



REGIONE
SICILIANA



COMUNE DI
ENNA



COMUNE DI
PIETRAPERZIA

REGIONE SICILIA
PROVINCIA DI ENNA
COMUNI DI ENNA E PIETRAPERZIA

PROGETTO:

*Impianto Eolico e delle relative opere di connessione denominato
"ENNA"*

Progetto Definitivo

PROPONENTE:



DEDRA s.r.l.
Via Umberto Giordano,
152 - 90144 Palermo (PA)
P.IVA 07146270827

ELABORATO:

Valutazione Produzione Attesa

PROGETTISTA:

BLC s.r.l.

Ing. Eugenio Bordonali

Ing. Gabriella Lo Cascio



Scala:

-

Tavola:

VPA

Data:

29 Dicembre 2023

Rev.

Data

Descrizione

00

29 Dicembre 2023

prima emissione

INDICE

PREMESSA	3
1. MATERIALE UTILI ALLA VALUTAZIONE.....	4
1.1 Dati di vento disponibili.....	5
1.2 Layout d'impianto	5
1.3 Aerogeneratore ipotizzato	6
1.4 Modello territoriale	7
2 TRATTAMENTO DEI DATI ANEMOMETRICI.....	8
3 MODELLO DI CALCOLO.....	8
3.1 Dati anemometrici in input al modello.....	8
4 VALUTAZIONE DELLA PRODUZIONE LORDA ATTESA	10
4.1 Produzione lorda attesa.....	10
4.2 Produzione attesa al netto delle perdite	11
5 CONCLUSIONI	12

PREMESSA

La Società Dedra S.r.l., intende costruire un parco eolico in una zona del comune di Enna (EN), nella Regione Sicilia, composto da n° 18 aerogeneratori con una potenza unitaria di 4,0 MW e una potenza massima di immissione di 72,0 MW e un'altezza di mozzo di 117m.

Il presente studio ha come scopo la definizione della stima di produzione attesa di lungo periodo del progetto.

L'attività è consistita anzitutto nell'esame dei dati disponibili di ventosità, da cui dedurre le eventuali incertezze da applicare alla stima, quindi nell'analisi, per poi nel valutare con appositi codici di calcolo la produzione attesa dell'impianto.

1. MATERIALE UTILI ALLA VALUTAZIONE

Il materiale disponibile ai fini della presente valutazione di produzione attesa si compone dei seguenti elementi:

- Serie di dati di vento satellitari ERA5 all'altezza di 100m;
- layout d'impianto composto da n°18 posizioni;
- modello di aerogeneratore di grande taglia con il quali realizzare la stima di produzione, ovvero il Vestas V166 da 4,5 MW, deratato a 4,0 MW con altezza del mozzo da 117 m;
- modello tridimensionale del terreno con curve di livello equidistanti 25 m.

1.1 DATI DI VENTO DISPONIBILI

I dati di vento disponibili per la valutazione della produzione attesa dell'impianto corrispondono a quelli della serie di dati satellitari ERA5 all'altezza di 100m, nel nodo più vicino all'impianto in progetto.

Di seguito alcune informazioni della serie di dati anemometrici:

Nome Serie di dati	H Torre s.l.s.	WGS84 GEO	
		x	y
ERA5	100	14,25°	37,45°

Il periodo di dati della serie di dati è indicato nella tabella seguente.

Nome Serie di dati	Periodo di rilevazione		N° Anni
	Data inizio	Data fine	
ERA5	01/01/2000	01/01/2023	~23

1.2 LAYOUT D'IMPIANTO

Nella tabella sono riportate le posizioni fornite per i n°18 aerogeneratori d'impianto:

Coordinate WGS84- Fuso 33		
AG	Longitudine X	Latitudine Y
ENN01	431.392	4.154.039
ENN02	431.150	4.153.575
ENN03	432.188	4.153.503
ENN04	431.825	4.152.985
ENN05	432.415	4.152.863
ENN06	432.192	4.152.323
ENN07	431.718	4.149.312
ENN08	429.258	4.148.379
ENN09	429.786	4.148.573
ENN10	432.304	4.147.971
ENN11	432.374	4.147.458
ENN12	428.139	4.146.508
ENN13	428.776	4.146.742
ENN14	429.398	4.146.299
ENN15	429.713	4.146.011
ENN16	428.203	4.145.038
ENN17	428.997	4.144.990
ENN18	429.390	4.145.429

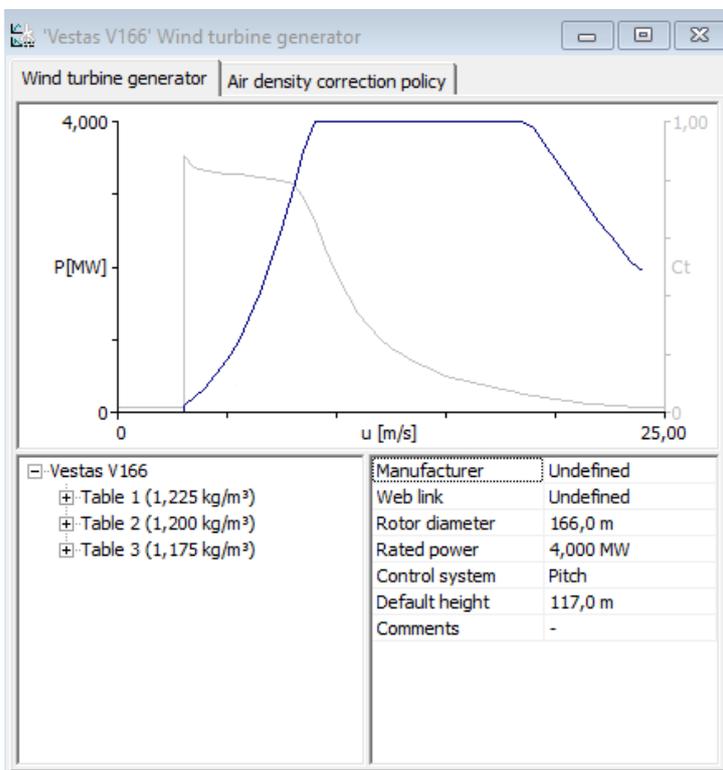
1.3 AEROGENERATORE IPOTIZZATO

Il modello di aerogeneratore per la valutazione della produzione attesa dell'impianto è il seguente:

Costruttore	Modello	Diametro rotore (m)	Potenza nominale (MW)	H di mozzo (m)	Classe IEC
Vestas	V166	166	4,0 (deratato)	117	S

Nella figura sottostante sono rappresentate nel loro sviluppo sia la curva di potenza (P) che la curva di spinta (Ct) per la determinazione delle perdite per effetto scia.

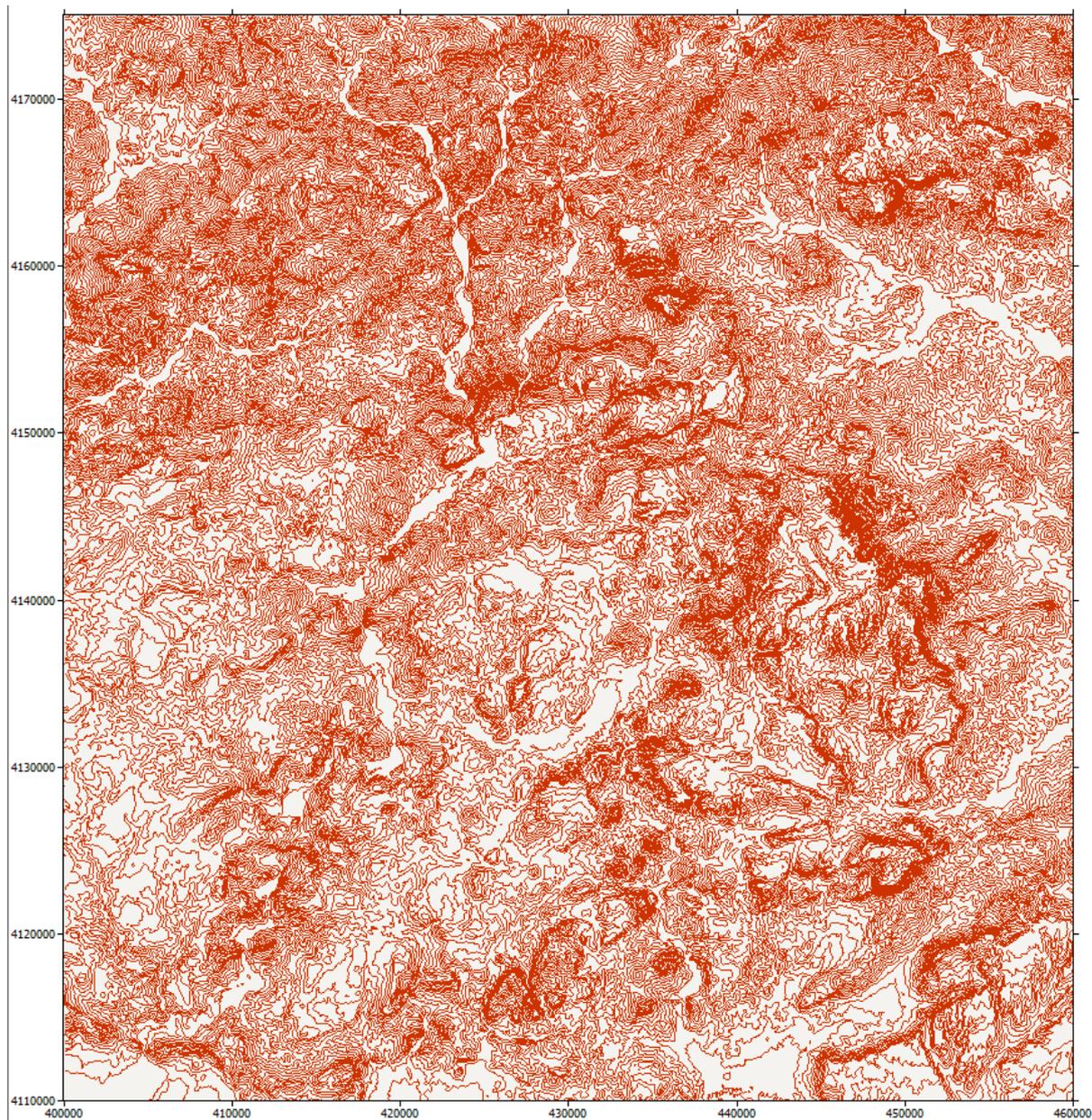
VESTAS – V166 (4500 kW) – der. 4000 kW
Densità dell'aria di 1,225 kg/m³



Speed [m/s]	Power [MW]	Thrust coefficient
3	99	0,884
4	349	0,829
5	729	0,822
6	1291	0,816
7	2068	0,806
8	3071	0,788
9	4000	0,663
10	4000	0,475
11	4000	0,339
12	4000	0,254
13	4000	0,197
14	4000	0,158
15	4000	0,128
16	4000	0,106
17	4000	0,089
18	4000	0,073
19	3921	0,057
20	3495	0,045
21	3047	0,035
22	2636	0,027
23	2248	0,021
24	1941	0,017

1.4 MODELLO TERRITORIALE

Per l'area d'impianto si è utilizzato un modello tridimensionale del terreno con curve di livello equidistanti a 25 m.



Modello digitale del terreno, con aggiunta la rugosità, e parametri dimensionali

2 TRATTAMENTO DEI DATI ANEMOMETRICI

I risultati finali ottenuti dall'elaborazione dei dati sono sinteticamente riportati nella seguente tabella:

Nome serie di dati	H anemometro	Periodo di rilevazione	Disponibilità dati validi	Velocità media	Energia	Parametri della distribuzione di Weibull		Gradiente al suolo
	(m)	(anni)	(%)	(m/s)	(w/m ²)	Vc (m/s)	k	alfa
ERA5	100	23	100%	6,4	335	7,1	1,8	-

3 MODELLO DI CALCOLO

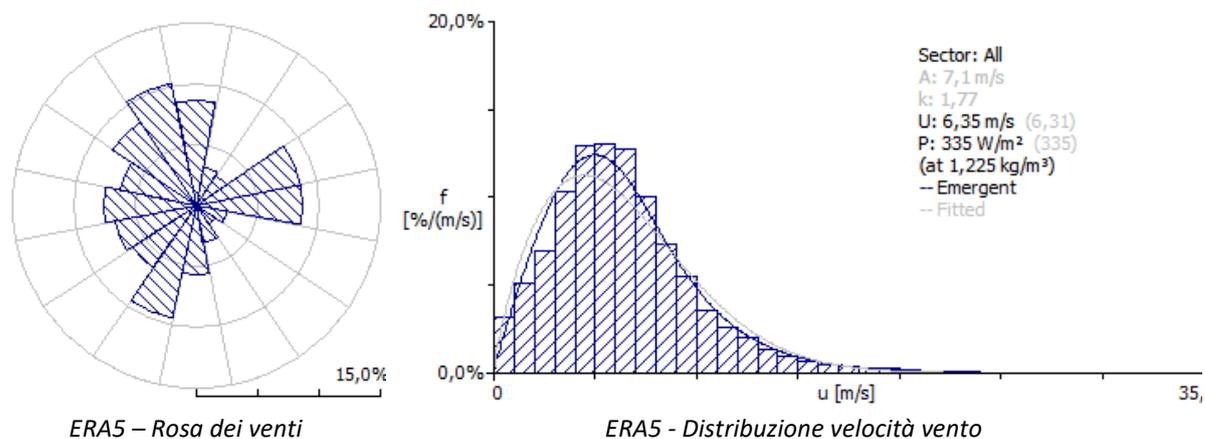
La valutazione di produzione attesa è stata realizzata con il codice di calcolo WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program), versione 12, messo a punto dal Risoe National Laboratory di Danimarca e basato su un modello matematico del flusso del vento.

Il programma utilizza i dati anemologici per calcolare il vento geostrofico (vento indisturbato in quota) per una superficie di diversi km di raggio. Sovrapponendo tale vento al modello tridimensionale del terreno, il programma valuta l'andamento della velocità del vento e più in generale i parametri statistici della distribuzione della velocità in punti arbitrari di tale superficie, tenendo conto della sua natura orografica, della rugosità del terreno e dell'eventuale presenza di ostacoli al flusso del vento. Il campo di velocità fornito dal modello è tridimensionale e ciò consente di disporre in modo naturale anche del profilo della velocità media del vento a varie altezze dal suolo.

3.1 DATI ANEMOMETRICI IN INPUT AL MODELLO

Il codice di calcolo WAsP utilizza la distribuzione di Weibull per rappresentare i dati di vento e per definire il campo di vento indisturbato sull'area (Atlas). Esso effettua una regressione delle distribuzioni della velocità del vento rilevate per ciascuna direzione e determina i parametri A (valore caratteristico) e k (fattore di forma) della distribuzione di Weibull.

Le figure sottostanti riproducono, per la serie di dati, la rosa dei venti e la distribuzione di Weibull in ingresso al modello a 117 m con l'estrapolazione al mozzo partendo dalla serie di dati a 100m e con un gradiente al suolo pari a ~0,1.



U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1,0	28	72	55	18	20	44	62	64	45	31	40	30	24
2,0	46	76	66	20	26	78	108	83	77	57	74	47	40
3,0	66	68	61	21	35	93	127	86	88	79	105	80	62
4,0	105	114	96	35	58	145	130	123	122	111	119	114	108
5,0	147	158	121	48	94	126	104	128	159	143	115	139	132
6,0	182	181	128	62	88	112	96	105	143	136	105	130	126
7,0	182	159	137	88	105	104	108	105	120	142	109	115	130
8,0	120	82	98	107	90	86	88	84	85	112	100	96	107
9,0	61	43	63	103	85	58	69	64	57	80	80	69	86
10,0	35	27	54	103	80	51	31	58	36	51	53	55	58
11,0	17	13	28	75	64	27	27	39	20	25	41	41	40
12,0	7	5	25	66	62	21	22	23	9	13	22	29	29
13,0	3	3	15	61	53	15	5	14	6	8	12	19	20
14,0	1	0	11	47	39	10	4	5	8	4	8	12	14
15,0	1	0	5	38	29	7	1	3	3	2	5	10	10
16,0	0	0	7	26	18	6	2	2	3	2	4	7	8
17,0	0	0	3	20	12	2	2	3	4	1	3	4	5
18,0	0	0	2	13	12	5	2	2	3	1	3	2	2
19,0	0	0	4	9	11	4	4	2	2	1	1	1	1
20,0	0	0	4	10	9	4	6	3	3	1	0	1	0
21,0	0	0	4	9	5	1	1	2	3	0	1	0	0
22,0	0	0	6	6	3	0	0	2	2	0	0	0	0
23,0	0	0	5	6	2	0	0	1	2	0	0	0	0
24,0	0	0	2	6	1	0	0	0	1	0	0	0	0
25,0	0	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0
26,0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27,0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28,0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A and U are given in m/s, P in W/m² and the frequencies of occurrence in per mille and per cent (f).

4 VALUTAZIONE DELLA PRODUZIONE LORDA ATTESA

La produzione attesa per l'impianto in oggetto è stata valutata in rapporto all'aerogeneratore Vestas V166 da 4,0 MW, deratato da 4,5 MW, con altezza di mozzo pari a 117m.

La produzione attesa tiene conto delle perdite per la densità dell'aria alla quota del sito e delle perdite per effetto scia che si genera internamente tra gli aerogeneratori dell'impianto.

4.1 PRODUZIONE LORDA ATTESA

I risultati di produzione lorda attesa sono riportati nella seguente tabella.

IMPIANTO EOLICO DI ENNA
N°18 AEROGENERATORI VESTAS V166 DA 4,0 MW – DERATATA DA 4,5 MW
H MOZZO 117 M

Site ID	Site x [m]	Site y [m]	Elev. [m]	Ht [m]	U [m/s]	Gross [GWh]	Net. [GWh]	Loss [%]	Net.Hours [MWh/MW]
ENN01	431392	4154039	617	117	5,9	12,4	11,7	5,3	2928
ENN02	431150	4153575	603	117	5,8	12,3	11,7	4,3	2935
ENN03	432188	4153503	668	117	6,3	13,6	12,7	6,9	3163
ENN04	431825	4152985	675	117	6,4	14,1	13,1	6,8	3284
ENN05	432415	4152863	700	117	6,7	15,0	13,6	9,2	3402
ENN06	432192	4152323	612	117	6,1	12,9	12,0	6,3	3011
ENN07	431718	4149312	491	117	5,8	12,4	12,0	3,2	2994
ENN08	429258	4148379	419	117	5,9	12,6	11,8	6,0	2954
ENN09	429786	4148573	425	117	5,8	12,2	11,5	5,7	2867
ENN10	432304	4147971	542	117	5,8	12,1	11,4	5,5	2853
ENN11	432374	4147458	672	117	6,7	15,3	14,2	7,0	3561
ENN12	428139	4146508	412	117	5,7	11,8	11,1	6,0	2778
ENN13	428776	4146742	447	117	5,9	12,5	11,7	6,2	2934
ENN14	429398	4146299	488	117	6,1	13,1	11,9	8,8	2978
ENN15	429713	4146011	475	117	5,9	12,4	10,9	12,3	2721
ENN16	428203	4145038	433	117	5,6	11,5	10,7	6,4	2680
ENN17	428997	4144990	485	117	5,9	12,7	11,8	7,0	2959
ENN18	429390	4145429	479	117	5,8	12,4	11,2	9,3	2811
Medie :			536	117	6,0	-	-	6,8	2989
Somme :						231,0	215,2		

4.2 PRODUZIONE ATTESA AL NETTO DELLE PERDITE

I valori di produzione lorda attesa ottenuti dal processo di calcolo illustrato nel paragrafo precedente tengono conto unicamente delle perdite dovute alla scia degli aerogeneratori e alla densità dell'aria alla quota del sito.

Costruttore	Potenza AG	Numero AG	Potenza impianto	H mozzo	Perdite medie scia	Produzione lorda (al netto delle scie)	
	(MW)	(N)	(MW)	(m)	%	(GWh/y)	(ore/y)
VESTAS V166	4,0	18	72,0	117	6,8	215,2	2989

A questo punto si devono valutare le perdite di energia (perdite elettriche, di produzione, di potenza) al fine di pervenire alla determinazione dell'energia che risulterà disponibile per essere ceduta alla rete elettrica.

I fattori di perdita considerati sono di seguito elencati:

Sorgente della perdita	Valore in %
Disponibilità Contrattuale degli aerogeneratori	-2,5%
Disponibilità non contrattuale aerogeneratori	-0,5%
Disponibilità B.O.P.	-1,0%
Disponibilità Rete	-0,3%
Perdite Elettriche	-3,0%
Ambiente	-0,4%
Performance Aerogeneratori	-2,3%
Perdite totali	-9.6%

La seguente tabella riporta la sintesi dei risultati conclusivi ottenuti:

Costruttore	Modello AG	Potenza impianto	Produzione lorda (morsetti generatori)		Produzione netta (cedibile alla rete)	
		(MW)	(GWh/y)	(ore/y)	(GWh/y)	(ore/y)
Vestas	V166	72,0	215,2	2989	194,6	2703

L'energia riportata nelle tabelle rappresenta la quota netta cedibile alla rete.

5 CONCLUSIONI

Con il presente rapporto sono stati determinati i risultati di stima della produzione attesa dell'impianto eolico di Enna, ubicato in Sicilia, in Provincia di Enna, nel territorio comunale di Enna.

L'attività è iniziata con la validazione e l'analisi statistica dei dati di vento disponibili, della serie di dati satellitari ERA5 alla quota di 100m sls, con la verifica della ventosità di lungo periodo, nonché con la messa a punto del modello di calcolo WAsP.

La messa a punto del modello di calcolo si rende necessaria per valutare, attraverso verifiche e controlli successivi, la capacità del modello di calcolo a interpretare i dati di ventosità forniti, e in particolare gli effetti dell'orografia e della rugosità del terreno sulla corretta estrapolazione della velocità del vento al mozzo delle macchine. Le numerose verifiche hanno consentito di valutare le approssimazioni e il grado di incertezza introdotto dal modello nel calcolo in ogni fase del processo.

Con i risultati ottenuti si è proceduto alla valutazione della produzione attesa, lorda e netta, della soluzione di layout.

Il calcolo della produzione attesa media ($P_{50\%}$) è stato effettuato sulla base di tutti i dati disponibili, utilizzando al meglio il codice di calcolo numerico e, nel caso in cui il processo offriva la possibilità di più scelte alternative, adottando i criteri di calcolo ritenuti più verosimili per le caratteristiche specifiche del sito e/o maggiormente conservativi, allo scopo di ridurre il rischio di sopravvalutazione della produzione.