

23_24_EO_ENE_CRC_AU_ARE_5_00	SETTEMBRE 2023	RELAZIONE SPECIALISTICA - STUDIO ANEMOLOGICO	Dott.Orlando Rossetti	Arch. Paola Pastore	Ing. Leonardo Filotico
N. ELABORATO	DATA EMISSIONE	DESCRIZIONE	ESEGUITO	CONTROLLATO	APPROVATO

OGGETTO:

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

COMMITTENTE:

KHAKY ENERGY S.r.l.
Z.I. Lotto n.31
74020 San Marzano di S.G. (TA)

TITOLO:

A.PROGETTO DEFINITIVO DELL'IMPIANTO DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI

A.5

Relazione specialistica - studio anemologico

PROJETTO engineering s.r.l.

società d'ingegneria

direttore tecnico

Ph.D. Ing. LEONARDO FILOTICO

Sede Legale: Via dei Mille, 5 74024 Manduria
 Sede Operativa: Z.I. Lotto 31 74020 San Marzano di S.G. (TA)
 tel. 099 9574694 Fax 099 2222834 cell. 349.1735914
 studio@projetto.eu
 web site: www.projetto.eu



P.IVA: 02658050733



NOME FILE
 23_24_EO_ENE_CRC_AU_ARE_5_00

SOSTITUISCE:

SOSTITUITO DA:

**CARTA:
 A4**

**SCALA:
 /**

**ELAB.
 ARE_05**

INDICE

1	INTRODUZIONE	2
2	OBIETTIVI DELLO STUDIO	3
3	UBICAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO.....	4
4	DESCRIZIONE DELLO STUDIO.....	6
4.1	CAMPAGNA DI MISURA ANEMOMETRICA.....	6
4.2	METODOLOGIA DI ANALISI.....	6
4.3	MODELLO DIGITALE DEL TERRENO	12
4.4	LAYOUT DI PROGETTO E CARATTERISTICHE DELL'AEROGENERATORE	16
5	CALCOLO DELLA PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO.....	20
5.1	MODELLO DI SCIA E CALCOLO DELL'ENERGIA PRODOTTA	21
6	CONSIDERAZIONI FINALI	23
6.1	DATI VENTO	23
6.2	LAYOUT DEL SITO	23
6.3	ANEMOLOGIA:.....	23
6.4	MORFOLOGIA E GEOLOGIA	23
6.5	INDAGINE FLORO – VEGETAZIONALE	23
6.6	PRODUZIONE PARCO EOLICO	23

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

1 INTRODUZIONE

Il presente documento rappresenta il report dell'attività di analisi e di elaborazione dei dati vento del progetto e della valutazione della producibilità attesa.

Il Parco Eolico con storage denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT)

Il progetto prevede l'installazione di 8 aerogeneratori di tipo SIEMENS GAMESA "SG170 6.0MW"

Denominazione	X (m)	Y (m)	Modello	Altezza Mozzo (m)
WTG01	612818	4466445	SG6.0-170 115m HH	115
WTG02	613052	4471777	SG6.0-170 115m HH	115
WTG03	614288	4471268	SG6.0-170 115m HH	115
WTG04	612009	4467852	SG6.0-170 115m HH	115
WTG05	612048	4469460	SG6.0-170 115m HH	115
WTG06	611942	4466900	SG6.0-170 115m HH	115
WTG07	614016	4469145	SG6.0-170 115m HH	115
WTG08	613595	4472578	SG6.0-170 115m HH	115

Tabella 1 - Definizione planimetrica degli aerogeneratori di progetto secondo il sistema di riferimento WGS84 UTM 33N

La potenza complessiva dell'impianto è di 48,0 MW.

Il lavoro è principalmente basato sulle seguenti informazioni e dati:

- Dati vento regionali presenti all'interno del database del software utilizzato WindPRO 3.6;
- Mappe vettoriali digitali del terreno;
- Caratteristiche e tipologia degli aerogeneratori di progetto.

Sono stati effettuati in sito diversi sopralluoghi al fine di valutare:

- Dimensione del parco eolico ed eventuali vincoli presenti;
- Effettuare una valutazione dell'area, sia dal punto di vista dell'orografia, che della rugosità del terreno;
- Verificare la viabilità;
- Valutare la posizione degli aerogeneratori in rapporto all'orografia del terreno, all'esposizione del vento, agli spazi disponibili ed ai ricettori, al fine di minimizzare gli impatti.

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

2 OBIETTIVI DELLO STUDIO

Le attività principali del lavoro eseguito e descritto in questo documento è la stima di produzione dell'Impianto eolico con storage in progetto denominato "Serra della Croce", ubicato nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

Le stazioni selezionate per la determinazione dei dati statistici del vento sono state determinate in riferimento alla distanza dall'area in progetto, all'interno della quale verranno installati n. 8 aerogeneratori, al fine di ottenere un risultato più accurato possibile.

In particolare, gli obiettivi del presente studio sono:

- Verifica dei dati statistici del vento;
- Modellazione digitale del terreno;
- Definizione della mappa di rugosità;
- Stima di produzione dell'impianto eolico in progetto.



Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

3 UBICAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO

Il progetto prevede la realizzazione di 8 aerogeneratori ciascuno avente un rotore di 170 m collegati a generatori elettrici della potenza nominale cadauno di 6,00 MW con altezza mozzo di 115 m misurata dal piano campagna all'asse del rotore.

Gli aerogeneratori in progetto sono così suddivisi e ubicati nel territorio:

- n.8 aerogeneratori nel Comune di Stigliano;

Inquadramento generale su base IGM - Scala 1:100.000

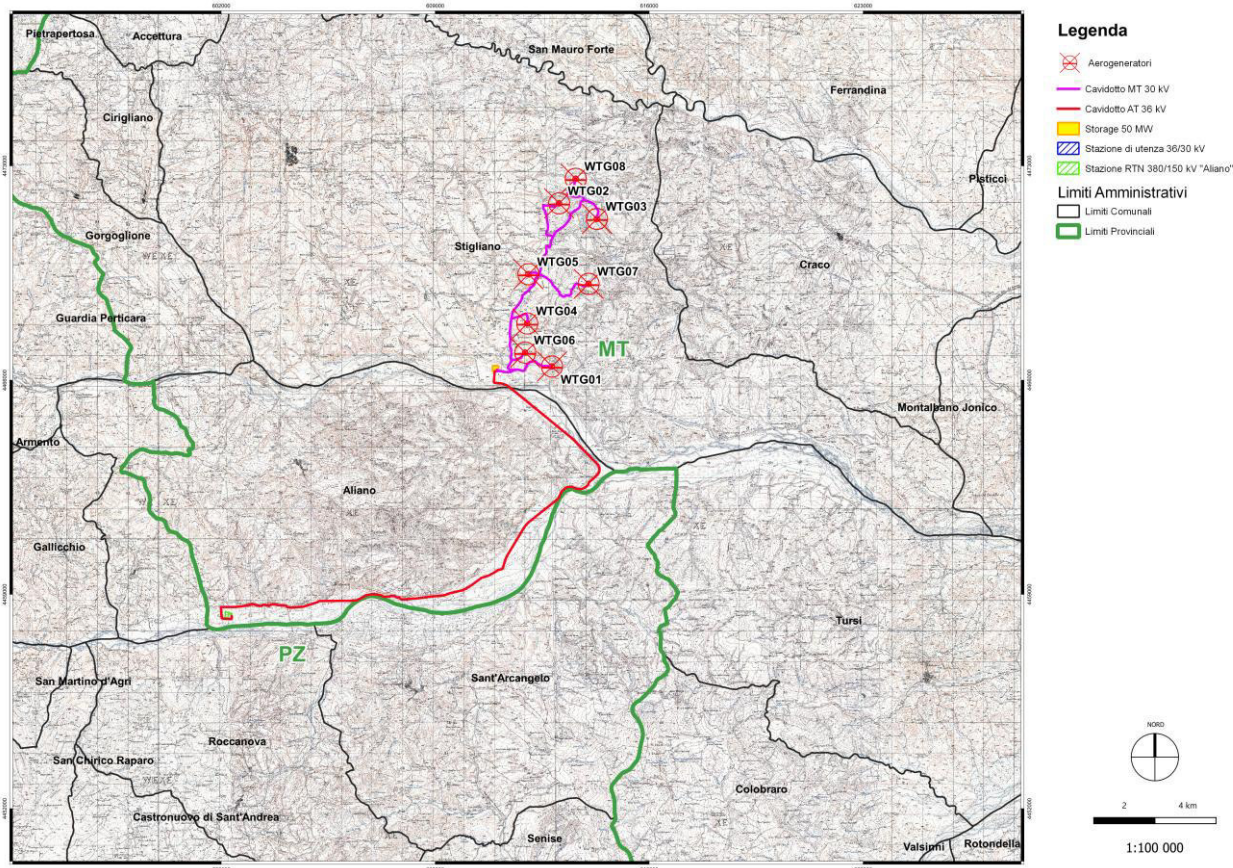


Figura 1 | Inquadramento su base IGM

PROJETTO engineering s.r.l.
società d'ingegneria

Direttore Tecnico: ING. LEONARDO FILOTICO
Cap. Soc. 119.000,00 € Codice Fiscale: 02658050733
Partita Iva : 02658050733
Sede Legale: Via dei Mille 5, 74024 Manduria - Taranto
Sede Operativa: Z.I. Lotto 31, 74020 San Marzano di San Giuseppe - Taranto
Tel 099 9574694 fax 099 2222834 mob. 3491735914

RELAZIONE SPECIALISTICA
STUDIO ANEMOLOGICO



Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

Inquadramento generale su base ortofoto - Scala 1:100.000

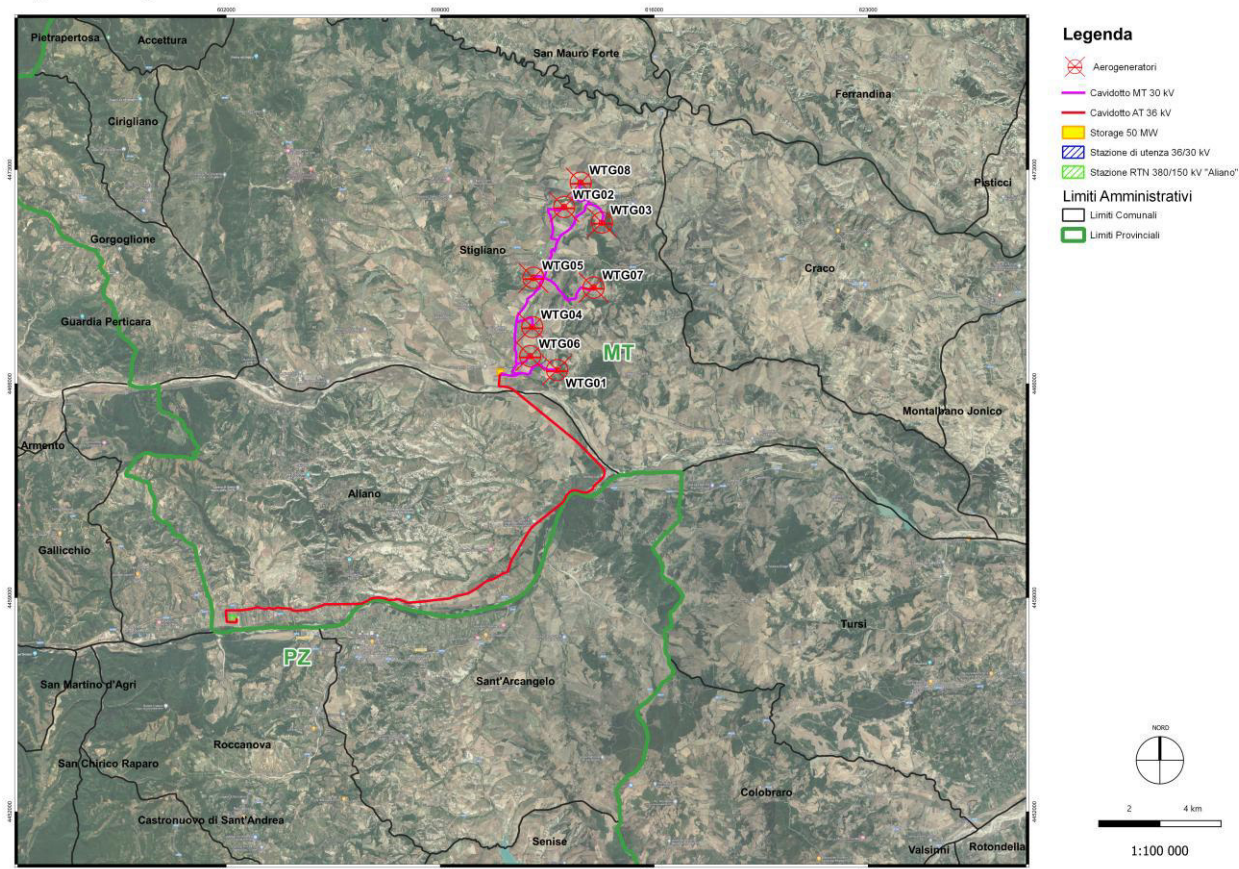


Figura 2 | Inquadramento su base Ortofoto

Il sito ha un'ottima esposizione al vento lungo tutte le direzioni, in quanto non sono rilevati ostacoli in alcuna direzione.

Come si deduce dall'inquadramento su base Ortofoto, l'area del sito è destinata ad attività agricola. L'attuale utilizzo del terreno non sarà pregiudicato in alcuna maniera dall'installazione dell'impianto, poiché la superficie effettivamente occupata dagli aerogeneratori e delle opere accessorie è di poche centinaia di metri quadri.

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

4 DESCRIZIONE DELLO STUDIO

Nel seguito del presente documento saranno sviluppati in dettaglio la metodologia di studio. I dati di input e ciascuno dei punti menzionati nel Capitolo 2.

4.1 CAMPAGNA DI MISURA ANEMOMETRICA

L'analisi di producibilità riportata nel presente elaborato, verrà effettuata mediante l'utilizzo di dati sintetici interpolati tra siti presenti all'interno del database del software utilizzato WindPro 3.6.

4.2 METODOLOGIA DI ANALISI

L'analisi della producibilità è stata condotta elaborando i dati rilevati in prossimità del sito con l'ausilio delle tecniche di analisi e di calcolo più innovative attualmente presenti sul mercato nel settore dell'energia eolica; in particolare sono stati utilizzati i seguenti software:

- **ESRI Arcgis for Desktop (ArcMAP):** generazione del modello digitale del terreno per la determinazione della rugosità del terreno e l'elevazione degli aerogeneratori;
- **EMD WindPro 3.6:** analisi e elaborazione delle condizioni di vento, e stima di producibilità degli aerogeneratori.

La procedura di analisi è stata condotta secondo le seguenti fasi successive:

- Preparazione del layout di progetto, posizionamento degli aerogeneratori e definizione delle sue caratteristiche tecniche;
- Analisi preliminare dei dati vento, filtraggio dei dati, preparazione dei dati di input per i software di calcolo della ventosità;
- Preparazione del modello digitale del terreno, da dare in input, nel formato e nelle dimensioni opportune, al software di calcolo della ventosità;
- Definizione della rugosità del terreno a mezzo software;
- Calcolo della produttività dell'Impianto considerando anche eventuali perdite di scia, con l'uso di WindPro 3.6.

I dati vento utilizzati e analizzati per lo studio e la definizione della producibilità dell'impianto in oggetto sono presenti all'interno del database del software WindPro 3.6. Nella fattispecie, sono stati utilizzati i dati meteorologici WRF della stazione meteo EMD-WRF Europe + (ERA5)

WRF (Weather Research and Forecasting) è un sistema di previsione meteorologica numerica su mesoscala all'avanguardia progettato sia per la ricerca atmosferica che per le applicazioni di previsione operativa. Presenta due core dinamici, un sistema di assimilazione dei dati e un'architettura software che

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

supporta il calcolo parallelo e l'estensibilità del sistema. Il modello serve una vasta gamma di applicazioni meteorologiche su scale da decine di metri a migliaia di chilometri.

Stazione meteorologica	WGS84 UTM33N x (m)	WGS84 UTM33N y (m)
WRF Europe +(ERA5)	611.495	4.469.212

Di seguito si riportano le distanze da ogni singola turbina rispetto alla stazione meteo individuata.

WTG	WGS84 UTM33N x (m)	WGS84 UTM33N y (m)	Distanza da stazione meteo (m)
WTG01	612818	4466445	1233
WTG02	613052	4471777	5727
WTG03	614288	4471268	5699
WTG04	612009	4467852	1653
WTG05	612048	4469460	3281
WTG06	611942	4466900	1814
WTG07	614016	4469145	3752
WTG08	613595	4472578	6665

Tabella 1 Distanze da WTG a stazione meteorologica

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

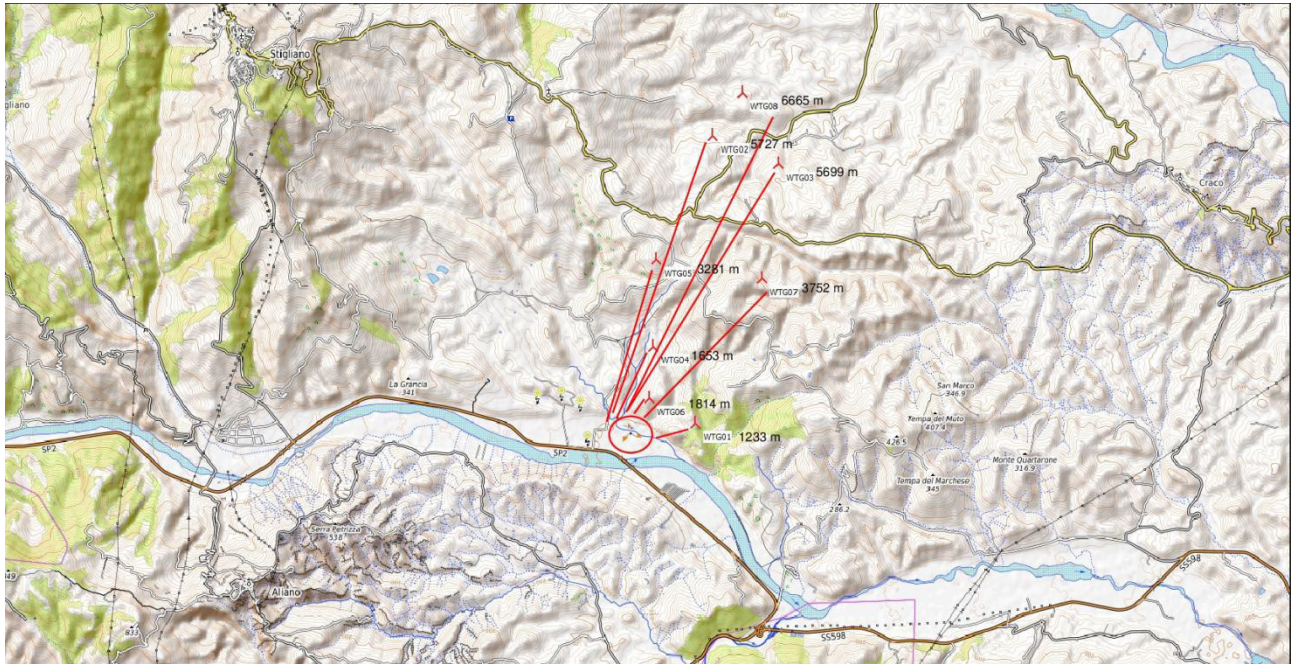


Figura 3 Stazione meteorologica e WTG

PROJETTO engineering s.r.l.
società d'ingegneria

Direttore Tecnico: ING. LEONARDO FILOTICO
Cap. Soc. 119.000,00 € Codice Fiscale: 02658050733
Partita Iva : 02658050733
Sede Legale: Via dei Mille 5, 74024 Manduria - Taranto
Sede Operativa: Z.I. Lotto 31, 74020 San Marzano di San Giuseppe - Taranto
Tel 099 9574694 fax 099 2222834 mob. 3491735914

RELAZIONE SPECIALISTICA
STUDIO ANEMOLOGICO



SR EN ISO 9001:2015
Certificate No. 0204



SR EN ISO 14001:2015
Certificate No. E145



SR EN ISO 45001:2018
Certificate No. 0m597

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

PARK - Wind Data Analysis

Wind data: I - EMD-WRF Europe+ (ERA5) [SAMPLE]_N40.366035_E016.313202 (3); Hub height: 100.0

Site coordinates

Geo WGS84
East: 16.313202° E North: 40.366035° N

Meteo data

EMD-WRF Europe+ (ERA5) [SAMPLE]_N40.366035_E016.313202 (3)

Weibull Data

Sector	A- parameter	Wind speed	k- parameter	Frequency	Wind gradient exponent
0 N	8.14	7.22	1.897	19.9	0.073
1 NNE	4.27	3.84	1.552	6.9	0.027
2 ENE	2.89	2.64	1.373	4.7	0.038
3 E	3.35	3.00	1.609	3.8	0.072
4 ESE	5.35	4.74	2.080	7.2	0.042
5 SSE	3.04	2.80	1.326	2.8	0.108
6 S	2.95	2.72	1.312	3.8	0.220
7 SSW	3.57	3.34	1.231	8.4	0.167
8 WSW	6.09	5.49	1.514	14.3	0.157
9 W	7.68	6.82	1.893	7.3	0.180
10 WNW	2.95	2.84	1.109	3.2	0.167
11 NNW	10.30	9.15	2.634	17.7	0.188
All	6.34	5.74	1.465	100.0	

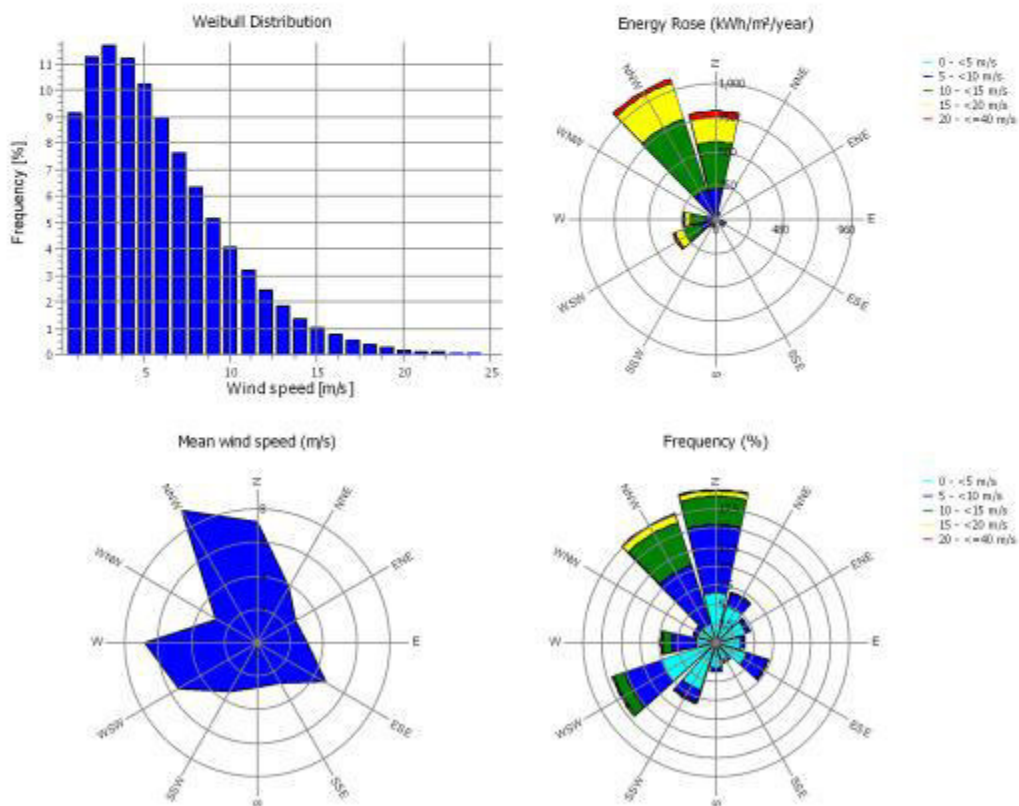


Figura 4 | Dati vento con hub height 100 m

PROJETTO engineering s.r.l.
società d'ingegneria

Direttore Tecnico: ING. LEONARDO FILOTICO
Cap. Soc. 119.000,00 € Codice Fiscale: 02658050733
Partita Iva : 02658050733
Sede Legale: Via dei Mille 5, 74024 Manduria - Taranto
Sede Operativa: Z.I. Lotto 31, 74020 San Marzano di San Giuseppe - Taranto
Tel 099 9574694 fax 099 2222834 mob. 3491735914

RELAZIONE SPECIALISTICA
STUDIO ANEMOLOGICO



SR EN ISO 9001:2015
Certificate No. 0204



SR EN ISO 14001:2015
Certificate No. E145



SR EN ISO 45001:2018
Certificate No. 0MS97

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

PARK - Wind Data Analysis

Wind data: I - EMD-WRF Europe+ (ERA5) [SAMPLE]_N40.366035_E016.313202 (3); Hub height: 115.0

Site coordinates

Geo WGS84
East: 16.313202° E North: 40.366035° N

Meteo data

EMD-WRF Europe+ (ERA5) [SAMPLE]_N40.366035_E016.313202 (3)

Weibull Data

Sector	A- parameter	Wind speed	k- parameter	Frequency	Wind gradient exponent
0 N	8.22	7.30	1.897	19.9	0.073
1 NNE	4.28	3.85	1.552	6.9	0.027
2 ENE	2.91	2.66	1.373	4.7	0.038
3 E	3.38	3.03	1.609	3.8	0.072
4 ESE	5.38	4.76	2.080	7.2	0.042
5 SSE	3.09	2.84	1.326	2.8	0.106
6 S	3.04	2.80	1.312	3.8	0.220
7 SSW	3.66	3.42	1.231	8.4	0.167
8 WSW	6.22	5.61	1.514	14.3	0.157
9 W	7.88	6.99	1.893	7.3	0.180
10 WNW	3.02	2.91	1.109	3.2	0.167
11 NNW	10.57	9.39	2.634	17.7	0.188
All	6.45	5.85	1.461	100.0	

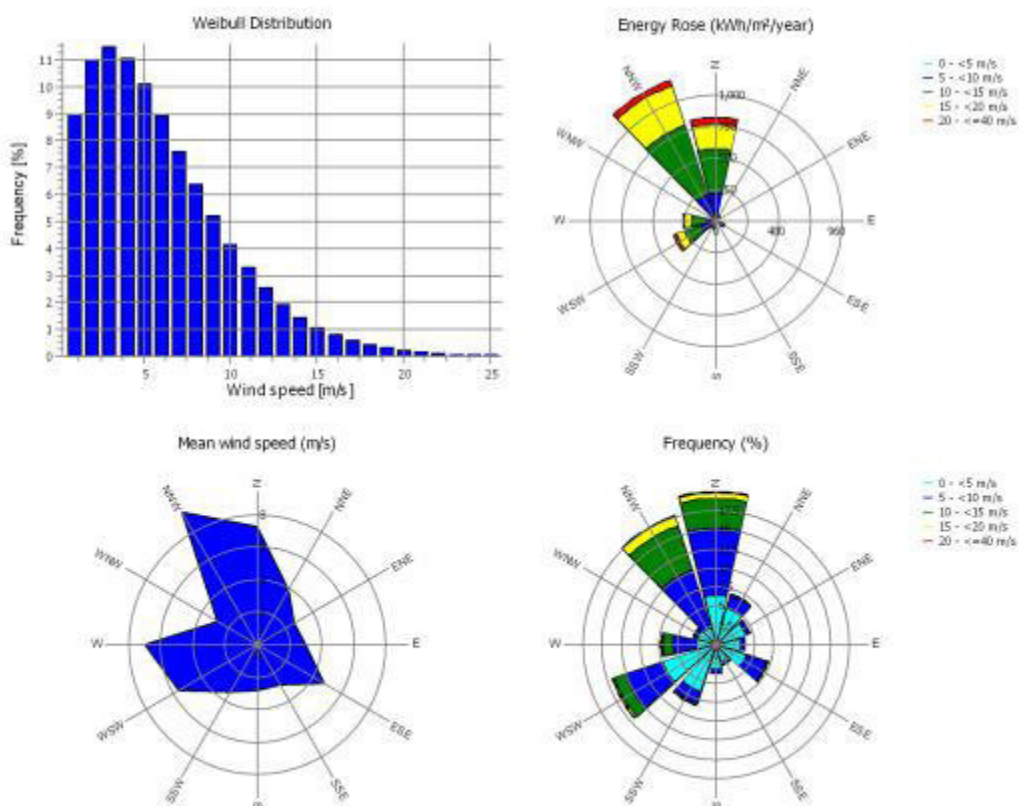


Figura 5 Dati vento con hub height 115 m

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

PARK - Wind Data Analysis

Wind data: I - EMD-WRF Europe+ (ERAS) [SAMPLE]_N40.366035_E016.313202 (3); Hub height: 50.0

Site coordinates

Geo WGS84

East: 16.313202° E North: 40.366035° N

Meteo data

EMD-WRF Europe+ (ERAS) [SAMPLE]_N40.366035_E016.313202 (3)

Weibull Data

Sector	A- parameter	Wind speed	k- parameter	Frequency	Wind gradient exponent
0 N	7.74	[m/s]	6.86	1.897	19.9
1 NNE	4.19	[m/s]	3.77	1.552	6.9
2 ENE	2.82	[m/s]	2.58	1.373	4.7
3 E	3.19	[m/s]	2.86	1.609	3.8
4 ESE	5.19	[m/s]	4.60	2.080	7.2
5 SSE	2.82	[m/s]	2.60	1.326	2.8
6 S	2.53	[m/s]	2.33	1.312	3.8
7 SSW	3.18	[m/s]	2.97	1.231	8.4
8 WSW	5.46	[m/s]	4.92	1.514	14.3
9 W	6.78	[m/s]	6.02	1.893	7.3
10 WNW	2.63	[m/s]	2.53	1.109	3.2
11 NNW	9.04	[m/s]	8.03	2.634	17.7
All	5.80	[m/s]	5.25	1.482	100.0

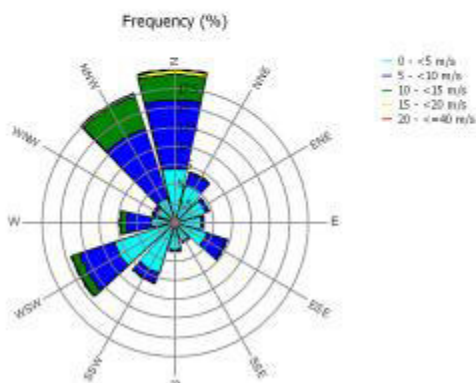
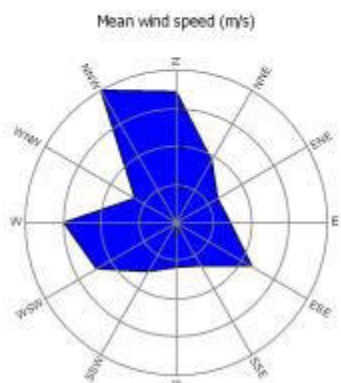
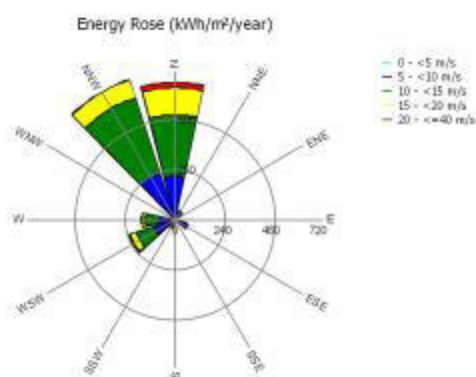
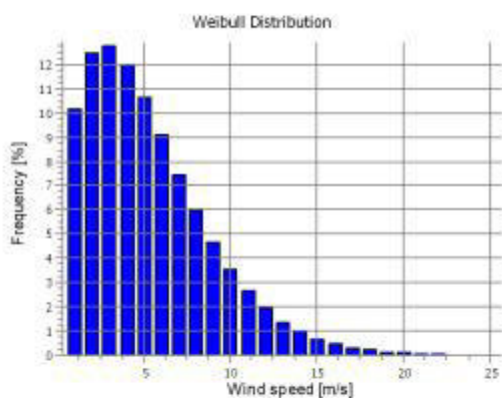


Figura 6 Dati vento con hub height 50 m

La velocità media è pari a 6,1 m/s, idonea per la tipologia di aerogeneratori in progetto, in quanto trattasi di aerogeneratori moderni in grado di produrre energia anche in siti con ventosità non elevatissima.

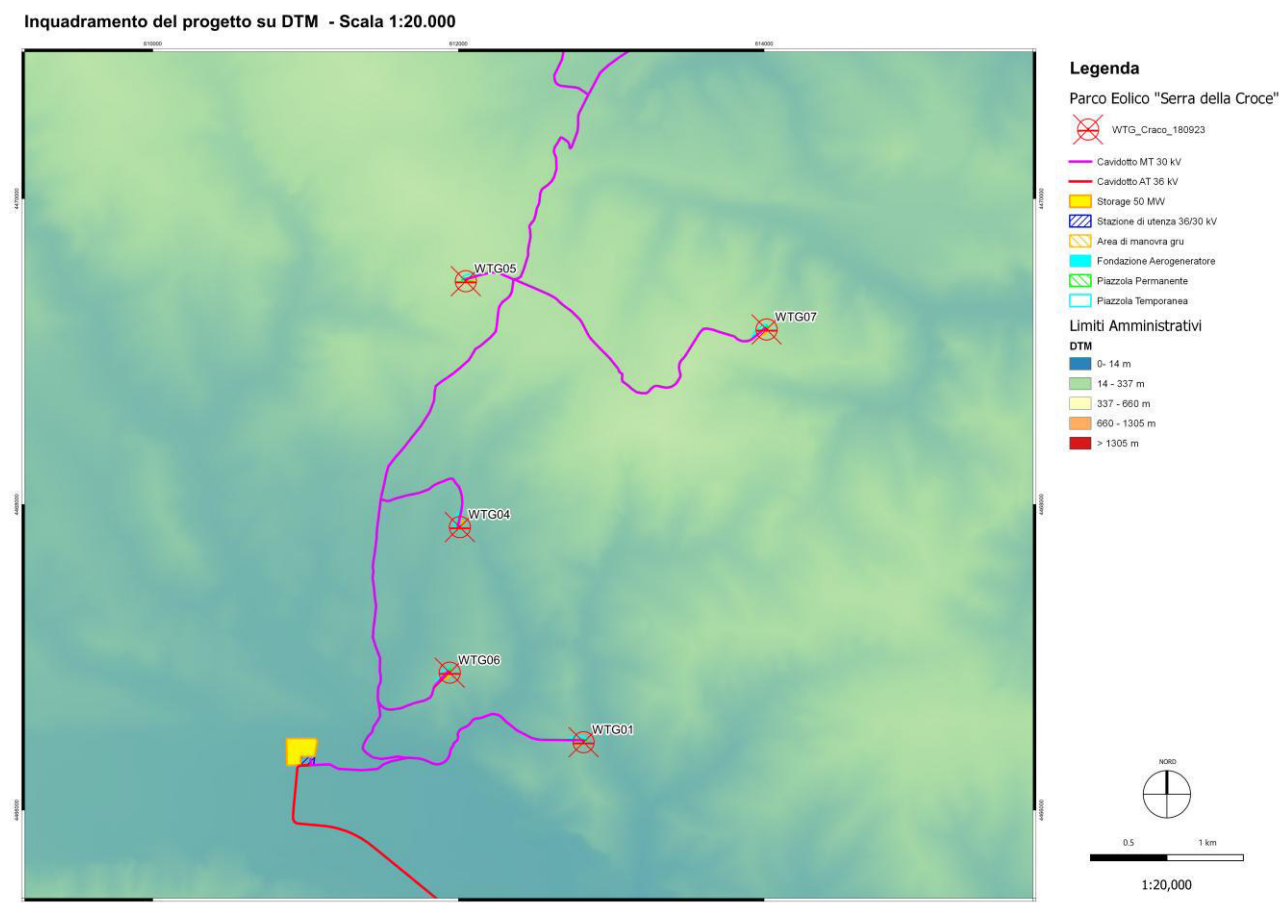
Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

I risultati ottenuti dallo studio effettuato convergeranno quindi nella definizione di un layout ottimale, andando in questo modo a costituire una solida base di partenza su cui si andranno ad integrare le altre argomentazioni tecniche (bilancio tra aspetti geomorfologici, vegetazionali, faunistici, ecc), che sono parti complementari del progetto eolico.

4.3 MODELLO DIGITALE DEL TERRENO

Il modello del terreno è stato realizzato considerando la localizzazione della sorgente di dati e quella dell'area dell'impianto.

Il DTM (Digital Terrain Model) è, pertanto, stato centrato rispetto all'estensione del layout, al fine di non incorrere in errori dovuti ai calcoli sul bordo del modello stesso. L'area di studio è stata modellizzata con l'ausilio di ESRI ArcGIS for Desktop. Il modello realizzato ha un'area pari a 20 km x 20 km, con celle di risoluzione di lato 10 m, ed è centrato nel punto medio dell'ubicazione dell'impianto. In tal modo, vengono minimizzati gli errori dovuti alla modellazione digitale dello stesso (effetti bordo, morfologia complessa, ecc).



PROJETTO engineering s.r.l.
società d'ingegneria

Direttore Tecnico: ING. LEONARDO FILOTICO
Cap. Soc. 119.000,00 € Codice Fiscale: 02658050733
Partita Iva : 02658050733
Sede Legale: Via dei Mille 5, 74024 Manduria - Taranto
Sede Operativa: Z.I. Lotto 31, 74020 San Marzano di San Giuseppe - Taranto
Tel 099 9574694 fax 099 2222834 mob. 3491735914

RELAZIONE SPECIALISTICA
STUDIO ANEMOLOGICO



SR EN ISO 9001:2015
Certificate No. 0204



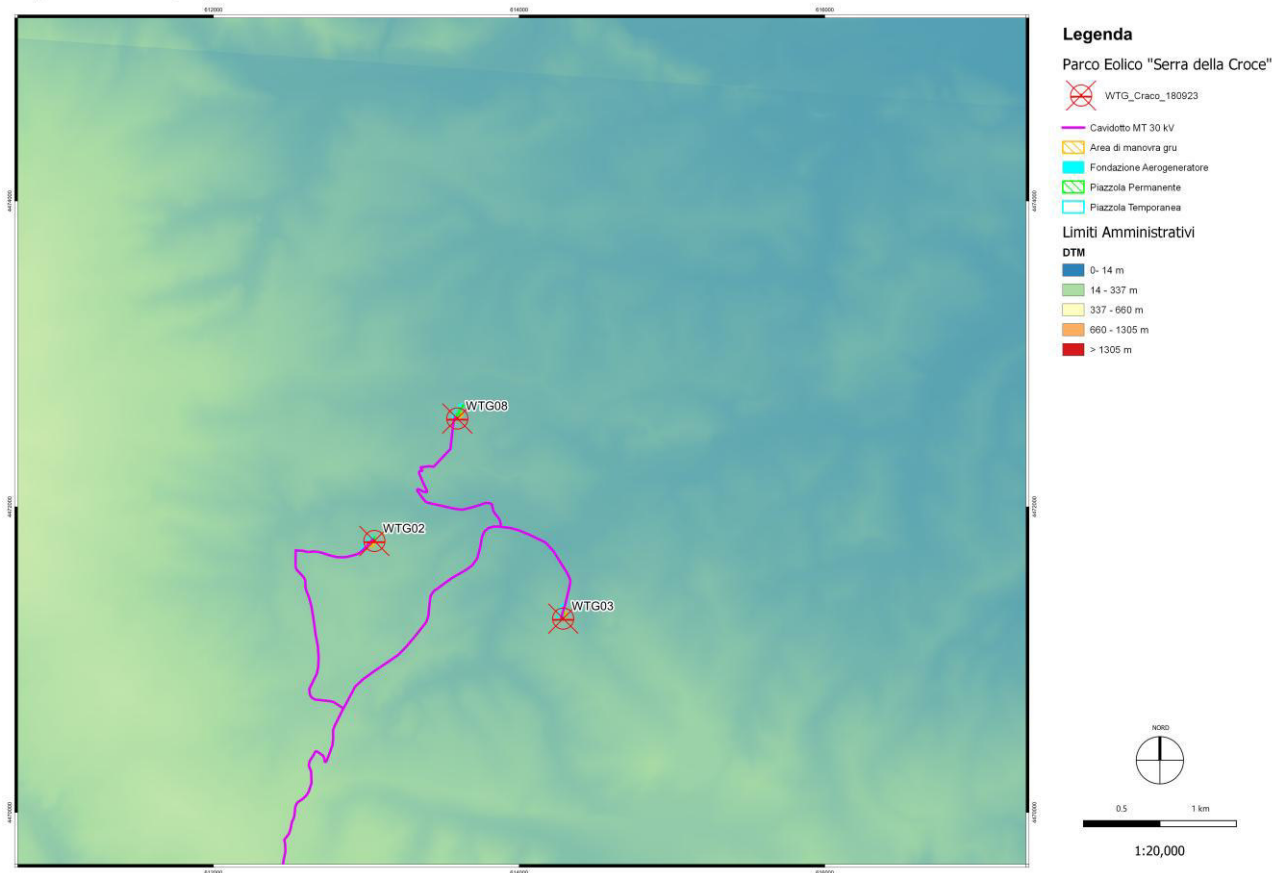
SR EN ISO 14001:2015
Certificate No. E145



SR EN ISO 45001:2018
Certificate No. 0m597

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

Inquadramento del progetto su DTM - Scala 1:20.000



PROJETTO engineering s.r.l.
società d'ingegneria

Direttore Tecnico: ING. LEONARDO FILOTICO
Cap. Soc. 119.000,00 € Codice Fiscale: 02658050733
Partita Iva : 02658050733
Sede Legale: Via dei Mille 5, 74024 Manduria - Taranto
Sede Operativa: Z.I. Lotto 31, 74020 San Marzano di San Giuseppe - Taranto
Tel099 9574694 fax 099 2222834 mob. 3491735914

RELAZIONE SPECIALISTICA
STUDIO ANEMOLOGICO



SR EN ISO 9001:2015
Certificate No. 0204



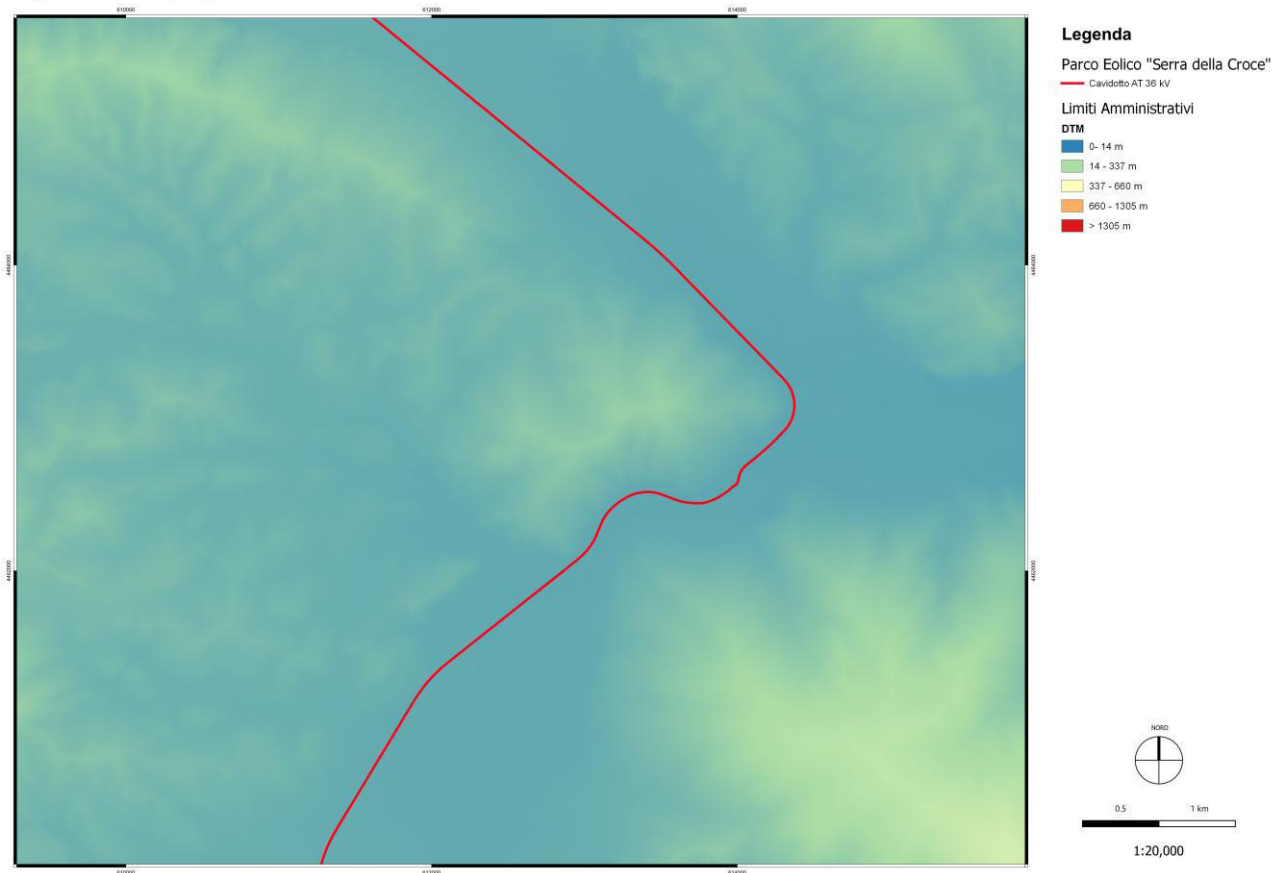
SR EN ISO 14001:2015
Certificate No. E145



SR EN ISO 45001:2018
Certificate No. 0m597

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

Inquadramento del progetto su DTM - Scala 1:20.000



PROJETTO engineering s.r.l.
società d'ingegneria

Direttore Tecnico: ING. LEONARDO FILOTICO
Cap. Soc. 119.000,00 € Codice Fiscale: 02658050733
Partita Iva : 02658050733
Sede Legale: Via dei Mille 5, 74024 Manduria - Taranto
Sede Operativa: Z.I. Lotto 31, 74020 San Marzano di San Giuseppe - Taranto
Tel 099 9574694 fax 099 2222834 mob. 3491735914

RELAZIONE SPECIALISTICA
STUDIO ANEMOLOGICO



SR EN ISO 9001:2015
Certificate No. 0204



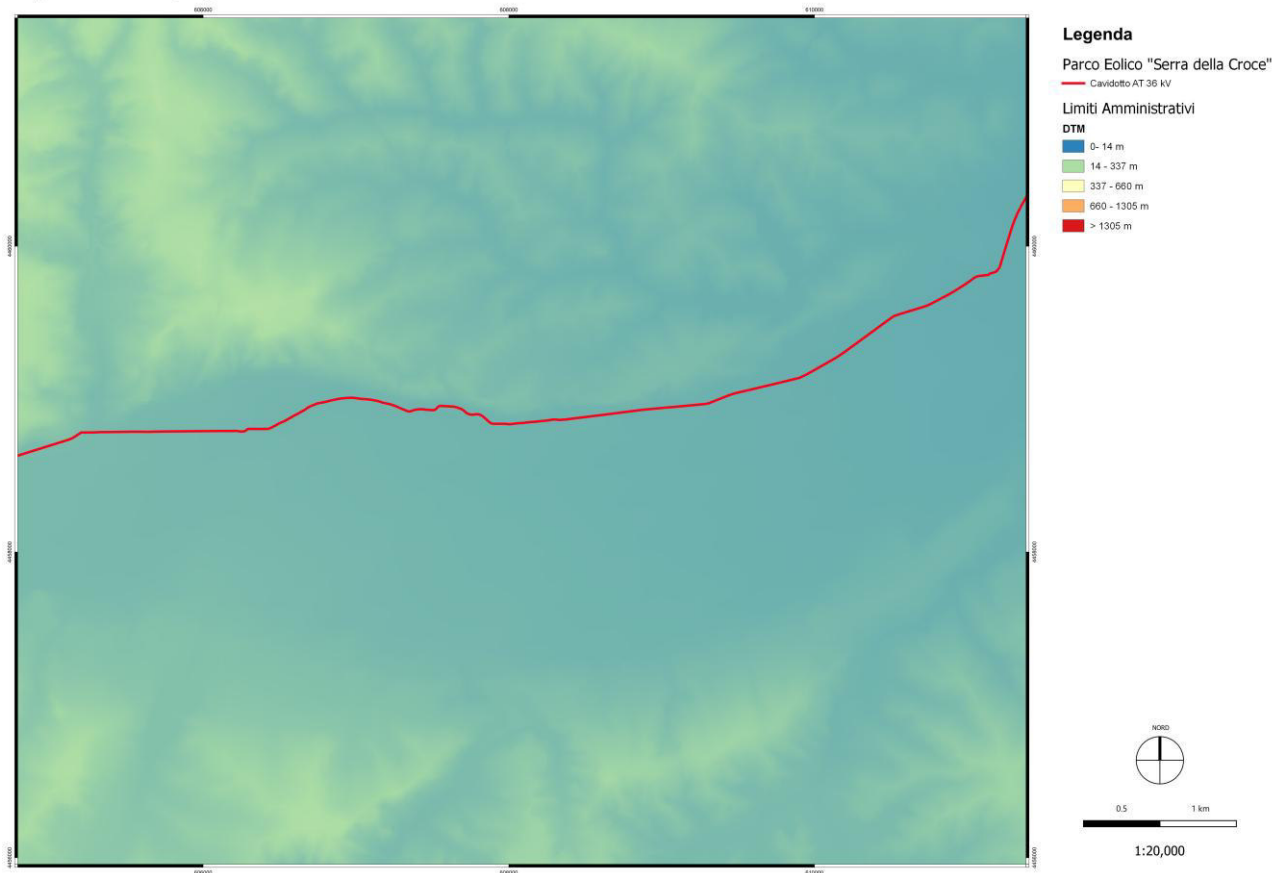
SR EN ISO 14001:2015
Certificate No. E145



SR EN ISO 45001:2018
Certificate No. Om597

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

Inquadramento del progetto su DTM - Scala 1:20.000



PROJETTO engineering s.r.l.
società d'ingegneria

Direttore Tecnico: ING. LEONARDO FILOTICO
Cap. Soc. 119.000,00 € Codice Fiscale: 02658050733
Partita Iva : 02658050733
Sede Legale: Via dei Mille 5, 74024 Manduria - Taranto
Sede Operativa: Z.I. Lotto 31, 74020 San Marzano di San Giuseppe - Taranto
Tel 099 9574694 fax 099 2222834 mob. 3491735914

RELAZIONE SPECIALISTICA
STUDIO ANEMOLOGICO



SR EN ISO 9001:2015
Certificate No. 0204



SR EN ISO 14001:2015
Certificate No. E145



SR EN ISO 45001:2018
Certificate No. 0m597

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

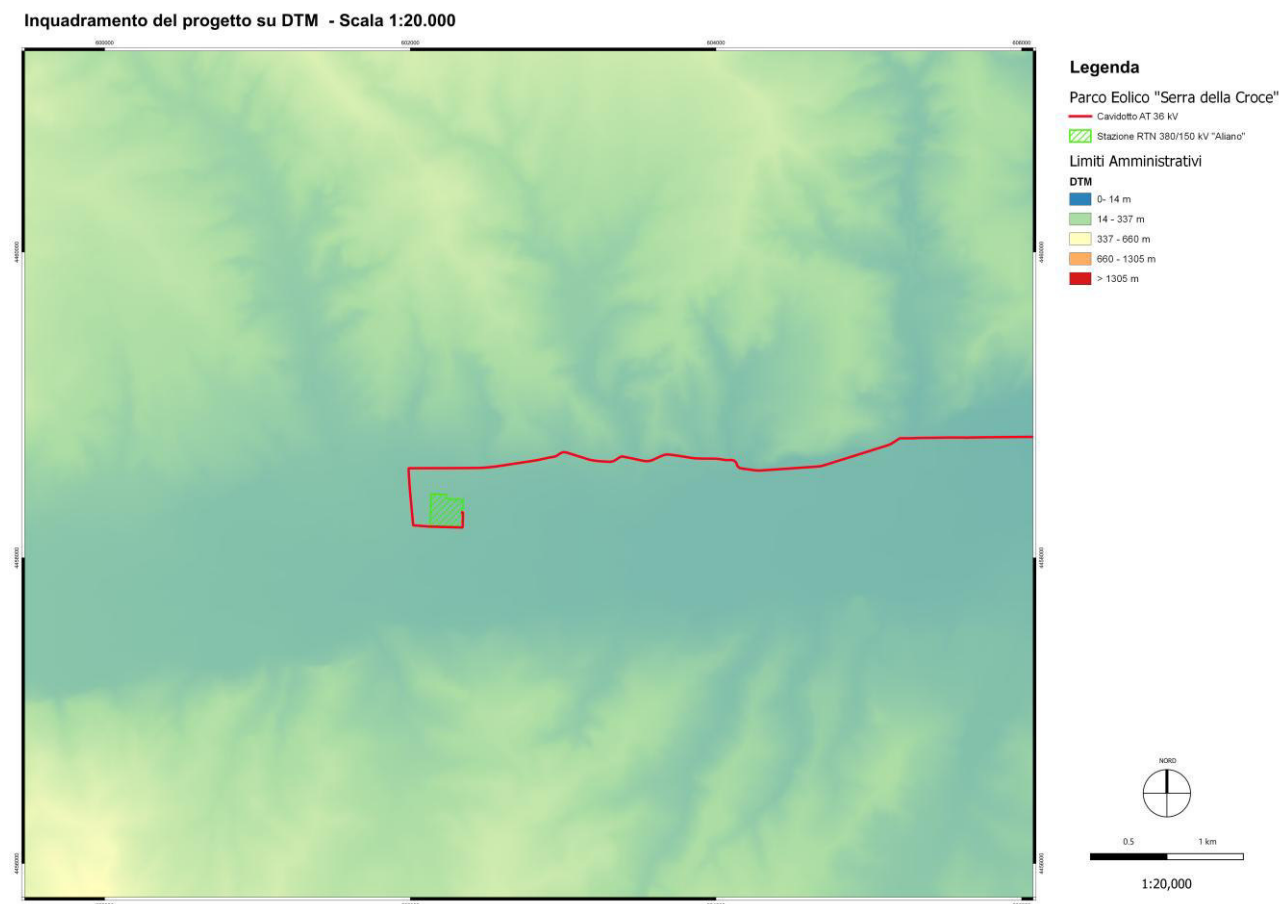


Figure | Modello digitale del terreno DTM su cui è stato realizzato il CFD

Sulla stessa area è stata inoltre modellizzata la rugosità del terreno al fine di migliorare l'accuratezza del successivo calcolo; modellazione che è stata eseguita con l'ausilio di ortofoto aggiornate per consentire la valutazione del diverso utilizzo del territorio sull'area presa in esame.

4.4 LAYOUT DI PROGETTO E CARATTERISTICHE DELL'AEROGENERATORE

Una volta effettuate le operazioni descritte nei paragrafi precedenti, sono stati inseriti in input i seguenti dati:

- Coordinate degli aerogeneratori: a tal proposito si precisa che, al fine di poter valutare eventuali interferenze subite/create dall'aerogeneratore in progetto, si è verificata la presenza di altri impianti eolici nell'intorno di 1.000 [m] dal sito in studio (distanza considerata più che sufficiente per la valutazione di eventuali interferenze data la dimensione dell'aerogeneratore in progetto). Non vi sono situazioni che interferiscono con il layout proposto.

Di seguito le coordinate degli aerogeneratori nella configurazione del layout definitivo (le coordinate sono UTM WGS 84 33N):

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

Denominazione	X (m)	Y (m)	Modello	Altezza Mozzo (m)
WTG01	612818	4466445	SG6.0-170 115m HH	115
WTG02	613052	4471777	SG6.0-170 115m HH	115
WTG03	614288	4471268	SG6.0-170 115m HH	115
WTG04	612009	4467852	SG6.0-170 115m HH	115
WTG05	612048	4469460	SG6.0-170 115m HH	115
WTG06	611942	4466900	SG6.0-170 115m HH	115
WTG07	614016	4469145	SG6.0-170 115m HH	115
WTG08	613595	4472578	SG6.0-170 115m HH	115

Tabella 3 - Definizione planimetrica degli aerogeneratori di progetto secondo il sistema di riferimento WGS84 UTM 33N

Inquadramento generale su base ortofoto - Scala 1:100.000

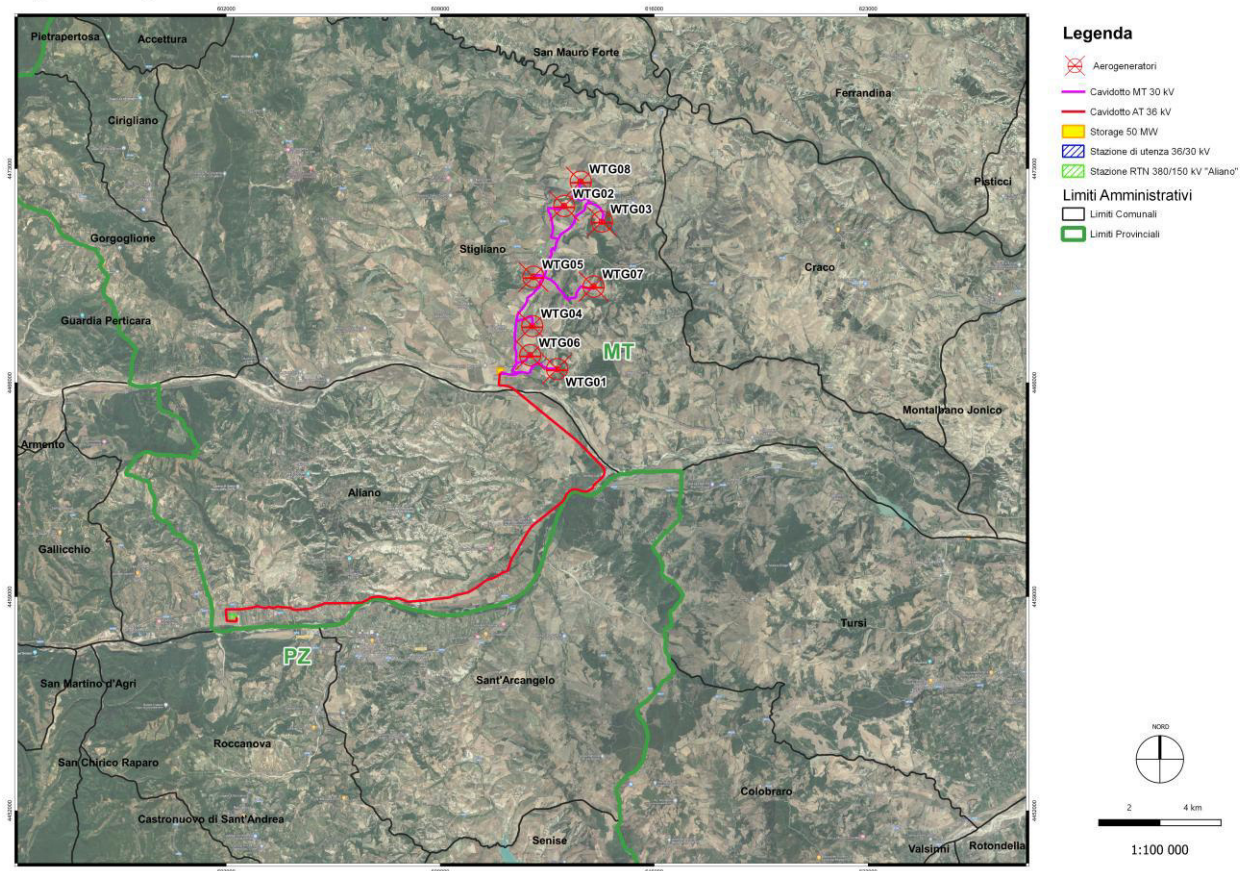


Figura 5 | Layout definitivo dell'impianto eolico "Serra della Croce" in progetto

PROJETTO engineering s.r.l.
società d'ingegneria

Direttore Tecnico: ING. LEONARDO FILOTICO
Cap. Soc. 119.000,00 € Codice Fiscale: 02658050733
Partita Iva : 02658050733
Sede Legale: Via dei Mille 5, 74024 Manduria - Taranto
Sede Operativa: Z.I. Lotto 31, 74020 San Marzano di San Giuseppe - Taranto
Tel 099 9574694 fax 099 2222834 mob. 3491735914

RELAZIONE SPECIALISTICA
STUDIO ANEMOLOGICO



Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

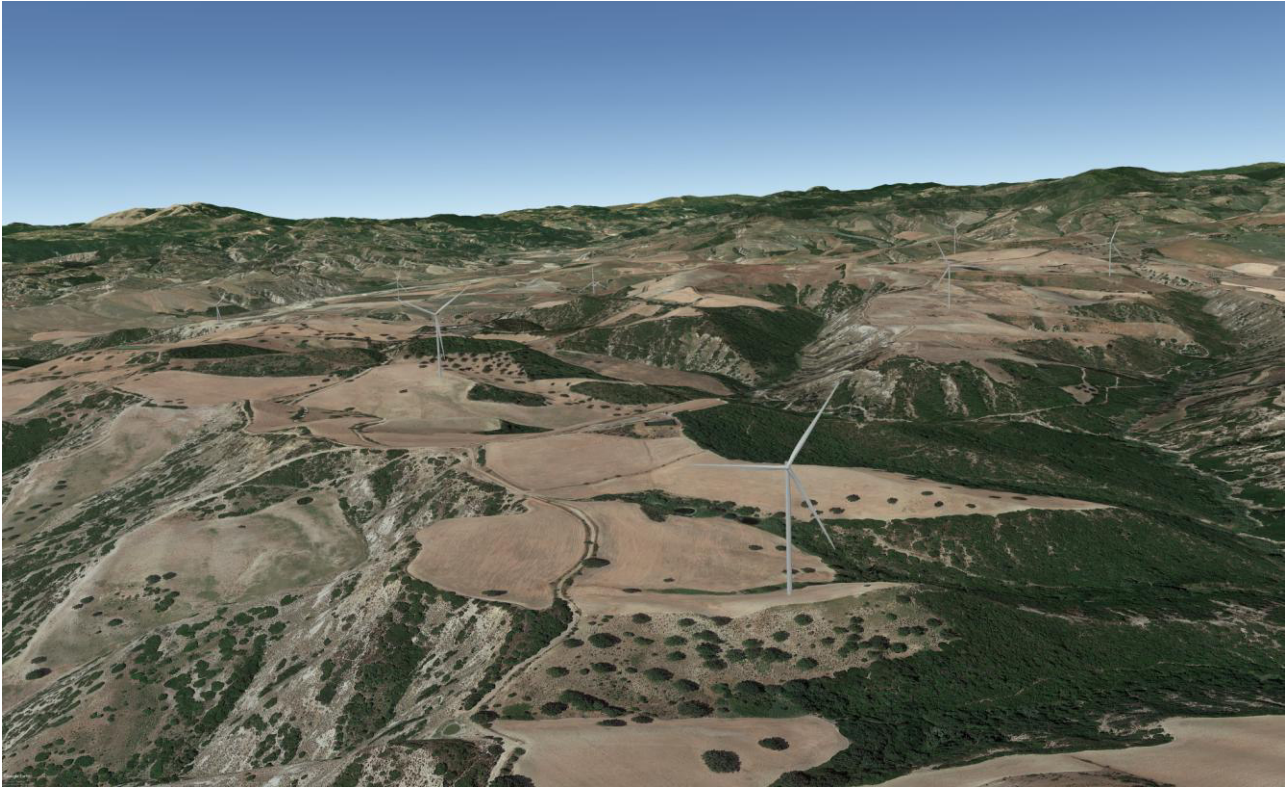


Figura 6 | Modello 3D di calcolo visualizzato mediante Google Earth Pro

Su richiesta della committenza, le valutazioni di producibilità sono state effettuate utilizzando le curve di potenza del seguente modello di aerogeneratore:

- Modello: SIEMENS GAMESA SG 6.0-170 6600
- Potenza: 6.000 kW
- Altezza del mozzo: 115 m
- Diametro del rotore: 170 m

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

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	85.0	0.24	3.0	0.95
3.5	178.0	0.30	3.5	0.88
4.0	328.0	0.37	4.0	0.85
4.5	522.0	0.41	4.5	0.83
5.0	758.0	0.44	5.0	0.82
5.5	1,040.0	0.45	5.5	0.83
6.0	1,376.0	0.46	6.0	0.83
6.5	1,771.0	0.46	6.5	0.84
7.0	2,230.0	0.47	7.0	0.84
7.5	2,757.0	0.47	7.5	0.84
8.0	3,346.0	0.47	8.0	0.83
8.5	3,974.0	0.47	8.5	0.80
9.0	4,600.0	0.45	9.0	0.77
9.5	5,177.0	0.43	9.5	0.71
10.0	5,660.0	0.41	10.0	0.65
10.5	6,024.0	0.37	10.5	0.58
11.0	6,272.0	0.34	11.0	0.51
11.5	6,424.0	0.30	11.5	0.44
12.0	6,510.0	0.27	12.0	0.38
12.5	6,556.0	0.24	12.5	0.34
13.0	6,579.0	0.22	13.0	0.29
13.5	6,590.0	0.19	13.5	0.26
14.0	6,596.0	0.17	14.0	0.23
14.5	6,598.0	0.16	14.5	0.21
15.0	6,599.0	0.14	15.0	0.19
15.5	6,600.0	0.13	15.5	0.17
16.0	6,600.0	0.12	16.0	0.16
16.5	6,600.0	0.11	16.5	0.14
17.0	6,600.0	0.10	17.0	0.13
17.5	6,600.0	0.09	17.5	0.12
18.0	6,600.0	0.08	18.0	0.12
18.5	6,468.0	0.07	18.5	0.10
19.0	6,336.0	0.07	19.0	0.09
19.5	6,204.0	0.06	19.5	0.08
20.0	6,072.0	0.05	20.0	0.07
20.5	5,940.0	0.05	20.5	0.07
21.0	5,808.0	0.05	21.0	0.06
21.5	5,676.0	0.04	21.5	0.06
22.0	5,544.0	0.04	22.0	0.05
22.5	5,412.0	0.03	22.5	0.05
23.0	5,280.0	0.03	23.0	0.04

Power, Efficiency and energy vs. wind speed

Data used in calculation, Air density: 1.173 kg/m³ New windPRO method (adjusted IEC method, improved to match turbine control) <RECOMMENDED>

Wind speed [m/s]	Power [kW]	Cp	Interval [m/s]	Energy [MWh]	Acc. Energy [MWh]	Relative [%]
1.0	0.0	0.00	0.50- 1.50	0.0	0.0	0.0
2.0	0.0	0.00	1.50- 2.50	0.0	0.0	0.0
3.0	81.1	0.23	2.50- 3.50	77.1	77.1	0.5
4.0	310.3	0.36	3.50- 4.50	285.4	362.5	2.2
5.0	723.2	0.43	4.50- 5.50	582.2	944.7	5.7
6.0	1,316.5	0.46	5.50- 6.50	934.9	1,879.7	11.3
7.0	2,135.2	0.47	6.50- 7.50	1,319.4	3,199.1	19.2
8.0	3,205.8	0.47	7.50- 8.50	1,696.3	4,895.4	29.4
9.0	4,419.6	0.46	8.50- 9.50	1,975.1	6,870.6	41.2
10.0	5,482.0	0.41	9.50-10.50	2,049.3	8,919.8	53.5
11.0	6,152.7	0.35	10.50-11.50	1,898.3	10,818.1	64.9
12.0	6,457.9	0.28	11.50-12.50	1,605.4	12,423.5	74.5
13.0	6,563.1	0.22	12.50-13.50	1,273.3	13,696.9	82.2
14.0	6,591.5	0.18	13.50-14.50	963.5	14,660.4	87.9
15.0	6,598.2	0.15	14.50-15.50	700.2	15,360.6	92.1
16.0	6,600.0	0.12	15.50-16.50	489.2	15,849.8	95.1
17.0	6,600.0	0.10	16.50-17.50	328.6	16,178.4	97.0
18.0	6,600.0	0.08	17.50-18.50	210.7	16,389.1	98.3
19.0	6,336.0	0.07	18.50-19.50	127.4	16,516.5	99.1
20.0	6,072.0	0.06	19.50-20.50	73.3	16,589.8	99.5
21.0	5,808.0	0.05	20.50-21.50	40.8	16,630.5	99.7
22.0	5,544.0	0.04	21.50-22.50	22.0	16,652.5	99.9
23.0	5,280.0	0.03	22.50-23.50	11.7	16,664.2	99.9
24.0	5,280.0	0.03	23.50-24.50	6.3	16,670.5	100.0
25.0	5,280.0	0.03	24.50-25.50	2.2	16,672.7	100.0

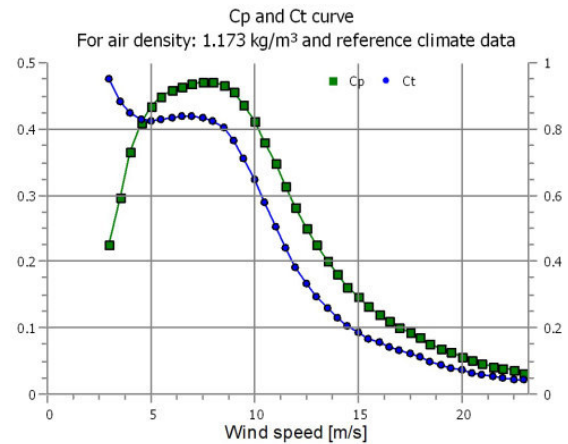
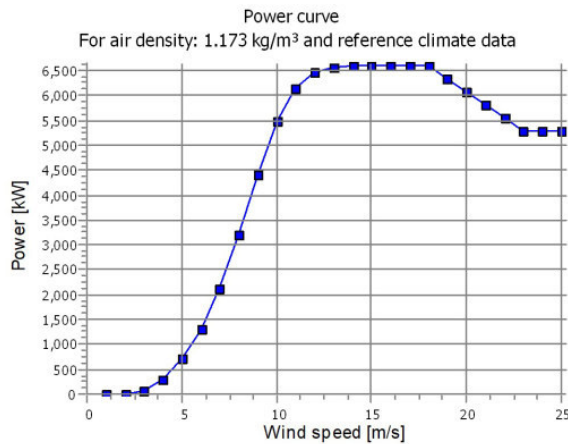


Figura 7 | Curve di Potenza dell'aerogeneratore

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

5 CALCOLO DELLA PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO

La risorsa eolica disponibile nel sito oggetto dello studio è stata esplorata elaborando i seguenti dati con il software WindPro 3.6:

- Distribuzione di Frequenza ricavata da dati del vento.
- Caratteristiche del terreno, quota e mappa di rugosità dell'area, densità media dell'aria.

L'analisi tiene conto della distribuzione di frequenza delle velocità su 12 settori di direzione. Di seguito, si riportano i risultati del calcolo della producibilità dell'Impianto, secondo il layout definitivo.



Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

PARK - Production Analysis

WTG: All new WTGs, Air density varies with WTG position 1.152 kg/m³ - 1.174 kg/m³

Directional Analysis

Sector	0 N	1 NNE	2 ENE	3 E	4 ESE	5 SSE	6 S	7 SSW	8 WSW	9 W	10 WNW	11 NNW	Total
Roughness based energy [MWh]	37,881.8	3,675.2	984.0	972.7	5,552.9	753.4	1,015.4	4,038.5	17,639.0	12,917.3	1,160.1	50,128.1	136,718.5
-Decrease due to wake losses [MWh]	1,365.3	197.0	15.8	11.6	244.2	27.5	71.9	191.3	155.6	73.4	44.3	682.5	3,080.6
Resulting energy [MWh]	36,516.5	3,478.2	968.2	961.1	5,308.7	725.9	943.5	3,847.2	17,483.4	12,843.9	1,115.8	49,445.6	133,637.9
Specific energy [kWh/m ²]													736
Specific energy [kWh/kW]													2,531
Decrease due to wake losses [%]	3.6	5.4	1.6	1.2	4.4	3.7	7.1	4.7	0.9	0.6	3.8	1.4	2.25
Utilization [%]	25.1	36.8	38.1	39.3	39.8	37.2	35.8	32.6	27.7	27.6	32.4	23.9	26.2
Operational [Hours/year]	1,457	502	340	280	528	202	279	611	1,048	530	234	1,294	7,306
Full Load Equivalent [Hours/year]	692	66	18	18	101	14	18	73	331	243	21	936	2,531

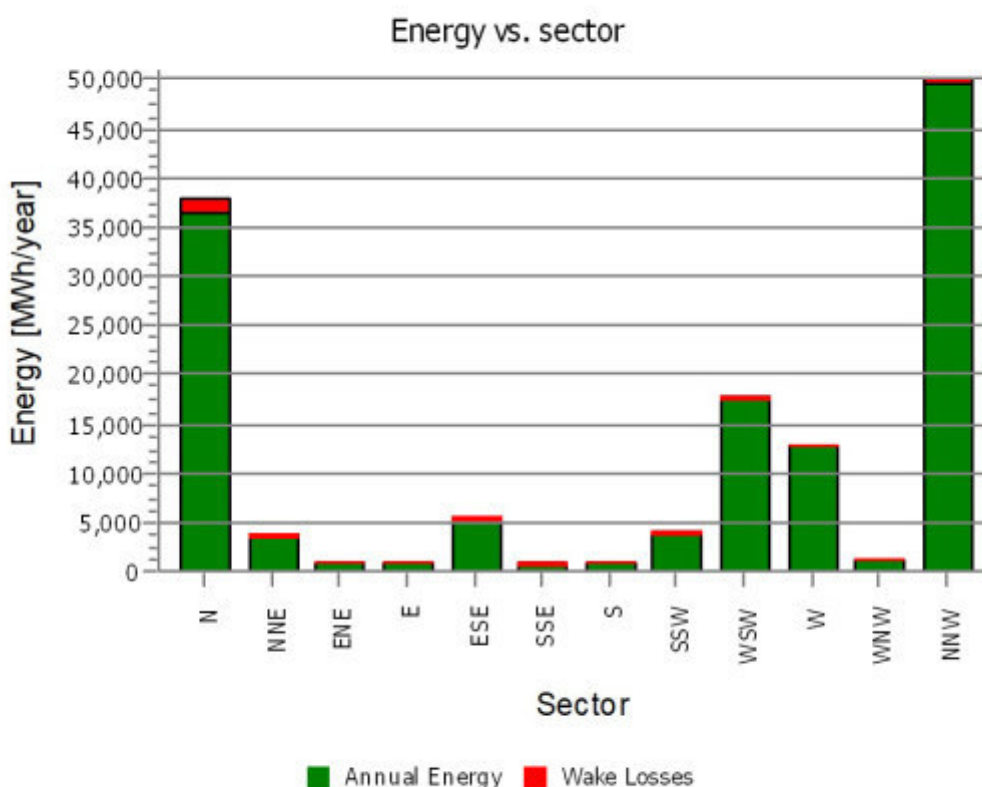


Figura 8 | Analisi producibilità energia/settore

5.1 MODELLO DI SCIA E CALCOLO DELL'ENERGIA PRODOTTA

Gli effetti di scia provocati dalla reciproca schermatura tra le singole turbine eoliche sono calcolati mediante il modello bidimensionale PARK (N.O. RISØ EMD). Gli elementi su cui il modello si basa per determinare la

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

diminuzione del valore della velocità della vena fluida a valle dell'aerogeneratore rispetto al flusso indisturbato a monte di essa sono:

- Distribuzione di frequenza della velocità e della direzione del vento
- all'altezza del mozzo nelle posizioni previste per ciascun aerogeneratore
- Layout parco eolico
- Diametro rotore.
- Curva del coefficiente di spinta per il tipo di aerogeneratore impiegato.

Questo modello è implementato all'interno del codice di calcolo Wind Pro che utilizziamo per il calcolo della producibilità. Il risultato finale per la producibilità dell'impianto eolico ottenuto da WindPro 3.6 viene riportato di seguito.

Calculated Annual Energy For Wind Farm										
WTG Combination	Result Park (MWh/y)	Result-10,0% (Mwh/y)	No loss (MWh/y)	Wake loss (%)	Capacity Factor (%)	Mean WTG Result (Mwh/y)	Full Load Hours (Hours/year)	Mean Wind Speed@hub height (m/s)		
Wind farm	133.637,9	120.274,1	136.718	2,3	26,0	15.034,3	2.278	5,8		
Calculated Annual Energy for each of 8 new WTGs with total 48 MW rated power										
WTG	type	Model	Power rated (kW)	Rotor Diameter (m)	Hub Height	Power curve	Annual Energy			
							Result (MWh/y)	Result-10% (MWh/y)	Wake loss (%)	Free mean wind speed (m/s)
WTG_01	Siemens Gamesa	SG 6.0-170-6.000	6000	170	115	(AM 0, 6.0MW) - 1.225 kg/m3	16,672.7	15,005	2.7	5.85
WTG_02	Siemens Gamesa	SG 6.0-170-6.000	6000	170	115	(AM 0, 6.0MW) - 1.225 kg/m3	16,234.9	14,611	5.1	5.85
WTG_03	Siemens Gamesa	SG 6.0-170-6.000	6000	170	115	(AM 0, 6.0MW) - 1.225 kg/m3	16,495.2	14,846	3.0	5.85
WTG_04	Siemens Gamesa	SG 6.0-170-6.000	6000	170	115	(AM 0, 6.0MW) - 1.225 kg/m3	16,880.1	15,192	1.3	5.85
WTG_05	Siemens Gamesa	SG 6.0-170-6.000	6000	170	115	(AM 0, 6.0MW) - 1.225 kg/m3	16,878.3	15,190	0.5	5.85
WTG_06	Siemens Gamesa	SG 6.0-170-6.000	6000	170	115	(AM 0, 6.0MW) - 1.225 kg/m3	16,765.9	15,089	2.2	5.85
WTG_07	Siemens Gamesa	SG 6.0-170-6.000	6000	170	115	(AM 0, 6.0MW) - 1.225 kg/m3	16,708.3	15,037	2.4	5.85
WTG_08	Siemens Gamesa	SG 6.0-170-6.000	6000	170	115	(AM 0, 6.0MW) - 1.225 kg/m3	17,002.7	15,302	0.8	5.85

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

6 CONSIDERAZIONI FINALI

6.1 DATI VENTO

I dati vento disponibili sono sufficienti ai fini di un wind assesment dettagliato.

Nell'approccio descritto, i dati del vento sono stati ottenuti utilizzando le statistiche vicine al progetto con WindPro, in particolare per il calcolo della ventosità del sito e della produzione degli aerogeneratori e dell'analisi delle grandezze aerodinamiche coinvolte.

I valori di ventosità medi rilevati ad altezza mozzo sono soddisfacenti. Infatti, vi è una buona frequenza di rilevazioni di velocità del vento comprese tra 5 e 15,9 [m/s], e queste sono particolarmente interessanti poiché comprese nel range di funzionamento degli aerogeneratori.

6.2 LAYOUT DEL SITO

Il layout del parco eolico prevede dunque l'installazione di 8 aerogeneratori della potenza di 6,0 [MW] cadauno con rotore di diametro 170 [m] e altezza mozzo 115 [m], per una potenza complessiva del Parco eolico di 48 [MW].

Nel processo di ottimizzazione del layout si sono considerati vari aspetti oltre quello prettamente anemologico, di seguito indicati:

6.3 ANEMOLOGIA:

Si è ottimizzata la posizione degli aerogeneratori in modo opportuno, con l'obiettivo di minimizzare le perdite per effetto scia (layout perpendicolare alle direzioni prevalenti del vento) e di avere un adeguato valore di produzione netta.

6.4 MORFOLOGIA E GEOLOGIA

A valle di differenti sopralluoghi in sito, si sono circoscritte delle aree di fattibilità per l'installazione delle turbine, la relativa realizzazione delle piazzole nella fase di cantiere e la successiva sistemazione prima dell'entrata in esercizio. Studi geologici - geotecnici più approfonditi (carotaggi in fase esecutiva), contribuiranno alla corretta definizione e al dimensionamento delle fondazioni da utilizzare.

6.5 INDAGINE FLORO – VEGETAZIONALE

Le aree prescelte sono quelle a minor impatto sull'ambiente circostante.

6.6 PRODUZIONE PARCO EOLICO

La stima di produzione del parco eolico è stata ottenuta mediante utilizzo del software WindPro 3.6, che per le sue caratteristiche di non-linearità nel metodo di calcolo meglio si adatta anche a siti complessi, anche se

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

questo non è il caso dell'impianto oggetto del presente studio. Sono state considerate le perdite dovute alla scia e le perdite tecniche generali (disponibilità macchine, perdite elettriche ed altro).

Dal layout definitivo con una potenza installabile di 48 [MW] complessivi, si ha una produzione media netta complessiva decisamente soddisfacente anche in termini di numero di ore equivalenti, pari a 2.278 (133,64 GWh/y circa).

Sulla base di queste considerazioni, e dello studio effettuato, si ritiene che, considerando gli spazi disponibili, i limiti e i vincoli presenti, l'impianto in progetto sfrutti al meglio il potenziale eolico dell'area.



Project:

craco rev 2

Licensed user:

ProJetto Engineering s.r.l.
 Via dei Mille, 5
 IT-74024 Manduria
 +39 0999574694
 DICIANNOVE / studio@projetto.eu
 Calculated:
 28/09/2023 09:23/3.6.366

PARK - Main Result

Wake Model N.O. Jensen (RISØ/EMD) Park 2 2018

Calculation performed in UTM (north)-WGS84 Zone: 33
 At the site centre the difference between grid north and true north is: 0.9°

Power curve correction method

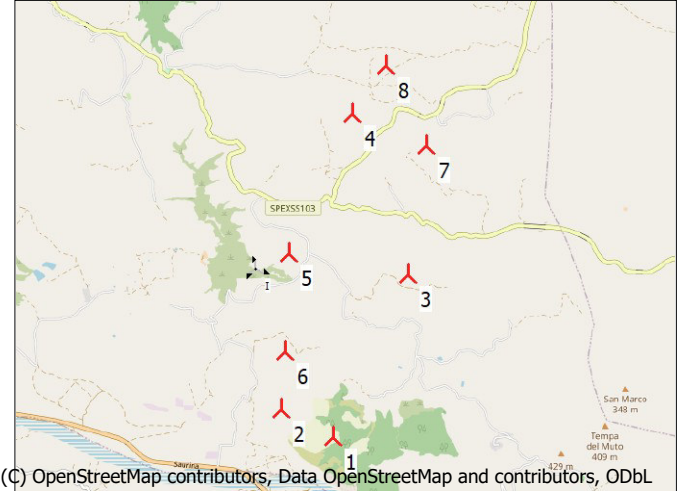
New windPRO method (adjusted IEC method, improved to match turbine control) <RECOMMENDED>
 Air density calculation method
 Height dependent, temperature from climate station
 Station: LATRONICO V3 2014
 Base temperature: 11.2 °C at 896.0 m
 Base pressure: 1013.3 hPa at 0.0 m
 Air density for Site center in key hub height: 336.7 m + 50.0 m = 1.172 kg/m³ -> 95.7 % of Std
 Relative humidity: 0.0 %

Wake Model Parameters

Wake decay constant 0.090 DTU default onshore
 Hub height independent

Wake calculation settings

Angle [°]	Wind speed [m/s]
start end step	start end step
0.5 360.0 1.0	0.5 30.5 1.0



(C) OpenStreetMap contributors, Data OpenStreetMap and contributors, ODbL

Scale 1:125,000
 New WTG Meteorological Data

Key results for height 50.0 m above ground level

Terrain Geo [deg]-WGS84

Longitude	Latitude	Name of wind distribution	Height [m]	Type	Wind energy [kWh/m²]	Mean wind speed [m/s]
I 16.313202° E	40.366035° N	EMD-WRF Europe+ (ERA5) [SAMPLE]_N40.366035_E016.313202 (3)	100.0	WEIBULL	1,996	5.2

Calculated Annual Energy for Wind Farm

WTG combination	Result		GROSS (no loss) Free WTGs [MWh/y]	Wake loss [%]	Specific results*)			Mean wind speed @hub height [m/s]
	PARK [MWh/y]	Result-10.0% [MWh/y]			Capacity factor [%]	Mean WTG result [MWh/y]	Full load hours [Hours/year]	
Wind farm	133,637.9	120,274.1	136,718.5	2.3	26.0	15,034.3	2,278	5.8

*) Based on Result-10.0%

Calculated Annual Energy for each of 8 new WTGs with total 52.8 MW rated power

Links	WTG type		Type-generator	Power, rated [kW]	Rotor diameter [m]	Hub height [m]	Power curve Creator Name	Annual Energy			Free mean wind speed [m/s]
	Valid	Manufact.						Result [MWh/y]	Result-10.0% [MWh/y]	Wake loss [%]	
1 I	Yes	Siemens Gamesa	SG 6.6-170-6,600	6,600	170.0	115.0	EMD (AM 0, 6.6MW) - 1.225 kg/m³	16,672.7	15,005	2.7	5.85
2 I	Yes	Siemens Gamesa	SG 6.6-170-6,600	6,600	170.0	115.0	EMD (AM 0, 6.6MW) - 1.225 kg/m³	16,234.9	14,611	5.1	5.85
3 I	Yes	Siemens Gamesa	SG 6.6-170-6,600	6,600	170.0	115.0	EMD (AM 0, 6.6MW) - 1.225 kg/m³	16,495.2	14,846	3.0	5.85
4 I	Yes	Siemens Gamesa	SG 6.6-170-6,600	6,600	170.0	115.0	EMD (AM 0, 6.6MW) - 1.225 kg/m³	16,880.1	15,192	1.3	5.85
5 I	Yes	Siemens Gamesa	SG 6.6-170-6,600	6,600	170.0	115.0	EMD (AM 0, 6.6MW) - 1.225 kg/m³	16,878.3	15,190	0.5	5.85
6 I	Yes	Siemens Gamesa	SG 6.6-170-6,600	6,600	170.0	115.0	EMD (AM 0, 6.6MW) - 1.225 kg/m³	16,765.9	15,089	2.2	5.85
7 I	Yes	Siemens Gamesa	SG 6.6-170-6,600	6,600	170.0	115.0	EMD (AM 0, 6.6MW) - 1.225 kg/m³	16,708.3	15,037	2.4	5.85
8 I	Yes	Siemens Gamesa	SG 6.6-170-6,600	6,600	170.0	115.0	EMD (AM 0, 6.6MW) - 1.225 kg/m³	17,002.7	15,302	0.8	5.85

WTG siting

Geo [deg]-WGS84

	Longitude	Latitude	Z [m]	Row data/Description
1 New	16.328289° E	40.340929° N	262.1	WTG01
2 New	16.318060° E	40.345145° N	283.1	WTG06
3 New	16.342866° E	40.365084° N	394.2	WTG07
4 New	16.331991° E	40.388920° N	295.9	WTG02
5 New	16.319751° E	40.368195° N	451.9	WTG05
6 New	16.319008° E	40.353712° N	263.6	WTG04

To be continued on next page...

Project:

craco rev 2

Licensed user:

ProJetto Engineering s.r.l.
Via dei Mille, 5
IT-74024 Manduria
+39 0999574694
DICIANNOVE / studio@projetto.eu
Calculated:
28/09/2023 09:23/3.6.366

PARK - Main Result

...continued from previous page

Geo [deg]-WGS84

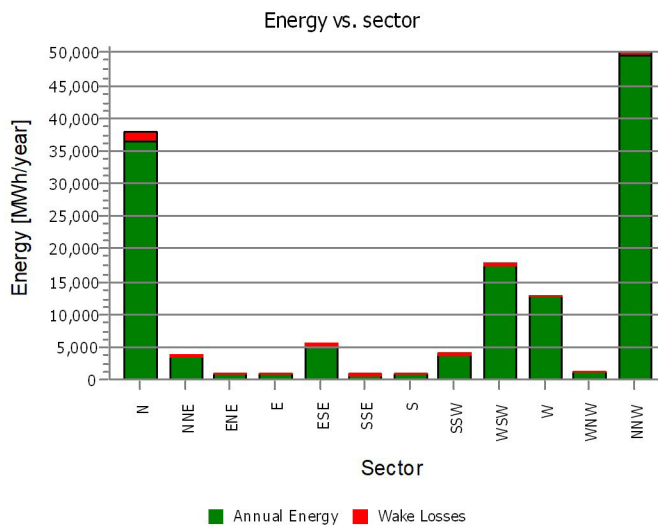
	Longitude	Latitude	Z [m]	Row data/Description
7 New	16.346451° E	40.384175° N	282.4	WTG03
8 New	16.338525° E	40.396062° N	254.6	WTG08

PARK - Production Analysis

WTG: All new WTGs, Air density varies with WTG position 1.152 kg/m³ - 1.174 kg/m³

Directional Analysis

Sector		0 N	1 NNE	2 ENE	3 E	4 ESE	5 SSE	6 S	7 SSW	8 WSW	9 W	10 WNW	11 NNW	Total
Roughness based energy	[MWh]	37,881.8	3,675.2	984.0	972.7	5,552.9	753.4	1,015.4	4,038.5	17,639.0	12,917.3	1,160.1	50,128.1	136,718.5
-Decrease due to wake losses	[MWh]	1,365.3	197.0	15.8	11.6	244.2	27.5	71.9	191.3	155.6	73.4	44.3	682.5	3,080.6
Resulting energy	[MWh]	36,516.5	3,478.2	968.2	961.1	5,308.7	725.9	943.5	3,847.2	17,483.4	12,843.9	1,115.8	49,445.6	133,637.9
Specific energy	[kWh/m ²]													736
Specific energy	[kWh/kW]													2,531
Decrease due to wake losses	[%]	3.6	5.4	1.6	1.2	4.4	3.7	7.1	4.7	0.9	0.6	3.8	1.4	2.25
Utilization	[%]	25.1	36.8	38.1	39.3	39.8	37.2	35.8	32.6	27.7	27.6	32.4	23.9	26.2
Operational	[Hours/year]	1,457	502	340	280	528	202	279	611	1,048	530	234	1,294	7,306
Full Load Equivalent	[Hours/year]	692	66	18	18	101	14	18	73	331	243	21	936	2,531



PARK - Power Curve Analysis

WTG: 1 - Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 !O!, Hub height: 115.0 m

Name: (AM 0, 6.6MW) - 1.225 kg/m³

Source: SGRE

Source/Date	Created by	Created	Edited	Stop wind speed [m/s]	Power control	CT curve type	Generator type	Specific power kW/m ²
29/08/2021	EMD	11/02/2020	29/08/2021	25.0	Pitch	User defined	Variable	0.29
D2850368-001 SGRE ON SG 6.6-170 Standard Ct and Power Curve Rev.0 Mode AM 0 - Air Density.pdf								

HP curve comparison - Note: For standard air density

Vmean	[m/s]	5	6	7	8	9	10
HP value Pitch, variable speed (2013)	[MWh]	11,445	17,316	22,937	27,907	32,074	35,390
Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 !O! (AM 0, 6.6MW) - 1.225 kg/m ³	[MWh]	11,609	17,473	23,049	27,920	31,913	34,975
Check value	[%]	-1	-1	0	0	1	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/pitch decides the calculated values. Productions are without wake losses.

For further details, ask at the Danish Energy Agency for project report J.nr. 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

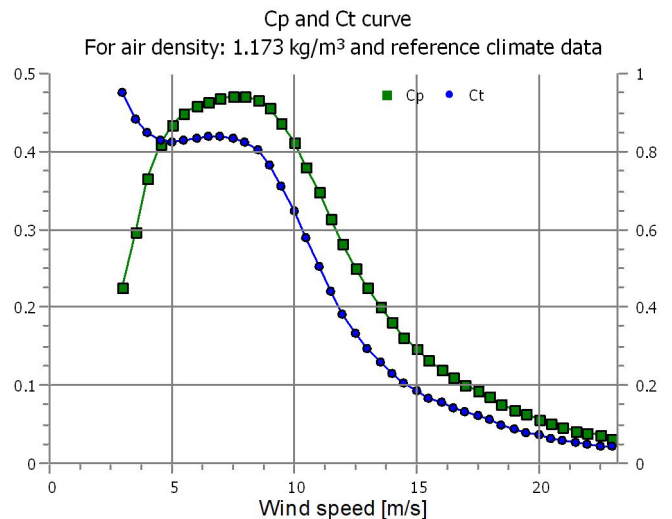
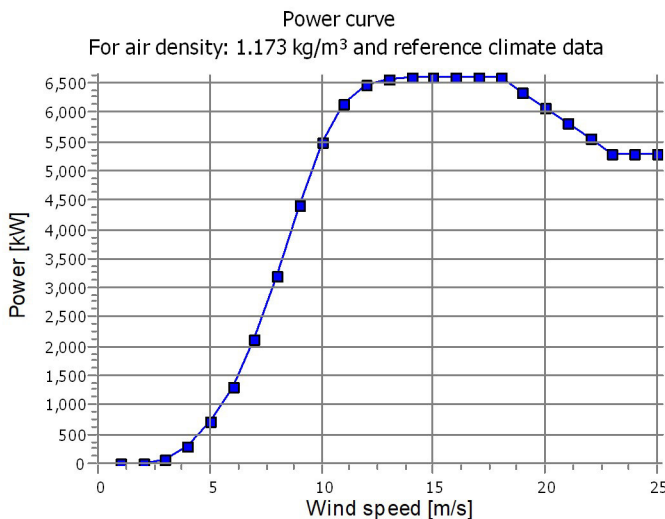
Original data, Air density: 1.225 kg/m³

Wind speed [m/s]	Power [kW]	Cp	Wind speed [m/s]	Ct curve
3.0	89.0	0.24	3.0	0.95
3.5	178.0	0.30	3.5	0.88
4.0	328.0	0.37	4.0	0.85
4.5	522.0	0.41	4.5	0.83
5.0	758.0	0.44	5.0	0.82
5.5	1,040.0	0.45	5.5	0.83
6.0	1,376.0	0.46	6.0	0.83
6.5	1,771.0	0.46	6.5	0.84
7.0	2,230.0	0.47	7.0	0.84
7.5	2,757.0	0.47	7.5	0.84
8.0	3,346.0	0.47	8.0	0.83
8.5	3,974.0	0.47	8.5	0.80
9.0	4,600.0	0.45	9.0	0.77
9.5	5,177.0	0.43	9.5	0.71
10.0	5,660.0	0.41	10.0	0.65
10.5	6,024.0	0.37	10.5	0.58
11.0	6,272.0	0.34	11.0	0.51
11.5	6,424.0	0.30	11.5	0.44
12.0	6,510.0	0.27	12.0	0.38
12.5	6,556.0	0.24	12.5	0.34
13.0	6,579.0	0.22	13.0	0.29
13.5	6,590.0	0.19	13.5	0.26
14.0	6,596.0	0.17	14.0	0.23
14.5	6,598.0	0.16	14.5	0.21
15.0	6,599.0	0.14	15.0	0.19
15.5	6,600.0	0.13	15.5	0.17
16.0	6,600.0	0.12	16.0	0.16
16.5	6,600.0	0.11	16.5	0.14
17.0	6,600.0	0.10	17.0	0.13
17.5	6,600.0	0.09	17.5	0.12
18.0	6,600.0	0.08	18.0	0.12
18.5	6,468.0	0.07	18.5	0.10
19.0	6,336.0	0.07	19.0	0.09
19.5	6,204.0	0.06	19.5	0.08
20.0	6,072.0	0.05	20.0	0.07
20.5	5,940.0	0.05	20.5	0.07
21.0	5,808.0	0.05	21.0	0.06
21.5	5,676.0	0.04	21.5	0.06
22.0	5,544.0	0.04	22.0	0.05
22.5	5,412.0	0.03	22.5	0.05
23.0	5,280.0	0.03	23.0	0.04

Power, Efficiency and energy vs. wind speed

Data used in calculation, Air density: 1.173 kg/m³ New windPRO method (adjusted IEC method, improved to match turbine control) <RECOMMENDED>

Wind speed [m/s]	Power [kW]	Cp	Interval [m/s]	Energy [MWh]	Acc.Energy [MWh]	Relative [%]
1.0	0.0	0.00	0.50- 1.50	0.0	0.0	0.0
2.0	0.0	0.00	1.50- 2.50	0.0	0.0	0.0
3.0	81.1	0.23	2.50- 3.50	77.1	77.1	0.5
4.0	310.3	0.36	3.50- 4.50	285.4	362.5	2.2
5.0	723.2	0.43	4.50- 5.50	582.2	944.7	5.7
6.0	1,316.5	0.46	5.50- 6.50	934.9	1,879.7	11.3
7.0	2,135.2	0.47	6.50- 7.50	1,319.4	3,199.1	19.2
8.0	3,205.8	0.47	7.50- 8.50	1,696.3	4,895.4	29.4
9.0	4,419.6	0.46	8.50- 9.50	1,975.1	6,870.6	41.2
10.0	5,482.0	0.41	9.50-10.50	2,049.3	8,919.8	53.5
11.0	6,152.7	0.35	10.50-11.50	1,898.3	10,818.1	64.9
12.0	6,457.9	0.28	11.50-12.50	1,605.4	12,423.5	74.5
13.0	6,563.1	0.22	12.50-13.50	1,273.3	13,696.9	82.2
14.0	6,591.5	0.18	13.50-14.50	963.5	14,660.4	87.9
15.0	6,598.2	0.15	14.50-15.50	700.2	15,360.6	92.1
16.0	6,600.0	0.12	15.50-16.50	489.2	15,849.8	95.1
17.0	6,600.0	0.10	16.50-17.50	328.6	16,178.4	97.0
18.0	6,600.0	0.08	17.50-18.50	210.7	16,389.1	98.3
19.0	6,336.0	0.07	18.50-19.50	127.4	16,516.5	99.1
20.0	6,072.0	0.06	19.50-20.50	73.3	16,589.8	99.5
21.0	5,808.0	0.05	20.50-21.50	40.8	16,630.5	99.7
22.0	5,544.0	0.04	21.50-22.50	22.0	16,652.5	99.9
23.0	5,280.0	0.03	22.50-23.50	11.7	16,664.2	99.9
24.0	5,280.0	0.03	23.50-24.50	6.3	16,670.5	100.0
25.0	5,280.0	0.03	24.50-25.50	2.2	16,672.7	100.0



PARK - Wind Data Analysis

Wind data: I - EMD-WRF Europe+ (ERA5) [SAMPLE]_N40.366035_E016.313202 (3); Hub height: 100.0

Site coordinates

Geo WGS84
East: 16.313202° E North: 40.366035° N

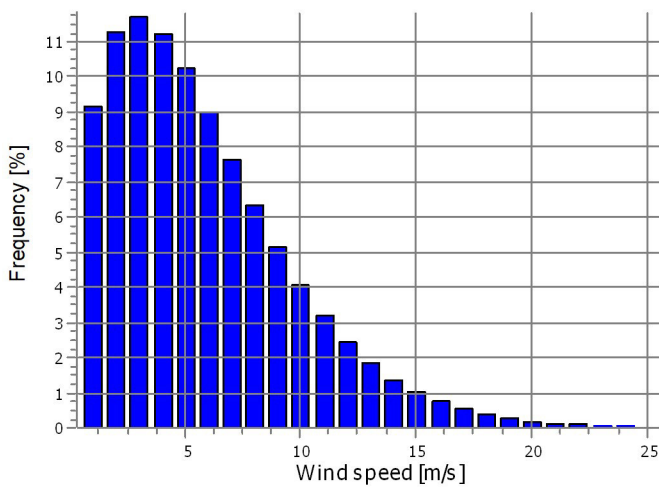
Meteo data

EMD-WRF Europe+ (ERA5) [SAMPLE]_N40.366035_E016.313202 (3)

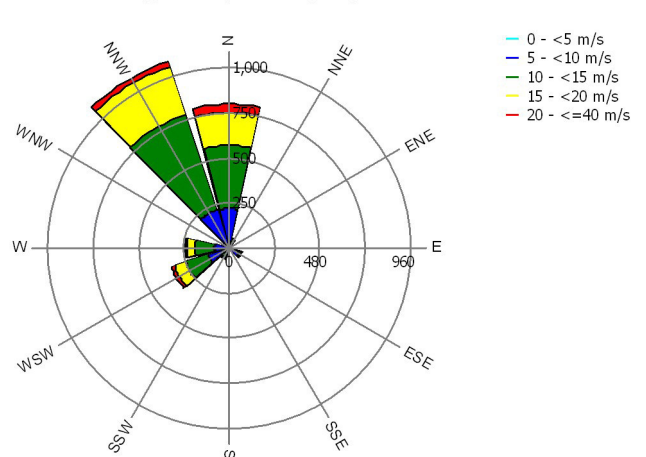
Weibull Data

Sector	A- parameter [m/s]	Wind speed [m/s]	k- parameter [m/s]	Frequency [%]	Wind gradient exponent
0 N	8.14	7.22	1.897	19.9	0.073
1 NNE	4.27	3.84	1.552	6.9	0.027
2 ENE	2.89	2.64	1.373	4.7	0.038
3 E	3.35	3.00	1.609	3.8	0.072
4 ESE	5.35	4.74	2.080	7.2	0.042
5 SSE	3.04	2.80	1.326	2.8	0.108
6 S	2.95	2.72	1.312	3.8	0.220
7 SSW	3.57	3.34	1.231	8.4	0.167
8 WSW	6.09	5.49	1.514	14.3	0.157
9 W	7.68	6.82	1.893	7.3	0.180
10 WNW	2.95	2.84	1.109	3.2	0.167
11 NNW	10.30	9.15	2.634	17.7	0.188
All	6.34	5.74	1.465	100.0	

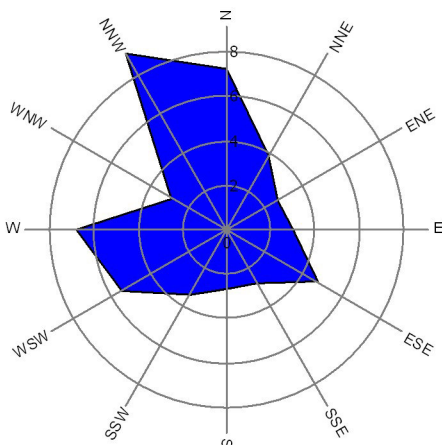
Weibull Distribution



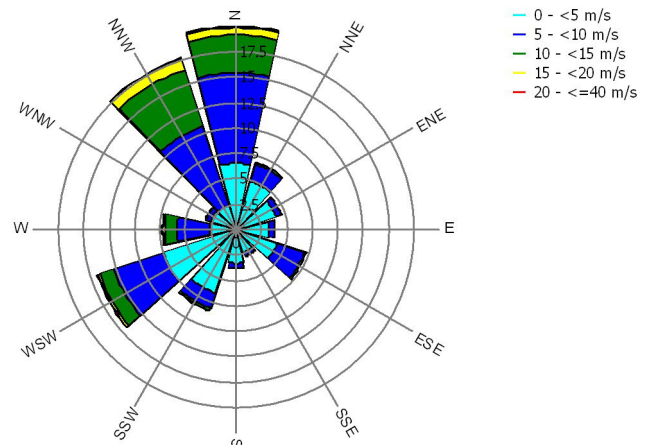
Energy Rose (kWh/m²/year)



Mean wind speed (m/s)



Frequency (%)



PARK - Wind Data Analysis

Wind data: I - EMD-WRF Europe+ (ERA5) [SAMPLE]_N40.366035_E016.313202 (3); Hub height: 115.0

Site coordinates

Geo WGS84

East: 16.313202° E North: 40.366035° N

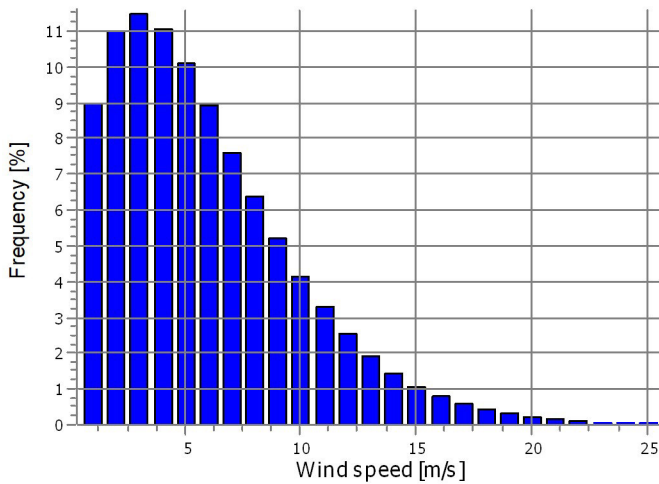
Meteo data

EMD-WRF Europe+ (ERA5) [SAMPLE]_N40.366035_E016.313202 (3)

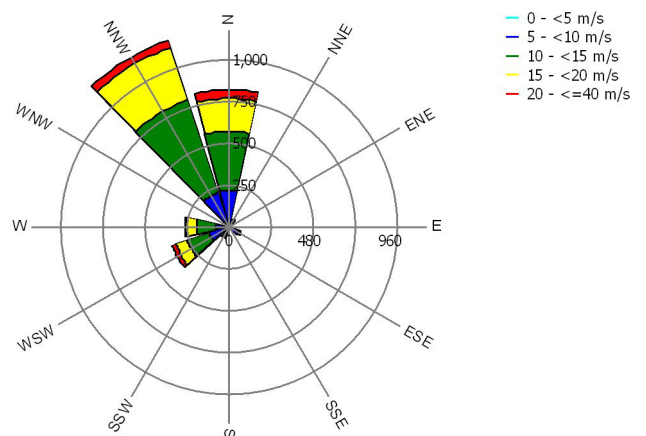
Weibull Data

Sector	A- parameter [m/s]	Wind speed [m/s]	k- parameter	Frequency [%]	Wind gradient exponent
0 N	8.22	7.30	1.897	19.9	0.073
1 NNE	4.28	3.85	1.552	6.9	0.027
2 ENE	2.91	2.66	1.373	4.7	0.038
3 E	3.38	3.03	1.609	3.8	0.072
4 ESE	5.38	4.76	2.080	7.2	0.042
5 SSE	3.09	2.84	1.326	2.8	0.108
6 S	3.04	2.80	1.312	3.8	0.220
7 SSW	3.66	3.42	1.231	8.4	0.167
8 WSW	6.22	5.61	1.514	14.3	0.157
9 W	7.88	6.99	1.893	7.3	0.180
10 WNW	3.02	2.91	1.109	3.2	0.167
11 NNW	10.57	9.39	2.634	17.7	0.188
All	6.45	5.85	1.461	100.0	

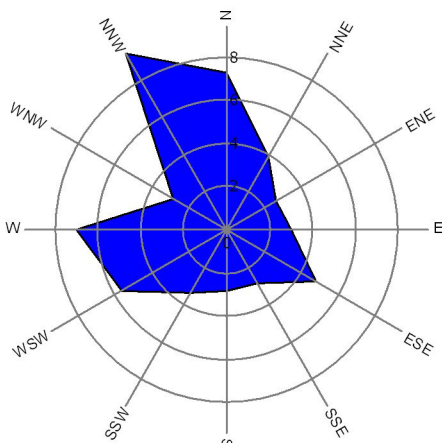
Weibull Distribution



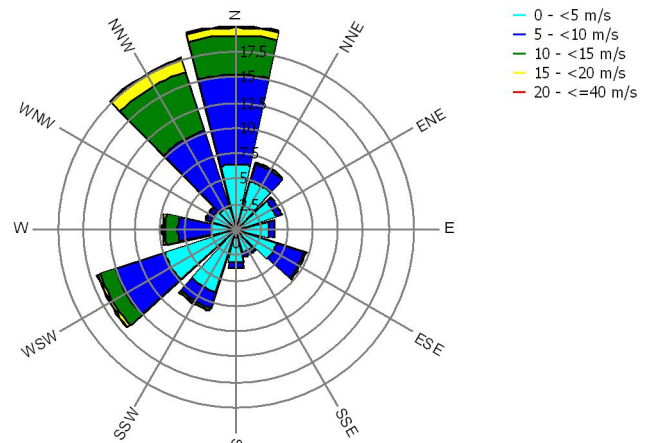
Energy Rose (kWh/m²/year)



Mean wind speed (m/s)



Frequency (%)



PARK - Wind Data Analysis

Wind data: I - EMD-WRF Europe+ (ERA5) [SAMPLE]_N40.366035_E016.313202 (3); Hub height: 50.0

Site coordinates

Geo WGS84
East: 16.313202° E North: 40.366035° N

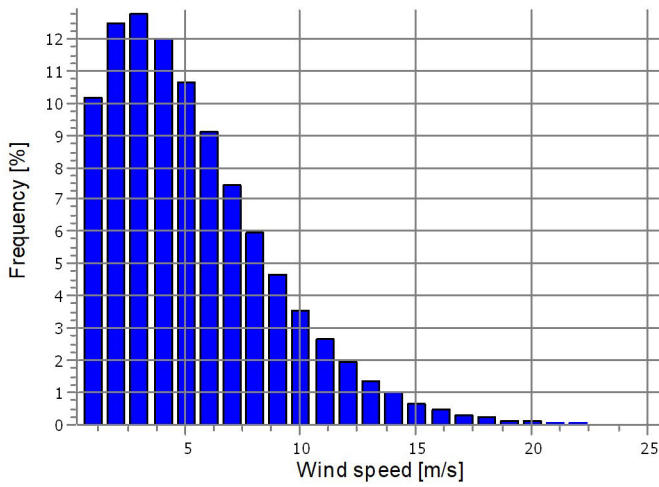
Meteo data

EMD-WRF Europe+ (ERA5) [SAMPLE]_N40.366035_E016.313202 (3)

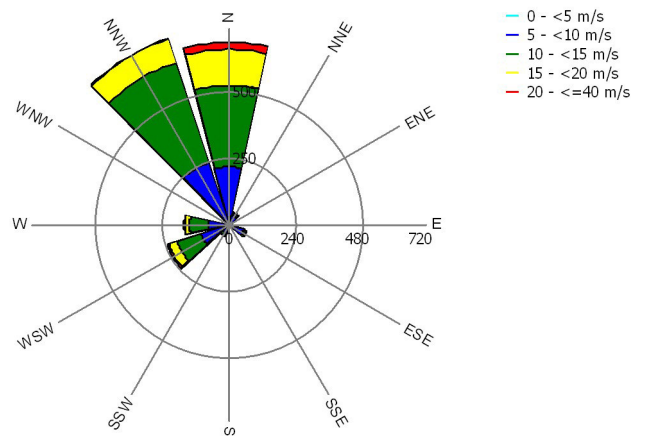
Weibull Data

Sector	A- parameter [m/s]	Wind speed [m/s]	k- parameter [m/s]	Frequency [%]	Wind gradient exponent
0 N	7.74	6.86	1.897	19.9	0.073
1 NNE	4.19	3.77	1.552	6.9	0.027
2 ENE	2.82	2.58	1.373	4.7	0.038
3 E	3.19	2.86	1.609	3.8	0.072
4 ESE	5.19	4.60	2.080	7.2	0.042
5 SSE	2.82	2.60	1.326	2.8	0.108
6 S	2.53	2.33	1.312	3.8	0.220
7 SSW	3.18	2.97	1.231	8.4	0.167
8 WSW	5.46	4.92	1.514	14.3	0.157
9 W	6.78	6.02	1.893	7.3	0.180
10 WNW	2.63	2.53	1.109	3.2	0.167
11 NNW	9.04	8.03	2.634	17.7	0.188
All	5.80	5.25	1.482	100.0	

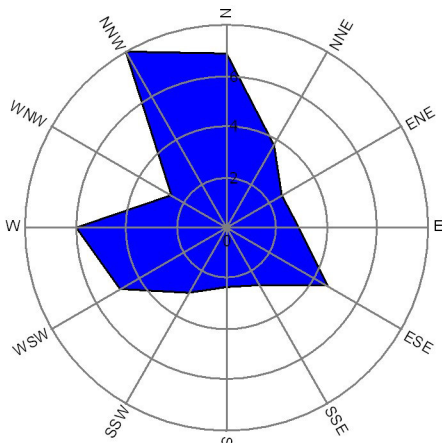
Weibull Distribution



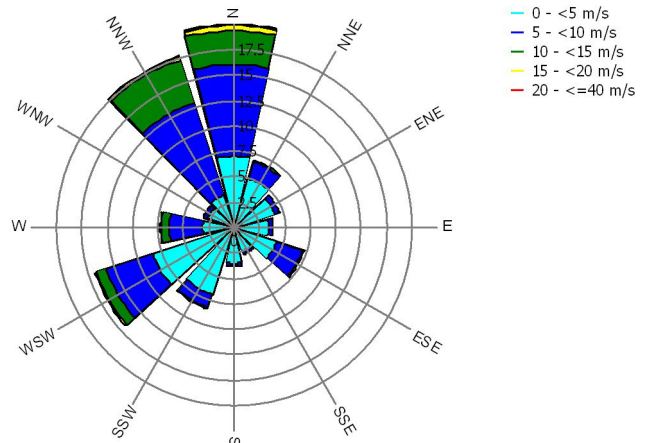
Energy Rose (kWh/m²/year)



Mean wind speed (m/s)



Frequency (%)



PARK - Park power curve

Wind speed [m/s]	Power													
	Free WTGs [kW]	Park WTGs [kW]	N [kW]	NNE [kW]	ENE [kW]	E [kW]	ESE [kW]	SSE [kW]	S [kW]	SSW [kW]	WSW [kW]	W [kW]	WNW [kW]	NNW [kW]
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	1,343	1,251	1,187	1,216	1,311	1,320	1,242	1,265	1,186	1,215	1,311	1,320	1,242	1,265
4.5	3,948	3,728	3,581	3,639	3,870	3,891	3,704	3,754	3,577	3,641	3,870	3,891	3,703	3,754
5.5	7,914	7,527	7,271	7,370	7,775	7,814	7,487	7,573	7,267	7,373	7,776	7,814	7,487	7,573
6.5	13,496	12,853	12,432	12,590	13,263	13,329	12,789	12,931	12,421	12,597	13,263	13,328	12,788	12,932
7.5	21,022	20,040	19,395	19,641	20,663	20,769	19,946	20,161	19,378	19,649	20,664	20,768	19,945	20,162
8.5	30,347	29,078	28,217	28,569	29,897	30,027	28,950	29,248	28,206	28,572	29,898	30,026	28,948	29,249
9.5	39,763	38,604	37,747	38,157	39,384	39,483	38,476	38,796	37,766	38,149	39,383	39,483	38,475	38,796
10.5	46,840	46,175	45,633	45,933	46,645	46,685	46,095	46,311	45,672	45,923	46,642	46,687	46,096	46,310
11.5	50,662	50,419	50,210	50,334	50,595	50,604	50,386	50,475	50,234	50,333	50,594	50,606	50,388	50,474
12.5	52,181	52,115	52,059	52,091	52,162	52,163	52,105	52,131	52,063	52,092	52,162	52,165	52,106	52,129
13.5	52,650	52,635	52,623	52,630	52,645	52,645	52,633	52,639	52,623	52,630	52,645	52,646	52,633	52,638
14.5	52,770	52,767	52,764	52,766	52,769	52,769	52,766	52,768	52,764	52,766	52,769	52,769	52,766	52,768
15.5	52,793	52,792	52,792	52,792	52,792	52,793	52,792	52,792	52,792	52,792	52,792	52,793	52,792	52,792
16.5	52,800	52,800	52,800	52,800	52,800	52,800	52,800	52,800	52,800	52,800	52,800	52,800	52,800	52,800
17.5	52,800	52,800	52,800	52,800	52,800	52,800	52,800	52,800	52,800	52,800	52,800	52,800	52,800	52,800
18.5	51,744	51,799	51,839	51,820	51,763	51,758	51,804	51,790	51,839	51,820	51,763	51,758	51,804	51,790
19.5	49,632	49,679	49,713	49,698	49,648	49,644	49,684	49,672	49,713	49,698	49,648	49,644	49,684	49,672
20.5	47,520	47,561	47,590	47,577	47,534	47,530	47,565	47,554	47,590	47,577	47,534	47,530	47,565	47,554
21.5	45,408	45,444	45,470	45,458	45,420	45,417	45,448	45,438	45,470	45,458	45,420	45,417	45,448	45,438
22.5	43,296	43,327	43,350	43,340	43,307	43,304	43,331	43,323	43,350	43,340	43,307	43,304	43,331	43,323
23.5	42,240	42,240	42,240	42,240	42,240	42,240	42,240	42,240	42,240	42,240	42,240	42,240	42,240	42,240
24.5	42,240	42,240	42,240	42,240	42,240	42,240	42,240	42,240	42,240	42,240	42,240	42,240	42,240	42,240
25.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Description:

The park power curve is similar to a WTG power curve, meaning that when a given wind speed appears in front of the park with same speed in the entire wind farm area (before influence from the park), the output from the park can be found in the park power curve. Another way to say this: The park power curve includes wake losses, but do NOT include terrain given variations in the wind speed over the park area.

Measuring a park power curve is not as simple as measuring a WTG power curve due to the fact that the park power curve depends on the wind direction and that the same wind speed normally will not appear for the entire park area at the same time (only in very flat non-complex terrain). The idea with this version of the park power curve is not to use it for validation based on measurements. This would require at least 2 measurement masts at two sides of the park, unless only a few direction sectors should be tested, AND non complex terrain (normally only useable off shore). Another park power curve version for complex terrain is available in windPRO.

The park power curve can be used for:

1. Forecast systems, based on more rough (approximated) wind data, the park power curve would be an efficient way to make the connection from wind speed (and direction) to power.
2. Construction of duration curves, telling how often a given power output will appear, the park power curve can be used together with the average wind distribution for the Wind farm area in hub height. The average wind distribution can eventually be obtained based on the Weibull parameters for each WTG position. These are found at print menu: >Result to file< in the >Park result< which can be saved to file or copied to clipboard and pasted in Excel.
3. Calculation of wind energy index based on the PARK production (see below).
4. Estimation of the expected PARK production for an existing wind farm based on wind measurements at minimum 2 measurement masts at two sides of wind farm. The masts must be used for obtaining the free wind speed. The free wind speed is used in the simulation of expected energy production with the PARK power curve. This procedure will only work suitable in non complex terrains. For complex terrain another park power curve calculation is available in windPRO (PPV-model).

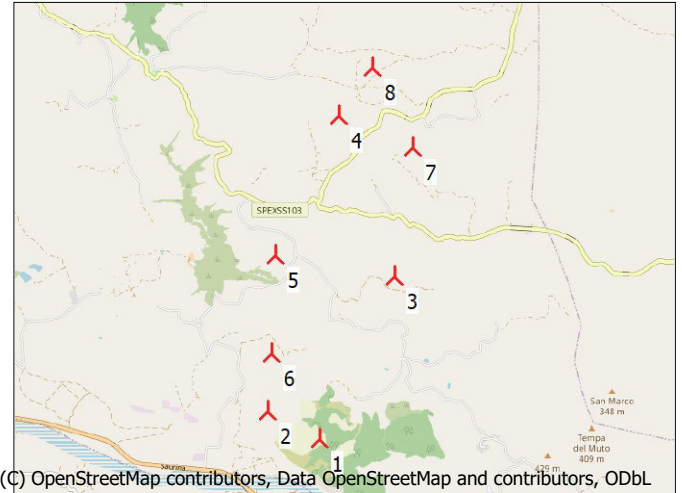
Note:

From the >Result to file< the >Wind Speeds Inside Wind farm< is also available. These can (e.g. via Excel) be used for extracting the wake induced reductions in measured wind speed.

PARK - WTG distances

WTG distances

	Z	Nearest WTG	Z	Horizontal distance	Distance in rotor diameters
	[m]		[m]	[m]	
1	262.1	2	283.1	987	5.8
2	283.1	6	263.6	954	5.6
3	394.2	5	451.9	1,993	11.7
4	295.9	8	254.6	968	5.7
5	451.9	6	263.6	1,609	9.5
6	263.6	2	283.1	954	5.6
7	282.4	4	295.9	1,336	7.9
8	254.6	4	295.9	968	5.7
Min	254.6		254.6	954	5.6
Max	451.9		451.9	1,993	11.7



New WTG

Scale 1:125,000

Project:

craco rev 2

Licensed user:

ProJetto Engineering s.r.l.

Via dei Mille, 5

IT-74024 Manduria

+39 0999574694

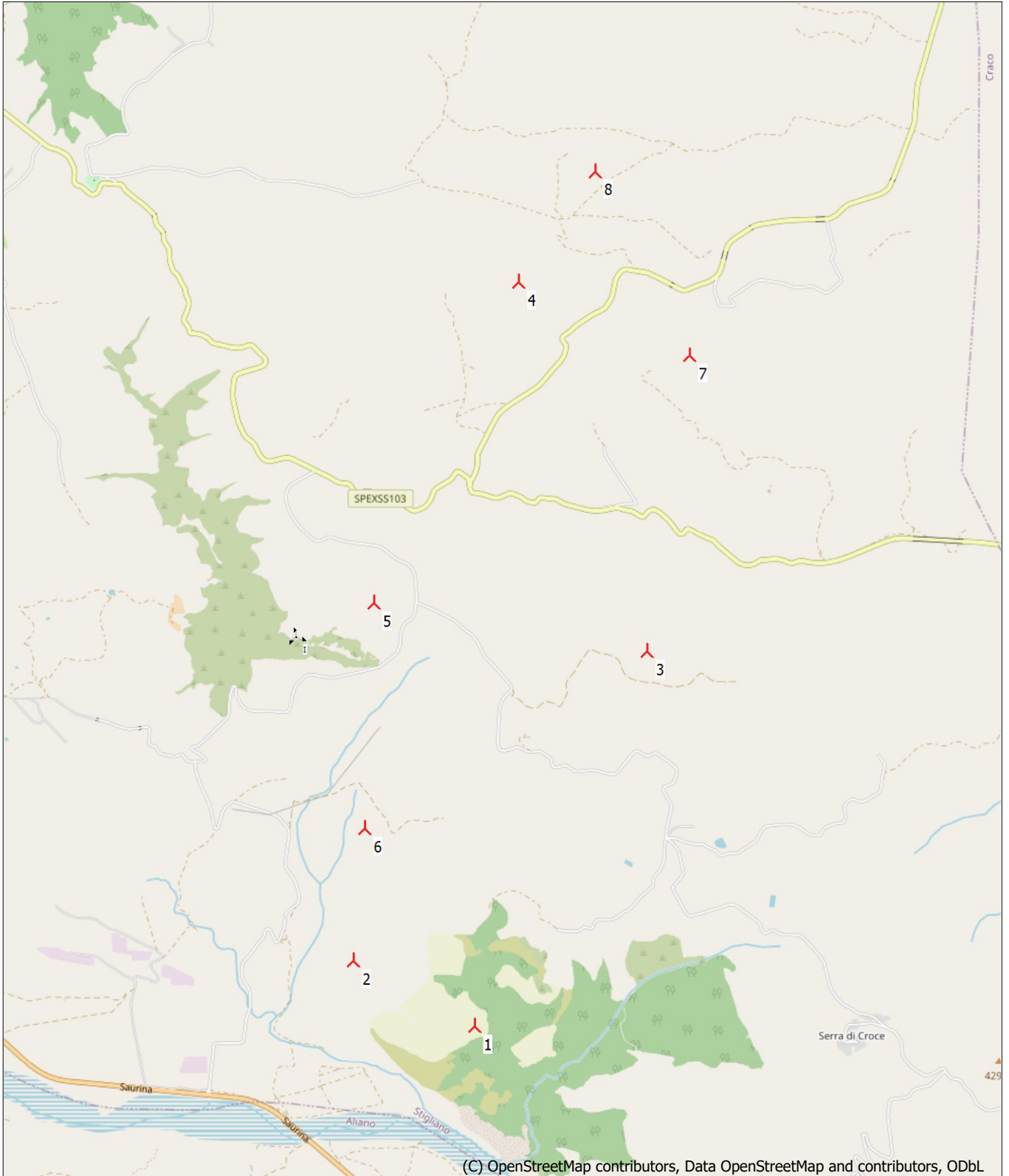
DICIANNOVE / studio@projetto.eu

Calculated:

28/09/2023 09:23/3.6.366

PARK - Wind statistics info

PARK - Map



0 500 1000 1500 2000 m

Map: EMD OpenStreetMap , Print scale 1:40,000, Map center Geo WGS84 East: 16.329826° E North: 40.368495° N

New WTG

Meteorological Data