

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

COMUNE DI MONTEVERDE E LACEDONIA(AV)
LOC. MASSERIA SAN FELICE

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI **IMPIANTO EOLICO** **“SAN FELICE”**

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

TIMBRO E FIRMA PROGETTISTA:

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

TITOLO ELABORATO:

Studio di producibilità

CODICE ELABORATO:

SAFDG_GENR00200_00

FORMATO:

A4

Nr. EL.:

/

FASE:

**PROGETTO
DEFINITIVO**

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Prima emissione	02/08/2023	A. Lazar	E. Teodorani	S. Ulivi
01					
02					
03					
04					

Aren Green Srl Impianto Eolico "San Felice"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: SAFDG_GENR00200_00
		Data: 02/08/2023
	Studio di producibilità	Revisione: 00
		Pagina: 3 di 11

1. Premessa

La presente Relazione si riferisce al Progetto Definitivo di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, denominato "San Felice", e sito nei Comuni di Monteverde e Lacedonia (AV) (nel seguito: il "Progetto").

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 Soggetto proponente ha intrapreso l'iniziativa imprenditoriale di realizzare un impianto di produzione di energia elettrica mediante lo sfruttamento del vento, composto da 14 aerogeneratori mod. Vestas V150, ciascuno della potenza di 6,0 MW, per una potenza di immissione complessiva dell'impianto eolico pari a 84,0 MW.

Il tracciato del cavidotto di collegamento alla Stazione utente attraversa i Comuni di Monteverde e Lacedonia (AV).

L'impianto sarà allacciato alla Stazione Elettrica Terna, denominata "Macchialupo", tramite connessione a 36 kV.

Scopo del presente documento è effettuare una stima dell'energia producibile annualmente da parte dell'impianto, in ragione delle caratteristiche tecniche degli aerogeneratori, dei dati di ventosità assunti e dell'approccio metodologico descritto nel seguito.

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

WTG	X	Y
SF1	544529	4541517
SF2	545291	4541399
SF3	545011	4541920
SF4	545693	4542130
SF5	544182	4542005
SF6	545252	4542548
SF7	545979	4542687
SF8	545589	4543175
SF9	544018	4542934
SF10	543987	4543758
SF11	544537	4543998
SF12	545110	4544009
SF13	545661	4544285
SF14	545957	4543757

Tabella 1: Posizione aerogeneratori (WGS 84 UTM 33)

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 nei Comuni di Rocchetta Sant'Antonio e Candela (FG): "Relazione sullo studio di producibilità dell'impianto" (Sinergia EWR1 S.r.l., 2020) (nel seguito "Studio").

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 1 anno. Il sito di misura (denominato "Anemometro A" nello Studio) comprendeva due strumenti montati a 20 e 40 m s.l.s.) ed era collocato tra i comuni di

Aren Green Srl Impianto Eolico “San Felice”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: SAFDG_GENR00200_00
		Data: 02/08/2023
	Studio di producibilità	Revisione: 00
		Pagina: 7 di 11

Di seguito il grafico ricavato dalle probabilità calcolate:

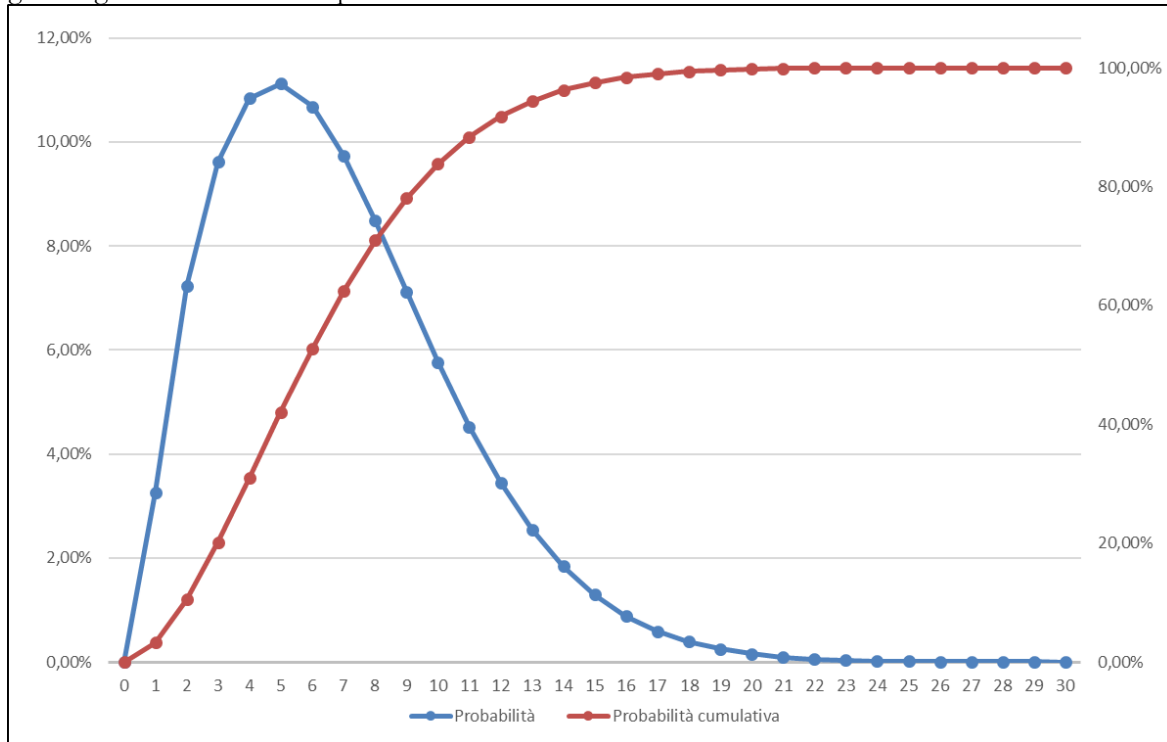


Figura 3 – Curva di distribuzione delle probabilità

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



Figura 4 – Rappresentazione della navicella

Aren Green Srl Impianto Eolico "San Felice"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: SAFDG_GENR00200_00
		Data: 02/08/2023
	Studio di producibilità	Revisione: 00
		Pagina: 8 di 11

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

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

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 ρ^I diversi da quello nominale ρ .

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

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/m³;
- 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 "San Felice"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: SAFDG_GENR00200_00
		Data: 02/08/2023
	Studio di producibilità	Revisione: 00
		Pagina: 9 di 11

Velocità vento [m/s]	Potenza nominale aerogeneratore [kW]	Potenza effettiva [kW]			
	Densità aria 1,225 kg/m ³ (Datasheet)	Densità aria 1,15 kg/m ³	Densità aria 1,20 kg/m ³	Densità aria 1,25 kg/m ³	
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.

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

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 249'674 MWh.

Aren Green Srl Impianto Eolico "San Felice"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: SAFDG_GENR00200_00
		Data: 02/08/2023
	Studio di producibilità	Revisione: 00
		Pagina: 10 di 11

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.14 aerogeneratori [MWh]		
	Densità aria 1,15 kg/m3	Densità aria 1,2 kg/m3	Densità aria 1,25 kg/m3
96,5	235188	240936	246503
96,0	233969	239687	245225
95,5	232750	238439	243948
95,0	231532	237191	242671
94,5	230313	235942	241394
94,0	229095	234694	240117

Tabella 5: Stima producibilità annua impianto "San Felice"

Per una potenza nominale pari a $14 \times 6 \text{ MW} = 84 \text{ MW}$, 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/m3	Densità aria 1,2 kg/m3	Densità aria 1,25 kg/m3
96,5	2800	2868	2935
96,0	2785	2853	2919
95,5	2771	2839	2904
95,0	2756	2824	2889
94,5	2742	2809	2874
94,0	2727	2794	2859

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.

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.

Aren Green Srl Impianto Eolico "San Felice"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: SAFDG_GENR00200_00
		Data: 02/08/2023
	Studio di producibilità	Revisione: 00
		Pagina: 11 di 11

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 15 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
P10	279317	286144	292755
P25	255538	261783	267832
P50	229095	234694	240117
P75	202651	207604	212401
P90	178872	183244	187478
P99	137973	141345	144611

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