

TITOLARE DEL DOCUMENTO:

## **AREN Green S.r.l.**

Società soggetta alla direzione e coordinamento di AREN Electric Power S.p.A.  
Sede legale e amministrativa: Via dell'Arrigoni n. 308 | 47522 Cesena (FC) | Ph. +39 0547 415245  
Iscritta nel Registro delle Imprese della Romagna – Forlì-Cesena e Rimini | REA 326908 | C.F./P.Iva 04032170401

COMUNI DI ACERENZA E OPPIDO LUCANO (PZ)  
LOCALITÀ “TORRE VOSA”

# PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI **IMPIANTO EOLICO** **“DONNA MARIANNA”**

REDAZIONE / PROGETTISTA:



**AREN Electric Power S.p.A.**  
Società per Azioni con Unico Socio  
Via dell'Arrigoni n. 308 - 47522 Cesena (FC)  
Ph. +39 0547 415245 - Fax +39 0547 415274  
Web: [www.aren-ep.com](http://www.aren-ep.com)

TIMBRO E FIRMA PROGETTISTA:

Ing. Samuele Ulivi Ordine degli  
Ingegneri di Forlì-Cesena – matr.  
2866

TITOLO ELABORATO:

**Studio di producibilità**

CODICE ELABORATO:

**DMADG\_GENR00200\_00**

FORMATO:

**A4**

Nr. EL.:

**/**

FASE:

**PROGETTO  
DEFINITIVO**

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Prima emissione	30/07/2024	A.Lazar	S.Righini	S. Ulivi
01					
02					
03					
04					

<b>Aren Green Srl</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Donna Marianna”</b>	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato: <b>DMADG_GENR00200_00</b>
		Data: <b>30/07/2024</b>
	<b>Studio di producibilità</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>2 di 12</b>

## Sommario

1.	Premessa .....	3
2	Dati di ventosità.....	4
3	Curva di distribuzione delle probabilità .....	6
4	Dati tecnici degli aerogeneratori.....	7
4.1	Caratteristiche generali .....	7
4.2	Potenza in relazione alla densità dell'aria.....	8
4.3	Curva delle potenze .....	9
5	Producibilità dell'impianto .....	10
5.1	Stima annua.....	10
5.2	Probabilità di eccedenza dei valori di producibilità.....	11

<b>Aren Green Srl Impianto Eolico “Donna Marianna”</b>	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato: <b>DMADG_GENR00200_00</b>
		Data: <b>30/07/2024</b>
	<b>Studio di producibilità</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>3 di 12</b>

## 1. Premessa

La presente Relazione si riferisce al Progetto Definitivo di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, denominato “Donna Marianna”, nei comuni di Acerenza e Oppido Lucano (PZ) in località “Torre Vosa”, costituito da n. 9 aerogeneratori Vestas V150 di potenza unitaria 6 MW, per una potenza complessiva dell’impianto di 54 MW e delle relative opere di connessione con la RTN, proposto dalla società AREN Green S.r.l.

La società proponente è Aren Green S.r.l. Unipersonale, con sede in Via dell’Arrigoni 308 – 47522 Cesena (FC), P.IVA 04032170401 (nel seguito: il “Soggetto proponente”).

Il tracciato del cavidotto di collegamento alla Stazione utente attraversa i Comuni di Acerenza e Oppido Lucano (PZ).

L’impianto sarà allacciato all’ampliamento a 36 kV della già esistente Stazione Elettrica Terna, denominata “Oppido Lucano”, tramite connessione a 36 kV.

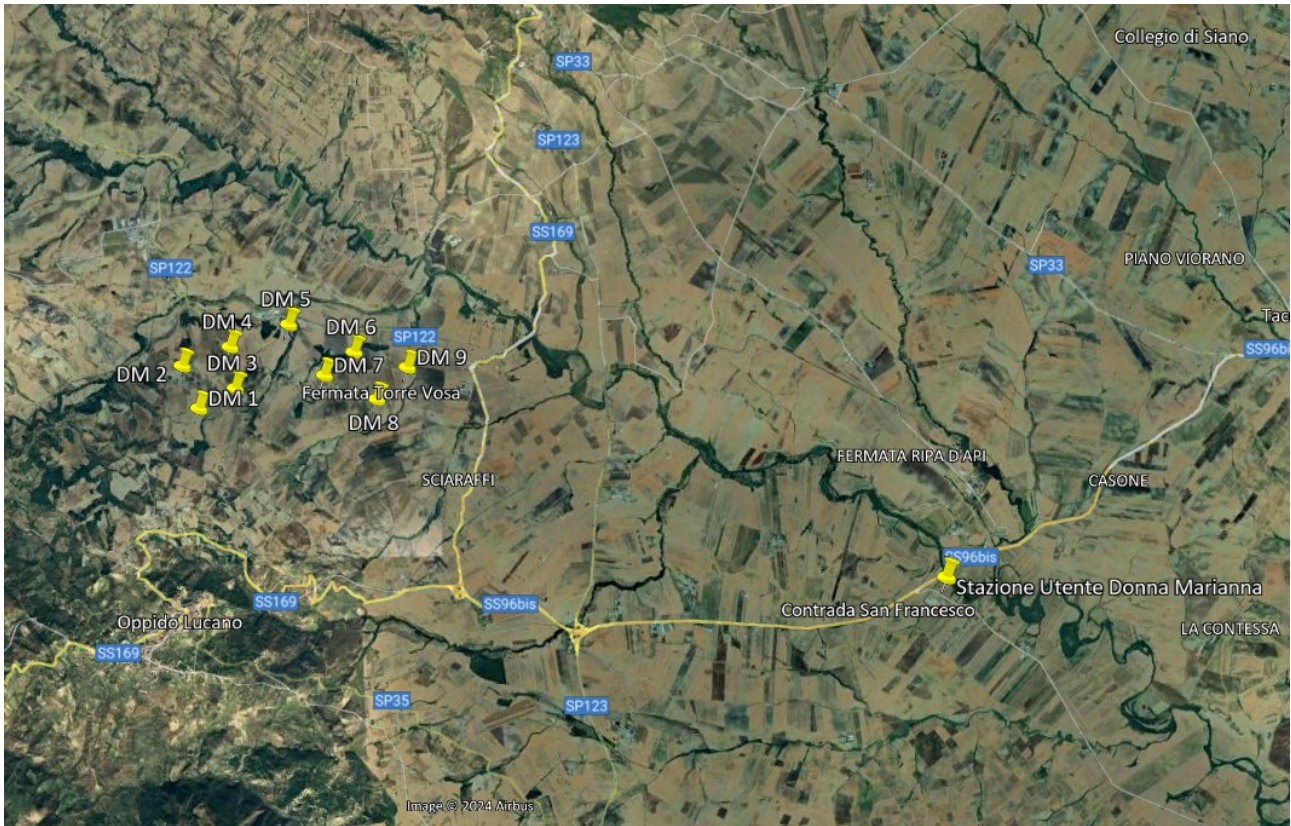
Nella seguente tabella si elencano le posizioni degli aerogeneratori che costituiscono il Progetto, espresse in coordinate WGS 84, fuso UTM 33:

<b>WTG</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>DM01</b>	583742	4515466
<b>DM02</b>	583511	4516007
<b>DM03</b>	584199	4515727
<b>DM04</b>	584121	4516256
<b>DM05</b>	584865	4516556
<b>DM06</b>	585714	4516209
<b>DM07</b>	585337	4515908
<b>DM08</b>	586017	4515607
<b>DM09</b>	586405	4516020

**Tabella 1:** Posizione aerogeneratori (WGS 84 UTM 33)

In **Figura 1** è mostrato un inquadramento territoriale del progetto.

<b>Aren Green Srl</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Donna Marianna”</b>	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato: <b>DMADG_GENR00200_00</b>
		Data: <b>30/07/2024</b>
	<b>Studio di producibilità</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>4 di 12</b>



**Figura 1** - Inquadramento territoriale del progetto

## 2 Dati di ventosità

I dati di ventosità considerati nel presente documento sono stati ricavati dai risultati di uno studio anemologico, redatto per stimare la producibilità di un altro impianto eolico, realizzato nel Comune di Irsina (MT): “*EO.IRS01.PD.A.5\_Studio Anemologico e Stima di produzione*” (E-Way Green S.r.l., 2023) (nel seguito “Studio”).

L’analisi della disponibilità del dato nel periodo di misura è di fondamentale importanza nella definizione degli intervalli di dati utilizzabili nella stima della risorsa eolica che ha un carattere stagionale con una densità di energia maggiore nei mesi primaverili e invernali rispetto ai mesi estivi ed autunnali. Per evitare di sovrastimare o sottostimare la risorsa eolica la base di dati di partenza deve avere un periodo di misura su base annuale, inteso come 12 mesi di misura consecutivi, in modo da eliminare l’effetto della stagionalità.

In particolare, i dati provengono dalla validazione di un set di misure, risultato di una serie di misurazioni anemometriche condotte per un periodo temporale di circa 13 mesi (*dal 07/2010 al 08/2011*). Il sito di misura (denominato “MM” o “**Stazione anemometrica C&C ENERGY S.r.l.**” nello Studio) comprendeva tre strumenti montati a 30, 40 e 50 m s.l.s.) ed era collocato nel comune di Irsina. Era situato a una distanza di circa 17 km dagli aerogeneratori del Progetto.

Nelle seguenti immagini vi sono rappresentate le torri e il sito di misura dei dati del vento.

Le coordinate indicative della stazione di rilevamento (WGS84 UTM 33) sono: 603007 E 4514011 N.

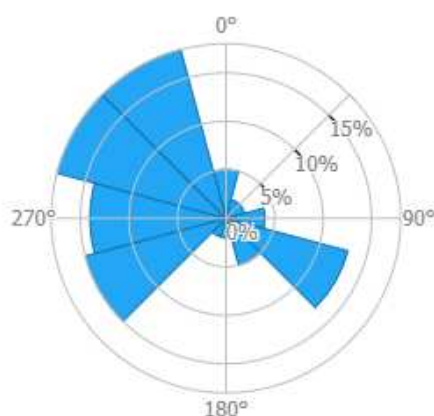
<b>Aren Green Srl Impianto Eolico “Donna Marianna”</b>	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato: <b>DMADG_GENR00200_00</b>
		Data: <b>30/07/2024</b>
	<b>Studio di producibilità</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>5 di 12</b>



**Figura 2** – Localizzazione aerogeneratori Progetto e sito di misurazione dei dati del vento (“**Dati vento**”)

Successivamente, come illustrato nel documento citato, si sono impiegati i dati raccolti dalla stazione di misura anemometrica per stabilire la producibilità annua dell’impianto eolico “**Donna Marianna**”.

Vista la differenza di quota tra i dati del vento misurati e l’altezza del mozzo delle torri eoliche (105 m s.l.s.), si sono resi necessari diversi passaggi per ottenere dati del vento da cui poter stimare la producibilità annua dell’impianto. La velocità media annua a 50 m s.l.s. così ottenuta è pari a circa 6,23 m/s. Oltre alla velocità media annua si è ricavata anche la curva di distribuzione della velocità del vento. Questa verrà usata, insieme alla curva di potenza degli aerogeneratori, per valutare la producibilità annua dell’impianto.



**Figura 3** – Distribuzione media del vento nell’area del Progetto

Nel presente documento, per determinare la producibilità attesa dell’impianto “**Donna Marianna**”, per motivi di prossimità geografica, si assumono i dati di ventosità del sito sopra specificato per tutti gli aerogeneratori di Progetto.

Aren Green Srl Impianto Eolico "Donna Marianna"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: <b>DMADG_GENR00200_00</b>
		Data: <b>30/07/2024</b>
	Studio di producibilità	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>6 di 12</b>

### 3 Curva di distribuzione delle probabilità

Si ritiene che i dati di vento a disposizione siano sufficientemente precisi, coerenti e continui, da non dover effettuare ulteriori approfondimenti.

Il valore della velocità media ottenuto è quindi di **6,34 m/s**.

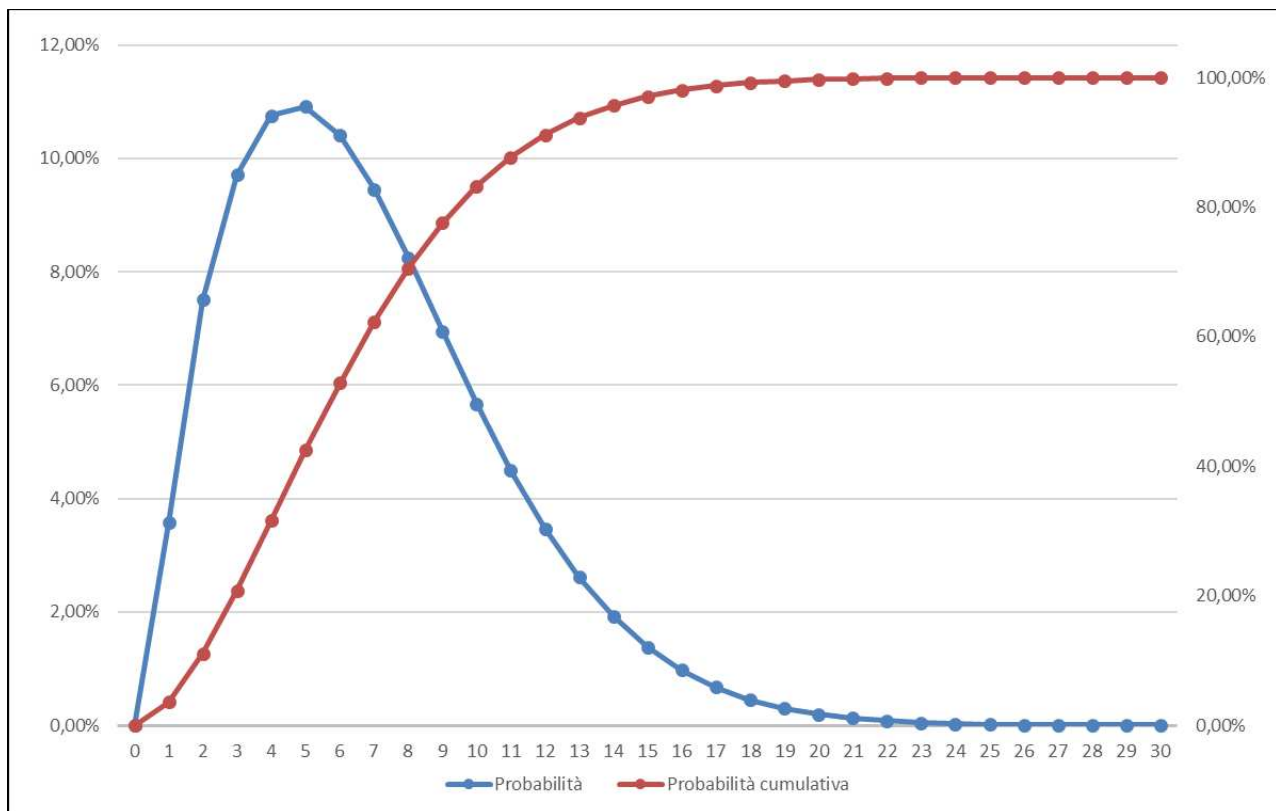
Nella seguente Tabella si riportano i risultati della modellazione della curva cumulativa e del valore specifico di probabilità di ogni valore di velocità:

Velocità vento [m/s]	Probabilità	Probabilità cumulativa
0	0,00%	0,00%
1	3,58%	3,58%
2	7,51%	11,09%
3	9,71%	20,80%
4	10,76%	31,56%
5	10,91%	42,47%
6	10,41%	52,88%
7	9,45%	62,33%
8	8,25%	70,58%
9	6,95%	77,53%
10	5,67%	83,20%
11	4,50%	87,70%
12	3,47%	91,18%
13	2,62%	93,79%
14	1,92%	95,72%
15	1,38%	97,10%
16	0,97%	98,07%
17	0,67%	98,74%
18	0,45%	99,19%
19	0,30%	99,49%
20	0,19%	99,68%
21	0,12%	99,81%
22	0,08%	99,88%
23	0,05%	99,93%
24	0,03%	99,96%
25	0,02%	99,98%
26	0,01%	99,99%
27	0,01%	99,99%
28	0,00%	100,00%
29	0,00%	100,00%
30	0,00%	100,00%

**Tabella 2:** Probabilità e probabilità cumulata di velocità del vento.

<b>Aren Green Srl</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Donna Marianna”</b>	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato: <b>DMADG_GENR00200_00</b>
		Data: <b>30/07/2024</b>
	<b>Studio di producibilità</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>7 di 12</b>

Di seguito il grafico ricavato dalle probabilità calcolate:



**Figura 4 – Curva di distribuzione delle probabilità**

In blu sono rappresentati i valori della probabilità per ciascun valore della velocità dei venti, in rosso la probabilità cumulativa della velocità dei venti.

## 4 Dati tecnici degli aerogeneratori

### 4.1 Caratteristiche generali

Nella seguente figura è rappresentata la navicella del modello di aerogeneratore previsto. In **Tabella 3** sono sintetizzate le principali caratteristiche tecniche e dimensionali.

<b>Aren Green Srl</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Donna Marianna”</b>	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato: <b>DMADG_GENR00200_00</b>
		Data: <b>30/07/2024</b>
	<b>Studio di producibilità</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>8 di 12</b>



**Figura 5** – Rappresentazione della navicella

<b>Modello</b>	VESTAS V150
<b>Potenza</b>	6 MW
<b>Diametro rotore</b>	150 m
<b>Altezza mozzo</b>	105 m
<b>Regolazione potenza</b>	Controllo di frequenza e di coppia a velocità variabile
<b>Caratteristiche torre</b>	Torre conica tubolare in acciaio
<b>Area spazzata</b>	17'672 m <sup>2</sup>
<b>Numero pale</b>	3
<b>Lunghezza pale</b>	73,65 m
<b>Materiale pale</b>	Fibra di vetro epossidica rinforzata (GRE), plastica fibrorinforzata al carbonio (CRP)
<b>Tensione generatore</b>	720 V
<b>Tipo generatore</b>	Generatore sincrono a magneti permanenti
<b>Frequenza generatore</b>	50/60 Hz

**Tabella 3:** Caratteristiche principali degli aerogeneratori

#### 4.2 Potenza in relazione alla densità dell'aria

La potenza specifica contenuta nel vento, intesa come potenza meccanica attraverso l'unità di superficie, è funzione del cubo del valore della velocità ma anche della densità dell'aria, secondo la formula seguente:

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



<b>Aren Green Srl</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Donna Marianna”</b>	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato: <b>DMADG_GENR00200_00</b>
		Data: <b>30/07/2024</b>
	<b>Studio di producibilità</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>9 di 12</b>

L'aerogeneratore sarà caratterizzato da una curva di funzionamento, che associa ad ogni valore di velocità del vento nel campo nominale di funzionamento della macchina, il relativo valore di potenza elettrica in uscita, in funzione della densità dell'aria. Per ogni valore di velocità, il ragguglio viene effettuato mediante le formule seguenti. Si determina un valore della velocità  $V^I$ , che rappresenta il valore corretto della velocità specifica per la quale si vuole determinare la potenza erogata, per valori di densità  $\rho^I$  diversi da quello nominale  $\rho$ .

$$V^I = \frac{V}{\left(\rho/\rho^I\right)^{1/3}}$$

Successivamente, si determina il valore della potenza elettrica erogata mediante la formula seguente:

$$P = P_N + (P_N - P_{N+1}) \frac{(V_N - V_N^I)}{(V_{N+1}^I - V_N^I)}$$

Dove N e N+1 identificano i valori di potenza e di velocità del vento considerati per ogni intervallo e per quello immediatamente successivo, con l'apice I che rappresenta i valori raggugliati in funzione della densità dell'aria (a partire dal valore di densità di riferimento per il modello di aerogeneratore prescelto).

### 4.3 Curva delle potenze

La seguente **Tabella 4** rappresenta:

- Nella seconda colonna, la curva di potenza dell'aerogeneratore in condizioni nominali, cioè con la densità dell'aria assunta pari al valore di riferimento 1,225 kg/m<sup>3</sup>;
- Nelle colonne dalla terza alla quinta, i valori della potenza raggugliata a differenti valori di densità dell'aria, secondo le formule indicate nel paragrafo precedente.

Si noti come la produzione sia nulla per valori di velocità superiori a 25 m/s, che è la velocità di cut-off del modello.

Aren Green Srl Impianto Eolico "Donna Marianna"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: <b>DMADG_GENR00200_00</b>
		Data: <b>30/07/2024</b>
	Studio di producibilità	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>10 di 12</b>

Velocità vento [m/s]	Potenza nominale aerogeneratore [kW]	Potenza effettiva [kW]		
	Densità aria 1,225 kg/m <sup>3</sup> (Datasheet)	Densità aria 1,15 kg/m <sup>3</sup>	Densità aria 1,20 kg/m <sup>3</sup>	Densità aria 1,25 kg/m <sup>3</sup>
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	1
3	40	27	36	44
4	250	224	241	258
5	563	514	547	579
6	1032	949	1005	1059
7	1693	1566	1651	1734
8	2565	2383	2505	2624
9	3657	3447	3588	3725
10	4777	4597	4718	4835
11	5642	5570	5618	5665
12	5956	5945	5953	5959
13	5998	5997	5998	5998
14	6000	6000	6000	6000
15	6000	6000	6000	6000
16	6000	6000	6000	5983
17	5842	6000	5899	5786
18	5353	5528	5410	5296
19	4887	5070	4947	4828
20	4424	4615	4487	4362
21	3966	4172	4034	3899
22	3495	3716	3568	3423
23	3012	3219	3080	2945
24	2580	2848	2668	2493
25	2044	3109	2394	1699
26	0	0	0	0
27	0	0	0	0
28	0	0	0	0
29	0	0	0	0
30	0	0	0	0

**Tabella 4:** Potenza elettrica "Vestas V150 – 6 MW" in relazione alla densità dell'aria

## 5 Producibilità dell'impianto

### 5.1 Stima annua

La producibilità dell'impianto viene determinata moltiplicando la potenza erogata dalla macchina per ciascun valore di velocità per il numero di ore annue in cui è presente tale valore, in base all'analisi statistica, ricavabile come probabilità del valore stesso sul totale delle ore annue.

$$E = P [kW] \times (Probabilità) \times 8766 [h] \rightarrow [MWh]$$

<b>Aren Green Srl</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Donna Marianna”</b>	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato: <b>DMADG_GENR00200_00</b>
		Data: <b>30/07/2024</b>
	<b>Studio di producibilità</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>11 di 12</b>

I valori di probabilità che si considerano sono quelli desumibili dalla **Tabella 2**.

La somma dei valori così ricavati per tutti i valori di velocità del campo di funzionamento costituirà la produzione annua massima teorica di un singolo aerogeneratore, considerato un fattore di disponibilità dell'aerogeneratore stesso pari al 100%. La produzione annua ideale dell'impianto è pari a 161'290 MWh.

Nella realtà, tale valore dovrà essere ridotto, per tenere conto dell'effetto di numerosi fattori (ambientali e climatici, guasti, manutenzioni, problemi di rete, mancato ritiro, ecc.). Nella seguente **Tabella 5** si riepiloga pertanto la produzione attesa del complesso di aerogeneratori. Si applicano diverse ipotesi di valore per il fattore di disponibilità globale, considerato come il rapporto dei singoli fattori relativi a diverse cause di indisponibilità, e per differenti valori di densità dell'aria.

Fattore annuo di disponibilità [%]	Produzione annua n. 9 aerogeneratori [MWh]		
	Densità aria 1,15 kg/m <sup>3</sup>	Densità aria 1,2 kg/m <sup>3</sup>	Densità aria 1,25 kg/m <sup>3</sup>
<b>96,5</b>	152067	155645	159108
<b>96,0</b>	151279	154838	158283
<b>95,5</b>	150491	154032	157459
<b>95,0</b>	149703	153226	156634
<b>94,5</b>	148915	152419	155810
<b>94,0</b>	148128	151613	154986

**Tabella 5:** Stima producibilità annua impianto “Donna Marianna”

Per una potenza nominale pari a  $9 \times 6 \text{ MW} = 54 \text{ MW}$ , le ore equivalenti di funzionamento complessive dell'impianto, per le varie ipotesi, sono:

Fattore annuo di disponibilità [%]	Ore equivalenti di funzionamento [h/anno]		
	Densità aria 1,15 kg/m <sup>3</sup>	Densità aria 1,2 kg/m <sup>3</sup>	Densità aria 1,25 kg/m <sup>3</sup>
<b>96,5</b>	2816	2882	2946
<b>96,0</b>	2801	2867	2931
<b>95,5</b>	2787	2852	2916
<b>95,0</b>	2772	2838	2901
<b>94,5</b>	2758	2823	2885
<b>94,0</b>	2743	2808	2870

**Tabella 6:** Ore equivalenti di funzionamento

## 5.2 Probabilità di eccedenza dei valori di producibilità

A partire dalla producibilità media dell'impianto, calcolata nel paragrafo precedente, si introducono i parametri di incertezza, che devono essere applicati ai vari fattori che determinano la producibilità stessa, nelle varie fasi della modellazione.

<b>Aren Green Srl</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Donna Marianna”</b>	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato: <b>DMADG_GENR00200_00</b>
		Data: <b>30/07/2024</b>
	<b>Studio di producibilità</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>12 di 12</b>

La producibilità media sopra calcolata è considerata il valore più probabile della produzione annua (P50), pari al valore con il 50% di probabilità di superamento.

Tali incertezze si applicano alle varie grandezze che determinano l'esito della modellazione, nella forma di una distribuzione di probabilità dei valori delle distinte grandezze da stimare attorno al valore più probabile. Il risultato cumulativo si applica alla producibilità annua dell'impianto, per stabilire le probabilità di raggiungimento di determinati step di producibilità crescenti.

Nel caso in esame si assumono i seguenti parametri per l'analisi di incertezza:

- $\sigma_{ME} = 8\%$  Incertezza sull'assenza di misure dirette nel sito degli aerogeneratori
- $\sigma_L = 5\%$  Incertezza legata alla localizzazione degli aerogeneratori (applicazione di dati di ventosità uniformi per i 9 aerogeneratori)
- $\sigma_{TU} = 10\%$  Incertezza legata all'incidenza degli effetti turbolenti
- $\sigma_{WS} = 2\%$  Incertezza legata alla stima del wind shear
- $\sigma_{MO} = 5\%$  Incertezza legata alla modellazione dei dati di ventosità

La stima complessiva dell'incertezza sulla stima della producibilità annua è data da:

$$\sigma_{TOT} = \sqrt{\sigma_{ME}^2 + \sigma_L^2 + \sigma_{TU}^2 + \sigma_{WS}^2 + \sigma_{MO}^2}$$

Da cui  $\sigma_{TOT} = 14,8\%$

Applicando tale incertezza complessiva, relativamente alla modellazione della produzione, si ottengono i valori di producibilità media attesa di cui alla **Tabella 7**. Tali valori sono riferiti ai 3 distinti casi relativi alle ipotesi sulla densità dell'aria, e considerando (ai fini cautelativi) un fattore di disponibilità pari al 94% delle ore annue.

Produzione media attesa	Energia [MWh/anno]		
	Densità aria 1,15 kg/m3	Densità aria 1,2 kg/m3	Densità aria 1,25 kg/m3
<b>P10</b>	180600	184850	188962
<b>P25</b>	165225	169113	172875
<b>P50</b>	148128	151613	154986
<b>P75</b>	131030	134113	137096
<b>P90</b>	115655	118376	121009
<b>P99</b>	89210	91309	93341

**Tabella 7:** Produzione media attesa (fattore di disponibilità: 94%)