

**STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA
MEZZINA dott. Ing. Antonio**
Via Tiberio Solis, 128 San Severo (FG)
PIVA 02037220718
+ 0882228072 / : 0882243651
✉: info@studiomezzina.net



PROGETTO:	Impianto eolico da realizzarsi in agro di Monteleone di Puglia, Sant'Agata di Puglia e Anzano di Puglia (FG) costituito da 19 aerogeneratori GE158 da 6,1 MW.
COMMITTENTE:	IVPC S.r.l. Sede legale : 80121 Napoli (NA) - Vico Santa Maria a Cappella Vecchia 11 Sede Operativa : 83100 Avellino - Via Circumvallazione 108 Indirizzo email ivpc@pec.ivpc.com

ANALISI ANEMOMETRICA E DI PRODUZIONE ENERGETICA.

**Comuni di Monteleone di Puglia,
Sant'Agata di Puglia e Anzano di Puglia (FG)
REGIONE PUGLIA**

Studio Ing. Elettrica Antonio Mezzina
Via Tiberio Solis, 128 – 71016 – San Severo (FG)



STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA
MEZZINA dott. Ing. Antonio
 Via Tiberio Solis, 128 San Severo (FG)
 PIVA 02037220718
 + 0882228072 / : 0882243651
 ✉: info@studiomezzina.net



OGGETTO E SCOPO.

Obiettivo principale dello studio anemologico eseguito è l'elaborazione dei dati del vento, forniti dal committente in formato .csv, ai fini di procedere allo studio di produzione energetica del progetto eolico, finalizzato in particolare ad effettuare:

- La valutazione della risorsa eolica disponibile in sito;
- Il calcolo della produzione energetica del progetto, e delle perdite tecniche generali.

DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO EOLICO.

La presente Relazione si riferisce al Progetto di Rifacimento e Potenziamento di un Parco Eolico esistente costituito da un gruppo di impianti ricadenti nei Comuni di Monteleone di Puglia, Sant'Agata di Puglia e Anzano di Puglia in provincia di Foggia, nella Regione Puglia, con opere di connessione che si sviluppano nei medesimi comuni. Gli impianti sono attualmente connessi alla rete mediante una sottostazione utente di trasformazione MT/AT situata nel comune di Anzano di Puglia.

L'impianto esistente da dismettere è di proprietà della società IVPC Srl ed è composto in totale da n. 82 aerogeneratori tripala con torre tralicciata, di cui n. 46 modello Vestas V42 e n. 36 modello Vestas V44, tutte di potenza nominale pari a 0,60 MW, per una potenza complessiva di 49,20 MW.

Il nuovo impianto, che sostituirà quello attualmente esistente, sarà costituito da n. 19 aerogeneratori tripala con torre tubolare, avente un diametro del rotore pari a 158 m, potenza nominale pari a 6,1 MW, per una potenza complessiva di 115,9 MW.

Nella seguente tabella sono riportate le coordinate geografiche degli aerogeneratori.

COMUNE	F.	P.LLA	COORD. WGS 84 UTM 33N		N°
			E	N	
MONTELEONE DI P.	26	472	521490	4554799	MTZ1
MONTELEONE DI P.	26	255	522049	4554320	MTZ2
MONTELEONE DI P.	27	463	522233	4553715	MTZ3
MONTELEONE DI P.	28	399	522564	4553027	MTZ4
MONTELEONE DI P.	30	189	522604	4552339	MTZ5
ANZANO DI P.	7	312	522788	4551675	MTZ6
ANZANO DI P.	2	652	523231	4551274	MTZ7
ANZANO DI P.	9	279	522848	4550878	MTZ8
SANT'AGATA DI P.	53	338	524883	4555346	MTZ9
SANT'AGATA DI P.	53	347	524612	4554635	MTZ10
SANT'AGATA DI P.	53	353	524530	4554051	MTZ11
SANT'AGATA DI P.	53	339	524110	4553628	MTZ12



STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA
MEZZINA dott. Ing. Antonio
 Via Tiberio Solis, 128 San Severo (FG)
 PIVA 02037220718
 + 0882228072 / : 0882243651
 ✉: info@studiomezzina.net



SANT'AGATA DI P.	51	287	525225	4553462	MTZ13
SANT'AGATA DI P.	51	128	525751	4553178	MTZ14
SANT'AGATA DI P.	68	5	525990	4552728	MTZ15
SANT'AGATA DI P.	68	619	526266	4552222	MTZ16
SANT'AGATA DI P.	68	609	526645	4551832	MTZ17
SANT'AGATA DI P.	68	613	527221	4551454	MTZ18
SANT'AGATA DI P.	70	1036	527296	4550847	MTZ19

Tabella 1 - coordinate geografiche degli aerogeneratori

Nella seguente figura è invece riportata una ortofoto della zona con indicazione della posizione dell'aerogeneratore e dell'anemometro.

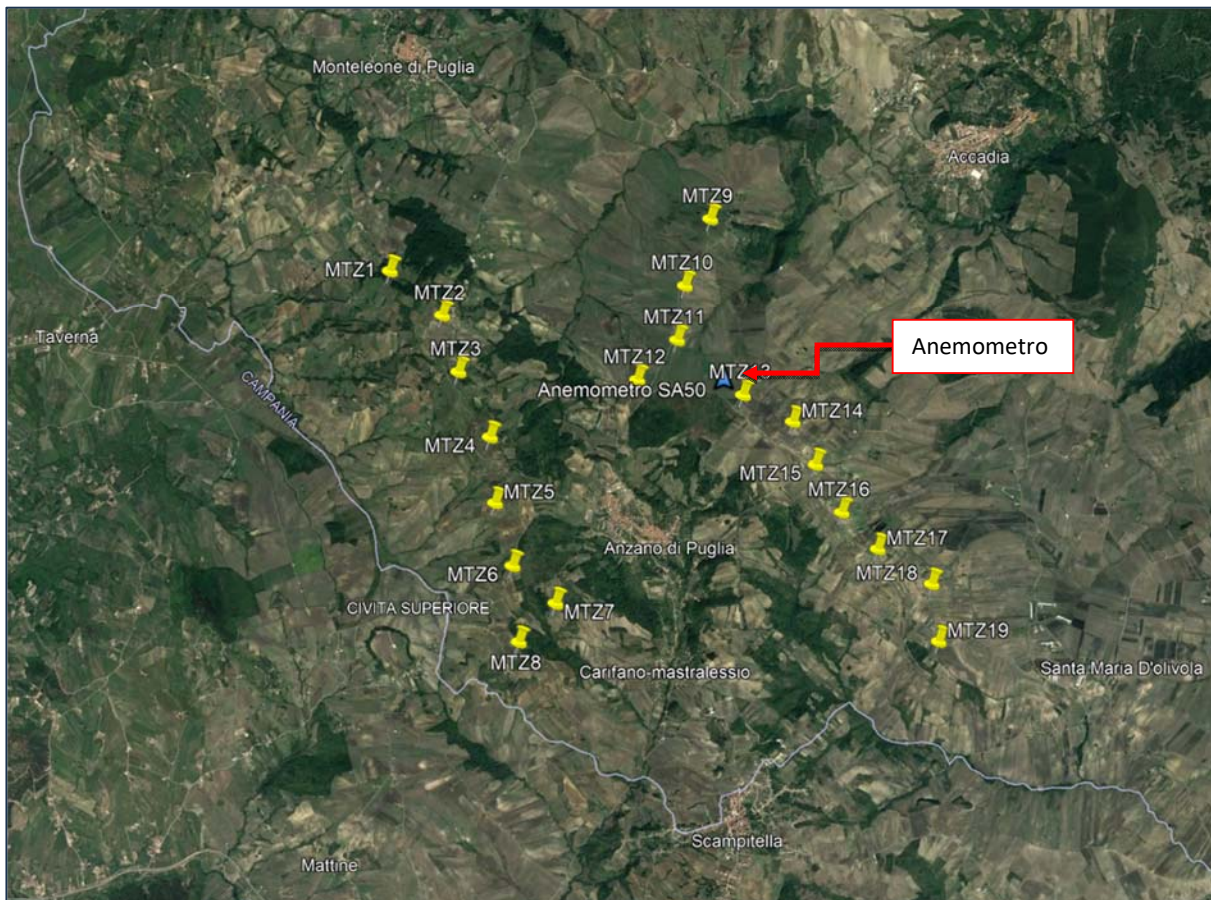


Figura 1 - Inquadramento Parco eolico



STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA
MEZZINA dott. Ing. Antonio
 Via Tiberio Solis, 128 San Severo (FG)
 PIVA 02037220718
 + 0882228072 / : 0882243651
 ✉: info@studiomezzina.net



DESCRIZIONE DELL'ANEMOMETRO.

Per lo scopo della presente relazione sono stati utilizzati i dati del vento registrati da una stazione meteorologica mast, denominata SAGATA50, avente le seguenti caratteristiche:

COORDINATE D'INSTALLAZIONE:	PERIODO DI RILEVAMENTO:	ALTITUDINE ANEMOMETRO:	ALTEZZA TORRE:	SENSORI WIND SPEED	SENSORI DIR	MEDIA DEL VENTO REGISTRATA A 50m[m/s]	MEDIA DEL VENTO REGISTRATA A 30m[m/s]
525065.00 m E 4553600.00 m N	DA 10/01/2017 A 31/12/2019	907m	50m	50m - 30m	50m - 30m	7,66	6,50

Tabella 2 - Caratteristiche stazione anemometrica

Tutti i dati rilevati dalla stazione meteorologica sono stati registrati direttamente sulla compact flash del data logger. La registrazione dei dati avveniva con bin di 10 minuti per ciascuno dei quali veniva registrato il valore massimo, minimo, medio e la deviazione standard. La registrazione è avvenuta nel periodo dal 10/01/2017 al 31/12/2019. Per questo complesso di dati è stata effettuata una analisi di validazione del dato al fine di rilevare eventuali dati non validi. L'analisi di validità è stata effettuata secondo i seguenti criteri;

1. confronto dei dati registrati dai diversi sensori alle diverse altezze in modo da verificare la congruenza del dato alle diverse altezze secondo il profilo logaritmico dato approssimativamente dalla seguente relazione:

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^\alpha$$

2. eliminazione di dati palesemente non realistici, quali velocità negative o superiori a 60 m/s, angoli negativi o superiori a 360°;
3. dati di velocità o direzione che varino meno di 0.1 m/s o 0.1° per oltre 24 intervalli temporali, corrispondenti al tempo di 4 ore, a testimonianza del bloccaggio del canale
4. valori mancanti o non numerici dovuti a cattiva registrazione del dato dal data logger;
5. etc. etc.

E' risultata una percentuale complessiva di dati validi pari al 98%.



STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA
MEZZINA dott. Ing. Antonio
Via Tiberio Solis, 128 San Severo (FG)
PIVA 02037220718
+ 0882228072 / : 0882243651
✉: info@studiomezzina.net

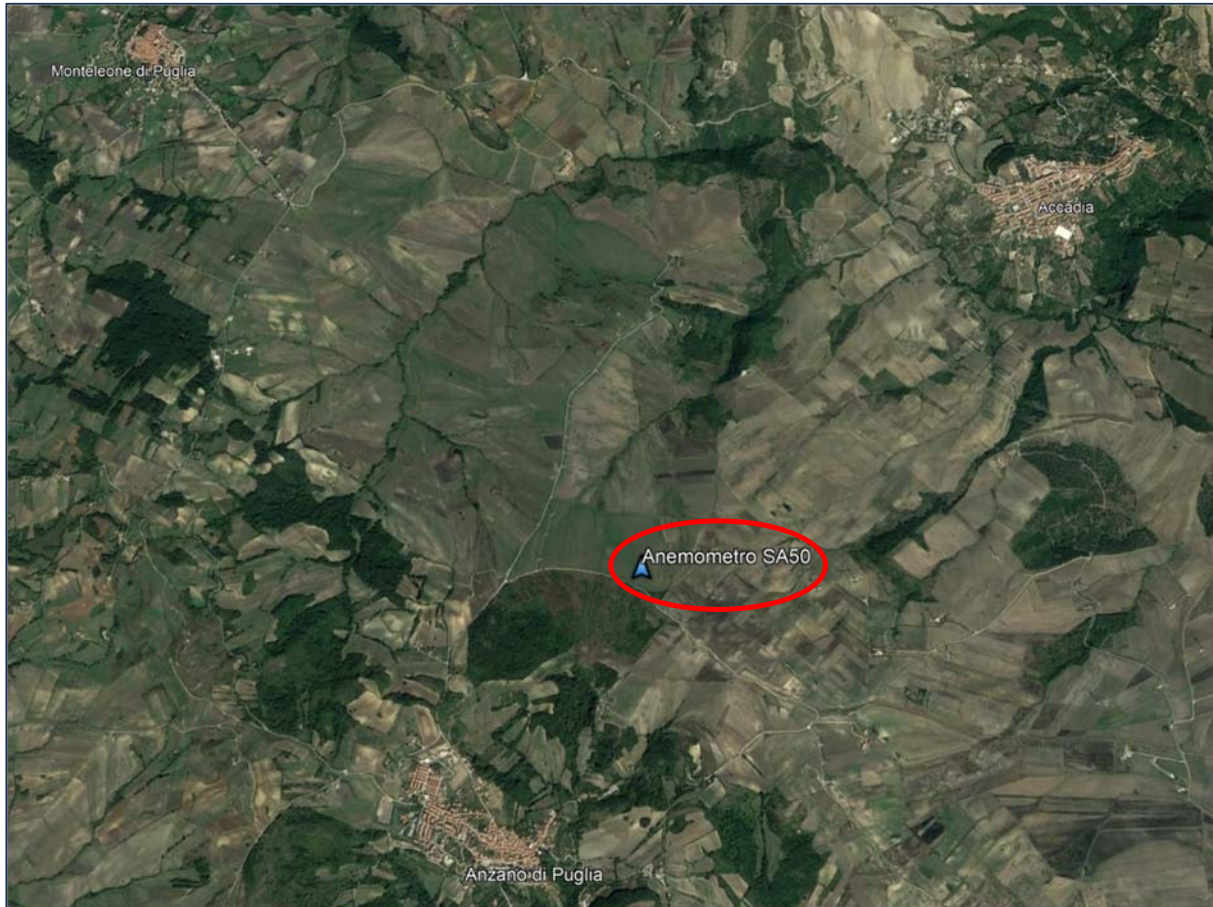
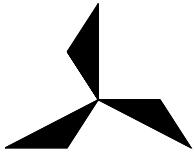


Figura 2 - Ubicazione anemometro SA50

Come dimostrato dall'inquadratura dell'area sull'atlante eolico di RICERCA SUL SISTEMA ENERGETICO – RSE S.P.A. (<https://atlanteeolico.rse-web.it/>), ad una prima analisi l'area in questione sembra godere di una ottima ventosità e si presta ad ospitare un impianto per lo sfruttamento dell'energia del vento.

In Figura 3 viene presentata la velocità media annua a 50 m s.l.t., come indicata nell'atlante eolico; la ventosità riportata è compatibile con i valori acquisiti dall'anemometro sopra dettagliato in quanto a soli 50 m s.l.t. per la zona di interesse vengono rilevati valori nel range **7 – 9 m/s**.



STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA
MEZZINA dott. Ing. Antonio
Via Tiberio Solis, 128 San Severo (FG)
PIVA 02037220718
+ 0882228072 / : 0882243651
✉: info@studiomezzina.net

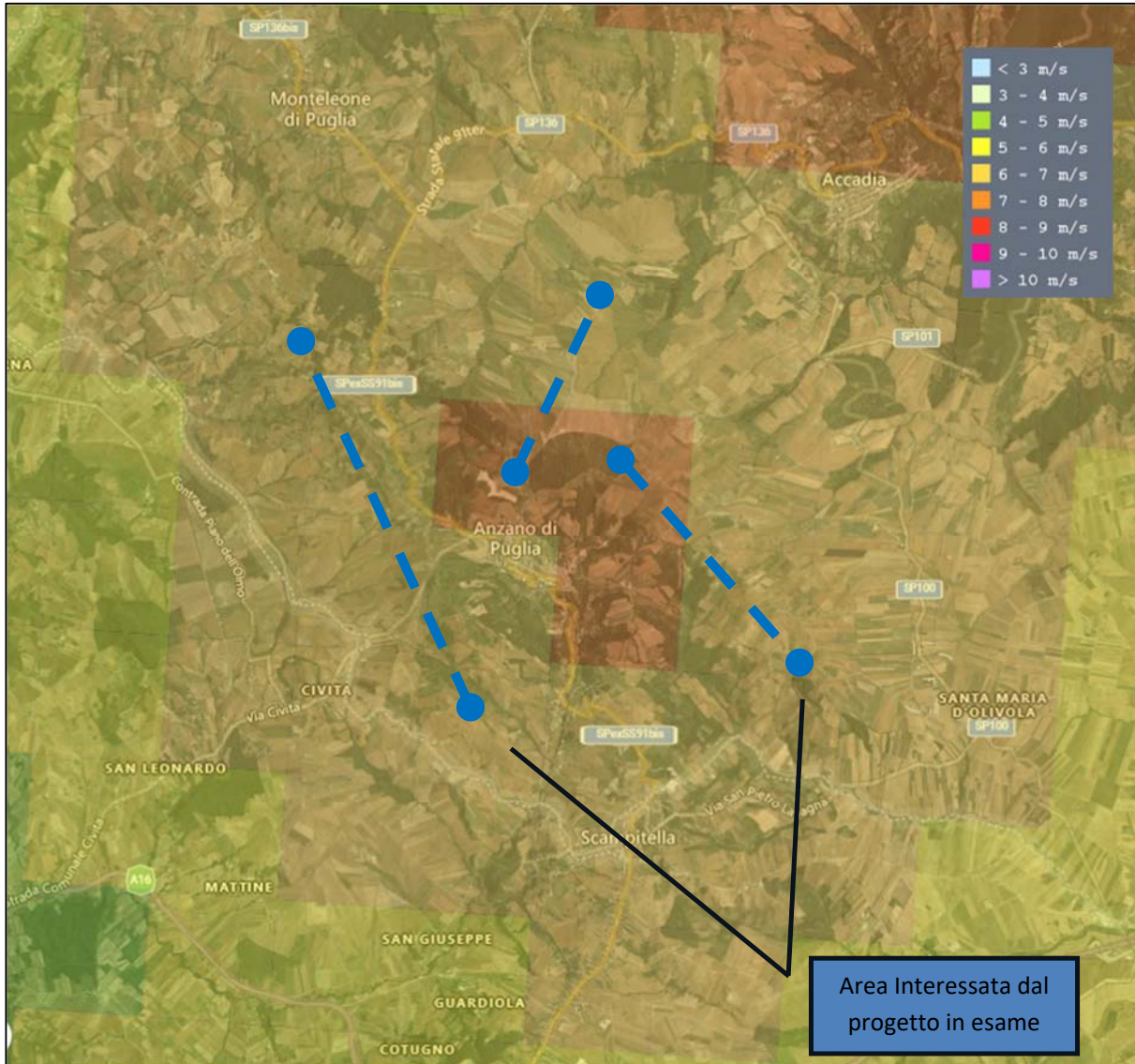


Figura 3 - Inquadramento sull'atlante eolico di RSE RICERCA

Nelle seguenti figure sono invece riportate la Wind Rose e il diagramma di Weibull estratti dai dati relativi all'intero periodo di rilevamento elaborando direttamente i dati anemometrici.



STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA
MEZZINA dott. Ing. Antonio
 Via Tiberio Solis, 128 San Severo (FG)
 PIVA 02037220718
 + 0882228072 / : 0882243651
 ✉: info@studiomezzina.net

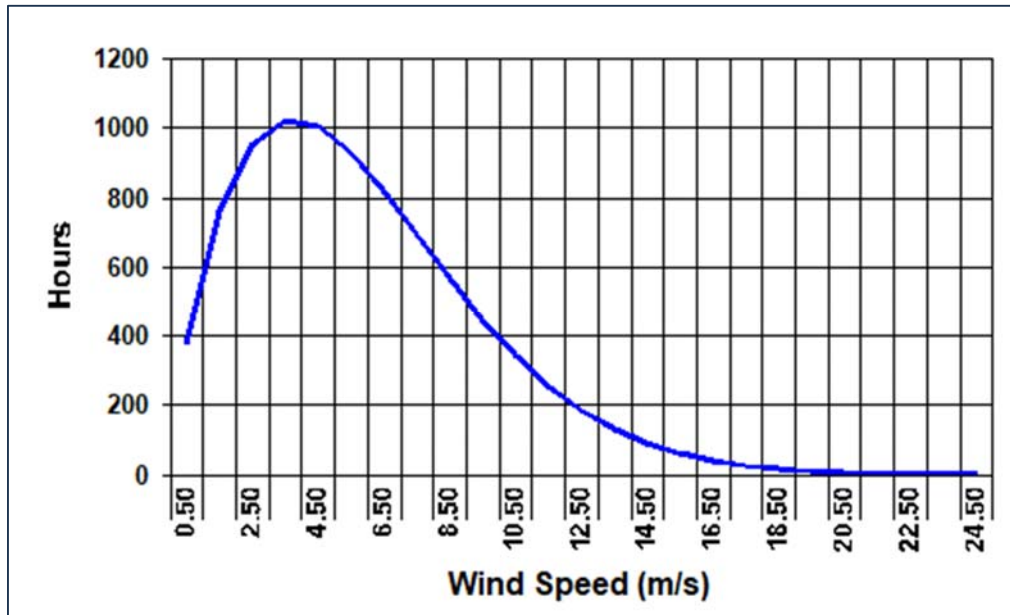


Figura 4 - Distribuzione di Weibull delle velocità del vento

Nella Fig. 5 è riportata invece la rosa dei venti dalla quale si nota che in termini di velocità media del vento sono predominanti i settori 1-2 NORD/NORD-EST e i settori 8-9 OVEST/SUD-OVEST

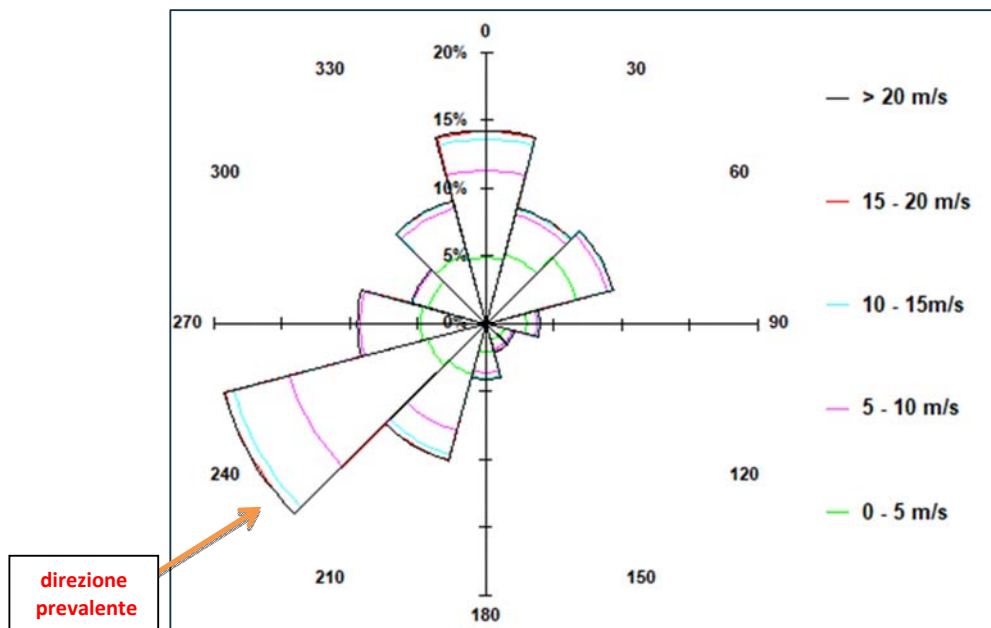


Figura 5 - Rosa dei venti



STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA
MEZZINA dott. Ing. Antonio
 Via Tiberio Solis, 128 San Severo (FG)
 PIVA 02037220718
 + 0882228072 / : 0882243651
 ✉: info@studiomezzina.net



CARATTERISTICHE DELL'AEROGENERATORE.

L'aerogeneratore previsto nel progetto è costituito da una macchina ad asse orizzontale in cui il sostegno (torre tubolare) porta alla sua sommità la navicella, costituita da un basamento e da un involucro esterno. All'interno di essa sono contenuti l'albero di trasmissione lento, il moltiplicatore di giri, l'albero veloce, il generatore elettrico ed i dispositivi ausiliari. All'esterno della navicella, all'estremità dell'albero lento è montato il rotore, costituito da un mozzo di acciaio, su cui sono montate le tre pale in vetroresina.

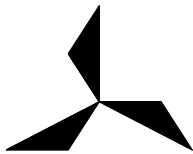
La versione prevista ha le seguenti caratteristiche:

SPECIFICHE DELL'AEROGENERATORE	
MARCA	GE Renewable Energy
TIPO	GE 158
POTENZA NOMINALE	6100 kW
NUMERO DI PALE	3
DIAMETRO DEL ROTORE	158m
ALTEZZA DI MOZZO	101m
ALTEZZA TOTALE MASSIMA	180m
POWER REGULATION	PITCH
SWEPT AREA	19606,68m ²
SPEED	VARIABLE
CUTN IN WIND SPEED	3m/s
CUT OUT WIND SPEED	25m/s

Tabella 3

POWER CURVE - air density 1,225kg/m³					
POINT	WIND SPEED (m/s)	POWER (kW)	POINT	WIND SPEED (m/s)	POWER (kW)
1	0	0	14	13	6100
2	1	0	15	14	6100
3	2	0	16	15	6100
4	3	91	17	16	6100
5	4	319	18	17	6100
6	5	672	19	18	6031
7	6	1190	20	19	5847
8	7	1905	21	20	5577
9	8	2842	22	21	5184
10	9	3865	23	22	4686
11	10	4804	24	23	4081
12	11	5568	25	24	3617
13	12	6024	26	25	3391

Tabella 4



STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA
MEZZINA dott. Ing. Antonio
Via Tiberio Solis, 128 San Severo (FG)
PIVA 02037220718
+ 0882228072 / : 0882243651
✉: info@studiomezzina.net

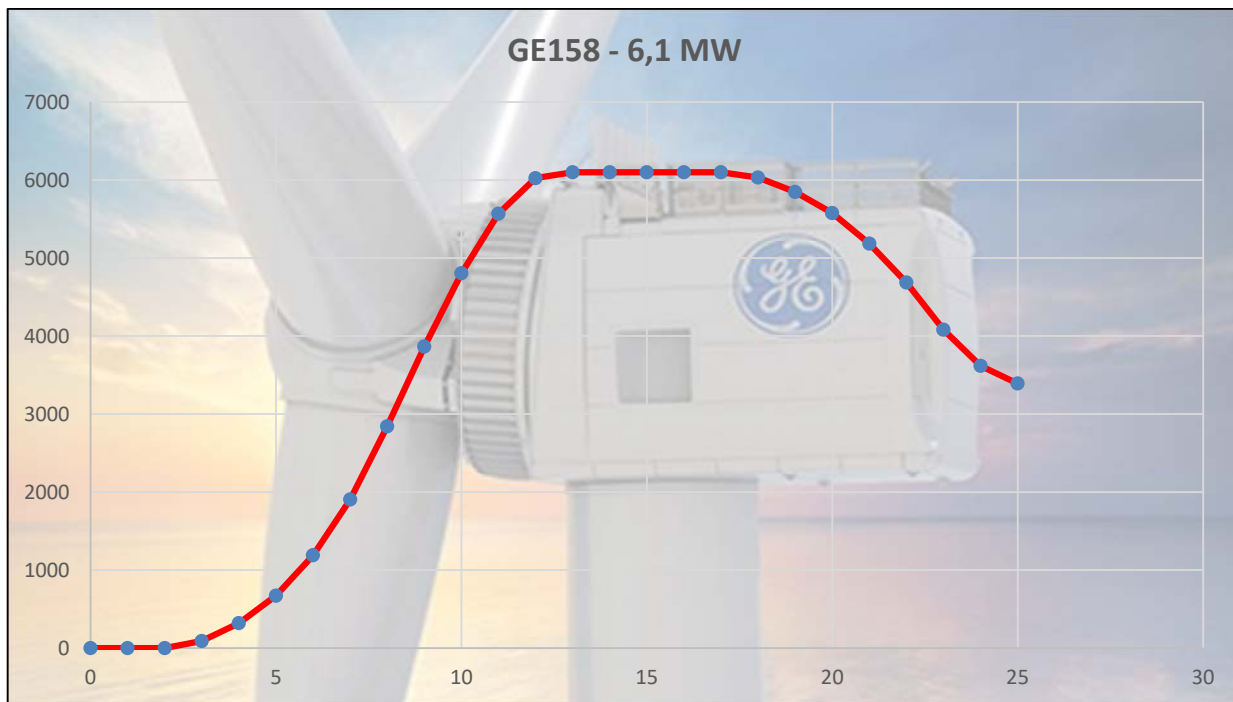


Figura 6 - Grafico curva di potenza dell'aerogeneratore

METODOLOGIA DI ANALISI – BANCA DATI ANEMOMETRICA

Il calcolo della producibilità dell'impianto eolico è stato effettuato con l'ausilio di un software specifico: WINDFARM della ReSoft Ltd.

I dati di ingresso dell'analisi di producibilità dell'impianto sono:

1. mappa tridimensionale dell'orografia del terreno mediante curve di livello;
2. mappa di rugosità del terreno;
3. dati del vento sotto forma di valore medio con bin di 10 minuti;
4. curva di potenza dell'aerogeneratore riferita ad una data densità dell'aria;
5. curva del coefficiente di trust dell'aerogeneratore;
6. dati climatici medi del sito quali la temperatura e la densità dell'aria;
7. l'altitudine media del sito;

I dati del vento sono stati inseriti nel software in formato TXT, mediante trasformazione dal formato .ndf reso disponibile direttamente dal data logger della stazione meteorologica.



STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA
MEZZINA dott. Ing. Antonio
 Via Tiberio Solis, 128 San Severo (FG)
 PIVA 02037220718
 + 0882228072 / : 0882243651
 ✉: info@studiomezzina.net



ELABORAZIONE DATI CON WINDFARM

Nel grafico di Figura 7 è riportato il diagramma di Weibull della distribuzione del vento, dal quale si nota la regolarità e tipicità dello stesso; le maggiori frequenze di vento si riscontrano tra 3.00 e 6.50 m/s. Non trascurabili sono le frequenze >8,5 m/s.

E' inoltre rappresentato il fitting dei dati sperimentali con distribuzione di Weibull.

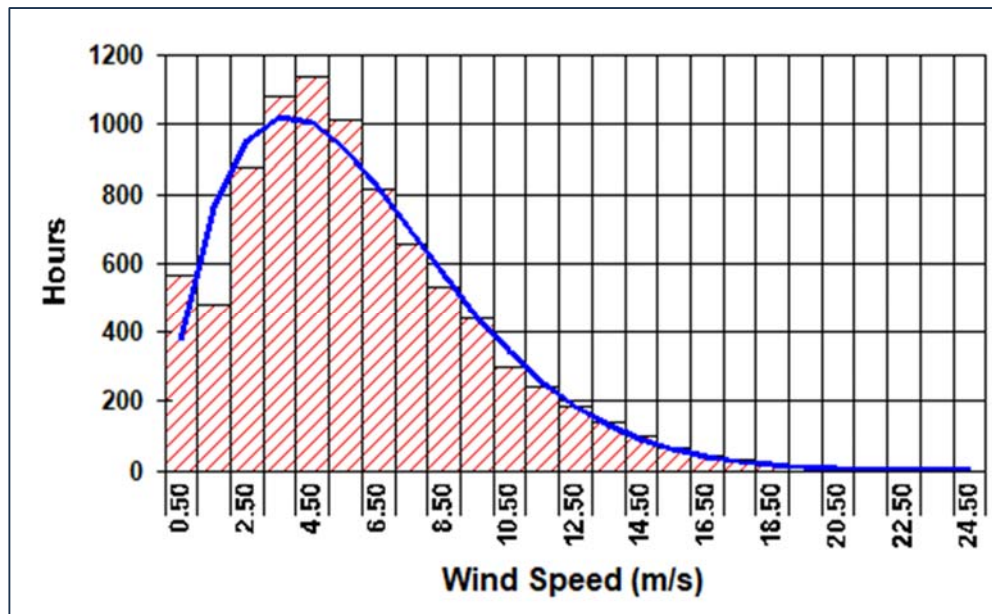
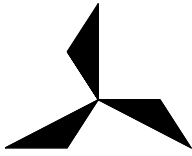


Figura 7 - Distribuzione di Weibull delle velocità del vento

Nella seguente Figura 8 è invece riportato il diagramma tridimensionale della distribuzione della velocità media nella zona del sito. Da questa figura si evince la predominanza delle velocità comprese tra 6,00e 9,00 m/s all'altezza di mozzo degli aerogeneratori pari a 101m.



STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA
MEZZINA dott. Ing. Antonio
Via Tiberio Solis, 128 San Severo (FG)
PIVA 02037220718
+ 0882228072 / : 0882243651
✉: info@studiomezzina.net

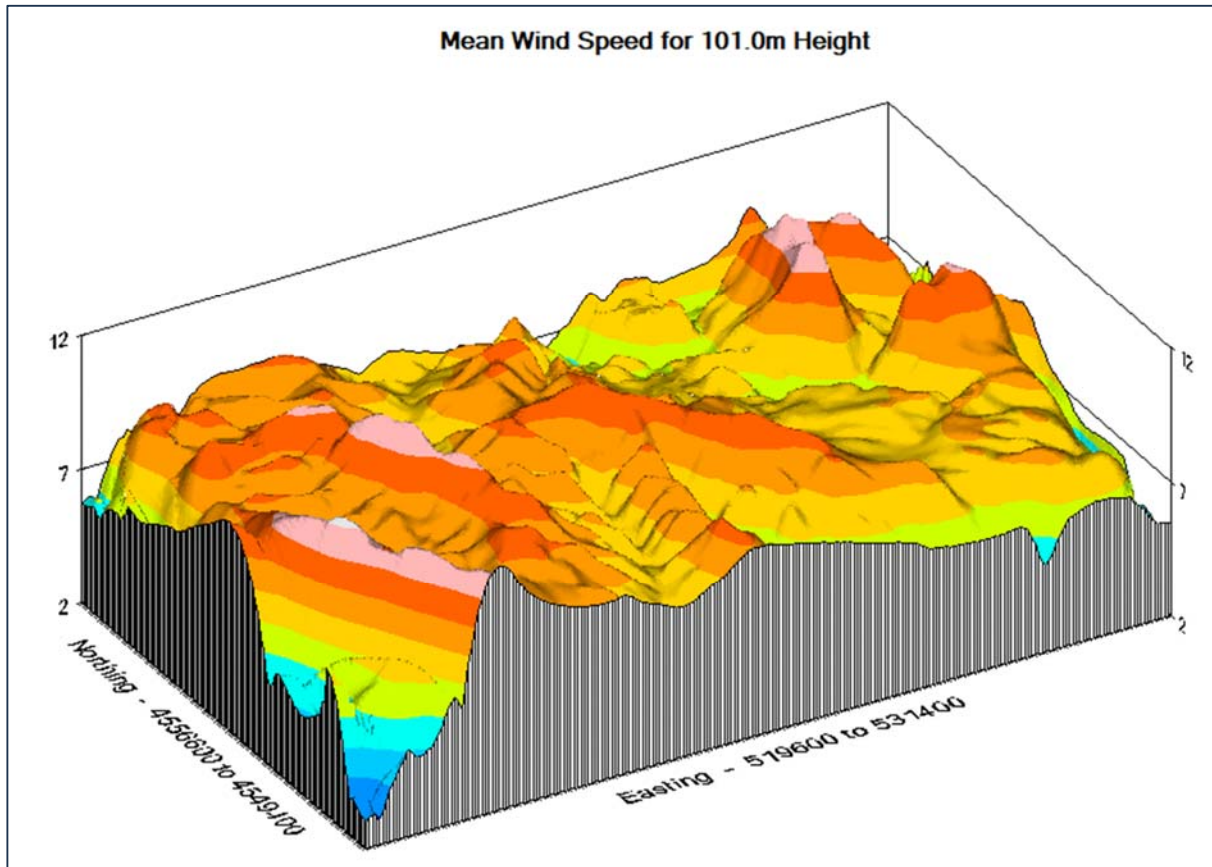


Figura 8 - Distribuzione della velocità media del vento nel sito preso in esame

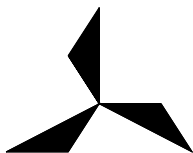
PRODUZIONE ENERGETICA (ENERGY YIELD)

La seguente analisi di producibilità dell'impianto eolico della I.V.P.C. S.r.l. è stata effettuata considerando l'aerogeneratore GE 158 descritto nel paragrafo precedente.

Le principali caratteristiche utilizzate per il sito sono:

1. Temperatura media del sito: 10,4°C
(valore determinato come media dei valori rilevati ogni 10 minuti dalla stazione anemologica);
2. Altitudine media del sito: 800m
(il software Windfarm considera comunque l'orografia reale del terreno)

Nella seguente tabella è riportata la produzione dell'intero parco nei diversi settori:



STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA
MEZZINA dott. Ing. Antonio
Via Tiberio Solis, 128 San Severo (FG)
PIVA 02037220718
+ 0882228072 / : 0882243651
✉: info@studiomezzina.net



Project:		Mont.Anz.Aga. (Monteleone di Puglia, Sant'Agata di Puglia, Anzano di Puglia)	
TOTAL ENERGY YIELD			
WIND DIRECTION	BASE YIELD GWh	WAKE LOSSES EFFECTS %	TOTAL YIELD GWh
0	65,4735	-5,62	55,4456
30	28,4259	-4,15	24,7239
60	37,8505	-2,44	36,7332
90	13,0838	-2,10	13,1806
120	6,8983	-5,89	6,5975
150	7,8782	-9,00	6,7880
180	15,5115	-5,62	13,2211
210	58,1670	-2,60	54,5040
240	138,5644	-1,64	135,4179
270	46,1535	-3,29	47,7331
300	13,1443	-10,41	12,3593
330	30,2078	-12,64	24,2826
TOTAL	461,35	-3,95	430,98

Tabella 5

Qui di seguito viene riportata la produzione stimata a P50 per ogni singolo aerogeneratore.

DETAIL WTG		
ID TURBINE	BASE YIELD	TOTAL
	GWh	YIELD
1	24,2820	25,0533
2	24,2820	23,5053
3	24,2820	25,1576
4	24,2820	25,1237
5	24,2820	21,4149
6	24,2820	22,0703
7	24,2820	19,3850
8	24,2820	23,2529
9	24,2820	23,0759
10	24,2820	21,0466
11	24,2820	20,7196
12	24,2820	22,7461
13	24,2820	23,7714
14	24,2820	22,6369
15	24,2820	22,2858
16	24,2820	22,4369
17	24,2820	23,6913
18	24,2820	22,1704
19	24,2820	21,4430
	TOT. [GWh]	430,98

Tabella 6



STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA
MEZZINA dott. Ing. Antonio
 Via Tiberio Solis, 128 San Severo (FG)
 PIVA 02037220718
 + 0882228072 / : 0882243651
 ✉: info@studiomezzina.net



ANALISI DELLE INCERTEZZE

Per la produzione sopra calcolata, sono state successivamente considerate le incertezze mediante una analisi e determinazione delle stesse come qui ora si descrive.

La produzione sopra calcolata è relativa ad una probabilità che quella effettiva sia ad essa superiore pari al 50% (P50) (probabilità di superamento). Tale valore discende da quello del calcolo della produzione in cui si consideri la produzione netta comprensiva degli effetti di scia e degli effetti topografici, entrambi dipendenti dal layout dell'impianto e dall'orografia del terreno.

Per poter calcolare valori di produzione con probabilità di superamento più elevate (del 75% e del 90% - P75 e P90) è necessario fare una stima delle incertezze e valutare il coefficiente di riduzione da applicare. Va osservato che tutte le fonti di incertezza sulla misura del vento avranno un impatto amplificato sulla produzione attesa dall'aerogeneratore; per questo motivo è stato valutato un coefficiente correttivo per poter tradurre le incertezze sulla misura del vento in termini di produzione attesa.

La base dati disponibile ha mostrato come la ventosità possa essere variabile da un anno all'altro, ma che valutazioni medie fatte su acquisizioni di lungo periodo permettano valutazioni con minori incertezze. Pertanto si possono differenziare gli effetti della variazione annuale del vento nel calcolo della producibilità calcolata su base annuale o decennale; la producibilità annuale comporta una maggiore incertezza.

Di seguito si elencano le fonti di incertezza valutate.

Incertezza	Descrizione	Valore su periodo di 1 anno	Valore su periodo di 10 anni
s ₁	Misura del vento	8%	8%
s ₂	Profilo del vento	7%	7%
s ₃	Variazione annuale del vento	10%	4%
s ₄	Incertezza sulla curva di potenza	5%	5%
s ₅	Incertezza sulla valutazione delle perdite	4%	4%
s_t	Incertezza totale	16%	13%

Tabella 7 - Valutazione delle incertezze

Essendo l'incertezza totale calcolata con la seguente relazione:

$$s_t = \sqrt{s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 + s_4^2 + s_5^2}$$

L'incertezza globale pertanto risulta pari al 16% su base annuale ed al 13% su base decennale.



STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA
MEZZINA dott. Ing. Antonio
 Via Tiberio Solis, 128 San Severo (FG)
 PIVA 02037220718
 + 0882228072 / : 0882243651
 ✉: info@studiomezzina.net



Per ciascuna delle due incertezze totali è stato calcolato il seguente grafico che esprime la percentuale della produzione a P50 in funzione della probabilità di superamento. Il grafico corrisponde di fatto all'inverso della funzione gaussiana con esponente pari all'incertezza calcolata.

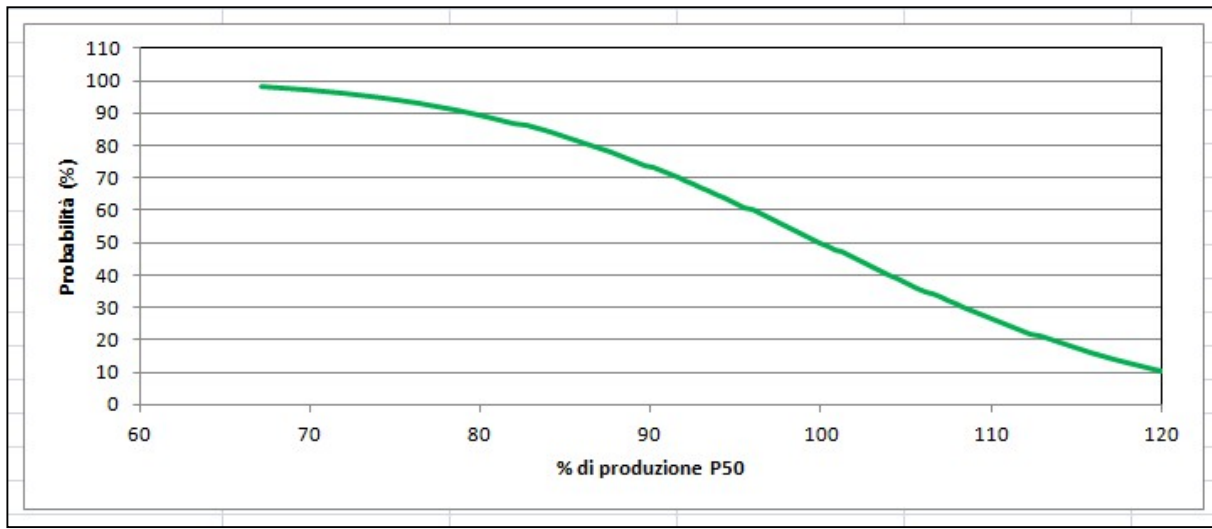


Figura 9 - Distribuzione di probabilità con incertezza del 16%

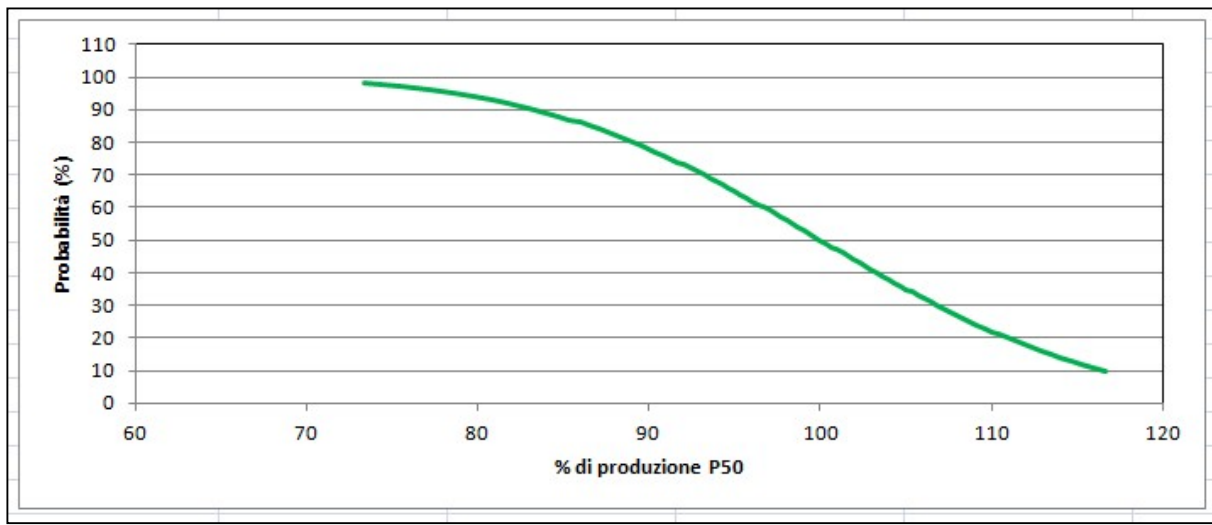


Figura 10 - Distribuzione di probabilità con incertezza del 13%

Da questi grafici si evincono le seguenti percentuali di riduzione per passare dalla probabilità di superamento del 50% alle probabilità del 75% e 90%:

	Incertezza del 16%	Incertezza del 13%
P50	100,0%	100,0%
P75	89,2%	91,2%



STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA
MEZZINA dott. Ing. Antonio
 Via Tiberio Solis, 128 San Severo (FG)
 PIVA 02037220718
 + 0882228072 / : 0882243651
 ✉: info@studiomezzina.net



P90	79,5%	83,3%
-----	-------	-------

Tabella 8 - Percentuali di riduzione in funzione delle diverse probabilità e incertezze

ANALISI DELLE PERDITE

Si riportano nella seguente tabella le perdite considerate nel modello di calcolo della producibilità del sito.

SORGENTE DELLA PERDITA	[%]
Disponibilità aerogeneratori	2,50%
Disponibilità BoP	0,50%
Disponibilità della rete	0,20%
Degradazione superficiale delle pale	0,80%
Perdite elettriche della rete MT e AT	3,00%
Perdite per fermo ghiaccio	0,50%
Altre perdite	0,50%
TOTALE	8,00%

Tabella 9 - Perdite dell'impianto

CALCOLO DELLA PRODUCIBILITA' NETTA

Avendo effettuato sopra la valutazione delle incertezze e delle perdite di sistema, si riporta nella seguente tabella la producibilità dell'impianto eolico al netto delle perdite e alle diverse probabilità di superamento.

	Su periodo di 1 anno			Su periodo di 10 anni		
	P50	P75	P90	P50	P75	P90
Lordo perdite	430,98	384,47	342,61	430,98	393,19	359,18
Netto perdite	430,98	384,47	342,61	430,98	393,19	359,18

Tabella 10 - Producibilità dell'impianto eolico in GWh

Il valore di riferimento per la produzione netta immessa in rete a P75 riferita ad un periodo statistico di 10 anni è quindi pari a **393,19** GWh/anno (3.392 ore di funzionamento).

San Severo, Agosto 2023

STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA

MEZZINA dott. Ing. Antonio

