



REGIONE  
SICILIA



PROVINCIA DI  
PALERMO



COMUNE DI  
SCLAFANI BAGNI



COMUNE DI  
VALLEDOLMO



COMUNE DI  
CALTAVUTURO



COMUNE DI  
POLIZZI GENEROSA



COMUNE DI  
CASTELLANA  
SICULA



COMUNE DI  
VILLALBA

OGGETTO:

**Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 85,8 MW  
denominato "CATERINA I" situato nei comuni di Sclafani Bagni, Valledolmo,  
Caltavuturo, Polizzi Generosa, Castellana Sicula in provincia di Palermo(PA)  
e Villalba, in provincia di Caltanissetta (CL).**

ELABORATO:

## STUDIO ANEMOLOGICO



PROPONENTE:



**AEI WIND  
PROJECT X S.R.L.**

P.I. 17264891007  
Via Savoia 78,  
00198 Roma

Codice fiscale e n.iscr. al Registro Imprese: 17264891007  
Numero REA RM: 1707098  
Domicilio digitale/PEC: aeiwindprojectx@legalmail.it

PROGETTAZIONE:

Ing. Carmen Martone  
Iscr. n.1872  
Ordine Ingegneri Potenza  
C.F MRTCMN73D56H703E



Geol. Raffaele Nardone  
Iscr. n. 243  
Ordine Geologi Basilicata  
C.F NRDRFL71H04A509H

EGM PROJECT S.R.L.  
VIA VERRASTRO 15/A  
85100- POTENZA (PZ)  
P.IVA 02094310766  
REA PZ-206983

| Livello prog. | Cat. opera    | N°. prog.elaborato | Tipo elaborato | N° foglio/Tot. fogli | Nome file          | Scala                              |
|---------------|---------------|--------------------|----------------|----------------------|--------------------|------------------------------------|
| PD            | I.IE          | 03                 | R              |                      | STUDIO_ANEMOLOGICO |                                    |
| REV.          | DATA          | DESCRIZIONE        |                |                      | ESEGUITO           | VERIFICATO                         |
| 00            | DICEMBRE 2023 | EMISSIONE          |                |                      |                    | Ing. Carmen Martone<br>EGM Project |
|               |               |                    |                |                      |                    | Ing. Carmen Martone<br>EGM Project |

## Indice

|     |                                                     |    |
|-----|-----------------------------------------------------|----|
| 1.  | INTRODUZIONE .....                                  | 2  |
| 1.1 | Descrizione del sito .....                          | 2  |
| 2.  | DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PROGETTUALE .....       | 2  |
| 2.1 | Il progetto.....                                    | 2  |
| 2.2 | L'aerogeneratore.....                               | 3  |
| 3.  | CARATTERISTICHE DEI DATI aNEMOLOGICI .....          | 4  |
| 3.1 | Caratteristiche dei dati.....                       | 4  |
| 4.  | ANALISI DEI DATI DEL VENTO .....                    | 5  |
| 4.1 | Wind Shear - Profilo verticale .....                | 5  |
| 4.2 | Direzione del vento .....                           | 6  |
| 4.3 | Velocità media annuale del vento a 155 m.....       | 6  |
| 4.4 | Distribuzione del vento all'altezza del mozzo ..... | 7  |
| 5.  | MODELLO DI CALCOLO DELLA RISORSA EOLICA .....       | 7  |
| 5.1 | Mappa di elevazione e di orografia.....             | 8  |
| 5.2 | Calcolo energetico.....                             | 9  |
| 5.3 | Calcolo energetico - Perdite .....                  | 9  |
| 5.4 | Risultato del calcolo dell'energia .....            | 11 |
| 6.  | CONCLUSIONI .....                                   | 14 |

## **1. INTRODUZIONE**

La presente relazione rappresenta l'analisi di ventosità e di produzione relativo al progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 85.80 MW denominato "CE CATERINA I" situato nel comune di Sclafani Bagni (PA), con lo scopo di fare una stima della risorsa ventosa disponibile in sito.

### **1.1 Descrizione del sito**

Il sito oggetto dello studio è situato nel Comune di Sclafani Bagni (PA).

L'area di progetto su cui verrà realizzato il parco eolico è caratterizzata da orografia tipica delle zone collinari della zona, priva di complicazioni eccessive e con un'altezza media compresa tra 490 e 872 metri sul livello del mare.

Per quanto riguarda le condizioni climatiche sito specifiche, è stata considerata una temperatura media annua di 15.6 ° C e una densità media dell'aria nel sito all'altezza del mozzo è:  $\rho = 1,11 \text{ Kg/m}^3$ .

Attualmente il sito presenta un uso del suolo principalmente agricolo. La copertura vegetale arborea è scarsa, quindi l'area in esame è caratterizzata da una rugosità media, caratteristica favorevole allo sfruttamento del vento.

Le turbine eoliche saranno posizionate in modo omogeneo, in direzione perpendicolare al vento prevalente N.

Di seguito è riportato il progetto del parco eolico proposto nel luogo.

## **2. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PROGETTUALE**

### **2.1 Il progetto**

Il parco eolico per la produzione di energia elettrica oggetto di studio avrà le seguenti caratteristiche:

- potenza installata totale: 85.80 MW;
- potenza della singola turbina: 6.6 MW;
- n. 13 turbine;
- n. 1 cabine di smistamento.

## 2.2 L'aerogeneratore

L'aerogeneratore previsto per la realizzazione del parco eolico è la turbina da 6.6 MW della Siemes- Gamesa SG 6.6-170 -MOD 6,6 MW\_v2

Nella tabella che segue sono sintetizzate le principali caratteristiche dell'aerogeneratore previsto nel parco eolico CE CATERINA I.

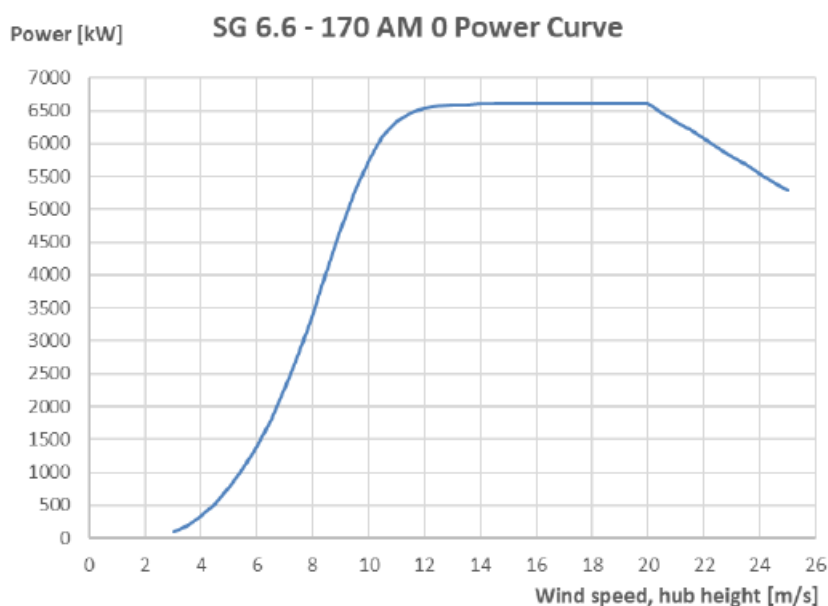
| Tipo di Aerogeneratore            | Altezza al mozzo (m) | Diametro rotore (m) | Potenza nominale (kW) |
|-----------------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|
| Gamesa SG 6.6-170 - MOD 6,6 MW_v2 | 155 m                | 170 m               | 6600                  |

**Tabella 1 – Caratteristiche principali dell'aerogeneratore previsto nel parco eolico**

### **CE CATERINA I.**

#### • Curva di potenza

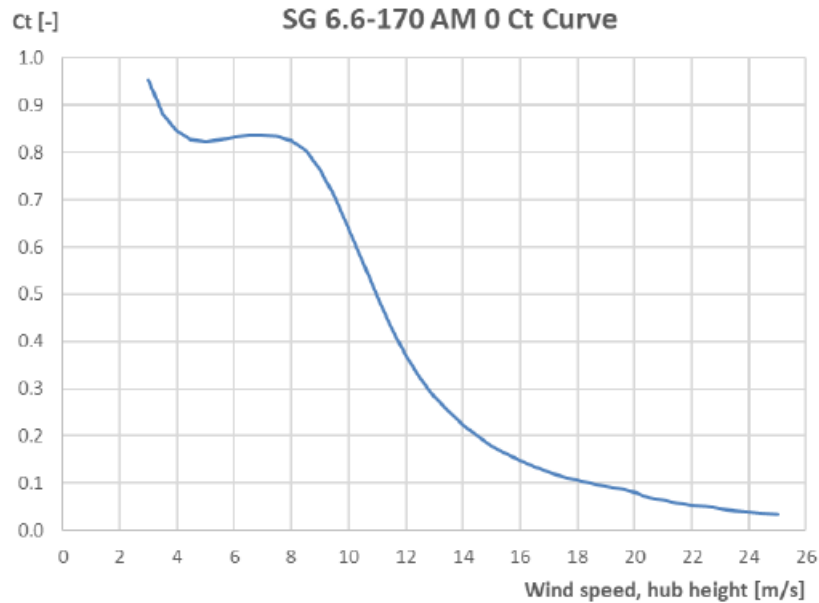
La figura 1 mostra i dati della curva di potenza per diverse velocità del vento per una densità di  $1,225 \text{ kg/m}^3$ . Questa curva è stata ricavata dai dati inviati da S.Gamesa.



**Figura 1 - Curva di potenza Gamesa SG 6.6-170 -MOD 6,6 MW\_v2**

#### • Curva di spinta

La Figura 2 mostra i valori della curva di spinta per diverse velocità del vento e una densità dell'aria di  $1,225 \text{ kg/m}^3$ .



**Figura 2 - Curva di spinta Gamesa SG 6.6-170 -MOD 6,6 MW\_v2**

- Dati di input per il calcolo

Analizzando il database ERA-5, è stato effettuato un calcolo di varie altezze a partire da 155 m, che è l'altezza della turbina eolica selezionata.

Il software utilizzato per le elaborazioni è il Furorow; di seguito vengono descritti i principali i dati di input implementati nel modello scelto:

- Topografia: è stata inserita una mappa topografica del sito dal database ASTER in coordinate UTM.

- Rugosità: è stata importata una mappa di rugosità dal database CORINE 2006. I valori di rugosità sono stati confrontati in Google Earth, verificandone la corrispondenza. Nella figura 4, riportata nel proseguo di questa relazione, è mostrata la mappa di rugosità del sito.

- Dati meteorologici: sono stati scaricati i dati di pressione e temperatura ERA-5 a 0 e 2 m dal suolo ed è stata effettuata una estrapolazione per simulare i dati a 155 m, che è l'altezza alla quale si trova il mozzo.

### **3. CARATTERISTICHE DEI DATI ANEMOLOGICI**

#### **3.1 Caratteristiche dei dati**

Per la caratterizzazione dei dati relativi alla risorsa eolica disponibile in sito, sono stati utilizzati i dati del database di rianalisi di ERA-5.

Per la realizzazione di questo studio preliminare è stata analizzata una serie storica di 5 anni di dati provenienti dal database ERA-5 ad altezze di 2, 10 e 100 m.

Il punto di riferimento utilizzato per ottenere i dati di velocità e direzione del vento è di seguito descritto ed identificato:

- Coordinate: 37.724348E, 13.862185 m N Huso 33S
- Altezza al livello del mare: 681 m
- Periodo download dati: 01/01/2018 - 01/01/2023

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| Velocità / direzione vento | 2 m   |
| Velocità / direzione vento | 10 m  |
| Velocità / direzione vento | 100 m |
| Temperatura                | 2 m   |
| Pressione (m s.l.m.)       | 0 m   |

**Tabella 2 – Dati di misurazione.**

## 4. ANALISI DEI DATI DEL VENTO

Prima di procedere con la modellazione dei dati del vento disponibili, è stata effettuata un'operazione di verifica dei dati stessi al fine di renderli omogenei e affidabili: sono stati infatti rimossi i dati delle ombre e i dati non validi. Questo lavoro di pulizia dei dati è stato effettuato mediante ispezione visiva e grafica dei dati di vento disponibili utilizzando il software Furorow.

### 4.1 *Wind Shear - Profilo verticale*

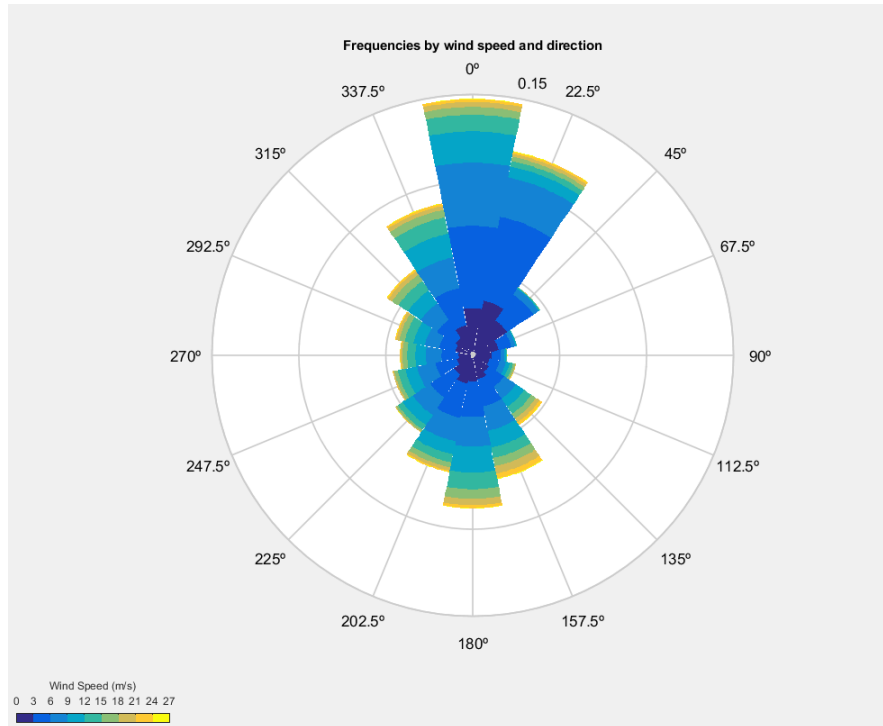
Ai fini della modellazione, il fattore esponenziale medio della legge di potenza è stato calcolato per ogni ora e per ogni direzione.

| Inizio serie dati | Fine serie dati | Elevazione (m) | Calcolo dell'altezza (m) | Esponente di taglio (%) |
|-------------------|-----------------|----------------|--------------------------|-------------------------|
| 01/01/2018        | 01/01/2023      | 681            | 155                      | 0,1                     |

**Tabella 3 – Wind Shear - Profilo verticale.**

## 4.2 Direzione del vento

La direzione del vento nel sito mostra chiaramente una direzione del vento predominante da Nord, sia in frequenza che in energia. Questo può essere mostrato nella Figura 3:



**Figura 3 – Rosa dei venti del progetto CE CATERINA I.**

## 4.3 Velocità media annuale del vento a 155 m

La velocità media annuale del vento a 155 m è stimata a **7.0644 m/s**.

#### 4.4 *Distribuzione del vento all'altezza del mozzo*

|           |                  |                 |                 |                 |                  |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |    |
|-----------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----|
|           | 348.75° - 11.25° | 11.25° - 33.75° | 33.75° - 56.25° | 56.25° - 78.75° | 78.75° - 101.25° | 101.25° - 123.75° | 123.75° - 146.25° | 146.25° - 168.75° | 168.75° - 191.25° | 191.25° - 213.75° | 213.75° - 236.25° | 236.25° - 258.75° | 258.75° - 281.25° | 281.25° - 303.75° | 303.75° - 326.25° | 326.25° - 348.75° | 0° |
| 0.50 m/s  | 0.2098           | 0.2171          | 0.2139          | 0.2102          | 0.1780           | 0.1523            | 0.1507            | 0.1786            | 0.1525            | 0.1797            | 0.1382            | 0.1031            | 0.1052            | 0.1382            | 0.1454            | 0.1828            |    |
| 1.50 m/s  | 0.4575           | 0.5358          | 0.4570          | 0.3600          | 0.2711           | 0.2355            | 0.2521            | 0.2989            | 0.2905            | 0.3310            | 0.2570            | 0.1858            | 0.1715            | 0.2245            | 0.2507            | 0.3443            |    |
| 2.50 m/s  | 0.8399           | 1.0238          | 0.7878          | 0.4815          | 0.3393           | 0.3007            | 0.3545            | 0.4283            | 0.4538            | 0.5129            | 0.4018            | 0.2821            | 0.2341            | 0.3051            | 0.3617            | 0.5445            |    |
| 3.50 m/s  | 1.1835           | 1.4254          | 0.9255          | 0.4867          | 0.3297           | 0.3031            | 0.3848            | 0.5012            | 0.5869            | 0.6324            | 0.5003            | 0.3544            | 0.2825            | 0.3433            | 0.4206            | 0.6763            |    |
| 4.50 m/s  | 1.4858           | 1.7183          | 0.9134          | 0.3549          | 0.2374           | 0.2288            | 0.3674            | 0.5379            | 0.6801            | 0.6815            | 0.5450            | 0.3994            | 0.3155            | 0.3359            | 0.4223            | 0.7306            |    |
| 5.50 m/s  | 1.6370           | 1.7400          | 0.6220          | 0.2349          | 0.1583           | 0.1885            | 0.3366            | 0.5442            | 0.7855            | 0.6839            | 0.5522            | 0.4218            | 0.3337            | 0.3191            | 0.4200            | 0.7415            |    |
| 6.50 m/s  | 1.6126           | 1.4540          | 0.3873          | 0.1602          | 0.1137           | 0.1705            | 0.3170            | 0.5231            | 0.6698            | 0.6452            | 0.5220            | 0.4228            | 0.3371            | 0.3009            | 0.4257            | 0.7166            |    |
| 7.50 m/s  | 1.4543           | 1.0827          | 0.2033          | 0.1095          | 0.0856           | 0.1516            | 0.2578            | 0.4980            | 0.6147            | 0.5882            | 0.4683            | 0.4023            | 0.3269            | 0.2876            | 0.4192            | 0.6679            |    |
| 8.50 m/s  | 1.2132           | 0.7495          | 0.1075          | 0.0741          | 0.0666           | 0.1184            | 0.2745            | 0.4781            | 0.5569            | 0.4543            | 0.3996            | 0.3605            | 0.3036            | 0.2820            | 0.3926            | 0.6001            |    |
| 9.50 m/s  | 0.9526           | 0.4747          | 0.0584          | 0.0500          | 0.0531           | 0.0903            | 0.2473            | 0.4463            | 0.5201            | 0.3533            | 0.3329            | 0.3110            | 0.2708            | 0.2699            | 0.3679            | 0.5379            |    |
| 10.50 m/s | 0.7444           | 0.2894          | 0.0296          | 0.0345          | 0.0433           | 0.0796            | 0.2156            | 0.3814            | 0.5190            | 0.2970            | 0.2817            | 0.2624            | 0.2306            | 0.2426            | 0.3229            | 0.4969            |    |
| 11.50 m/s | 0.5820           | 0.1974          | 0.0164          | 0.0244          | 0.0349           | 0.0771            | 0.1884            | 0.3280            | 0.5139            | 0.2598            | 0.2363            | 0.2237            | 0.1962            | 0.2148            | 0.2920            | 0.4635            |    |
| 12.50 m/s | 0.4757           | 0.1436          | 0.0151          | 0.0166          | 0.0258           | 0.0737            | 0.1739            | 0.2700            | 0.4667            | 0.2170            | 0.1872            | 0.2033            | 0.1799            | 0.2007            | 0.2691            | 0.4244            |    |
| 13.50 m/s | 0.3986           | 0.1203          | 0.0178          | 0.0108          | 0.0175           | 0.0692            | 0.1674            | 0.2237            | 0.3932            | 0.1765            | 0.1406            | 0.1868            | 0.1716            | 0.1918            | 0.2479            | 0.3772            |    |
| 14.50 m/s | 0.3166           | 0.1036          | 0.0141          | 0.0088          | 0.0124           | 0.0636            | 0.1518            | 0.1974            | 0.3176            | 0.1508            | 0.1061            | 0.1537            | 0.1568            | 0.1754            | 0.2196            | 0.3192            |    |
| 15.50 m/s | 0.2376           | 0.0924          | 0.0070          | 0.0042          | 0.0088           | 0.0569            | 0.1532            | 0.1845            | 0.2490            | 0.1349            | 0.0812            | 0.1123            | 0.1363            | 0.1532            | 0.1879            | 0.2551            |    |
| 16.50 m/s | 0.1812           | 0.0855          | 0.0039          | 0.0022          | 0.0074           | 0.0489            | 0.1338            | 0.1705            | 0.2052            | 0.1168            | 0.0595            | 0.0824            | 0.1139            | 0.1299            | 0.1623            | 0.1956            |    |
| 17.50 m/s | 0.1459           | 0.0814          | 0.0040          | 0.0007          | 0.0055           | 0.0401            | 0.1075            | 0.1567            | 0.1822            | 0.0978            | 0.0413            | 0.0634            | 0.0902            | 0.1065            | 0.1419            | 0.1438            |    |
| 18.50 m/s | 0.1233           | 0.0743          | 0.0034          | 0.0000          | 0.0045           | 0.0320            | 0.0899            | 0.1510            | 0.1621            | 0.0833            | 0.0289            | 0.0505            | 0.0671            | 0.0865            | 0.1221            | 0.1096            |    |
| 19.50 m/s | 0.1112           | 0.0648          | 0.0020          | 0.0000          | 0.0044           | 0.0245            | 0.0811            | 0.1521            | 0.1437            | 0.0731            | 0.0219            | 0.0426            | 0.0455            | 0.0699            | 0.1027            | 0.0916            |    |
| 20.50 m/s | 0.0957           | 0.0593          | 0.0014          | 0.0000          | 0.0036           | 0.0163            | 0.0763            | 0.1458            | 0.1237            | 0.0633            | 0.0151            | 0.0318            | 0.0323            | 0.0547            | 0.0821            | 0.0755            |    |
| 21.50 m/s | 0.0790           | 0.0580          | 0.0019          | 0.0000          | 0.0020           | 0.0074            | 0.0752            | 0.1344            | 0.1018            | 0.0536            | 0.0083            | 0.0180            | 0.0277            | 0.0410            | 0.0683            | 0.0608            |    |
| 22.50 m/s | 0.0638           | 0.0525          | 0.0017          | 0.0000          | 0.0012           | 0.0032            | 0.0692            | 0.1159            | 0.0786            | 0.0422            | 0.0052            | 0.0083            | 0.0213            | 0.0310            | 0.0449            | 0.0507            |    |
| 23.50 m/s | 0.0514           | 0.0423          | 0.0007          | 0.0000          | 0.0011           | 0.0037            | 0.0580            | 0.0915            | 0.0542            | 0.0291            | 0.0059            | 0.0032            | 0.0126            | 0.0249            | 0.0361            | 0.0453            |    |
| 24.50 m/s | 0.0418           | 0.0329          | 0.0001          | 0.0000          | 0.0009           | 0.0037            | 0.0457            | 0.0686            | 0.0358            | 0.0182            | 0.0051            | 0.0009            | 0.0075            | 0.0182            | 0.0275            | 0.0383            |    |
| 25.50 m/s | 0.0350           | 0.0248          | 0.0000          | 0.0000          | 0.0004           | 0.0023            | 0.0327            | 0.0479            | 0.0241            | 0.0102            | 0.0024            | 0.0014            | 0.0066            | 0.0105            | 0.0184            | 0.0288            |    |

**Tabella 4 – Distribuzione del vento all'altezza del mozzo.**

## 5. MODELLO DI CALCOLO DELLA RISORSA EOLICA

Nel seguito vengono descritti i principali aspetti considerati del modello utilizzato per il calcolo della risorsa eolica nel sito di progetto.

- Il modello di rianalisi che meglio si adatta all'area in esame è il ERA-5. Ai fini della elaborazione di questo studio preliminare è stata considerata una serie storica di 5 anni di dati scaricati dal database ERA-5 a 155 m.

- La velocità del vento e le distribuzioni della direzione sono state calcolate sulla base di un periodo di riferimento di 5 anni (dal 01/01/2018 al 01/01/2023).

- La turbolenza ambientale media è stata stimata in base alla rugosità del sito.

- I dati di temperatura e pressione sono stati ottenuti dai dati di analisi dal modello ERA-5 ad un'altezza di 2 e 0 m rispettivamente e sono stati estrapolati ad un'altezza di 155 m tenendo conto dell'elevazione del sito.

- La densità dell'aria è stata calcolata utilizzando i dati di rianalisi di temperatura e pressione ottenuti ed estrapolandoli ad un'altezza di 155 m.

- Sono state create griglie topografiche con risoluzione ogni 25m sulla base dell'orografia ottenuta dalla base del National Geographic Institute (curve di contorno

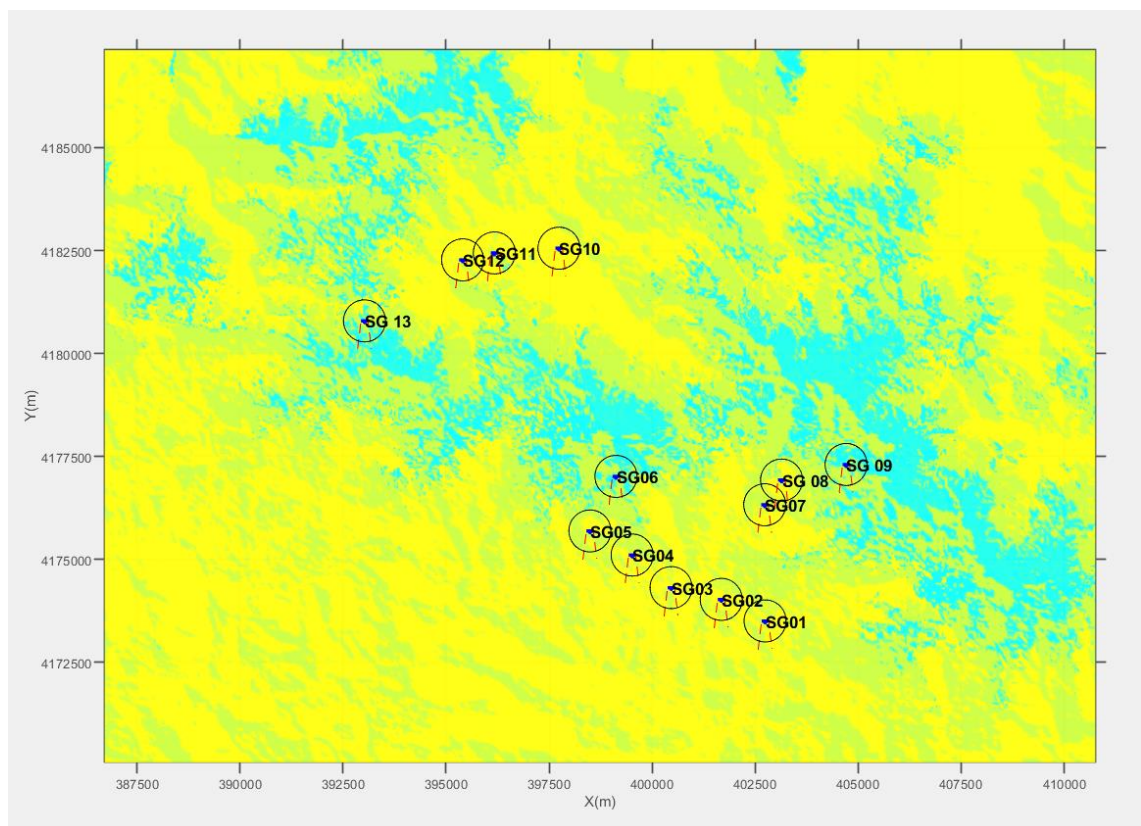
interpolate ogni 5m) e della rugosità basata sul database CLC2006 che contiene informazioni ogni 75m.

- Tutte le simulazioni sono state eseguite utilizzando il software di calcolo Furow.
- Per il calcolo dell'energia è stato utilizzato il modello Simplified Eddy Viscosity, valutando i 72 settori.

### 5.1 *Mappa di elavazione e di orografia*

Per l'elaborazione dei dati di vento è stata utilizzata una mappa altimetrica con una risoluzione verticale di 25 me una rugosità del sito e dei dintorni basata sui seguenti valori:

- Foresta: 0,5
- Aree a verde: 0,1
- Terreno coltivato: 0,1
- Superfici incolte: 0,03
- Specchi d'acqua: 0,0001
- Città: 0,5



**Figura 4 – Rugosità del sito del progetto CE CATERINA I.**

## 5.2 Calcolo energetico

Nella tabella che segue sono riportate la potenza totale delle turbine installate, l'energia annua (MWh), il fattore impianto (%) e le ore equivalenti del parco eolico CE CATERINA I.

| Tipo di Turbina                     | Numero d Turbina | MW total | Rendimento netto (MWh) | Fattore di capacità netto (%) | Ore equivalenti nette (h) |
|-------------------------------------|------------------|----------|------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Gamesa SG 6.6-170 -MOD 6,6<br>MW_v2 | 13               | 85.80    | <b>245671.0</b>        | <b>32.6637</b>                | <b>2863.30</b>            |

**Tabella 5 – Producibilità della risorsa eolica del progetto CE CATERINA I.**

## 5.3 Calcolo energetico - Perdite

Per il calcolo della produzione energetica del parco è stato utilizzato il programma Furow, che fornisce anche il valore delle perdite dovute ai percorsi utilizzando il modello Eddy Viscosity, calcolando i percorsi per un totale di 72 settori (ogni 5 °).

Il numero di ore annue considerato è 8.766, inclusi gli anni bisestili.

Per ottenere la produzione netta del parco in esame è stato necessario quantificare le perdite di processo che vengono di seguito indicate:

- Perdite dovute a scia: queste perdite sono prodotte dalla vicinanza delle linee delle turbine eoliche, provocando riduzioni della velocità del vento che interessano le turbine eoliche a valle. Per il parco CE sono state considerate perdite per scia intorno al 1,36%;

- Perdite per indisponibilità dell'aerogeneratore: sono le perdite stimate per fermo impianto durante le operazioni di manutenzione preventiva e correttiva dell'aerogeneratore. A causa della natura stagionale del vento nel sito, la manutenzione del parco ha una gestione complessa, quindi questa indisponibilità può essere ridotta sfruttando le stagioni di vento debole. Solitamente questo tipo di perdita viene considerata intorno al 3,00%; nel caso del parco in progetto è stato assunto lo stesso valore considerando che gli stessi produttori delle macchine garantiscono solitamente una disponibilità tecnica del 97%;

- Perdite per indisponibilità del sistema collettore: si riferiscono a quelle dovute a guasti e indisponibilità dell'impianto elettrico interno del parco. Tali perdite sono state stimate intorno al 0,25%;

- Perdite per indisponibilità della cabina: si riferiscono alle perdite per indisponibilità dovuta a manutenzione e riparazioni per guasti della cabina di entrata. Tali perdite sono state stimate intorno al 0,25%.

- Perdite per indisponibilità della rete: si riferiscono alle perdite dovute alla indisponibilità della rete di evacuazione del parco. Tali perdite sono state stimate intorno al 0,25%;

- Perdite elettriche: rappresentano le perdite elettriche totali del parco. Tali perdite sono state considerate pari al 3,2635%;

- Perdite dovute all'adeguamento della curva di potenza: valore assunto 1%;

- Perdite per isteresi per vento forte: le perdite per isteresi sono dovute al tempo in cui la turbina eolica rimane ferma a velocità all'interno dell'intervallo operativo dopo eventi di arresto per vento forte. Tali perdite sono state stimate in un valore dello 0,2%;

- Perdite dovute al wind shear: valore assunto 0,1%;

- Perdite associate al disorientamento dell'aerogeneratore: si tratta di perdite causate dall'incapacità dell'aerogeneratore di orientarsi abbastanza rapidamente nella direzione incidente del vento, modificando così l'angolo di incidenza e riducendo leggermente la velocità effettiva del vento. Tali perdite sono state considerate pari allo 0,1%.

Nella tabella che segue sono sintetizzati i valori delle principali perdite sopramenzionate per il parco eolico CE CATERINA I.

| PERDITE PER INDISPONIBILITÀ           |               |
|---------------------------------------|---------------|
| Aerogeneratore (%)                    | 3             |
| Sistema collettamento (%)             | 0,25          |
| Sottostazione (%)                     | 0,25          |
| Rete (%)                              | 0,25          |
| <b>TOTALE (%)</b>                     | <b>3,7257</b> |
| PERDITE ELETTRICHE                    |               |
| Trasformatore turbina (%)             | 1             |
| Sistema collettamento (%)             | 0,25          |
| Sottostazione (%)                     | 0,5           |
| Linea di trasmissione (%)             | 1,5           |
| Potenza consumata al minimo (%)       | 0,05          |
| <b>TOTALE (%)</b>                     | <b>3,2635</b> |
| PERDITE PER RENDIMENTO AEROGENERATORE |               |
| Adattamento alla curva di potenza (%) | 1             |
| Isteresi da venti forti (%)           | 0,2           |
| Taglio del vento (%)                  | 0,1           |
| <b>TOTALE (%)</b>                     | <b>1,4941</b> |
| PERDITE PER DEGRADAZIONE              |               |
| Degradazione delle pale (%)           | 1             |

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| Congelamento della lama (%) | 0,1    |
| TOTALE (%)                  | 1,2967 |

**Tabella 6 – Riepilogo delle perdite di processo del progetto CE CATERINA I.**

Nella tabella 7, di seguito riportata, è stata riportata una sintesi dei risultati annuali di produzione CE CATERINA I stimati da Furow per un periodo di tempo annuale.

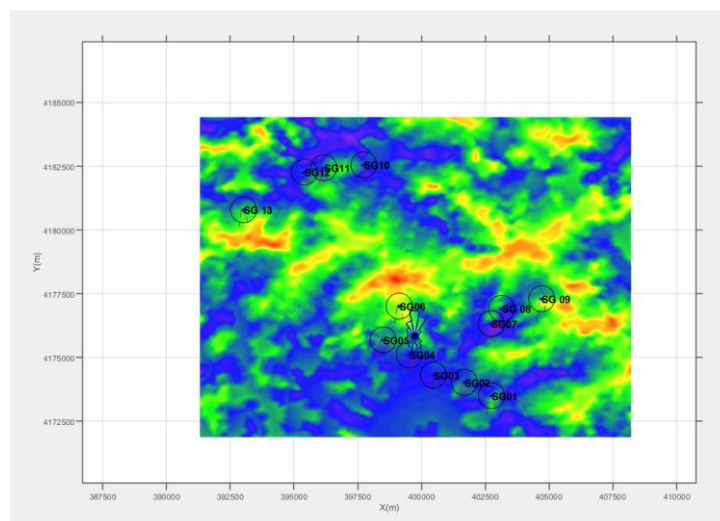
**L'energia annua generata dalle 13 turbine eoliche Gamesa SG 6.6-170 - MOD 6,6 MW\_v2 sarà di 245671.0 MWh/anno.**

|                                                |          |
|------------------------------------------------|----------|
| Capacità del parco (MW)                        | 85.80    |
| Numero di turbine                              | 13       |
| Produzione lorda [MWh/anno]                    | 274279.7 |
| Perdite per scia (%)                           | 1,36     |
| Perdite elettriche (%)                         | 3,2635   |
| Perdite per rendimento dell'aerogeneratore (%) | 1,4941   |
| Perdite per indisponibilità (%)                | 3,72     |
| Perdite per degradazione (%)                   | 1,2967   |
| Produzione netta [MWh/anno]                    | 245671.0 |
| Fattore di impianto netto(%)                   | 32.6637  |
| Ore equivalenti [h/anno]                       | 2863.30  |

**Tabella 7 – Stima della produzione energetica del parco CE CATERINA I con 13 turbine Gamesa SG 6.6-170 -MOD 6,6 MW\_v2 a 155 m.**

#### **5.4 *Risultato del calcolo dell'energia***

La Figura 5 e la Tabella 8 mostrano le coordinate e le posizioni delle turbine eoliche CE CATERINA I.



**Figura 5 – Posizione delle turbine del progetto CE CATERINA I.**

| Nº Turbine                        | SG01                             | SG02                             | SG03                             | SG04                             | SG05                             | SG06                             | SG07                             |
|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Tipo di turbina                   | Gamesa SG 6.6-170 -MOD 6,6 MW_v2 | Gamesa SG 6.6-170 -MOD 6,6 MW_v2 | Gamesa SG 6.6-170 -MOD 6,6 MW_v2 | Gamesa SG 6.6-170 -MOD 6,6 MW_v2 | Gamesa SG 6.6-170 -MOD 6,6 MW_v2 | Gamesa SG 6.6-170 -MOD 6,6 MW_v2 | Gamesa SG 6.6-170 -MOD 6,6 MW_v2 |
| Altezza della turbina (m)         | 155                              | 155                              | 155                              | 155                              | 155                              | 155                              |                                  |
| Diametro della turbina (m)        | 170                              | 170                              | 170                              | 170                              | 170                              | 170                              | 170                              |
| Potenza (kW)                      | 6600                             | 6600                             | 6600                             | 6600                             | 6600                             | 6600                             | 6600                             |
| X (m)                             | 402741.7                         | 401676.2                         | 400459.4                         | 399514.4                         | 398489.9                         | 399122.3                         | 402732.5                         |
| Y(m)                              | 4173509.1                        | 4174031.3                        | 4174317.7                        | 4175108.3                        | 4175693.9                        | 4177018.6                        | 4176328.8                        |
| Elevazione del terreno (m)        | 540.8                            | 500.0                            | 467.0                            | 549.3                            | 646.8                            | 868.6                            | 585.6                            |
| Turbina più vicina                | SG02                             | SG01                             | SG04                             | SG05                             | SG04                             | SG05                             | SG 08                            |
| Distanza dalla turbina più vicina | 1186.5                           | 1186.5                           | 1232.1                           | 1180.0                           | 1180.0                           | 1467.9                           | 726.4                            |
| Temperatura (°C)                  | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                |
| Pressione (hPa)                   | 1013                             | 1013                             | 1013                             | 1013                             | 1013                             | 1013                             | 1013                             |
| Umidità relativa (%)              | NaN                              | NaN                              | NaN                              | NaN                              | NaN                              | NaN                              | NaN                              |
| Densità dell'aria (kg/m³)         | 1.135                            | 1.139                            | 1.143                            | 1.134                            | 1.123                            | 1.097                            | 1.129                            |
| Velocità media (m/s)              | 6.9956                           | 6.9006                           | 6.6234                           | 6.6750                           | 7.1922                           | 8.0507                           | 6.6325                           |
| Velocità media influenzata (m/s)  | 6.9482                           | 6.8550                           | 6.5845                           | 6.6174                           | 7.1435                           | 8.0064                           | 6.5438                           |
| Ambiente TI (%)                   | 18.371                           | 18.403                           | 18.316                           | 17.914                           | 17.709                           | 17.315                           | 17.745                           |

|                                    |                                  |                                  |                                  |                                  |                                  |                                  |         |
|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------|
|                                    |                                  |                                  |                                  |                                  |                                  |                                  |         |
| Totale TI (%)                      | 18.559                           | 18.619                           | 18.504                           | 18.188                           | 17.968                           | 17.501                           | 18.430  |
| Rendimento ideale (MWh)            | 23933.8                          | 23933.8                          | 23933.8                          | 23933.8                          | 23933.8                          | 23933.8                          | 23933.8 |
| Efficienza Topografica(%)          | 87.3034                          | 85.9698                          | 81.6647                          | 81.9949                          | 90.2593                          | 102.1511                         | 81.3446 |
| Efficienza lorda (MWh)             | 20895.0                          | 20575.8                          | 19545.4                          | 19624.5                          | 21602.5                          | 24448.6                          | 19468.8 |
| Fattore di capacità (CF) lordo (%) | 36.1157                          | 35.5641                          | 33.7831                          | 33.9197                          | 37.3386                          | 42.2580                          | 33.6507 |
| Ore di lavoro lorde (h)            | 3165.91                          | 3117.55                          | 2961.43                          | 2973.40                          | 3273.10                          | 3704.33                          | 2949.82 |
| Efficienza del parco (%)           | 98.6823                          | 98.7613                          | 98.8945                          | 98.3305                          | 98.7704                          | 99.0708                          | 97.6578 |
| Rendimento del parco (MWh)         | 20619.7                          | 20320.9                          | 19329.4                          | 19296.8                          | 21336.8                          | 24221.4                          | 19012.8 |
| Efficienza netta (MWh)             | 18671.4                          | 18400.9                          | 17503.0                          | 17473.5                          | 19320.8                          | 21932.8                          | 17216.4 |
| Fattore di capacità (CF) netto (%) | 32.2723                          | 31.8048                          | 30.2529                          | 30.2019                          | 33.3948                          | 37.9095                          | 29.7575 |
| Ore di lavoro nette (h)            | 2828.99                          | 2788.01                          | 2651.97                          | 2647.50                          | 2927.39                          | 3323.15                          | 2608.54 |
|                                    | SG08                             | SG09                             | SG10                             | SG11                             | SG12                             | SG13                             |         |
| Tipo di turbina                    | Gamesa SG 6.6-170 -MOD 6,6 MW_v2 | Gamesa SG 6.6-170 -MOD 6,6 MW_v2 | Gamesa SG 6.6-170 -MOD 6,6 MW_v2 | Gamesa SG 6.6-170 -MOD 6,6 MW_v2 | Gamesa SG 6.6-170 -MOD 6,6 MW_v2 | Gamesa SG 6.6-170 -MOD 6,6 MW_v2 |         |
| Altezza della turbina (m)          | 155                              | 155                              | 155                              | 155                              | 155                              | 155                              |         |
| Diametro della turbina (m)         | 170                              | 170                              | 170                              | 170                              | 170                              | 170                              |         |
| Potenza (kW)                       | 6600                             | 6600                             | 6600                             | 6600                             | 6600                             | 6600                             |         |
| X (m)                              | 403141.0                         | 404707.2                         | 397738.1                         | 396170.2                         | 395401.6                         | 393019.3                         |         |
| Y(m)                               | 4176929.5                        | 4177306.1                        | 4182558.2                        | 4182443.6                        | 4182274.8                        | 4180793.5                        |         |
| Elevazione del terreno (m)         | 658.9                            | 843.9                            | 564.0                            | 635.5                            | 600.0                            | 802.4                            |         |
| Turbina più vicina                 | SG07                             | SG08                             | SG11                             | SG12                             | SG11                             | SG12                             |         |
| Distanza dalla turbina più vicina  | 726.4                            | 1610.8                           | 1572.1                           | 787.0                            | 787.0                            | 2805.2                           |         |
| Temperatura (°C)                   | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                |         |
| Pressione (hPa)                    | 1013                             | 1013                             | 1013                             | 1013                             | 1013                             | 1013                             |         |
| Umidità relativa (%)               | NaN                              | NaN                              | NaN                              | NaN                              | NaN                              | NaN                              |         |
| Densità dell'aria (kg/m³)          | 1.121                            | 1.100                            | 1.132                            | 1.124                            | 1.128                            | 1.105                            |         |
| Velocità media (m/s)               | 6.9847                           | 7.7902                           | 6.8246                           | 6.9911                           | 6.7392                           | 7.4374                           |         |

|                                    |         |         |         |         |         |         |  |
|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| Velocità media influenzata (m/s)   | 6.9209  | 7.7672  | 6.8069  | 6.9503  | 6.7209  | 7.4340  |  |
| Ambiente TI (%)                    | 17.454  | 16.711  | 18.286  | 17.975  | 17.888  | 17.360  |  |
| Totale TI (%)                      | 17.924  | 16.810  | 18.359  | 18.236  | 18.002  | 17.374  |  |
| Rendimento ideale (MWh)            | 23933.8 | 23933.8 | 23933.8 | 23933.8 | 23933.8 | 23933.8 |  |
| Efficienza topografica (%)         | 87.1892 | 99.3127 | 84.3855 | 87.2928 | 83.3076 | 93.8190 |  |
| Efficienza lorda (MWh)             | 20867.7 | 23769.3 | 20196.6 | 20892.5 | 19938.6 | 22454.4 |  |
| Fattore di capacità (CF) lordo (%) | 36.0685 | 41.0838 | 34.9087 | 36.1114 | 34.4628 | 38.8111 |  |
| Ore di lavoro lorde (h)            | 3161.77 | 3601.41 | 3060.10 | 3165.52 | 3021.01 | 3402.18 |  |
| Efficienza del parco (%)           | 98.2314 | 99.4617 | 99.4932 | 98.8527 | 99.5285 | 99.9201 |  |
| Rendimento del parco (MWh)         | 20498.6 | 23641.3 | 20094.3 | 20652.7 | 19844.6 | 22436.5 |  |
| Efficienza netta (MWh)             | 18561.7 | 21407.5 | 18195.6 | 18701.3 | 17969.6 | 20316.5 |  |
| Fattore di capacità (CF) netto (%) | 32.0829 | 37.0016 | 31.4501 | 32.3241 | 31.0593 | 35.1159 |  |
| Ore di lavoro nette (h)            | 2812.39 | 3243.56 | 2756.91 | 2833.53 | 2722.66 | 3078.26 |  |

**Tabella 8 – Risultati del calcolo dell'energia del parco CE CATERINA I.**

## 6. CONCLUSIONI

La relazione descrive l'analisi anemologica ottenuta attraverso l'utilizzo del software Furow, analizzando serie storiche e dati di bibliografia di riferimento e rappresentative dell'area oggetto di studio in cui è stato possibile calcolare la statistica media del vento a lungo termine.

Eseguendo l'estrapolazione verticale è stato calcolato che il vento a 155 mt ha una velocità media di 7.0644 m/s. Sempre utilizzando il software Furow è stata estrapolata la statistica del vento nella posizione di ogni aerogeneratore e, a partire da quest'ultima, è stata calcolata la produzione totale del parco eolico.

**La produzione annuale al netto delle perdite è di 245671.0[MWh/anno] e 2863.30 ore equivalenti.**

Si ritiene che i risultati ottenuti dallo studio condotto mediante l'utilizzo di dati storici e di bibliografia analizzati per il tramite del software Furow e, come descritti nei

paragrafi precedenti, siano ben rappresentativi delle condizioni reali dell'area oggetto di intervento e della tipologia degli aerogeneratori che si intendono installare.

È possibile altresì asserire che, il risultato ottenuto dallo studio oggetto della relazione è paragonabile ai risultati di altri studi effettuati nell'area in oggetto, a parità delle condizioni progettuali condotte con dati e serie storiche derivanti da torri enemometriche installate in sito.

In conclusione, lo studio condotto risulta ben rappresentativo del sito e della tipologia di intervento, e questo permette di affermare che il progetto rispetta i requisiti tecnici minimi in termini di velocità media annua del vento, ore equivalenti e densità volumetrica, rendendo congrua la realizzazione del parco eolico sia dal punto di vista tecnico che economico.