



REGIONE SARDEGNA

Provincia di Cagliari

COMUNI DI SINNAI E MARACALAGONIS



OGGETTO

PROGETTO PER LA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZA DI 122,4 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI SINNAI, MARACALAGONIS, QUARTUCCIU, SETTIMO SAN PIETRO E SELARGIUS (CA)

PROPONENTE



ECOWIND 6 S.R.L.

Via Alessandro Manzoni 30, 20121 Milano (MI)
C.F./P.IVA: 12809780963
email/PEC: ecowind6srl@pecimprese.it

SVILUPPO



VALLEVERDE ENERGIA S.R.L.

Via Foggia 174, 85025 Melfi (PZ)
C.F./P.IVA: 02118870761
email: info@valleverde-energia.it
PEC: valleverde.energia@pec.it

Codice Commessa PHEEDRA: 24_01_EO_SIN

INGEGNERIA



PHEEDRA S.r.l. Via Lago di Nemi, 90
74121 - Taranto
Tel. 099.7722302 - Fax 099.9870285
e-mail: info@pheedra.it
web: www.pheedra.it

Direttore Tecnico Ing. Angelo Micolucci



00	Febbraio 2024	PRIMA EMISSIONE	MS	AM	VS
REV	DATA	ATTIVITA'	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

OGGETTO DELL'ELABORATO

STIMA DELLA PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO

FORMATO	SCALA	CODICE DOCUMENTO					NOME FILE	FOGLI
		SOC.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.		
A4	-	SIN	CIV	REL	036	00	SIN-CIV-REL-036_00	

Committente: ECOWIND 6 S.r.l. Via Alessandro Manzoni, 30 20121 Milano (MI)	PROGETTO PER LA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZA DI 122,4 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI SINNAI, MARACALAGONIS, QUARTUCCIU, SETTIMO SAN PIETRO E SELARGIUS (CA)	Nome del file: <p style="text-align: right;">SIN-CIV-REL-036 00</p>
--	---	---

Sommario

1. PREMESSA	2
2. Caratteristiche Territoriali ed Infrastrutturali del Sito	2
2.1 Inquadramento.....	2
2.2. Caratteristiche territoriali	3
2.3. Qualità ambientale	4
2.4. Qualità paesaggistica.....	4
3. Regime anemologico	4
4. Calcolo di massima delle ore di funzionamento dell'impianto	7
4.1. Direzione prevalente del vento	7
4.2. Densità dell'aria	9
4.3. Curva di potenza aerogeneratore.....	9
4.4. Modella rugosità.....	10
4.5. Modellazione effetto scia.....	10
4.6. Layout turbine	11
4.7. Correzione delle perdite	11
4.8. Riepilogo delle perdite.....	14
5. Producibilità e calcolo delle ore equivalenti	15
6. Conclusioni	17

Committente: ECOWIND 6 S.r.l. Via Alessandro Manzoni, 30 20121 Milano (MI)	PROGETTO PER LA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZA DI 122,4 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI SINNAI, MARACALAGONIS, QUARTUCCIU, SETTIMO SAN PIETRO E SELARGIUS (CA)	Nome del file: <p style="text-align: right;">SIN-CIV-REL-036 00</p>
--	---	---

1. PREMESSA

La presente relazione descrive un "Parco Eolico" per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile di tipo eolica, e la conseguente immissione dell'energia prodotta, attraverso la dedicata rete di connessione, sino alla Rete di Trasmissione Nazionale.

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto eolico composto da 17 aerogeneratori ognuno da 7,2 MW da installare nei comuni di Sinnai e Maracalagonis (CA) con opere di connessione ricadenti nei medesimi comuni e nei comuni di Quartucciu, Settimo San Pietro e Selargius (CA) commissionato dalla società Ecowind 6 Srl.

Gli aerogeneratori saranno collegati tra di loro mediante un cavidotto interrato in media tensione che collegherà l'impianto allo stallo predisposto nella futura Sottostazione Elettrica 30/150 kV per poi collegarsi in alta tensione alla Stazione Elettrica di trasformazione (SE) di trasformazione della RTN a 380/220/150 kV di Selargius.

L'aerogeneratore preso in considerazione per tale progetto (ovvero modello V 172 – 7,2 MW della Vestas) fa parte di una classe di macchine che possono essere dotate di generatore di diversa potenza, in funzione delle esigenze progettuali.

La presente relazione descrive lo studio anemometrico necessaria al progetto per la realizzazione di un "Parco Eolico" per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile di tipo eolica, e la conseguente immissione dell'energia prodotta, attraverso la dedicata rete di connessione, sino alla Rete di Trasmissione Nazionale.

2. CARATTERISTICHE TERRITORIALI ED INFRASTRUTTURALI DEL SITO

2.1 INQUADRAMENTO

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto eolico composto da 17 aerogeneratori ognuno da 7,2 MW da installare nel territorio dei comuni di Sinnai e Maracalagonis (CA) con opere di connessione ricadenti nei medesimi comuni e nei comuni di Quartucciu, Settimo San Pietro e Selargius (CA).

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 – Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 – Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it – web: www.pheedra.it	<p style="text-align: center;">RELAZIONE SULLA PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO</p>	<p style="text-align: right;">Pagina 2 di 17</p>
---	---	--

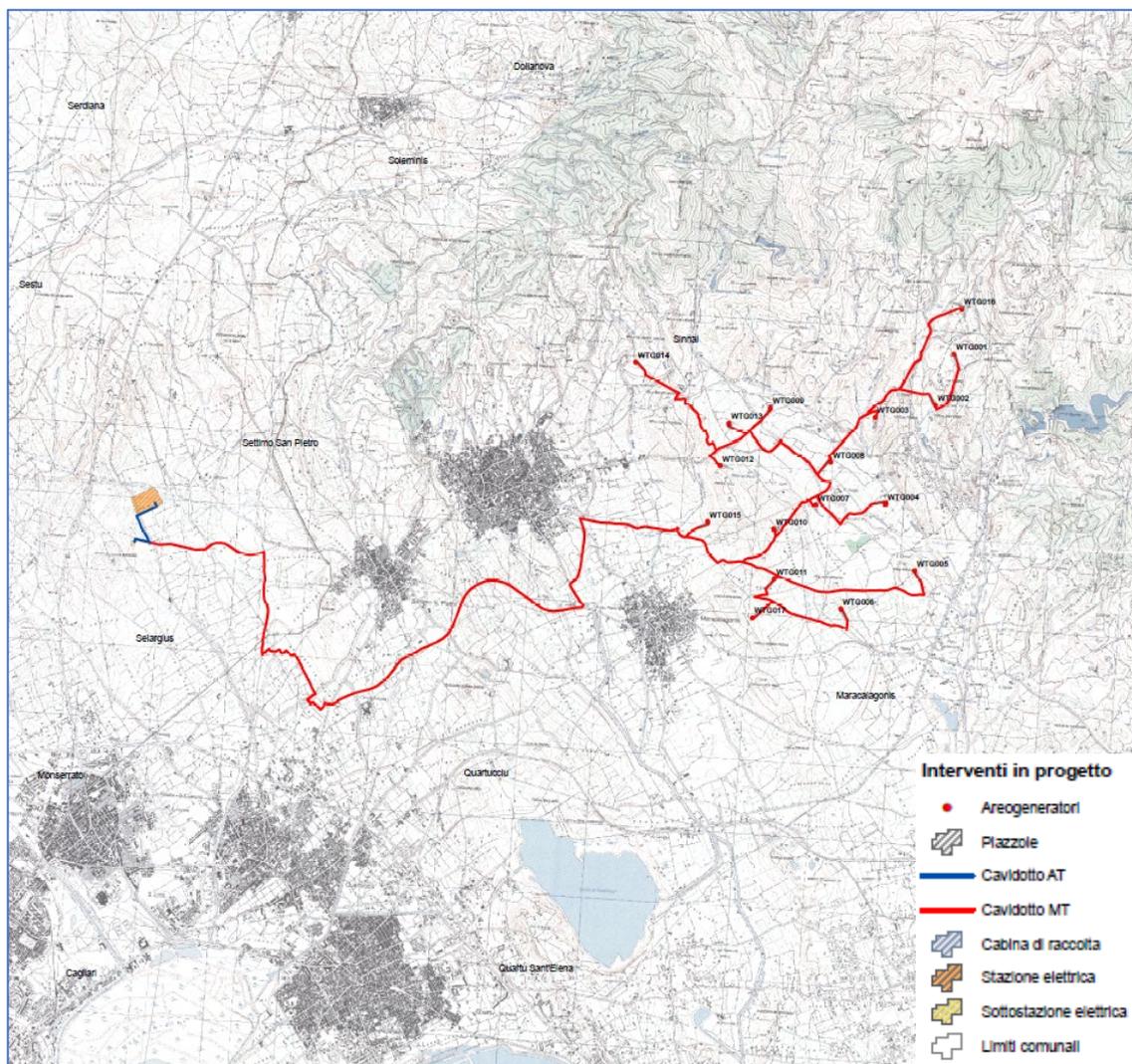


Figura 1 - Inquadramento su IGM

2.2. CARATTERISTICHE TERRITORIALI

Il progetto prevede l'installazione di 17 aerogeneratori ognuno di potenza nominale pari a 7,2 MW. Il modello dell'aerogeneratore previsto è una V 172 – 7,2 MW avente altezza al mozzo 114 m e diametro del rotore 172 m.

Gli aerogeneratori da WTG01 a WTG09 e da WTG12 a WTG16 ricadono nel comune di Sinnai mentre gli aerogeneratori WTG10, WTG11 e WTG17 ricadono nei comuni di Maracalagonis.

Le aree d'impianto sono servite dalla viabilità esistente costituita da strade statali, provinciali, comunali e da strade interpoderali e sterrate.

Il parco eolico è circoscritto dalle seguenti strade provinciali, regionali e statali:

- SS 125 – Orientale Sarda

Committente: ECOWIND 6 S.r.l. Via Alessandro Manzoni, 30 20121 Milano (MI)	PROGETTO PER LA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZA DI 122,4 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI SINNAI, MARACALAGONIS, QUARTUCCIU, SETTIMO SAN PIETRO E SELARGIUS (CA)	Nome del file: <p style="text-align: right;">SIN-CIV-REL-036 00</p>
--	---	---

- SP 15
- SP 16
- Strade comunali

L'accesso alle torri è garantito da tutte le strade elencate e strade comunali. La viabilità da realizzare non prevede opere di impermeabilizzazione. Sono inoltre previste piazzole in prossimità degli aerogeneratori.

Per la costruzione degli aerogeneratori è prevista la realizzazione di piazzole temporanee per lo stoccaggio e il montaggio. Tali aree saranno dismesse e ripristinate nella condizione ante operam.

La connessione elettrica tra gli aerogeneratori sarà garantita dalla realizzazione di un cavidotto interrato in media tensione, che si connette in primis alle due cabine di raccolta ubicate in agro del comune di Sinnai, passando poi alla connessione con la SSE ubicata in agro del comune di Selargius per poi, infine, connettersi alla Stazione Elettrica presente nel Comune di Selargius. Il cavidotto sarà realizzato principalmente su strada e solo in via secondaria tramite l'attraversamento dei terreni.

Durante gli studi preliminari, mediante l'interpretazione dei dati rilevati da stazioni metereologiche e dell'aeronautica presenti nella regione è stata verificata la presenza di una risorsa eolica.

In particolare, nell'area di intervento o nelle sue immediate vicinanze saranno installate stazioni anemometriche le cui finalità sono conformi a quanto definito, riguardo ai criteri di realizzazione degli impianti, e le cui specifiche tecniche vengono riportate di seguito.

2.3. QUALITÀ AMBIENTALE

Il territorio interessato dal sito e quello circostante sono di tipo corrente, non di particolare pregio culturale né di significato antropologico. L'ambiente mostra un contesto prettamente agricolo e non presenta elementi di pregio, ad eccezione di qualche appezzamento di modesta entità di coltivazione pregiata.

2.4. QUALITÀ PAESAGGISTICA

Il paesaggio circostante il sito e il sito stesso sono caratterizzati da buona leggibilità e percezione di linearità. Tale circostanza suggerisce un approccio insediativo di inserimento, cioè di conferma e rafforzamento delle linee proprie con le nuove strutture del paesaggio.

3. REGIME ANEMOLOGICO

Nel merito della valutazione illustrativa dell'indice di ventosità e delle conseguenti determinazioni sulla producibilità specifica ci si è avvalsi della Ricerca di Sistema svolta dal C.E.S.I. - Università degli Studi di Genova (Dipartimento di Fisica) nell'ambito del Progetto ENERIN. L'obiettivo della valutazione è stato quello di verificare il seguente aspetto:

- valutare la producibilità stimata in termini di effettivo interesse da parte delle aziende di settore.

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 - Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 - Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it	<p style="text-align: center;">RELAZIONE SULLA PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO</p>	<p style="text-align: right;">Pagina 4 di 17</p>
---	--	--

Committente: ECOWIND 6 S.r.l. Via Alessandro Manzoni, 30 20121 Milano (MI)	PROGETTO PER LA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZA DI 122,4 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI SINNAI, MARACALAGONIS, QUARTUCCIU, SETTIMO SAN PIETRO E SELARGIUS (CA)	Nome del file: <p style="text-align: right;">SIN-CIV-REL-036 00</p>
--	---	---

La Ricerca assunta alla base della valutazione ha messo a punto un metodo di stima della ventosità e della conseguente producibilità energetica partendo dalla simulazione di campi di vento attuata mediante modelli matematici che tengono conto, per quanto possibile, degli effetti prodotti da rilievi montuosi ed ostacoli in genere, oltre che della rugosità superficiale del terreno. La simulazione suddetta è stata sviluppata nel corso del 2000 e 2001 dall'Università degli Studi di Genova - Dipartimento di Fisica, che ha utilizzato il proprio modello WINDS (Wind-field Interpolation by Non Divergent Schemes), derivato dal modello capostipite NOABL con l'inserimento di appropriati algoritmi e modifiche finalizzate a migliorarne le prestazioni. Il modello è quindi da ritenersi modello accreditato (secondo quanto indicato dall'art.6 – Criteri tecnici - comma a)) da enti pubblici e/o di ricerca.

Alla messa a punto di tale modello di simulazione hanno contribuito le analisi basate sulla raccolta ed elaborazione dei dati anemometrici disponibili sul territorio (rete anemometrica ENEL-CESI, rete ENEA, rete dei Servizi Meteorologici dell'Aeronautica Militare e quelli reperiti presso reti regionali ed altre reti - ad es. da piattaforme off-shore).

Ai fini dell'interesse specifico per la presente relazione si evidenziano alcuni aspetti determinanti della stima riportata:

- le valutazioni sono state effettuate in particolare attingendo ai dati di velocità della sola mappa a 100 m dal suolo;
- le mappe riportate forniscono localmente dati più rappresentativi per condizioni anemologiche in condizioni orografiche non riparate, il che è sostanzialmente verificato per le opportunità che offrono le aree eleggibili potenziali;
- la producibilità riportata è desunta dalle seguenti condizioni di riferimento: 100m di altezza slm, ed è da intendersi come producibilità teorica, quindi con disponibilità dell'aerogeneratore pari al 100% e senza considerare perdite di energia di alcun tipo. L'utilizzo del dato di producibilità specifica è quello suggerito dalla stessa definizione;
- stima dell'incertezza dei parametri valutati:
 - +/- 1.5-1.6 m/s a 50 m di quota
 - +/- 1.6-1.8 m/s a 70 m di quota
- ai fini della producibilità riportata si ricorda che, a parte la precisione del modello di simulazione concorrono alla determinazione reali fattori esterni di natura tecnica (curva di potenza dell'aerogeneratore e regime di funzionamento a Pnom variabili per tipologia e marca);
- il calcolo della producibilità specifica si effettua mediante l'analisi di due curve: la curva di distribuzione della velocità del vento all'altezza di mozzo e la curva di potenza dell'aerogeneratore di interesse, pure espressa normalmente in funzione della velocità del vento all'altezza di mozzo. Una valutazione accurata richiede ovviamente una conoscenza altrettanto accurata delle due curve.

L'analisi delle mappe riportate individua come eleggibile il contesto territoriale individuato. I valori di riferimento per la velocità media del vento e la producibilità specifica sono desunti dall'atlante eolico della RSE, considerando una griglia formata da riquadri di 1,4 x 1,4 km, che consentono di riportare le seguenti considerazioni finali:

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 – Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 – Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it – web: www.pheedra.it	<p style="text-align: center;">RELAZIONE SULLA PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO</p>	<p style="text-align: right;">Pagina 5 di 17</p>
---	---	--

Committente: ECOWIND 6 S.r.l. Via Alessandro Manzoni, 30 20121 Milano (MI)	PROGETTO PER LA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZA DI 122,4 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI SINNAI, MARACALAGONIS, QUARTUCCIU, SETTIMO SAN PIETRO E SELARGIUS (CA)	Nome del file: <p style="text-align: right;">SIN-CIV-REL-036 00</p>
--	---	---

Per l'area riferita alla WTG01, WTG02

- velocità media del vento a 100 m = 6,25508 m/s
- producibilità specifica stimata a 100 m = 3459,96 MWh/MW

Per l'area riferita alla WTG03

- velocità media del vento a 100 m = 6,46797 m/s
- producibilità specifica stimata a 100 m = 3631,32 MWh/MW

Per l'area riferita alla WTG04, WTG08

- velocità media del vento a 100 m = 5,93667 m/s
- producibilità specifica stimata a 100 m = 3209,87 MWh/MW

Per l'area riferita alla WTG05, WTG06

- velocità media del vento a 100 m = 5,68882 m/s
- producibilità specifica stimata a 100 m = 2944,85 MWh/MW

Per l'area riferita alla WTG07, WTG10, WTG12

- velocità media del vento a 100 m = 6,17739 m/s
- producibilità specifica stimata a 100 m = 3379,50 MWh/MW

Per l'area riferita alla WTG09, WTG13

- velocità media del vento a 100 m = 6,67715 m/s
- producibilità specifica stimata a 100 m = 3724,26 MWh/MW

Per l'area riferita alla WTG11, WTG17

- velocità media del vento a 100 m = 5,89502 m/s
- producibilità specifica stimata a 100 m = 3124,04 MWh/MW

Per l'area riferita alla WTG14

- velocità media del vento a 100 m = 6,75720 m/s
- producibilità specifica stimata a 100 m = 3793,86 MWh/MW

Per l'area riferita alla WTG15

- velocità media del vento a 100 m = 6,35315 m/s
- producibilità specifica stimata a 100 m = 3444,45 MWh/MW

Per l'area riferita alla WTG16

- velocità media del vento a 100 m = 7,01406 m/s

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 – Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 – Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it – web: www.pheedra.it	<p style="text-align: center;">RELAZIONE SULLA PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO</p>	<p style="text-align: right;">Pagina 6 di 17</p>
---	---	--

Committente: ECOWIND 6 S.r.l. Via Alessandro Manzoni, 30 20121 Milano (MI)	PROGETTO PER LA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZA DI 122,4 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI SINNAI, MARACALAGONIS, QUARTUCCIU, SETTIMO SAN PIETRO E SELARGIUS (CA)	Nome del file: <p style="text-align: right;">SIN-CIV-REL-036 00</p>
--	---	---

- produttività specifica stimata a 100 m = 4138,10 MWh/MW

A tale stima hanno fatto seguito ricerche di settore per verificare la reale fattibilità degli impianti pur con le considerazioni di tutela precedentemente dette. I riscontri avuti consentono di individuare, come area eleggibile dal punto di vista del criterio tecnico rappresentato dall'indice di ventosità, il territorio indicato.

La velocità del vento cresce, quindi, con l'aumentare della quota secondo la legge logaritmica. In base ai rilevamenti effettuati nella zona interessata, desunti i valori di rugosità del terreno e valutata la classe di stabilità atmosferica di Pasquill-Gifford di appartenenza, si è stimato il valore medio annuo della velocità del vento alla quota di 114 m, cioè in corrispondenza del mozzo degli aerogeneratori.

4. CALCOLO DI MASSIMA DELLE ORE DI FUNZIONAMENTO DELL'IMPIANTO

A livello teorico sulla scorta di banche dati esistenti, per rappresentare i dati del vento, si utilizza la funzione di distribuzione di Weibull tale da descrivere in forma compatta la distribuzione di frequenza della velocità del vento. La funzione a due parametri di Weibull è matematicamente espressa da:

$$f(u) = \frac{k}{A} \left(\frac{u}{A}\right)^{k-1} \exp \left[-\left(\frac{u}{A}\right)^k \right]$$

dove $f(u)$ è la frequenza di occorrenza della velocità u . A è il parametro di scala e k il parametro di forma, si ottiene sulla scorta dei dati a disposizione i seguenti andamenti nel dominio delle frequenze, della velocità del vento e della direzione di provenienza.

Pertanto il modello richiede i parametri del territorio quali, l'orografia, la rugosità ostacoli fisici al flusso e i parametri dinamici quali il campo di vento. I primi sono forniti sotto forma di modello territoriale i secondi sotto forma di distribuzione di Weibull.

Si precisa che le elaborazioni, le stime e le valutazioni in seguito descritte sono state effettuate con foglio di calcolo interno per ottenere il calcolo della produzione (teorica massima). Il foglio di calcolo utilizza i dati anemologici in letteratura per il vento geostrofico (vento indisturbato) per una superficie di diversi km di raggio tenendo conto della natura orografica, della rugosità del terreno e dell'eventuale presenza di ostacoli al flusso del vento.

4.1. DIREZIONE PREVALENTE DEL VENTO

La variabilità della direzione del vento è fortemente influenzata dalla micrometeorologia del sito. Siti posti a bassa quota e nei pressi di fasce costiere risentono delle brezze di mare e di brezze di terra locali, che

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 - Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 - Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it	<p style="text-align: center;">RELAZIONE SULLA PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO</p>	<p style="text-align: right;">Pagina 7 di 17</p>
---	---	--

generano una rosa dei venti molto meno articolata rispetto a siti posti a quote intermedie, dove le brezze di pendio e di valle inducono una variazione nella direzione del vento rilevante.

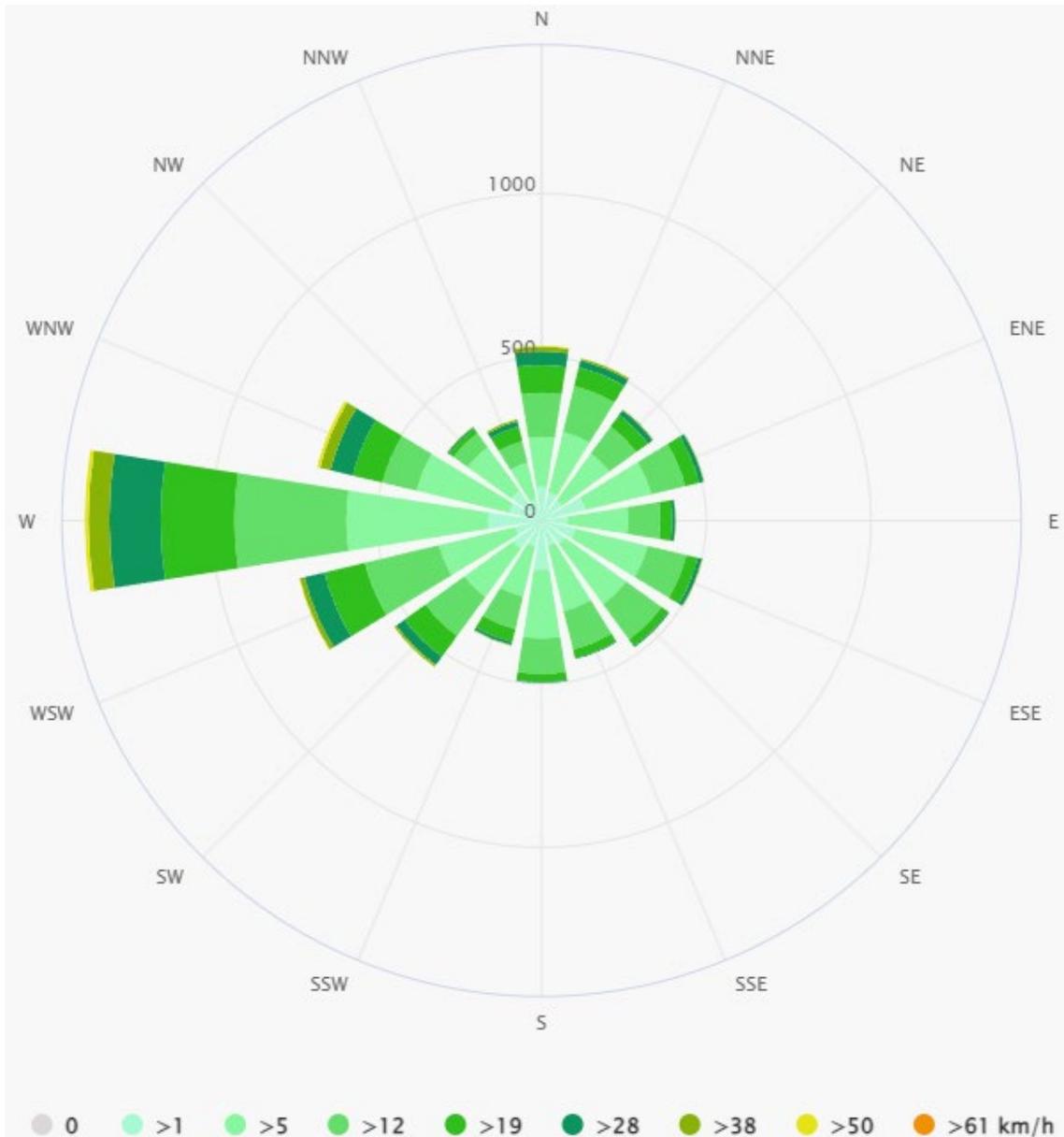


Figura 2 - Rosa dei Venti comune di Sinnai e Maracalagonis - Direzione prevalente del vento NO - NNO

4.2. DENSITÀ DELL'ARIA

La densità media dell'aria è stata stimata dalla quota media di installazione degli aerogeneratori e dalla temperatura media annua della area di intervento. Data una quota di 100 m sul livello del mare ed una temperatura di 15°C la densità genericamente può essere approssimata a 1,221 kg/m³.

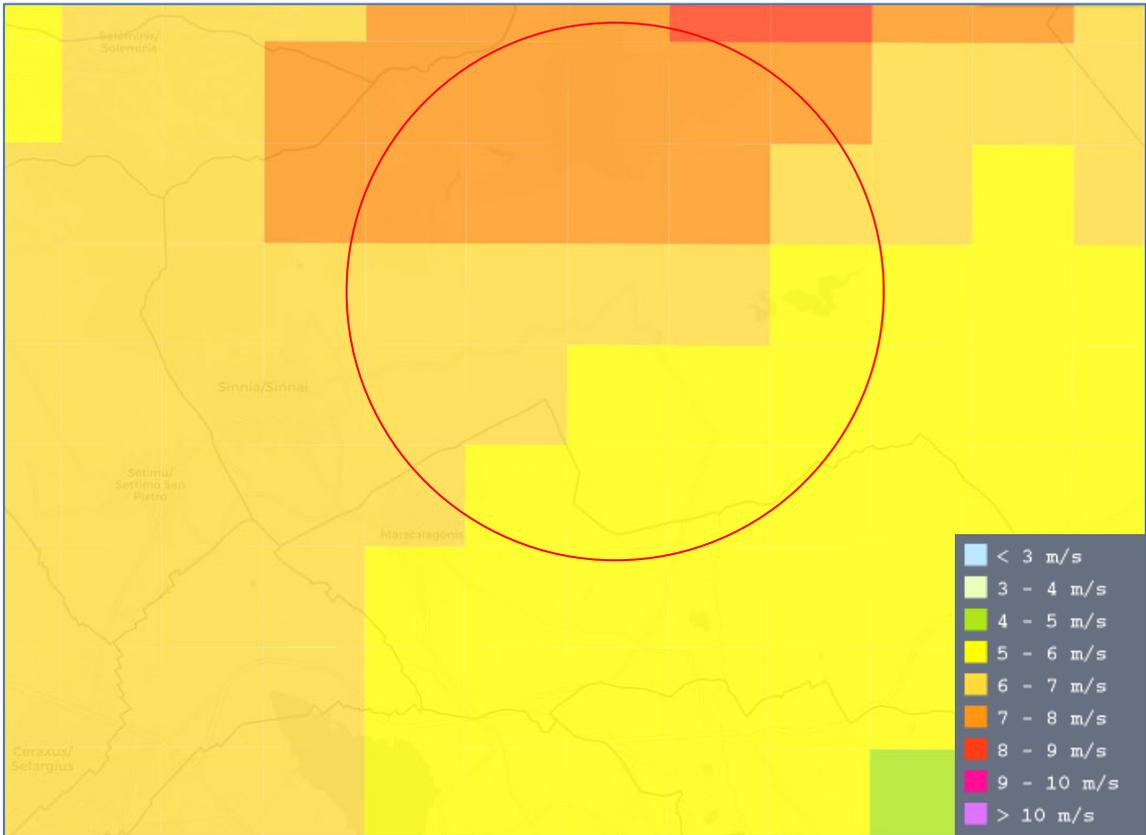
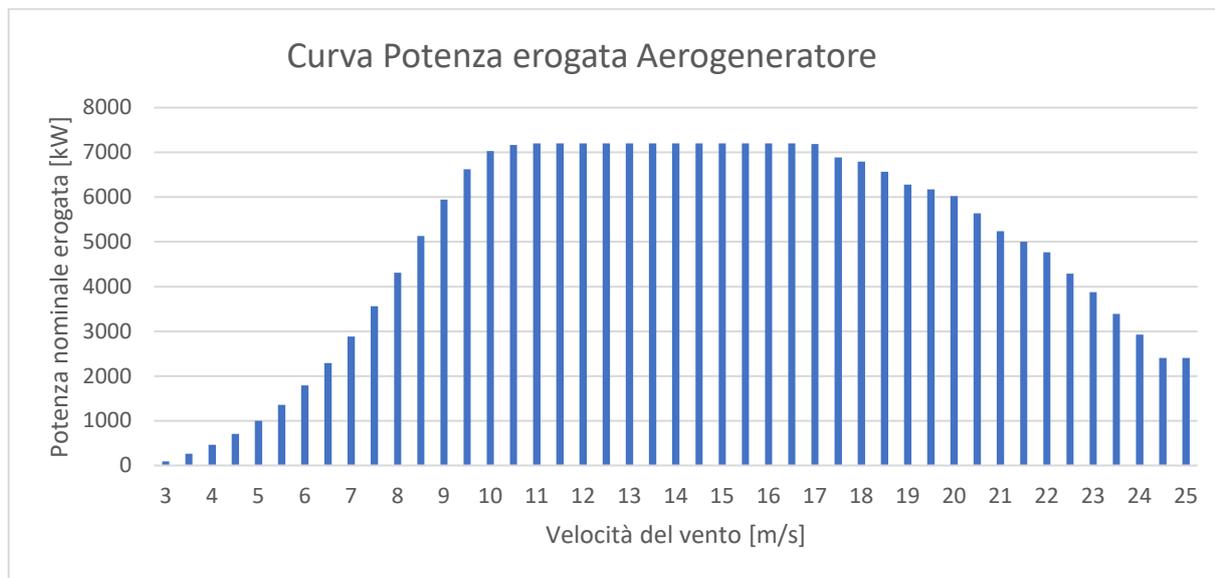


Figura 3 - velocità del vento a 100 m s.l.t.

4.3. CURVA DI POTENZA AEROGENERATORE

La turbina individuata per la costruzione dell'estensione del parco eolico è la V 172 – 7,2 MW della Vestas o similari, con potenza nominale di 7,2 MW ed altezza mozzo 114 m, diametro del rotore 172 m. Da foglio di calcolo interno si riporta la curva di potenza del singolo aerogeneratore.



4.4. MODELLO RUGOSITÀ

L'area individuata per l'installazione degli aerogeneratori è costituita da terreni destinati a coltivazioni di frutteti. Le case sono sparse e di altezza inferiore ai 10 m. Per la classificazione del territorio si è fatto riferimento alla tabella seguente:

Terreno	Classe di Rugosità	Z ₀ [m]
- superfici d'acqua, superficie sabbiosa, nevosa, terreno nudo liscio, zone aeroportuali e stradali erba falciata	0	Da 10 ⁻⁴ a 10 ⁻²
- Zone di campagna con poche case sparse, alberi, case di campagna che consentono la vista dell'orizzonte	1	Da 3 · 10 ⁻² a 5 · 10 ⁻²
- Case che coprono la vista dell'orizzonte	2	Da 7 · 10 ⁻² a 10 ⁻¹
- Molti alberi e/o arbusti, fasce con effetto barriera, sobborghi	3	Da 3 · 10 ⁻¹ a 7 · 10 ⁻¹

4.5. MODELLAZIONE EFFETTO SCIA

La quantificazione dell'effetto scia, riduzione della velocità in corrispondenza del mozzo della turbina posteriore ad un'altra rispetto alla direzione di provenienza del vento, è stato fatto utilizzando il modello Jensen. La costante di decadimento della velocità è stata selezionata al valore standard di 0,075 m. Tale

Committente: ECOWIND 6 S.r.l. Via Alessandro Manzoni, 30 20121 Milano (MI)	PROGETTO PER LA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZA DI 122,4 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI SINNAI, MARACALAGONIS, QUARTUCCIU, SETTIMO SAN PIETRO E SELARGIUS (CA)	Nome del file: <p style="text-align: right;">SIN-CIV-REL-036 00</p>
--	---	---

modello permette di calcolare l'efficienza del parco tenendo conto della sovrapposizione della singola scia.

4.6. LAYOUT TURBINE

Coordinate aerogeneratori (UTM WGS 84 32N)

TURBINA	E (UTM WGS84 32N) [m]	N (UTM WGS84 32N) [m]
WTG01	523452,27720	4352514,32200
WTG02	523251,99580	4351806,06900
WTG03	522451,42730	4351591,45100
WTG04	522666,20450	4350408,98700
WTG05	523121,48940	4349535,45400
WTG06	522160,33010	4348954,03400
WTG07	521730,50360	4350338,68500
WTG08	521895,12480	4350931,22200
WTG09	521031,13400	4351615,47900
WTG10	521183,76780	4349976,88700
WTG11	521234,54480	4349302,04800
WTG12	520406,96830	4350783,88600
WTG13	520485,20580	4351376,43300
WTG14	519172,08330	4352122,17400
WTG15	520285,58810	4350019,04600
WTG16	523520,36770	4353131,51000
WTG17	520975,61250	4348754,80700

4.7. CORREZIONE DELLE PERDITE

La produzione lorda di energia del parco eolico in oggetto non include le perdite che si verificano per la disponibilità della macchina, le perdite per il controllo (isteresi della velocità), le perdite elettriche nelle linee di distribuzione interne al parco fino al punto di misura. Si è tenuto conto di tali perdite considerando un fattore correttivo definito come:

$$E_{net} = J * E_{gross}$$

$$J = \prod_i Lf_i$$

Committente: ECOWIND 6 S.r.l. Via Alessandro Manzoni, 30 20121 Milano (MI)	PROGETTO PER LA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZA DI 122,4 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI SINNAI, MARACALAGONIS, QUARTUCCIU, SETTIMO SAN PIETRO E SELARGIUS (CA)	Nome del file: <p style="text-align: right;">SIN-CIV-REL-036 00</p>
--	---	---

$$Lf_i = \left(1 - \frac{\langle E_i \rangle}{E_{gross}} \right)$$

Turbine

Sulla base dei dati raccolti in letteratura e dalle indicazioni fornite dal costruttore le perdite dovute alla disponibilità delle turbine possono essere stimate in **2.0%**.

Sottostazione e linee interne

Sulla base dei dati raccolti in letteratura e dalle indicazioni fornite dai costruttori di sottostazioni di trasformazione e linee elettriche le perdite per indisponibilità di tali apparati è **0.5%**.

Rete di distribuzione

Si assume un valore del **1.0%**

Perdite elettriche

Considerando il progetto delle linee elettriche e la distribuzione della velocità del vento le perdite dal punto di connessione in bassa tensione ed il punto di misura possono essere stimate in 0.5%, sulla base delle indicazioni derivanti dall'esperienza di gestione di altre centrali analoghe. Le perdite sulle linee, cavidotti interni, dalle turbine al punto di misura sono stimate essere il **2.0%**.

Sporcamento delle pale e ghiaccio

Sulla base delle indicazioni del sito, assenza di insediamenti industriali, e sulla possibilità di formazione di ghiaccio sulle pale si assume che tale perdita sia del **0.3%**.

Perdite dovute al controllo della turbina

L'algoritmo di controllo di fermo macchina per alta velocità di vento introduce una perdita di energia che non è considerata nella curva di potenza fornita dal costruttore.

L'ammontare di questa perdita è funzione sia dei parametri di controllo che della distribuzione della velocità del vento.

La valutazione di tale perdita può essere fatta considerando che:

$$\langle E \rangle = \int_0^{\infty} P(V) \cdot g \cdot p(V) dV$$

Dove:

P(V) è la curva di potenza della turbina

p(V) è la funzione di probabilità della velocità in sito

g è pari alle seguenti possibilità:

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 - Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 - Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it	<p style="text-align: center;">RELAZIONE SULLA PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO</p>	<p style="text-align: right;">Pagina 12 di 17</p>
---	---	---

Committente: ECOWIND 6 S.r.l. Via Alessandro Manzoni, 30 20121 Milano (MI)	PROGETTO PER LA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZA DI 122,4 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI SINNAI, MARACALAGONIS, QUARTUCCIU, SETTIMO SAN PIETRO E SELARGIUS (CA)	Nome del file: <p style="text-align: right;">SIN-CIV-REL-036 00</p>
--	---	---

$$g = 0 \text{ per } V \leq V1$$

$$g = \frac{0.5 \cdot (V - V1)}{(V2 - V1)} \text{ per } V1 < V \leq V2$$

$$g = 0 \text{ per } V < V2$$

Con V1 è la velocità di restart dopo il fermo macchina per alta velocità (20m/s) e V2 è la velocità di fermo macchina. (25m/s)

In tal evento, mediante l'equazione 1, la perdita calcolata è minore dell'0.5%. In ogni caso si assume un valore pari a **0.6%**.

Topografia

L'evidenza sperimentale suggerisce che il modello sottostima le variazioni di velocità all'interno del sito. Per stimare l'ammontare di tale perdita si è considerato un rendimento dovuto alla topografia

$$\Delta E = E \cdot |J_{topog}|$$

dove J_{topog} include le perdite per variazione di velocità all'interno del sito e pari a **0,98**.

Fermo preventivo

Per alcune turbine i costruttori prevedono il fermo preventivo quando il flusso proviene da alcuni settori al fine di proteggere le macchine. Nel caso del parco eolico sito nei comuni sopracitati non sono state introdotte restrizioni, pertanto il fattore riduttivo è **0.0%**.

Wind Shear

La velocità del vento varia lungo l'asse del rotore determinando una perdita che può essere valutata con la seguente espressione:

$$\Delta E = E_{grass} (-0.0352_{-}^2 + 0.1484_{-} - 0.156) \text{ per } _ \leq 2$$

$$\Delta E = 0 \text{ per } _ > 2$$

$$\text{Con } _ = \frac{h_{hub} - D}{R}$$

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 - Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 - Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it	<p style="text-align: center;">RELAZIONE SULLA PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO</p>	<p style="text-align: right;">Pagina 13 di 17</p>
---	---	---

Committente: ECOWIND 6 S.r.l. Via Alessandro Manzoni, 30 20121 Milano (MI)	PROGETTO PER LA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZA DI 122,4 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI SINNAI, MARACALAGONIS, QUARTUCCIU, SETTIMO SAN PIETRO E SELARGIUS (CA)	Nome del file: <p style="text-align: right;">SIN-CIV-REL-036 00</p>
--	---	---

Dove h_{hub} è l'altezza del mozzo delle turbine, D è l'altezza massima Z_0 corrispondente agli elementi di rugosità, R è il raggio del rotore.

In questo caso la perdita sarà pari a **0.0%**.

Crescita degli alberi

L'effetto della crescita degli alberi è modellizzato da un effettivo aumento dell'altezza di ostacoli.

L'ammontare della perdita può essere stimato dalla seguente espressione:

$$\Delta E = E_{grass} (4.04 - 0.29 V_{ref}) \frac{V < h}{(h_{hub} - 0.65h) \cdot \ln(\frac{h_{hub}}{h - 0.65})}$$

Dove:

Δh = è l'aumento di altezza degli alberi in un anno,

h = è l'altezza iniziale degli alberi

α = è un fattore che converte la crescita annuale in una media annuale su 10 anni e può essere calcolata come:

$$V = \frac{(10-0.5m)m}{10} \text{ con } m = \min\left(10, \frac{h_{max}-h}{<h}\right)$$

Fermo macchina per alta velocità

La probabilità di fermo per alta velocità del vento è già determinata dalla probabilità cumulata della curva di Weibull ed estrapolata all'altezza del mozzo.

4.8. RIEPILOGO DELLE PERDITE

Tipologie perdite	Origine	Perdita (%) DE/E	Fattore correttivo delle perdite (Lfi)
Disponibilità (turbine)	Stima	2	0.98
Disponibilità (sottostazione e linee interne)	Stima	0.5	0.995
Disponibilità (Rete di distribuzione)	Stima	1	0.99
Elettriche (in bassa tensione)	Stima	0.5	0.995
Elettriche (nelle linee interne)	Stima	2	0.98
Turbolenza (influenza sulla curva di potenza)	Stima	0.5	0.995
Sporcamento pale (ghiaccio + degrado)	Stima	0.3	0.997

Committente: ECOWIND 6 S.r.l. Via Alessandro Manzoni, 30 20121 Milano (MI)	PROGETTO PER LA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZA DI 122,4 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI SINNAI, MARACALAGONIS, QUARTUCCIU, SETTIMO SAN PIETRO E SELARGIUS (CA)	Nome del file: <p style="text-align: right;">SIN-CIV-REL-036 00</p>
--	---	---

Controllo (isteresi per alta velocità)	Stima	0.6	0.994
Fermo per alta velocità	Calcolato	0	1
Fermo preventivo	Stima	0	1
Topografia	Stima	0	0.98
Wind Shear	Stima	2	1
Crescita degli alberi	Stima	0	1
Prodotto			0.9096

5. PRODUCIBILITÀ E CALCOLO DELLE ORE EQUIVALENTI

La seguente sezione mostra il sommario dei risultati basati, sulle specifiche statistiche di Weibull, sui dati meteorologici, sui dati anemometrici. I calcoli sono stati eseguiti con i metodi in precedenza descritti tenendo in conto anche delle perdite.

N° Generatori Previsti	17
Potenza Nominale	7,2 MW
Altezza Torre	114 m
Diametro Rotore	172 m

I valori della potenza in uscita e del coefficiente di spinta garantiti dal costruttore in funzione della velocità media del vento all'altezza del mozzo e per una densità dell'aria pari a 1,221 kg/m³ sono i seguenti:

Velocità del vento [m\s]	Potenza [KW]	Coef. Spinta [Ct]
3	91	0,28
3,5	265	0,37
4	467	0,41
4,5	707	0,44
5	1002	0,45
5,5	1359	0,45
6	1789	0,46
6,5	2294	0,46
7	2884	0,46

Committente: ECOWIND 6 S.r.l. Via Alessandro Manzoni, 30 20121 Milano (MI)	PROGETTO PER LA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZA DI 122,4 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI SINNAI, MARACALAGONIS, QUARTUCCIU, SETTIMO SAN PIETRO E SELARGIUS (CA)	Nome del file: <p style="text-align: right;">SIN-CIV-REL-036 00</p>
--	---	---

7,5	3558	0,46
8	4314	0,46
8,5	5134	0,45
9	5946	0,44
9,5	6624	0,42
10	7031	0,40
10,5	7167	0,37
11	7198	0,35
11,5	7200	0,32
12	7200	0,29
12,5	7200	0,26
13	7200	0,23
13,5	7200	0,21
14	7200	0,18
14,5	7200	0,17
15	7200	0,15
15,5	7200	0,14
16	7200	0,12
16,5	7200	0,11
17	7190	0,10
17,5	6889	0,09
18	6797	0,09
18,5	6568	0,08
19	6280	0,07
19,5	6171	0,06
20	6021	0,06
20,5	5637	0,05
21	5236	0,05
21,5	5002	0,04
22	4767	0,04
22,5	4289	0,03
23	3873	0,03
23,5	3387	0,02
24	2924	0,02
24,5	2404	0,02
25	2404	0,02

Poiché la potenza estraibile da un flusso eolico è direttamente proporzionale alla densità dell'aria, nel caso in cui essa, nelle aree relative al sito in questione, si scosti dal suddetto valore standard è

PHEEDRA Srl Servizi di Ingegneria Integrata Via Lago di Nemi, 90 74121 – Taranto (Italy) Tel. +39.099.7722302 – Fax: +39.099.9870285 Email: info@pheedra.it – web: www.pheedra.it	<p style="text-align: center;">RELAZIONE SULLA PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO</p>	<p style="text-align: right;">Pagina 16 di 17</p>
---	---	---

Committente: ECOWIND 6 S.r.l. Via Alessandro Manzoni, 30 20121 Milano (MI)	PROGETTO PER LA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZA DI 122,4 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI SINNAI, MARACALAGONIS, QUARTUCCIU, SETTIMO SAN PIETRO E SELARGIUS (CA)	Nome del file: <p style="text-align: right;">SIN-CIV-REL-036 00</p>
--	---	---

necessario correggere le curve di potenza e del coefficiente di spinta in riferimento alla densità realmente rilevata.

In relazione alle caratteristiche degli aerogeneratori, ai dati anemometrici e in base alla resa degli stessi, in linea generale si è desunta, tramite fogli di calcolo interni per ogni aerogeneratore, la produttività energetica il cui limite massimo si attesta intorno ai 17.640 MWh/anno (comprensiva di perdite effetto scia) in funzione al totale di ore equivalenti annue pari a 2.450 (monte ore teorico massimo).

6. CONCLUSIONI

La presente relazione riporta i risultati dell'analisi e validazione generale dei dati di vento per il sito oggetto di studio. Con i risultati ottenuti si è proceduto a valutare una stima teorica della produzione attesa annua sulla base del layout e del tipo di aerogeneratore ipotizzati.

Tale stima di produzione rappresenta la $P_{50\%}$, ossia il valor medio della distribuzione statistica della produzione annua.