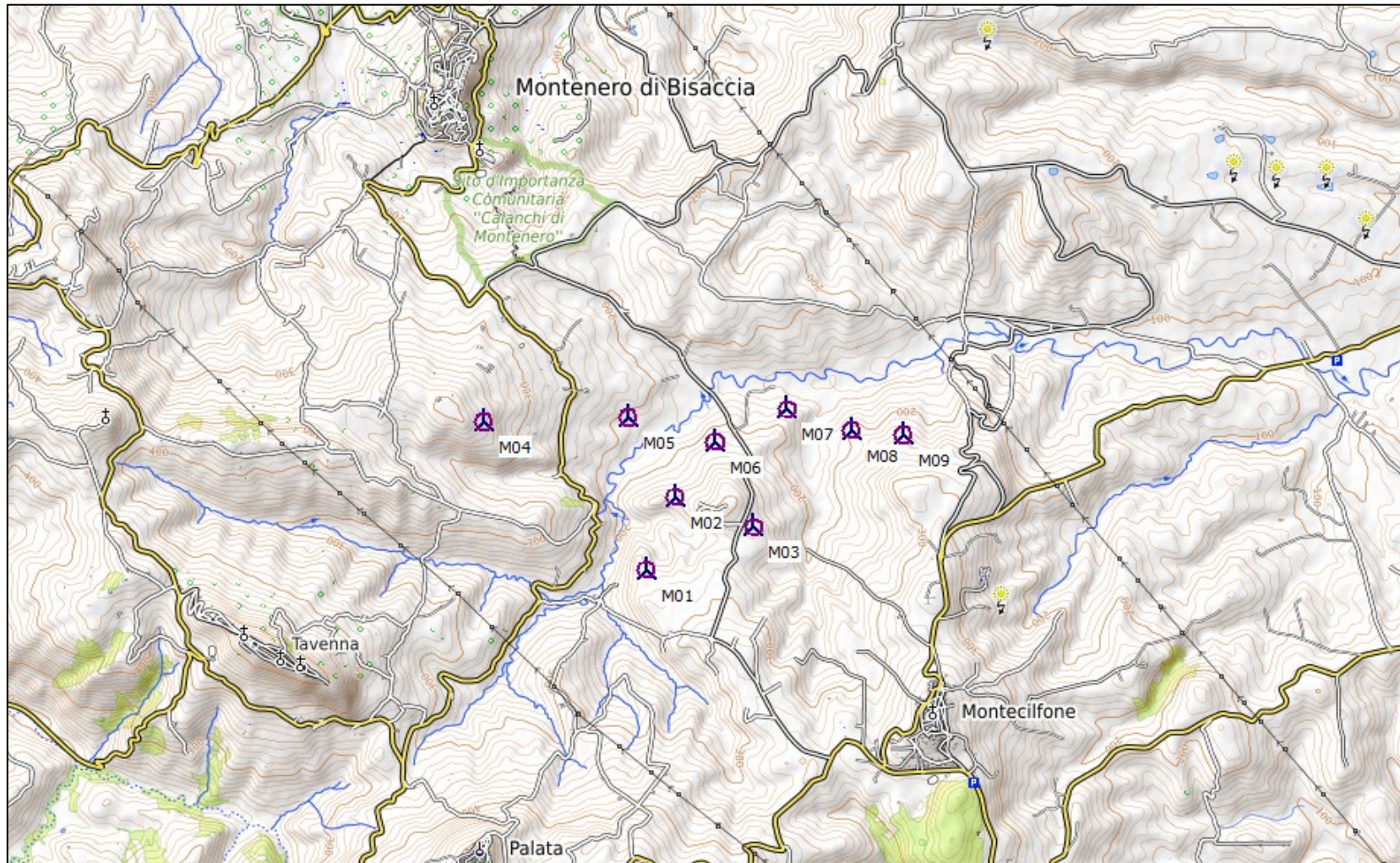



Figura 2: Individuazione dell'area di installazione della WTG su stralcio cartografico di tipo topografico con evidenza dell'impianto di progetto.



Figura 3: Individuazione dell'area di installazione della Windfarm su immagine ortofotografica.




Figura 4: Individuazione dell'area di installazione delle WTG su immagine ortofotografica nel prospetto 3D.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|
|  | STIMA DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO | Codice | IT-VESMON-TEN-SPE-TR-03 |
| | | Revisione | 00 |
| | | Data di creazione | 15/09/2022 |
| | | Data revisione | 15/09/2022 |
| | | Pagina | 9 di 34 |

La tabella seguente mostra le coordinate di inquadramento geografico degli aerogeneratori di progetto.

Tabella 1: Coordinate e tipologia degli aerogeneratori di progetto.

| ID WTG | UTM WGS 84 Long. Est [m] | UTM WGS 84 Lat. Nord [m] | Altitudine s.l.m. [m] | Modello aerogeneratore | Potenza nominale [KW] |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| M01 | 483760 | 4640496 | 264 | VESTAS V162 | 7.200 |
| M02 | 484034 | 4641205 | 247 | VESTAS V162 | 7.200 |
| M03 | 484768 | 4640908 | 278 | VESTAS V162 | 7.200 |
| M04 | 482241 | 4641942 | 372 | VESTAS V162 | 7.200 |
| M05 | 483593 | 4641983 | 197 | VESTAS V162 | 7.200 |
| M06 | 484413 | 4641744 | 219 | VESTAS V162 | 7.200 |
| M07 | 485083 | 4642057 | 165 | VESTAS V162 | 7.200 |
| M08 | 485688 | 4641852 | 194 | VESTAS V162 | 7.200 |
| M09 | 486171 | 4641803 | 232 | VESTAS V162 | 7.200 |

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|
|  | STIMA DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO | Codice | IT-VESMON-TEN-SPE-TR-03 |
| | | Revisione | 00 |
| | | Data di creazione | 15/09/2022 |
| | | Data revisione | 15/09/2022 |
| | | Pagina | 10 di 34 |

2 METODOLOGIA DI ANALISI

Per la stima di produzione attesa è stato approntato un modello di simulazione. Il programma utilizzato è WIND PRO con implementazione di WAsP che è uno dei principali e più completi strumenti di analisi del vento attualmente disponibile sul mercato. Il software è stato usato per la creazione dell'atlante europeo del vento che mira a stabilire la base meteorologica per la valutazione dei potenziali eolici.

Il funzionamento del software è piuttosto semplice:

- i dati di input necessari alla determinazione delle mappe eoliche sono
 - l'orografia della zona interessata,
 - i dati sul vento (velocità e direzione) di almeno un punto dell'area considerata,
 - caratteristiche di "rugosità" del terreno,
 - eventuali ostacoli
- L'output è costituito dal cosiddetto Wind Atlas o atlante del vento ovvero una climatologia del vento della zona considerata con cui è possibile elaborare una mappa eolica della zona in esame e, una volta scelto il sito dove installare l'impianto eolico, è inoltre capace di calcolare la producibilità annua di una singola macchina e di una intera Wind Farm portando in conto le eventuali interferenze tra le pale dovute all'effetto scia e l'eventuale presenza di ostacoli che possono alterare la distribuzione del vento.

L'algoritmo è rappresentabile attraverso un diagramma di flusso:

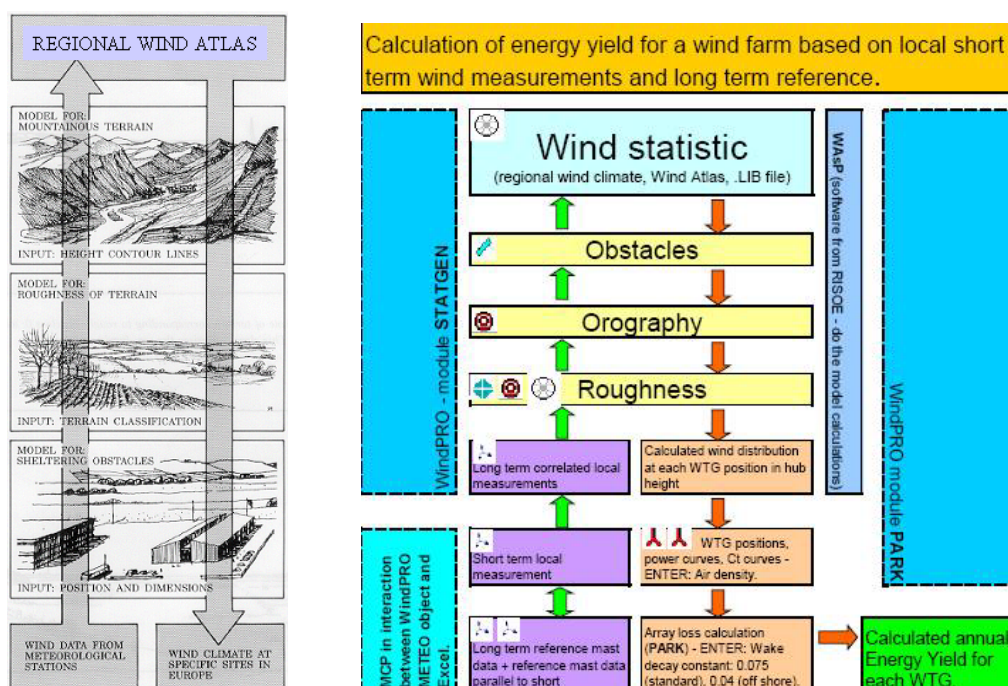


Figura 5: Diagramma di flusso del programma WAsP/Windpro.

Il software WINDPRO utilizza come piattaforma di calcolo WAsP, arricchendolo di altre funzionalità di verifica e di correlazione tra i dati quali il modulo MCP (measure-correlate-predict), che consente di mettere in relazione tra loro i dati di diverse stazioni di misura e sfruttare serie storiche di lungo periodo per avere una climatologia con basse incertezze. In generale il modulo mette in relazione set di dati di sensori differenti che possono appartenere anche allo stesso mast (palo-stazione di misura), con lo scopo di ricostruire dati mancanti ad una data altezza.

Nel concetto nativo del metodo WAsP (Wind Atlas Method), i dati del vento sono rappresentati da una matrice tridimensionale con distribuzioni Weibull e frequenza per altezza, direzione settore e rugosità, ma in questo caso per il modello di simulazione è stato utilizzato l'opzione "Time Varying Calculation" che invece di aggregare i dati del vento mediante statistiche del vento Weibull utilizza il calcolo "passo passo" dei dati di sito o a mesoscala, quindi basato sull'intervallo di registrazione dei dati disponibili.

I calcoli nel dominio del tempo non differiscono molto, ma danno molti vantaggi. Uno dei motivi principali per calcolare nel dominio del tempo è che ora è possibile accedere a dati eolici a mesoscala a lungo termine di buona qualità in tutto il mondo.


La convalida della configurazione del calcolo del modello è molto più precisa. Invece di avere un solo valore medio da controllare, è possibile eseguire più controlli ad esempio per direzione, velocità del vento, ora del giorno e mese. Inoltre, i problemi di adattamento di Weibull sono evitati. Correzioni delle curve di potenza: densità dell'aria, turbolenza, taglio e vier sono specifiche del passo temporale e si può ottenere una maggiore precisione rispetto alle correzioni medie. È simile per i modelli di scia. È noto come le perdite di scia dipendano fortemente dalla turbolenza, che varia nel tempo. Le perdite di riduzione, come rumore, sfarfallio, uccelli, pipistrelli o basate sul carico (gestione del settore) possono essere calcolate in modo molto preciso avendo le produzioni di serie temporali.

Il calcolo nel dominio del tempo avviene mediante una funzione di trasferimento tra i punti di misura e il punto di calcolo per settore di direzione. La funzione di trasferimento viene utilizzata su ogni timestamp di velocità del vento per estrapolarla al punto di calcolo. Utilizzando i dati del modello a mesoscala, l'altezza di calcolo viene interpolata nei dati a mesoscala; quindi, NON vi è alcuna estrapolazione verticale del modello e il taglio dei dati a mesoscala viene utilizzato per ogni fase temporale. I dati del modello a mesoscala sono ridimensionati da una metodologia avanzata.

Per quanto riguarda l'aspetto più propriamente energetico è di particolare importanza la potenza specifica P_V , intesa come potenza che fluisce attraverso l'unità di superficie esposta perpendicolarmente al vento di velocità V ; essa è data da:

$$P_V = \frac{1}{2} \rho V^3$$

Dove ρ è la densità dell'aria, che nelle elaborazioni si assume pari al valore stimato in sito in base all'altitudine e temperatura media annua.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|  TENPROJECT | STIMA DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO | Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina | IT-VESMON-TEN-SPE-TR-03 00 15/09/2022 15/09/2022 12 di 34 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|

3 DATI DI INPUT

3.1 MODELLO DIGITALE OROGRAFICO

Il modello digitale del terreno DTM (Digital Terrain Model) è stato estrapolato dal grid disponibile in download dal satellite, georeferenziato, sovrapposto, confrontato e adeguato con le curve di livello presenti sulla cartografia ufficiale IGM 1:25000 con uno step di 10 m. Il modello digitale ottenuto copre un'area di 40x40 Km e trova un buon riscontro con l'andamento orografico verificato in sito.

3.2 MAPPA DI RUGOSITÀ

La rugosità superficiale, determinata principalmente dall'altezza e tipologia di vegetazione che ricopre l'area di interesse, gioca un ruolo fondamentale per la variabilità della velocità del vento anche alle altezze del mozzo degli aerogeneratori. Informazioni di rugosità sono rese disponibili dal progetto "Corinne Land Cover 2018" che ricopre, attraverso l'ausilio di satelliti, gran parte della superficie terrestre. La mappa di rugosità, ottenuta attraverso l'ausilio del progetto citato, è stata integrata con le informazioni aggiuntive e di dettaglio ottenute ed annotate durante l'ispezione di sito e attraverso l'integrazione e sovrapposizione di carte aerofotogrammetriche. Il risultato finale ottenuto è la mappa digitale di rugosità dell'area che ricopre una superficie di 60x60 Km dal centro della wind farm di progetto. L'immagine proposta a seguire mostra la sovrapposizione del DTM con la mappa citata di rugosità utilizzati come dati di input per il modello di simulazione.

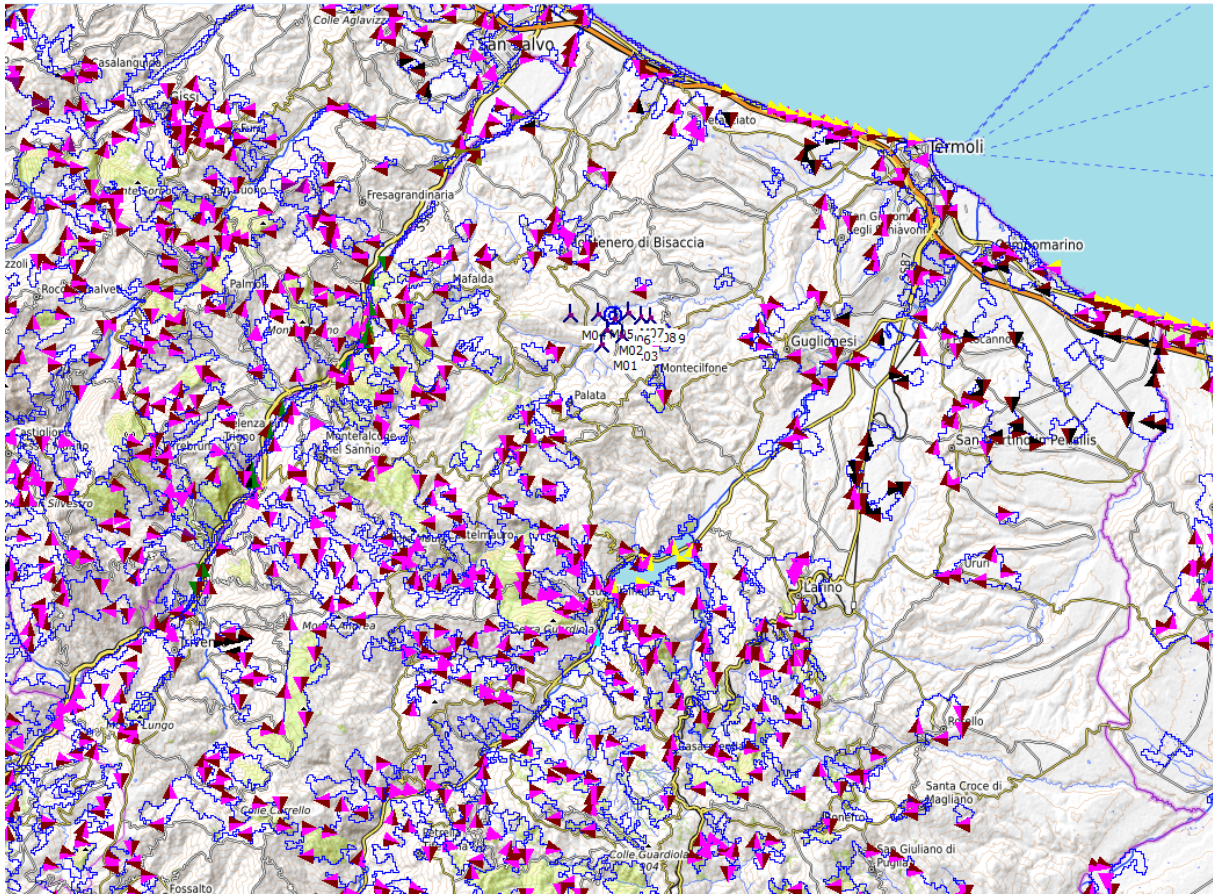


Figura 6: Mapa digital de rugosidad superficial utilizada como dato de input en el modelo.

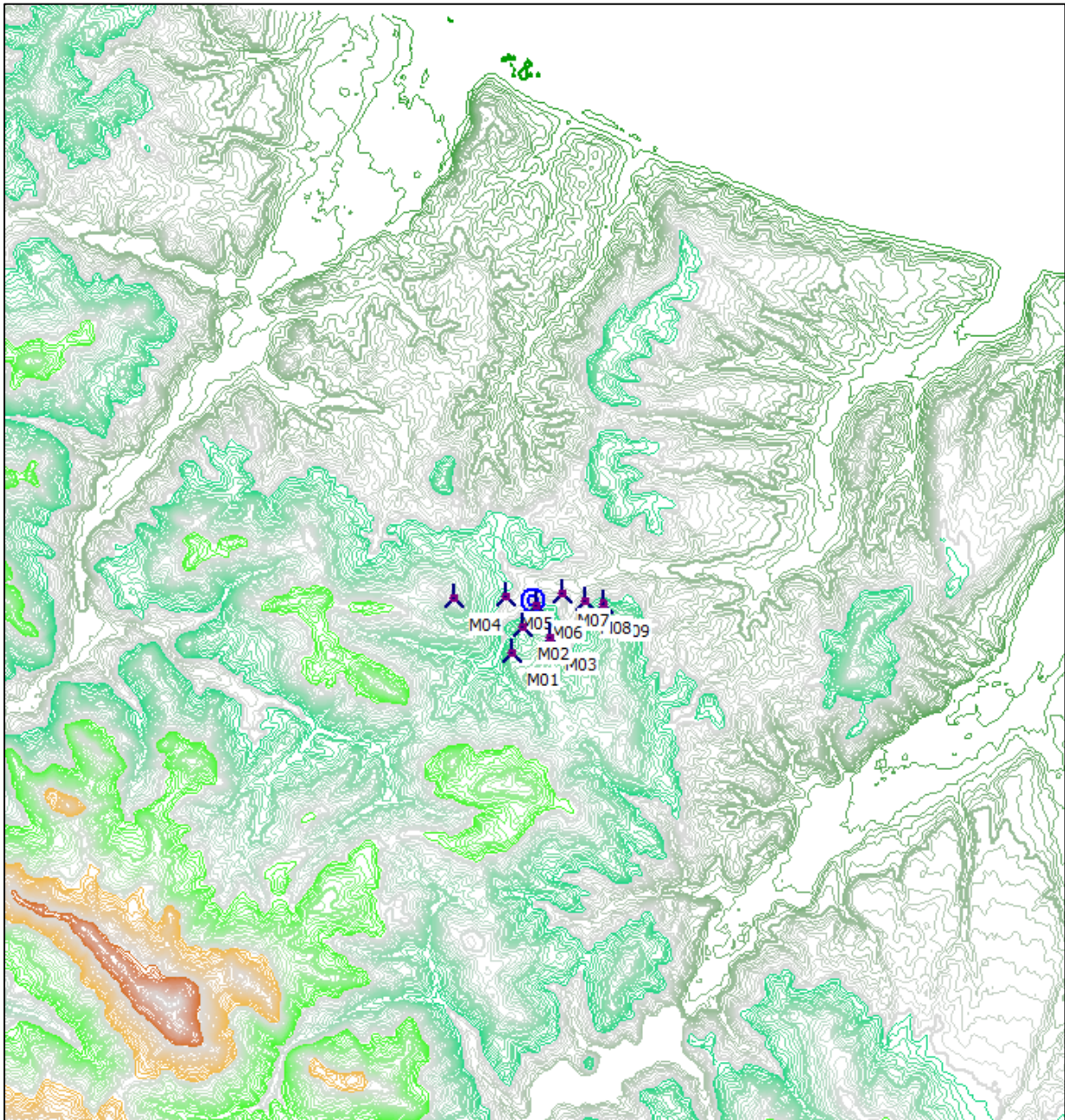


Figura 7: Mappe digitali di orografia utilizzata come dato di input nel modello.

3.3 DENSITÀ DELL'ARIA

La densità dell'aria in sito è stata calcolata basandosi sui dati climatologici (disponibili nel database di WindPro) relativi alla stazione più vicina all'area di progetto e riportata di seguito. La densità dell'aria media valutata all'altezza del mozzo della turbina è stata calcolata in virtù della sua posizione geografica ed è pari a 1.176 kg/m³.

TERMOLI V3 2014 - 17 km - Italy

CAMPOBASSO V3 2014 - 42 km - Italy

CAMPOBASSO - 42 km - ITALY

PESCARA V3 2014 - 75 km - Italy


PESCARA - 75 km - ITALY

FOGGIA ITALY V3 2014 - 81 km - Italy

AMENDOLA V3 2014 - 87 km - Italy

AMENDOLA - 87 km - ITALY

MONTE S. ANGE V3 2014 - 98 km - Italy



Search Path

Station Info

Name: TERMOLI V3 2014

Country: Italy

Elevation (m): 44,0

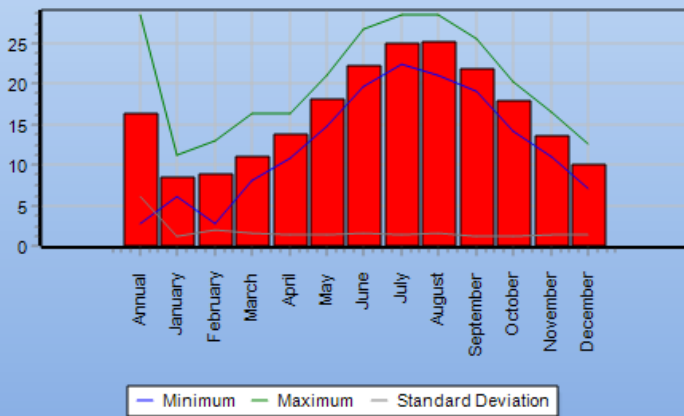
Lat (deg): 42,00

Lon (deg): 15,00

Pressure data: No

Temperature data: Yes (1952-2014) 16,4 °C

Sun shine data: No



Elevation depending air density

Temperature base values

Temperature data from climate station database Climate database TERMOLI V3 2014

Manual input of temperature data

Elevation m a.s.l. Annual mean temperature °C

Pressure base values

Pressure calculated from elevation

Manual input of pressure data (Must be used with care)

Elevation m a.s.l. Pressure hPa Compare to standard values (0 m and 1013 hPa) %

Other settings

Relative humidity %


Example

Terrain elevation m a.s.l. + Hub height m a.g.l. = m a.s.l.

Temperature °C Pressure hPa Air density kg/m³ % of STANDARD

Figura 8: Caratteristiche della stazione di riferimento per il calcolo della densità media dell'aria.

Tale valore di densità viene quindi utilizzato per il calcolo del rendimento energetico delle turbine prendendo in considerazione ed elaborandone il nuovo valore a seconda dell'orografia, dell'altitudine e dell'altezza del mozzo.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|
|  | STIMA DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO | Codice | IT-VESMON-TEN-SPE-TR-03 |
| | | Revisione | 00 |
| | | Data di creazione | 15/09/2022 |
| | | Data revisione | 15/09/2022 |
| | | Pagina | 16 di 34 |

3.4 RISORSA EOLICA

La risorsa eolica specifica di sito è stata valutata utilizzando un set di dati ad altezza 100 m s.l.t. provenienti da un nodo satellitare in sito, disponibili dal database EMD del software Wind Pro e correlati successivamente con una stazione meteo di dati satellitari di lungo termine il cui database ricopre un periodo temporale di oltre 30 anni.

La tabella a seguire elenca tutte le stazioni e fonti dati utilizzate per la valutazione della risorsa eolica per il progetto in questione.

Tabella 2: caratteristiche delle stazioni di misura, database dati.

| ID WTG | UTM WGS 84 Long. Est [m] | UTM WGS 84 Lat. Nord [m] | Altitudin e s.l.m. [m] | Altezza s.l.t. [m] | Data inizio misura | Data fine misura | N° mesi disponibi li |
|---------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------|
| EMD-Meso Data, EUROPE_N41,93_ E014,78 | 481760 | 4642028 | 392,4 | 50,0 m | 01/01/2018 | 01/01/2019 | 12 |
| | | | | 75,0 m | 01/01/2018 | 01/01/2019 | 12 |
| | | | | 100,0 m | 01/01/2018 | 01/01/2019 | 12 |
| NEWA_N41,93327 _E014,77509 | 481354 | 4642392 | 375,4 | 100,0 m | 01/01/2009 | 01/01/2019 | 120 |

3.5 CARATTERISTICHE STAZIONI DI MISURA


Non avendo a disposizione stazioni di misura installate in sito sono stati utilizzati set di dati satellitari disponibili in download dal database EMD del software Wind Pro.

La stazione satellitare identificata come EMD-ConWx Europe, di altezza 100 m presenta un database di 1 anno con una percentuale di validità del 100%.

A seguito, è stata effettuata una correlazione statistica per regressione lineare con i dati a 100 m s.l.t. della stazione satellitare di lungo termine NEWA distante circa 1,0 km in linea d'aria dalla zona centrale. Il NEWA (New european Wind Atlas), è un set di dati regionale che include entrambe le serie temporali dei database a mesoscala con risoluzione di ca. 3 km e statistiche sull'energia eolica e su microscala ridotte a 250 m. disponibili come dati di 30 minuti per un intervallo totale di 10 anni.

La stima di produzione energetica è stata quindi elaborata attraverso la Wind Statistic storicizzata e propria dell'area di indagine risultante a quota 125 m s.l.t. e relativa all'analisi dei dati rilevati ed analizzati per i 12 settori di direzione.

L'aggregazione statistica dei parametri anemologici misurati è rappresentata e sintetizzata dalla funzione Weibull che racchiude e descrive tutte le caratteristiche di intensità e direzione di provenienza del vento in funzione delle frequenze di apparizione.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|
|  | STIMA DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO | Codice | IT-VESMON-TEN-SPE-TR-03 |
| | | Revisione | 00 |
| | | Data di creazione | 15/09/2022 |
| | | Data revisione | 15/09/2022 |
| | | Pagina | 17 di 34 |

Le tabelle a seguire mostrano il dettaglio delle grandezze statistiche derivanti dall'analisi dei dati della stazione satellitare EMD e del nodo satellitare ERA 5 utilizzato come stazione di lungo termine per la stabilizzazione del dato di ventosità atteso sul lungo.

Tabella 3: Sintesi delle grandezze statistiche delle stazioni satellitari utilizzate nel calcolo.

| NEWA_N41,9332 7_E014,77509 | Signal | Unit | Count | Of period | Mean | Min | Max | Weibull l mean | Weibull A par | Weibull k par |
|-------------------------------|-----------------|---------|--------|-----------|-------|------|------|-------------------|------------------|------------------|
| 100,00m - | Mean wind speed | m/s | 175296 | 100,00% | 5,93 | 0,02 | 34,1 | 6,05 | 6,66 | 1,4392 |
| 100,00m - | Wind direction | Degrees | 175296 | 100,00% | 290,4 | 0 | 360 | | | |
| 100,00m - | Temperature | Deg C | 175295 | 100,00% | 15,8 | -5,1 | 37,7 | | | |

| Emd ConWx N41,93 E14,78 | Signal | Unit | Count | Of period | Mean | Min | Max | Weibull mean | Weibull A par | Weibull k par |
|----------------------------|-----------------|---------|-------|-----------|-------|------|-------|-----------------|------------------|------------------|
| 50,00m - | Mean wind speed | m/s | 8760 | 100,00% | 5,05 | 0,14 | 20,99 | 5,14 | 5,78 | 1,8106 |
| 50,00m - | Wind direction | Degrees | 8760 | 100,00% | 300,3 | 0 | 359,9 | | | |
| 75,00m - | Mean wind speed | m/s | 8760 | 100,00% | 5,34 | 0,1 | 22,38 | 5,46 | 6,12 | 1,7372 |
| 75,00m - | Wind direction | Degrees | 8760 | 100,00% | 306,6 | 0 | 359,9 | | | |
| 100,00m - | Mean wind speed | m/s | 8760 | 100,00% | 5,56 | 0,14 | 23,42 | 5,69 | 6,37 | 1,6726 |
| 100,00m - | Wind direction | Degrees | 8760 | 100,00% | 311,1 | 0 | 359,9 | | | |
| 100,00m - | Temperature | Deg C | 8760 | 100,00% | 15,6 | -6,3 | 33,2 | | | |

L'immagine a seguire evidenzia la posizione delle stazioni rispetto alla disposizione del layout di progetto.

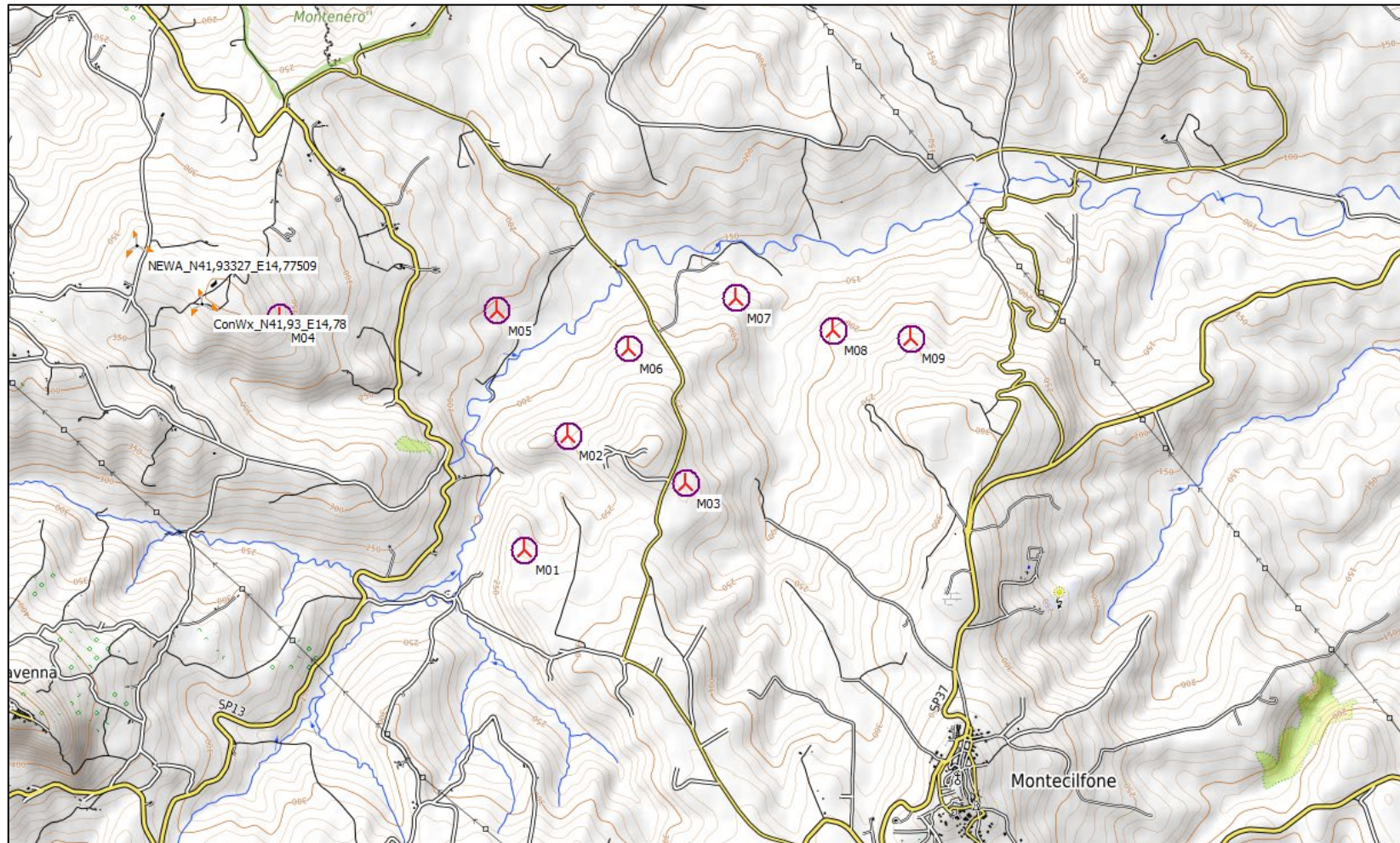
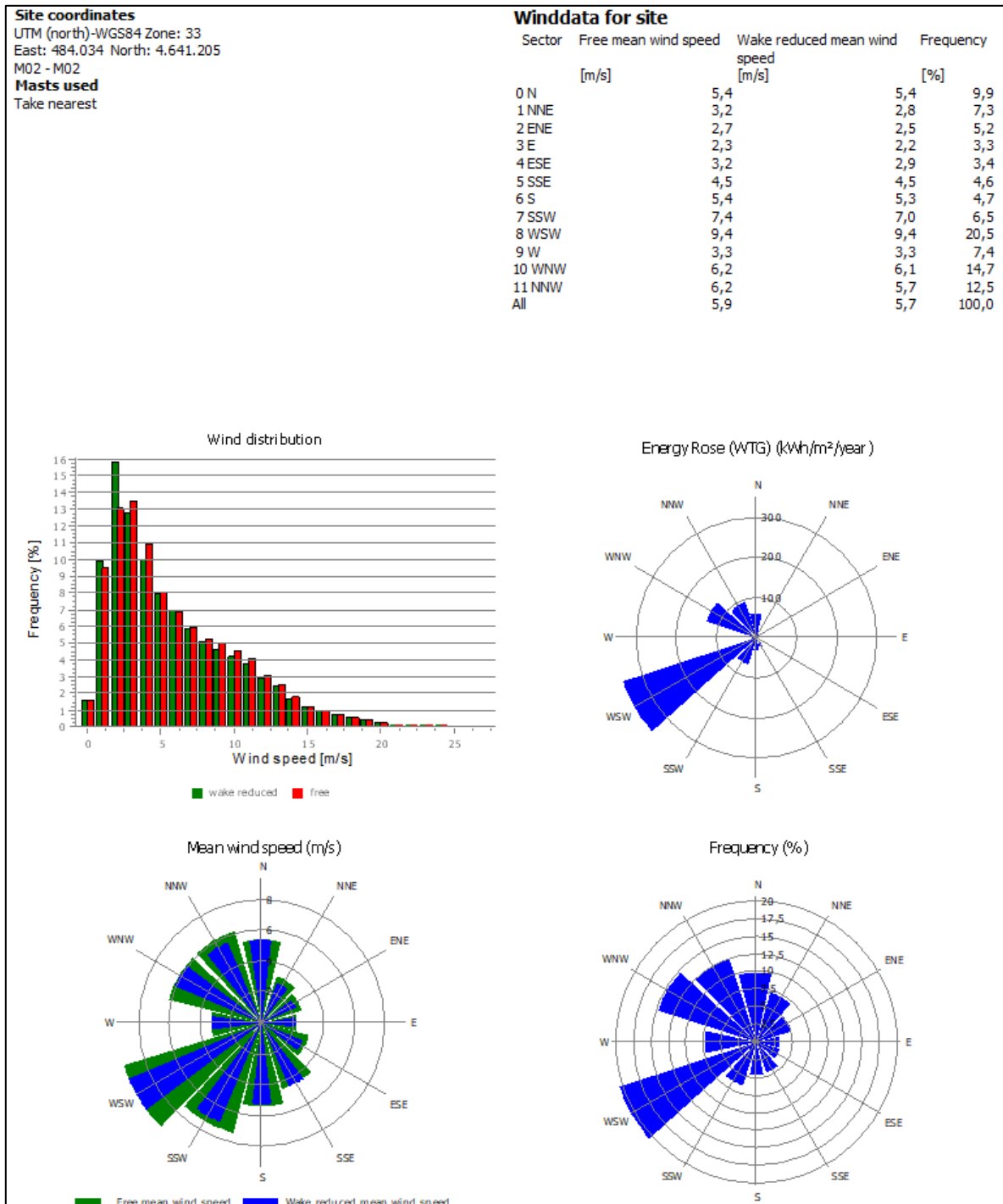


Figura 9: Inquadramento geografico della dislocazione delle stazioni di misura EMD-ConWx e NEWA rispetto al layout di progetto proposto su cartografia Open Topo Map.

3.6 CARATTERISTICHE DI VENTOSITÀ PREVISTE AL SITO

Sulla base dei dati di input, ed in relazione alla orografia e rugosità del sito si riportano le caratteristiche anemologiche previste ad altezza mozzo degli aerogeneratori al centro dell'area di installazione del layout di progetto.

Tabella 4: Sintesi grafica dei dati estrapolati e storicizzati nel punto centrale del sito (posizione M02) ad altezza 125 m s.l.t. Sono rispettivamente mostrate le direzioni per velocità del vento, in frequenza e la rosa energetica risultante.



La velocità media al mozzo di tutte le macchine è stimata essere pari a circa 5,9 m/s.

3.7 DATI TECNICI AEROGENERATORE

A seguire viene riportata l'immagine con la sintesi delle caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore di progetto Vestas V162 di potenza nominale 6,2 e 7,2 MW, richiamate dal data-sheet ufficiale del fornitore. Il modello di aerogeneratore è lo stesso basato sulla piattaforma Enventus, che può essere fornito con generatore da 6.2 o 7.2 MW.



V162-6.2 MW™

Technical specifications

Power regulation operational data

Pitch regulated with variable speed

| | |
|--------------------------------------|---------------------|
| Rated power | 6,200kW |
| Cut-in wind speed | 3m/s |
| Cut-out wind speed | 25m/s |
| Wind class | IEC S |
| Standard operating temperature range | from -20°C to +45°C |

SOUND POWER

| | |
|---------|-------------------------|
| Maximum | 104.8dB(A) ^m |
|---------|-------------------------|

ROTOR

| | |
|-------------------|----------------------------------------------|
| Rotor diameter | 162m |
| Swept area | 20,612m ² |
| Aerodynamic brake | full blade feathering with 3 pitch cylinders |

ELECTRICAL

| | |
|-----------|------------|
| Frequency | 50/60 Hz |
| Converter | full scale |

GEARBOX


| | |
|------|----------------------|
| Type | two planetary stages |
|------|----------------------|

TOWER

| | |
|-------------|----------------------------------------------------------------------|
| Hub heights | 119m (IEC S/DIBt S), 125m (IEC S), 166m (IEC S/DIBt S), 169m (DIBtS) |
|-------------|----------------------------------------------------------------------|

SUSTAINABILITY METRICS

| | |
|-----------------------------|----------------------------|
| Carbon Footprint | 6.1g CO ₂ e/kWh |
| Return on energy break-even | 6 months |
| Lifetime return on energy | 39 times |
| Recyclability rate | 88% |

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|  TENPROJECT | STIMA DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO | Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina | IT-VESMON-TEN-SPE-TR-03 00 15/09/2022 15/09/2022 21 di 34 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|

| <h1>V162-7.2 MW™</h1> | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Technical specifications | |
| Power regulation operational data | Pitch regulated with variable speed |
| Standard rated power | 6,800kW |
| Cut-in wind speed | 3m/s |
| Cut-out wind speed | 25m/s |
| Wind class | IEC S |
| Standard operating temperature range | from -20°C** to +45°C |
| <hr/> | |
| SOUND POWER | |
| Maximum | 105.5dB(A)** |
| <small>**Sound Optimized Modes available dependent on site and country</small> | |
| <hr/> | |
| ROTOR | |
| Rotor diameter | 162m |
| Swept area | 20,612m ² |
| Aerodynamic brake | full blade feathering with 3 pitch cylinders |
| <hr/> | |
| ELECTRICAL | |
| Frequency | 50/60Hz |
| Converter | full scale |
| <hr/> | |
| GEARBOX | |
| Type | two planetary stage |
| <hr/> | |
| TOWER | |
| Hub heights | 119m (IEC S/DIBt S), 169m (IEC S), 169m (DIBt S) |
| <small>Configuration 166m hub height and wind class IEC S. Depending on site-specific conditions</small> | |
| <hr/> | |
| SUSTAINABILITY | |
| Carbon Footprint | 5.8g CO ₂ e/kWh |
| Return on energy break-even | 6 months |
| Lifetime return on energy | 41 times |
| Recyclability rate | 86-87% |
| <small>Configuration: HH=166m, Vavg=8.5m/s, k=2.48. Depending on site-specific conditions. Metrics are based on a preliminary stream-lined analysis. An externally-verified Lifecycle Assessment will be made publicly available on vestas.com once finalised.</small> | |

Figura 10: Caratteristiche tecniche delle turbine di progetto considerate nelle simulazioni Mod. Vestas V160 di potenza nominale 7,2 MW).

Le immagini e le tabelle proposte a seguire mostrano l'adattamento della curva di potenza in relazione alla densità di sito e a seguire le informazioni relative a produzione lorda, produzione al netto delle perdite di scia e produzione al netto delle perdite di scia e delle perdite tecniche.

VESTAS V162-6.2 6200 162.0 IO! Level 0 - Calculated - Modes PO6200/PO6200-0S - 06-2021 [MWh] 10.659 16.214 21.489 26.011 29.569 32.113
Check value [%] -2 -2 -1 -1 1 3

The table shows comparison between annual energy production calculated on basis of simplified "HP-curves" which assume that all WTGs performs quite similar - only specific power loading (kW/m²) and single/dual speed or stall/pitch decides the calculated values. Productions are without wake losses.
For further details, ask at the Danish Energy Agency for project report Jnr. 51171/00-0016 or see the windPRO manual.
The method is refined in EMD report "20 Detailed Case Studies comparing Project Design Calculations and actual Energy Productions for Wind Energy Projects worldwide", Jan 2003.
Use the table to evaluate if the given power curve is reasonable - if the check value are lower than -5%, the power curve probably is too optimistic due to uncertainty in power curve measurement.

Power curve

Original data, Air density: 1,225 kg/m³

| Wind speed [m/s] | Power [kW] | Cp | Wind speed Ct curve [m/s] | Ct curve |
|------------------|------------|------|---------------------------|----------|
| 3,0 | 24,0 | 0,10 | 3,0 | 0,91 |
| 3,5 | 150,0 | 0,28 | 3,5 | 0,88 |
| 4,0 | 292,0 | 0,36 | 4,0 | 0,85 |
| 4,5 | 467,0 | 0,41 | 4,5 | 0,81 |
| 5,0 | 676,0 | 0,43 | 5,0 | 0,82 |
| 5,5 | 927,0 | 0,44 | 5,5 | 0,81 |
| 6,0 | 1.229,0 | 0,45 | 6,0 | 0,81 |
| 6,5 | 1.584,0 | 0,46 | 6,5 | 0,81 |
| 7,0 | 2.000,0 | 0,46 | 7,0 | 0,81 |
| 7,5 | 2.476,0 | 0,46 | 7,5 | 0,80 |
| 8,0 | 3.017,0 | 0,47 | 8,0 | 0,80 |
| 8,5 | 3.626,0 | 0,47 | 8,5 | 0,79 |
| 9,0 | 4.284,0 | 0,47 | 9,0 | 0,78 |
| 9,5 | 4.917,0 | 0,45 | 9,5 | 0,72 |
| 10,0 | 5.483,0 | 0,43 | 10,0 | 0,66 |
| 10,5 | 5.882,0 | 0,40 | 10,5 | 0,58 |
| 11,0 | 6.114,0 | 0,36 | 11,0 | 0,50 |
| 11,5 | 6.176,0 | 0,32 | 11,5 | 0,43 |
| 12,0 | 6.197,0 | 0,28 | 12,0 | 0,37 |
| 12,5 | 6.200,0 | 0,25 | 12,5 | 0,32 |
| 13,0 | 6.200,0 | 0,22 | 13,0 | 0,28 |
| 13,5 | 6.200,0 | 0,20 | 13,5 | 0,25 |
| 14,0 | 6.200,0 | 0,18 | 14,0 | 0,22 |
| 14,5 | 6.200,0 | 0,16 | 14,5 | 0,20 |
| 15,0 | 6.200,0 | 0,15 | 15,0 | 0,18 |
| 15,5 | 6.200,0 | 0,13 | 15,5 | 0,16 |
| 16,0 | 6.200,0 | 0,12 | 16,0 | 0,15 |
| 16,5 | 6.200,0 | 0,11 | 16,5 | 0,14 |
| 17,0 | 6.186,0 | 0,10 | 17,0 | 0,12 |
| 17,5 | 6.077,0 | 0,09 | 17,5 | 0,11 |
| 18,0 | 5.853,0 | 0,08 | 18,0 | 0,10 |
| 18,5 | 5.590,0 | 0,07 | 18,5 | 0,09 |
| 19,0 | 5.348,0 | 0,06 | 19,0 | 0,08 |
| 19,5 | 5.095,0 | 0,05 | 19,5 | 0,07 |
| 20,0 | 4.825,0 | 0,05 | 20,0 | 0,06 |
| 20,5 | 4.538,0 | 0,04 | 20,5 | 0,05 |
| 21,0 | 4.251,0 | 0,04 | 21,0 | 0,05 |
| 21,5 | 3.954,0 | 0,03 | 21,5 | 0,04 |
| 22,0 | 3.664,0 | 0,03 | 22,0 | 0,04 |
| 22,5 | 3.367,0 | 0,02 | 22,5 | 0,03 |
| 23,0 | 3.064,0 | 0,02 | 23,0 | 0,03 |
| 23,5 | 2.763,0 | 0,02 | 23,5 | 0,03 |
| 24,0 | 2.451,0 | 0,01 | 24,0 | 0,02 |

Power and efficiency vs. wind speed

Data used in calculation, Mean air density: 1,173 kg/m³

| Wind speed [m/s] | Power [kW] | Cp |
|------------------|------------|------|
| 1,0 | 0,0 | 0,00 |
| 2,0 | 0,0 | 0,00 |
| 3,0 | 23,7 | 0,07 |
| 4,0 | 275,2 | 0,36 |
| 5,0 | 645,1 | 0,43 |
| 6,0 | 1.175,5 | 0,45 |
| 7,0 | 1.914,0 | 0,46 |
| 8,0 | 2.888,1 | 0,47 |
| 9,0 | 4.094,3 | 0,46 |
| 10,0 | 5.274,4 | 0,44 |
| 11,0 | 6.002,3 | 0,37 |
| 12,0 | 6.184,3 | 0,30 |
| 13,0 | 6.200,0 | 0,23 |
| 14,0 | 6.200,0 | 0,19 |
| 15,0 | 6.200,0 | 0,15 |
| 16,0 | 6.200,0 | 0,13 |
| 17,0 | 6.198,7 | 0,10 |
| 18,0 | 5.853,0 | 0,08 |
| 19,0 | 5.348,0 | 0,06 |
| 20,0 | 4.825,0 | 0,05 |
| 21,0 | 4.251,0 | 0,04 |
| 22,0 | 3.664,0 | 0,03 |
| 23,0 | 3.064,0 | 0,02 |
| 24,0 | 2.451,0 | 0,01 |

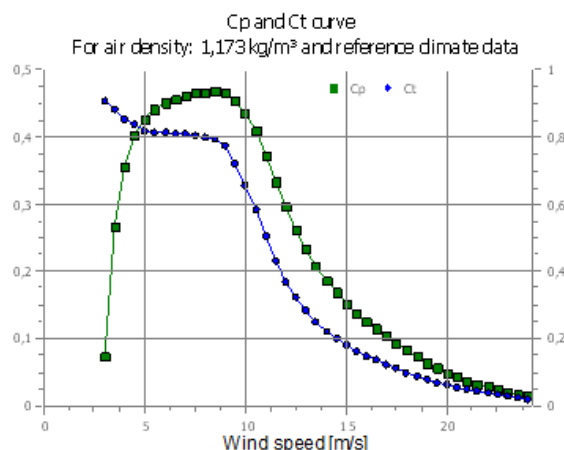
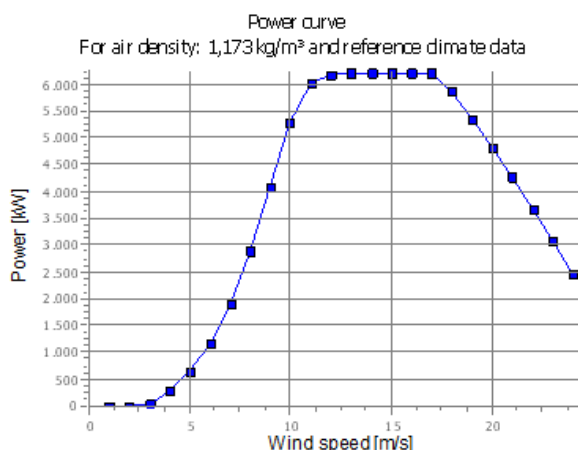


Figura 11: Specifiche tecniche - Curva di potenza della turbina Vestas V160 6,2 MW, alla densità dell'aria standard ed opportunamente scalata alla densità dell'aria di sito.

| | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| VESTAS V162-7.2 7200 162.0 IO! Level 0 - Calculated - PO7200 - 04-2022 | [MWh] | 10.658 | 16.674 | 22.641 | 27.985 | 32.399 | 35.755 |
| Check value | [%] | 0 | -1 | -1 | 0 | 0 | 1 |

The table shows comparison between annual energy production calculated on basis of simplified "HP-curves" which assume that all WTGs performs quite similar - only specific power loading (kW/m²) and single/dual speed or stall/tipch decides the calculated values. Productions are without wake losses.
For further details, ask at the Danish Energy Agency for project report Jnr. 51171/00-0016 or see the windPRO manual.
The method is refined in EMD report "20 Detailed Case Studies comparing Project Design Calculations and actual Energy Productions for Wind Energy Projects worldwide", Jan 2003.
Use the table to evaluate if the given power curve is reasonable - if the check value are lower than -5%, the power curve probably is too optimistic due to uncertainty in power curve measurement.

Power curve

Original data, Air density: 1,225 kg/m³

| Wind speed [m/s] | Power [kW] | Cp | Wind speed [m/s] | Ct curve |
|------------------|------------|------|------------------|----------|
| 3,0 | 42,0 | 0,12 | 3,0 | 0,93 |
| 3,5 | 113,0 | 0,21 | 3,5 | 0,87 |
| 4,0 | 254,0 | 0,31 | 4,0 | 0,85 |
| 4,5 | 426,0 | 0,37 | 4,5 | 0,83 |
| 5,0 | 633,0 | 0,40 | 5,0 | 0,81 |
| 5,5 | 883,0 | 0,42 | 5,5 | 0,81 |
| 6,0 | 1.199,0 | 0,44 | 6,0 | 0,81 |
| 6,5 | 1.549,0 | 0,45 | 6,5 | 0,81 |
| 7,0 | 1.969,0 | 0,45 | 7,0 | 0,81 |
| 7,5 | 2.449,0 | 0,46 | 7,5 | 0,81 |
| 8,0 | 2.994,0 | 0,46 | 8,0 | 0,80 |
| 8,5 | 3.607,0 | 0,47 | 8,5 | 0,80 |
| 9,0 | 4.277,0 | 0,46 | 9,0 | 0,79 |
| 9,5 | 4.914,0 | 0,45 | 9,5 | 0,79 |
| 10,0 | 5.519,0 | 0,44 | 10,0 | 0,77 |
| 10,5 | 6.098,0 | 0,42 | 10,5 | 0,76 |
| 11,0 | 6.647,0 | 0,40 | 11,0 | 0,75 |
| 11,5 | 7.175,0 | 0,37 | 11,5 | 0,74 |
| 12,0 | 7.158,0 | 0,33 | 12,0 | 0,72 |
| 12,5 | 7.199,0 | 0,29 | 12,5 | 0,70 |
| 13,0 | 7.198,0 | 0,25 | 13,0 | 0,68 |
| 13,5 | 7.200,0 | 0,23 | 13,5 | 0,66 |
| 14,0 | 7.200,0 | 0,21 | 14,0 | 0,64 |
| 14,5 | 7.200,0 | 0,19 | 14,5 | 0,62 |
| 15,0 | 7.200,0 | 0,17 | 15,0 | 0,60 |
| 15,5 | 7.200,0 | 0,15 | 15,5 | 0,58 |
| 16,0 | 7.200,0 | 0,14 | 16,0 | 0,56 |
| 16,5 | 7.200,0 | 0,13 | 16,5 | 0,54 |
| 17,0 | 7.200,0 | 0,12 | 17,0 | 0,52 |
| 17,5 | 7.200,0 | 0,11 | 17,5 | 0,50 |
| 18,0 | 7.200,0 | 0,10 | 18,0 | 0,48 |
| 18,5 | 7.199,0 | 0,09 | 18,5 | 0,46 |
| 19,0 | 7.113,0 | 0,08 | 19,0 | 0,44 |
| 19,5 | 6.956,0 | 0,07 | 19,5 | 0,42 |
| 20,0 | 6.682,0 | 0,07 | 20,0 | 0,40 |
| 20,5 | 6.326,0 | 0,06 | 20,5 | 0,38 |
| 21,0 | 5.885,0 | 0,05 | 21,0 | 0,36 |
| 21,5 | 5.397,0 | 0,04 | 21,5 | 0,34 |
| 22,0 | 4.928,0 | 0,04 | 22,0 | 0,32 |
| 22,5 | 4.489,0 | 0,03 | 22,5 | 0,30 |
| 23,0 | 3.984,0 | 0,03 | 23,0 | 0,28 |
| 23,5 | 3.514,0 | 0,02 | 23,5 | 0,26 |
| 24,0 | 3.049,0 | 0,02 | 24,0 | 0,24 |
| 24,5 | 2.598,0 | 0,01 | 24,5 | 0,22 |
| 25,0 | 2.202,0 | 0,01 | 25,0 | 0,20 |

Power and efficiency vs. wind speed

Data used in calculation, Mean air density: 1,173 kg/m³

| Wind speed [m/s] | Power [kW] | Cp |
|------------------|------------|------|
| 1,0 | 0,0 | 0,00 |
| 2,0 | 0,0 | 0,00 |
| 3,0 | 35,7 | 0,11 |
| 4,0 | 237,3 | 0,31 |
| 5,0 | 602,4 | 0,40 |
| 6,0 | 1.134,8 | 0,43 |
| 7,0 | 1.882,2 | 0,45 |
| 8,0 | 2.864,2 | 0,46 |
| 9,0 | 4.083,8 | 0,46 |
| 10,0 | 5.296,0 | 0,44 |
| 11,0 | 6.382,8 | 0,40 |
| 12,0 | 7.071,3 | 0,34 |
| 13,0 | 7.191,8 | 0,27 |
| 14,0 | 7.200,0 | 0,22 |
| 15,0 | 7.200,0 | 0,18 |
| 16,0 | 7.200,0 | 0,15 |
| 17,0 | 7.200,0 | 0,12 |
| 18,0 | 7.200,0 | 0,10 |
| 19,0 | 7.113,0 | 0,09 |
| 20,0 | 6.682,0 | 0,07 |
| 21,0 | 5.865,0 | 0,05 |
| 22,0 | 4.928,0 | 0,04 |
| 23,0 | 3.984,0 | 0,03 |
| 24,0 | 3.049,0 | 0,02 |
| 25,0 | 2.202,0 | 0,01 |

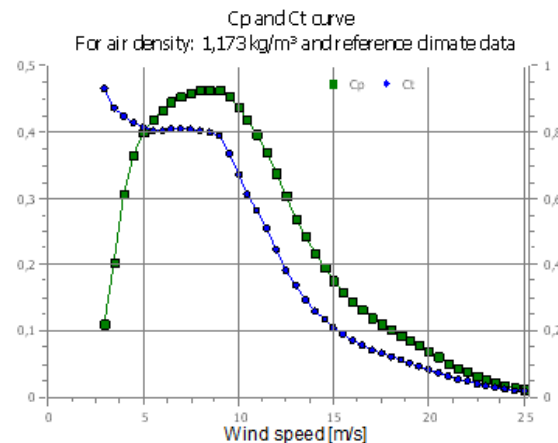
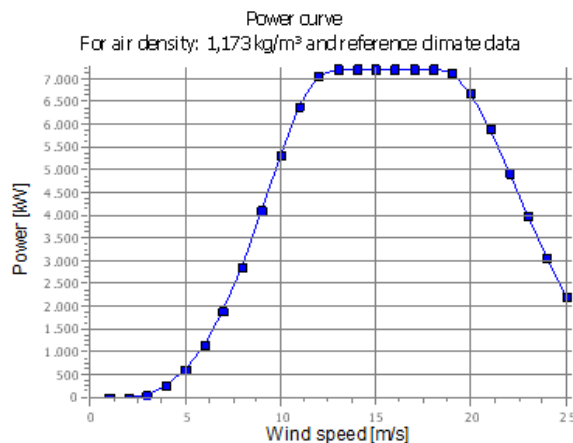


Figura 12: Specifiche tecniche - Curva di potenza della turbina Vestas V160 7,2 MW, alla densità dell'aria standard ed opportunamente scalata alla densità dell'aria di sito.

4 CLASSIFICAZIONE DI SITO E VERIFICA PRELIMINARE DI COMPLIANCE

La Commissione Elettrotecnica Internazionale (IEC) stabilisce i requisiti standard di progettazione. La Norma IEC 61400-1 Ed.3 specifica le classi di progettazione con associate le relative velocità del vento estreme ed intensità di turbolenza. Modelli di turbolenza ed altre condizioni ambientali, quali la complessità topografica, sono altresì specificati come illustrato nella tabella che segue:


Tabella 5: Parametri di base per la classe della turbina (tutti i parametri sono riferiti all'altezza mozzo).

| Wind turbine class | I | II | III | S |
|---------------------|----|------|------|--------------|
| V_{ave} (m/s) | 10 | 8.5 | 7.5 | User defined |
| V_{ref} (m/s) | 50 | 42.5 | 37.5 | |
| $V_{50,gust}$ (m/s) | 70 | 59.5 | 52.5 | |
| I_{ref} | A | 0.16 | | |
| | B | 0.14 | | |
| | C | 0.12 | | |

dove:

- Vref** è la velocità del vento di riferimento media su 10 minuti con un periodo di ricorrenza di 50 anni e rappresenta il parametro estremo di base utilizzato per definire le classi delle turbine eoliche (per una turbina progettata in classe S con una velocità di riferimento Vref, si intende che essa è progettata per resistere climi per cui la media estrema della velocità del vento media 10min con un periodo di ricorrenza di 50 anni è inferiore o uguale a Vref)
- A** indica la categoria con caratteristiche di turbolenza superiori;
- B** indica la categoria con caratteristiche di turbolenza medie;
- C** indica la categoria con caratteristiche di turbolenza inferiori;
- Iref** è il valore atteso dell'intensità della turbolenza a 15 m/s.;

In questo studio sono stati considerati i parametri di progettazione relativi ai dati tecnici ed alla classe eolica degli aerogeneratori pubblicati dai rispettivi produttori ed evidenziati nei paragrafi a seguire.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|  TENPROJECT | STIMA DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO | Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina | IT-VESMON-TEN-SPE-TR-03 00 15/09/2022 15/09/2022 25 di 34 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|

4.1 Vref – Verifica preliminare dei parametri di sito

La Reference Wind Speed - V_{ref} , o velocità estrema del vento con un periodo di ritorno di 50 anni, è un importante parametro per l'analisi della classe eolica di appartenenza di un sito che determina quindi la scelta della turbina più adatta poiché ad essa è direttamente associato il carico nominale di progetto dell'aerogeneratore. Una buona indagine di tale parametro necessita di un'analisi sugli eventi estremi basata sulla distribuzione GEV/Gumbel.

Poiché questo approccio prende in considerazione solo un valore di velocità massimo per epoca (1 anno), il set di dati da cui sono tratti gli estremi epocali, deve essere lungo: Cook (1985) 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 della V_{ref} 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 con la funzione di distribuzione di "Gumbel" o altri tipi di funzioni di distribuzione (ad esempio la Gumbel modificata).

Questo tipo di approccio è implementato come tool nel software WindPro e 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 sulla stima della V_{ref} e vengono scelti attraverso un processo iterativo. La scelta dei valori estremi può essere fatta sia sui dati reali di velocità del vento misurato, sia sul loro valore al quadrato.

In questo studio sono presentati i risultati della stima della V_{ref} secondo il metodo sopra descritto: attraverso l'utilizzo del tool EWSE (Extreme Wind Speed Estimator) implementato nel software WindPro partendo dai dati misurati a 50 m da una delle stazioni in area limitrofa al sito.

I risultati ottenuti sono evidenziati nel Summary Report proposto a seguire che evidenzia il valore di rispetto dei parametri di V_{ref} previsti al mozzo delle turbine (125 m) elaborato per ogni singola posizione di installazione degli aerogeneratori di progetto.

Dai risultati ottenuti, risulta che nel suo complesso il sito oggetto di indagine può essere classificato come appartenente alla Classe II.

4.2 Intensità di turbolenza ambientale

La turbolenza è un parametro che fornisce un'informazione importante sulle caratteristiche fluidodinamiche della vena fluida in quanto restituisce la variabilità relativa della velocità del vento entro l'intervallo considerato. Ad esempio, un valore di turbolenza (TI) superiore a 0,18 (o equivalentemente

18%), indica un fenomeno ventoso piuttosto disturbato che potrebbe eventualmente sollecitare eccessivamente le macchine per la produzione di energia eolica ed inficiarne la produttività. In genere la turbolenza diminuisce man mano che ci si allontana dalla superficie terrestre in quanto gli ostacoli e l'orografia alterano il profilo fluidodinamico.

L'immagine proposta a seguire rappresenta il "Main Result" che sintetizza i risultati ottenuti per la verifica preliminare di rispondenza della turbina di progetto alle caratteristiche specifiche di sito – "SITE COMPLIANCE".

Come evidente dal report di sintesi, i parametri esaminato ricadono nei limiti relativi la CLASSE IIA ma risulta un valore di turbolenza effettivo critico. In tal senso si consiglia un approfondimento con il supplier in fase di fornitura.

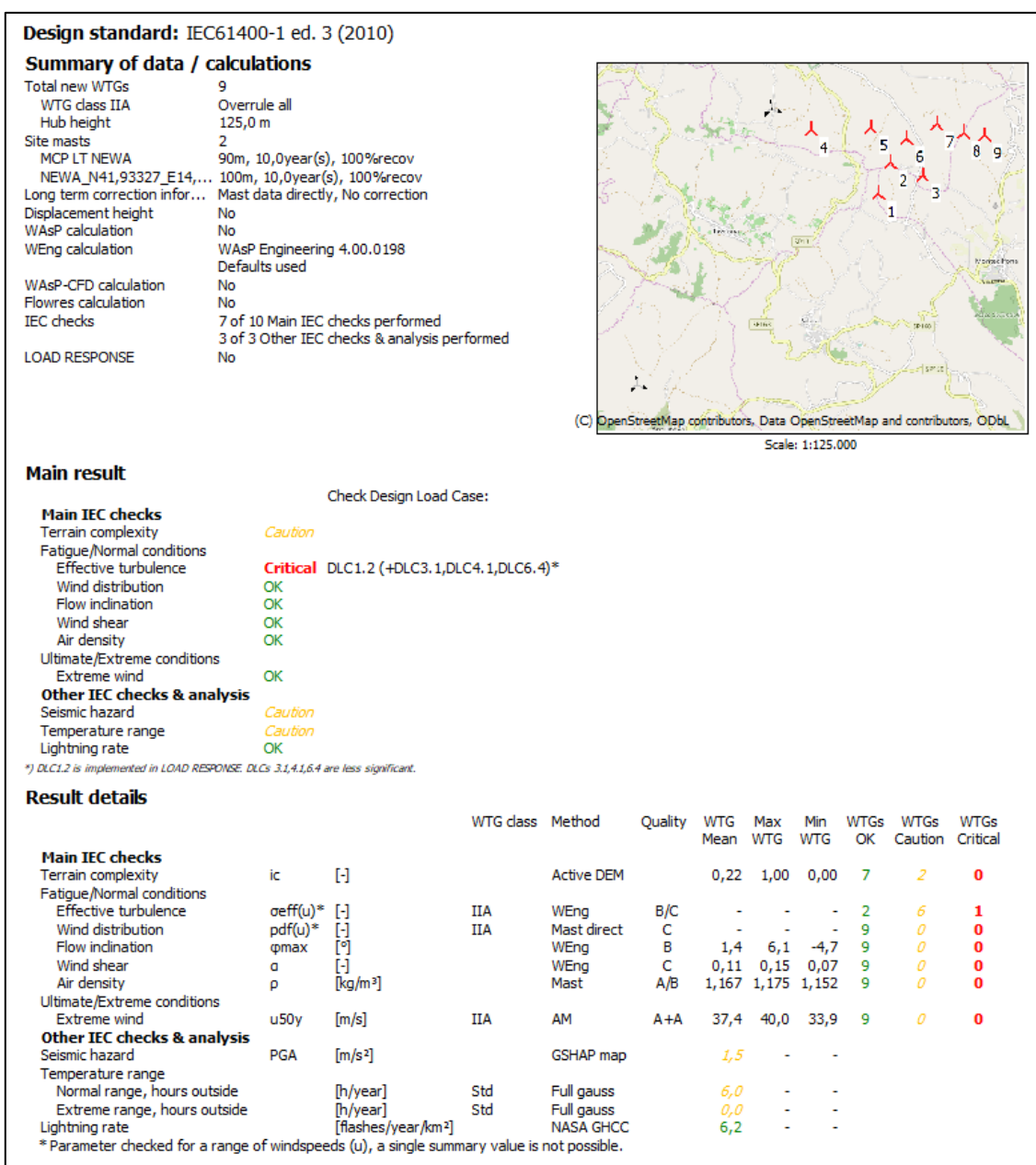




Figura 13: Stralcio del Report "Main Result" con evidenza della sintesi dei risultati ottenuti per la verifica della Site Compliance e rispondenza della turbina di progetto con le caratteristiche specifiche di sito.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|  TENPROJECT | STIMA DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO | Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina | IT-VESMON-TEN-SPE-TR-03 00 15/09/2022 15/09/2022 27 di 34 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|

5 STIMA DI PRODUZIONE ENERGETICA

Nei paragrafi a seguire viene proposta la tabella di sintesi della stima di produzione energetica ed i dati tecnici della turbina utilizzata nell'analisi. Oltre alla densità dell'aria specifica di sito, che incide sulla performance e adattamento della curva di potenza, nel calcolo eseguito si è tenuto in conto anche del deficit di produzione legato alle perdite tecniche stimate nella percentuale del 8,5 % e dettagliate nei paragrafi successivi.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|
|  | STIMA DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO | Codice | IT-VESMON-TEN-SPE-TR-03 |
| | | Revisione | 00 |
| | | Data di creazione | 15/09/2022 |
| | | Data revisione | 15/09/2022 |
| | | Pagina | 28 di 34 |

A seguire sono quindi proposte le tabelle di sintesi con i valori di produzione energetica elaborati e con il relativo calcolo dei livelli percentili di produzione stimati (P50-P75-P90).

Tabella 6: Dettagli tecnici dell'aerogeneratore di progetto e dei valori di produzione attesi dall'intero impianto con dettaglio delle singole turbine

| ID WTG | UTM WGS 84 Long. Est [m] | UTM WGS 84 Lat. Nord [m] | Altitudine s.l.m. [m] | Modello aerogeneratore | Potenza [KW] | Altezza mozzo s.l.t. [m] | Vm [m/s] | Produzione lorda [MWh] | Perdite di scia [%] | Produzione al netto delle scie [MWh] | Produzione al netto delle scie e perdite tecniche [MWh] | Ore equivalenti FLEOH [MWh/MW] |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|---------------|--------------------------|-------------|------------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------|
| M01 | 483760 | 4640496 | 264 | VESTAS V162 | 6.200 | 125,0 | 5,93 | 15.865 | 2,64 | 15.446 | 14.287 | 2304 |
| M02 | 484034 | 4641205 | 247 | VESTAS V162 | 6.200 | 125,0 | 5,90 | 16.030 | 4,27 | 15.345 | 14.194 | 2289 |
| M03 | 484768 | 4640908 | 278 | VESTAS V162 | 6.200 | 125,0 | 6,03 | 16.094 | 7,99 | 14.808 | 13.697 | 2209 |
| M04 | 482241 | 4641942 | 372 | VESTAS V162 | 6.200 | 125,0 | 6,25 | 16.864 | 0,26 | 16.821 | 15.560 | 2510 |
| M05 | 483593 | 4641983 | 197 | VESTAS V162 | 6.200 | 125,0 | 5,54 | 14.658 | 1,33 | 14.463 | 13.378 | 2158 |
| M06 | 484413 | 4641744 | 219 | VESTAS V162 | 6.200 | 125,0 | 5,83 | 15.623 | 3,83 | 15.025 | 13.899 | 2242 |
| M07 | 485083 | 4642057 | 165 | VESTAS V162 | 6.200 | 125,0 | 5,52 | 14.662 | 6,42 | 13.721 | 12.692 | 2047 |
| M08 | 485688 | 4641852 | 194 | VESTAS V162 | 6.200 | 125,0 | 5,80 | 15.447 | 4,67 | 14.725 | 13.621 | 2197 |
| M09 | 486171 | 4641803 | 232 | VESTAS V162 | 6.200 | 125,0 | 6,01 | 16.183 | 3,51 | 15.615 | 14.444 | 2330 |
| MEAN VALUES TOTAL | | | 241 | | 55.800 | | 5,87 | 141.426 | 3,86 | 135.969 | 125.772 | 2254 |

Tabella 7: Probabilità di superamento caratteristiche - percentili della produzione su base annua e decennale.

| Base Period | | P50 | P75 | P90 |
|----------------|----------------|---------|---------|---------|
| 1 ANNO | [MWh] | 125.772 | 115.392 | 106.051 |
| | FLEOH [MWh/MW] | 2.254 | 2.068 | 1.901 |
| 10 ANNI | [MWh] | 125.772 | 117.765 | 110.559 |
| | FLEOH [MWh/MW] | 2.254 | 2.110 | 1.981 |


| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|
|  | STIMA DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO | Codice | IT-VESMON-TEN-SPE-TR-03 |
| | | Revisione | 00 |
| | | Data di creazione | 15/09/2022 |
| | | Data revisione | 15/09/2022 |
| | | Pagina | 29 di 34 |

Tabella 8: Dettagli tecnici dell'aerogeneratore di progetto e dei valori di produzione attesi dall'intero impianto con dettaglio delle singole turbine.

| ID WTG | UTM WGS 84 Long. Est [m] | UTM WGS 84 Lat. Nord [m] | Altitudine s.l.m. [m] | Modello aerogeneratore | Potenza [KW] | Altezza mozzo s.l.t. [m] | Vm [m/s] | Produzione lorda [MWh] | Perdite di scia [%] | Produzione al netto delle scie [MWh] | Produzione al netto delle scie e perdite tecniche [MWh] | Ore equivalenti FLEOH [MWh/MW] |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|---------------|--------------------------|-------------|------------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------|
| M01 | 483760 | 4640496 | 264 | VESTAS V162 | 7.200 | 125,0 | 5,93 | 16.978 | 2,67 | 16.524 | 15.285 | 2123 |
| M02 | 484034 | 4641205 | 247 | VESTAS V162 | 7.200 | 125,0 | 5,90 | 17.115 | 4,25 | 16.388 | 15.159 | 2105 |
| M03 | 484768 | 4640908 | 278 | VESTAS V162 | 7.200 | 125,0 | 6,03 | 17.289 | 8,15 | 15.881 | 14.690 | 2040 |
| M04 | 482241 | 4641942 | 372 | VESTAS V162 | 7.200 | 125,0 | 6,25 | 18.195 | 0,24 | 18.151 | 16.790 | 2332 |
| M05 | 483593 | 4641983 | 197 | VESTAS V162 | 7.200 | 125,0 | 5,54 | 15.502 | 1,30 | 15.301 | 14.153 | 1966 |
| M06 | 484413 | 4641744 | 219 | VESTAS V162 | 7.200 | 125,0 | 5,83 | 16.678 | 3,88 | 16.031 | 14.828 | 2059 |
| M07 | 485083 | 4642057 | 165 | VESTAS V162 | 7.200 | 125,0 | 5,52 | 15.498 | 7,07 | 14.402 | 13.322 | 1850 |
| M08 | 485688 | 4641852 | 194 | VESTAS V162 | 7.200 | 125,0 | 5,80 | 16.492 | 4,89 | 15.686 | 14.510 | 2015 |
| M09 | 486171 | 4641803 | 232 | VESTAS V162 | 7.200 | 125,0 | 6,01 | 17.373 | 3,69 | 16.731 | 15.477 | 2150 |
| MEAN VALUES TOTAL | | | 241 | | 64.800 | | 5,87 | 151.121 | 3,99 | 145.096 | 134.214 | 2071 |

Tabella 9: Probabilità di superamento caratteristiche - percentili della produzione su base annua e decennale.

| Base Period | | P50 | P75 | P90 |
|----------------|----------------|---------|---------|---------|
| 1 ANNO | [MWh] | 134.214 | 121.945 | 110.903 |
| | FLEOH [MWh/MW] | 2.071 | 1.882 | 1.711 |
| 10 ANNI | [MWh] | 134.214 | 124.751 | 116.235 |
| | FLEOH [MWh/MW] | 2.071 | 1.925 | 1.794 |

La mancanza di dati provenienti da stazioni fisiche installate in area limitrofa, rende certamente opportuna un'analisi più approfondita delle condizioni di ventosità della zona. Infatti, sebbene i due nodi satellitari riportino un trend affidabile su quelle che sono le condizioni anemologiche dell'area (in velocità e direzione), certamente essi non sono propriamente adeguati a fornire un dato assoluto affidabile per la stima della produzione energetica attesa dall'impianto di progetto.

5.1 ANALISI DELLE PERDITE TECNICHE


Le potenziali sorgenti che possono indurre perdite di produzione energetica sono note e sono state considerate come perdite tecniche nei loro valori percentuali empirici. Tali valori sono stati quindi detratti dalla produzione lorda attesa. È importante sottolineare che nel caso specifico i valori più consistenti sono stati associati alla disponibilità della turbina per quanto concerne le perdite tecniche ed alla affidabilità della Power Curve per quanto concerne le incertezze. Il motivo di tali valori più elevati rispetto allo standard medio di riferimento, è da ricercare nel fatto che la potenza della turbina in oggetto è frutto di un depotenziamento meccanico della reale potenza nominale del generatore.

Tabella 10: Dettaglio della stima delle perdite tecniche stimate per il caso V162 6,2 MW

| Limitazioni e Perdite Tecniche | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Descrizione | Metodologia di valutazione | Valore perdita [%] | Perdita Energetica [MWh/anno] | Energia [MWh/anno] |
| Produzione lorda | | | | 141.426 |
| Perdite di scia 3,86% | | | | |
| Perdite di scia, tutte le WTG esistenti | Calcolato | 3,86% | 5.457 | 135.969 |
| Perdite di scia future installazioni limitrofe | Assunzione | 0,00% | - | 135.969 |
| Produzione al netto delle perdite di scia | | | | 135.969 |
| Limitazioni/Decurtazioni 0,00% | | | | |
| Wind sector management | Assunzione | | - | 135.969 |
| Rete elettrica (limitazioni/ordini di dispacciamento) | Calcolate | 0,0% | - | 135.969 |
| Limitazioni in potenza emessa concordata | Assunzione | 0,0% | - | 135.969 |
| Limitazioni in potenza per riduzioni emissioni acustiche | Calcolato | 0,0% | - | 135.969 |
| Limitazioni in potenza per riduzioni flickering | Calcolato | 0,0% | - | 135.969 |
| Limitazioni in potenza per avifauna e chiroterri | Assunzione | 0,0% | - | 135.969 |
| Altre limitazioni | Assunzione | 0,0% | - | 135.969 |
| Perdite per cause Ambientali 0,79% | | | | |
| Perdite prestazionali per cause diverse da "icing" | Assunzione | 0,1% | 136 | 135.833 |
| Perdite dovute a "icing" | Assunzione | 0,2% | 272 | 135.561 |
| Fermo macchina per fulminazioni/grandinate/icing/altro | Assunzione | 0,2% | 254 | 135.308 |
| Temperature estreme | Assunzione | 0,1% | 136 | 135.172 |
| Inaccessibilità e cause di forza maggiore | Assunzione | 0,2% | 272 | 134.900 |
| Vegetazione limitrofa (Crescita/Abbattimento) | Assunzione | 0,0% | - | 134.900 |
| Disponibilità 3,70% | | | | |
| Disponibilità Aerogeneratore | Garantita | 3,0% | 4.047 | 130.853 |
| Balance of plant (BOP) | Assunzione | 0,5% | 675 | 130.179 |
| Disponibilità Rete elettrica | Assunzione | 0,1% | 135 | 130.044 |
| Altre disponibilità | Assunzione | 0,1% | 135 | 129.909 |
| Perdite prestazionali aerogeneratore 0,60% | | | | |
| Curva di potenza | Assunzione | 0,1% | 130 | 129.779 |
| Isteresi per Venti elevata intensità | Assunzione | 0,1% | 130 | 129.649 |
| Variabilità del campo di flusso di ventoso | Assunzione | 0,3% | 390 | 129.259 |
| Altre perdite prestazionali | Assunzione | 0,1% | 130 | 129.129 |
| Perdite Elettriche 2,60% | | | | |
| Perdite elettriche | Stimata | 2,5% | 3.228 | 125.901 |
| Consumo apparecchiature elettriche di misura | Assunzione | 0,1% | 129 | 125.772 |
| Totale perdite e limitazioni tecniche | | 7,50% | 10.198 | |
| Produzione al netto delle perdite tecniche e delle limitazioni prevista alla UP | 125.772 | Ore Equivalenti [MWh/MW] | 2.254 | |

Tabella 11: Dettaglio della stima delle perdite tecniche stimate per il caso V162 7,2 MW

| Limitazioni e Perdite Tecniche | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Descrizione | Metodologia di valutazione | Valore perdita [%] | Perdita Energetica [MWh/anno] | Energia [MWh/anno] |
| Produzione lorda | | | | 151.121 |
| Perdite di scia 3,99% | | | | |
| Perdite di scia, tutte le WTG esistenti | Calcolato | 3,99% | 6.026 | 145.096 |
| Perdite di scia future installazioni limitrofe | Assunzione | 0,00% | - | 145.096 |
| Produzione al netto delle perdite di scia | | | | 145.096 |
| Limitazioni/Decurtazioni 0,00% | | | | |
| Wind sector management | Assunzione | 0,0% | - | 145.096 |
| Rete elettrica (limitazioni/ordini di dispacciamento) | Calcolate | 0,0% | - | 145.096 |
| Limitazioni in potenza emessa concordata | Assunzione | 0,0% | - | 145.096 |
| Limitazioni in potenza per riduzioni emissioni acustiche | Calcolato | 0,0% | - | 145.096 |
| Limitazioni in potenza per riduzioni flickering | Calcolato | 0,0% | - | 145.096 |
| Limitazioni in potenza per avifauna e chiroteri | Assunzione | 0,0% | - | 145.096 |
| Altre limitazioni | Assunzione | 0,0% | - | 145.096 |
| Perdite per cause Ambientali 0,80% | | | | |
| Perdite prestazionali per cause diverse da "icing" | Assunzione | 0,1% | 145 | 144.951 |
| Perdite dovute a "icing" | Assunzione | 0,2% | 290 | 144.661 |
| Fermo macchina per fulminazioni/grandinate/icing/altro | Assunzione | 0,2% | 290 | 144.370 |
| Temperature estreme | Assunzione | 0,1% | 145 | 144.225 |
| Inaccessibilità e cause di forza maggiore | Assunzione | 0,2% | 290 | 143.935 |
| Vegetazione limitrofa (Crescita/Abbattimento) | Assunzione | 0,0% | - | 143.935 |
| Disponibilità 3,70% | | | | |
| Disponibilità Aerogeneratore | Garantita | 3,0% | 4.318 | 139.617 |
| Balance of plant (BOP) | Assunzione | 0,5% | 720 | 138.897 |
| Disponibilità Rete elettrica | Assunzione | 0,1% | 144 | 138.753 |
| Altre disponibilità | Assunzione | 0,1% | 144 | 138.609 |
| Perdite prestazionali aerogeneratore 0,60% | | | | |
| Curva di potenza | Assunzione | 0,1% | 139 | 138.471 |
| Isteresi per Venti elevata intensità | Assunzione | 0,1% | 139 | 138.332 |
| Variabilità del campo di flusso di ventoso | Assunzione | 0,3% | 416 | 137.916 |
| Altre perdite prestazionali | Assunzione | 0,1% | 139 | 137.778 |
| Perdite Elettriche 2,60% | | | | |
| Perdite elettriche | Stimata | 2,5% | 3.444 | 134.333 |
| Consumo apparecchiature elettriche di misura | Assunzione | 0,1% | 138 | 134.196 |
| Totale perdite e limitazioni tecniche | | 7,5% | 10.900 | |
| Produzione al netto delle perdite tecniche e delle limitazioni prevista alla UP | 134.196 | Ore Equivalenti [MWh/MW] | | 2.071 |

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|  TENPROJECT | STIMA DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO | Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina | IT-VESMON-TEN-SPE-TR-03 00 15/09/2022 15/09/2022 32 di 34 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|


5.2 ANALISI DELLE INCERTEZZE

In merito alle altre fonti di incertezze, è noto che gli studi legati alla meteorologia, tradizionalmente basati su considerazioni probabilistiche, hanno un elevato margine di incertezza che, nonostante le più moderne tecniche di modellazione, impedisce previsioni sicure. Le principali fonti di incertezza sono di seguito elencate:

- incertezza sui dati misurati: corretta installazione degli strumenti di misura, calibrazione degli strumenti, manutenzione ai sensori, etc...;
- incertezza legata alla previsione di lungo termine sulla base di dati relativi a un numero limitato di mesi (e comunque non sulla base di serie storiche estese ad alcune decine di anni);
- incertezze legate alle condizioni di ventosità nelle aree adiacenti al palo anemometrico;
- mutamenti climatici registrati negli ultimi anni.

È chiaro che la previsione ha un grado di incertezza che è tanto maggiore quanto più limitato è l'arco temporale interessato dall'analisi, nel senso che se volessimo stimare la velocità media del vento del prossimo mese o della prossima settimana si stimerebbe un numero con un grado di incertezza elevato; il carattere di stagionalità e quindi di incertezza della risorsa eolica è tanto più ridotto quanto maggiore è l'arco temporale cui ci si riferisce.


Le incertezze afferenti alla variabile velocità sono state opportunamente riportate in incertezza energetica tramite un fattore di sensitività calcolato attraverso il software WPRO per lo specifico sito. Per quanto concerne l'incertezza legata all'oscillazione meteorologica, la stazione storica presente anch'essa in sito ha consentito una buona stabilizzazione della velocità media al mozzo sul lungo periodo, con forte riduzione di tale incertezza sebbene nella valutazione complessiva è stata comunque tenuta in conto l'incertezza relativa alla variabilità del vento su basi temporali di 1 e 10 anni. Le più recenti pubblicazioni del settore, nonché l'analisi dati su serie storiche locali, individuano l'oscillazione sui valori di velocità media nell'arco temporale di un anno intorno ad un valore del 6% mentre l'oscillazione sui valori di velocità media riferiti ad una media di dieci anni è invece di circa il 2%, il dato è confermato dalla stazione di lungo termine scelta nell'analisi. Con le incertezze calcolate è stato inoltre possibile valutare le probabilità di superamento di un assegnato valore di produzione (calcolo dei percentili) come riportato nelle tabelle seguenti. I percentili su base annua danno una indicazione del peggio che ci si può attendere in un anno particolarmente sfavorevole; i percentili su base decennale sono quelli da utilizzare per le analisi finanziarie in quanto danno una indicazione di cosa accade alle producibilità con trend sfavorevole su base di lungo periodo, in relazione a tutti i parametri di incertezza che hanno concorso nella stima, primo fra tutti, l'oscillazione meteorologica. I valori di incertezza ed i livelli percentili di produzione calcolati sono riportati a seguito della stima di producibilità.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|
|  | STIMA DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO | Codice | IT-VESMON-TEN-SPE-TR-03 |
| | | Revisione | 00 |
| | | Data di creazione | 15/09/2022 |
| | | Data revisione | 15/09/2022 |
| | | Pagina | 33 di 34 |

Sulla base delle incertezze sopra dettagliate, ipotizzando un processo gaussiano sono state calcolate le probabilità di superamento sulla base di due diversi periodi (1 anno e 10 anni).

Tabella 12: Dettaglio della valutazione delle incertezze

| Valutazione delle incertezze | | | |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Valore di Sensitività - Energia/Vento (Stvty: [%AEP] / %[m/s]) | | 1,37 | |
| Incerteza Parametri Anemologici | Inc. V. vento [%] | Inc. Energia [%] | Inc. Energia [MWh] |
| Campagna di misura/Affidabilità/Analisi dati | 2,00 | 2,74 | 3.720 |
| Correlazione dati di lungo termine (MCP/LTS) | 2,00 | 2,74 | 3.720 |
| Variabilità annuale Vm | 6,00 | 8,21 | 11.159 |
| Variabilità decennale Vm | 1,90 | 2,60 | 3.529 |
| Variabilità Futura Trend Ventosità | 0,50 | 0,50 | 680 |
| Parametri Anemologici/Altro | 0,50 | 0,50 | 680 |
| Incerteza Modello di flusso e di simulazione | | | |
| Modellazione ed Estrapolazione Verticale | 2,50 | 3,42 | 4.649 |
| Modellazione ed Estrapolazione Orizzontale | 2,50 | 3,42 | 4.649 |
| Modello di flusso e simulazione/Altro | 2,00 | 2,74 | 3.720 |
| Incerteza Produzione Energetica Sistemi di Trasformazione | | | |
| Curva di Potenza Aerogeneratore | 2,50 | 3,42 | 4.649 |
| Sistemi di misura | 3,00 | 4,10 | 5.579 |
| Produzione energetica/Altro | 2,00 | 2,74 | 3.720 |
| Totale incerteza base 1 anno | 8,96 | 12,24 | 16.636 |
| Totale incerteza base 10 anni | 6,92 | 9,44 | 12.833 |

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|  TENPROJECT | STIMA DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO | Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina | IT-VESMON-TEN-SPE-TR-03 00 15/09/2022 15/09/2022 34 di 34 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|

5.3 CONCLUSIONI

In base all'analisi dei dati anemometrici disponibili per il sito in esame, si è potuto stimare che con l'installazione del modello di aerogeneratore ipotizzato Vestas V162 di potenza nominale 6,2 MW e con altezza del mozzo posta a 125 m s.l.t, è attesa una resa energetica l'impianto di progetto previsto in agro del comune di Montecilfone in località "Guardiola", che prevede una produzione netta pari a **125,8 GWh** annui corrispondenti a circa **2254** ore equivalenti/anno pur decurtando una percentuale di perdite tecniche stimate essere pari al 7,5 %. Nel caso lo stesso modello di aerogeneratore sia installato con potenza pari a 7.2 MW, la produzione totale stimata sale a **134,2 GWh**.

In base alle valutazioni preliminari eseguite, il modello di turbina scelto per l'impianto risulta compatibile con le caratteristiche anemologiche previste sito; tuttavia, è assolutamente raccomandata l'installazione di una stazione di misura locale pari almeno a 2/3 dell'altezza del mozzo per una corretta determinazione della risorsa assoluta e dei parametri.