

COMMITTENTE



GRV WIND SHARDANA S.R.L.
Via Durini, 9 Tel. +39.02.50043159
20122 Milano PEC: grwindshardana@legalmail.it

PROGETTISTI



INSE S.r.l.
Viale Michelangelo,71 Tel. 081.579.7998
80129 Napoli Mail: tecnico@inse srl.it

Amm. Francesco Di Maso
Ing. Nicola Galdiero
Ing. Pasquale Esposito

Collaboratori:
Dott. Geol. V. E. Iervolino Arch. C. Gaudiero
Dott. F. Mascia Ing. F. Quarto
Dott. M. Medda Ing. R. D'Onofrio
Ing. A. Bartolazzi Ing. R. M. De Lucia
Arch. R. Alfano Geom. A. Bove



REGIONE SARDEGNA



PROVINCIA DI ORISTANO



PROVINCIA DEL SUD SARDEGNA



COMUNE DI USELLUS



COMUNE DI ASSOLO



COMUNE DI VILLA SANT'ANTONIO

PROGETTO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 4.5 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 45 MW SITO NEI COMUNI DI USELLUS (OR), VILLA SANT'ANTONIO (OR) E ASSOLO (OR) CON OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI USELLUS (OR), VILLA SANT'ANTONIO (OR), ASSOLO (OR), ALBAGIARA (OR), SENIS (OR), NURECI (OR) E GENONI (SU)

ELABORATO

Titolo:

ANALISI DI PRODUCIBILITA'

Tav: / Doc:

SI 14

Codice elaborato:

AS311-SI16-R

Scala / Formato:

-:- / A4

00	DICEMBRE 2023	PRIMA EMISSIONE	INSE Srl	INSE Srl	GRV WIND SHARDANA Srl
REV.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE

INDICE DELLE REVISIONI

VERSIONE	DATA	CODICE
1	Dic 2023	R20231207_EPR_V1

INDICE

EXECUTIVE SUMMARY	4
1. DESCRIZIONE DEL SITO	5
2. ANEMOLOGIA	7
3. ANALISI OROGRAFIA	13
4. MODELLO TURBINA EOLICA (WTG)	17
5. ESTRAPOLAZIONE VENTOSITA' DA STAZIONE ANEMOMETRICA A WTG	18
6. STIMA DI PRODUZIONE ENERGETICA P50	20
ALLEGATO A – STRUMENTAZIONE DI MISURA VENTO STAZIONI ARPA SARDEGNA .	24
ALLEGATO B – TAB FILE DI WASP SERRENTI LONG TERM IN FORMATO TABELLARE	29
ALLEGATO C – SPECIFICHE WTG VESTAS V163 4,5MW	31

EXECUTIVE SUMMARY

Il presente elaborato è parte integrante del progetto definitivo relativo al Parco Eolico Usellus e ne rappresenta lo studio di producibilità. Il Parco Eolico è sito nei comuni di Usellus, Villa Sant'Antonio e Assolo, in provincia di Oristano, Sardegna. Il progetto prevede l'installazione di 10 aerogeneratori (WTG) del tipo Vestas V163 4,5MW. Gli aerogeneratori hanno potenza nominale di 4,5 MW, per una potenza complessiva del parco eolico di 45 MW. L'altezza delle torri al mozzo (HUB) è di 113 m e il diametro del rotore è di 163 m per una altezza complessiva massima della struttura pari a 194,5 m. Questi aerogeneratori sono della tipologia tripala sopravento con pale e rotore controllati da un sistema di pitching & yawing per un posizionamento ottimizzato in funzione delle varie condizioni di vento.

Dal punto di vista anemometrico le valutazioni del potenziale di sito saranno basate su Dati Misurati della Stazione ARPA Sardegna altezza 10 m denominata Serrenti (short-term da Gennaio 2020 a Dicembre 2021) con aggiustamento long-term effettuato con Dati Storici di Rianalisi ERA5 per definire la ventosità attesa di lungo termine alla Stazione stessa.

Nell'ambito dello studio si è approfondito altresì l'orografia del sito e della zona più ampia nel suo complesso da cui non si sono riscontrate criticità di nota.

La Stima di Produzione Energetica P50 per la wind farm di potenza nominale totale di 45 MW è stata calcolata in 126,7 GWh/anno, pari a 2815 Ore Equivalenti annue.

Si sono altresì verificati i parametri minimi imposti da Delibera Regionale 3/17 del 2009 per confermare la congruenza del sito e della wind farm oggetto di questo studio a tali parametri.

1. DESCRIZIONE DEL SITO

Il proposto progetto eolico Usellus si colloca a nord di SS442 a collegare le località di Assolo e Escovedu in un'area compresa tra SP35 a ovest e SP38 a est. La città di Oristano è a circa 25 km a ONO rispetto al baricentro di sito.



Figura 1 – Ubicazione di wind farm Usellus

Il layout di wind farm prevede 10 posizioni di WTGs, rispettivamente in due cluster di 7 WTGs a ovest e 3 WTGs a est, come da **Figura 2** ripresa da GoogleEarth 2023. La zona è orograficamente complessa con le basi di WTG comprese tra 200 m e 370 m s.l.m., con superfici adibite a pastorizia o coperte da coltivazioni di foraggio e con presenza rarefatta di alberi e arbusti di bassa altezza, ovvero tali da non rappresentare ostacoli fisici da pregiudicare dal punto di vista strutturale le WTG di progetto quando operative.

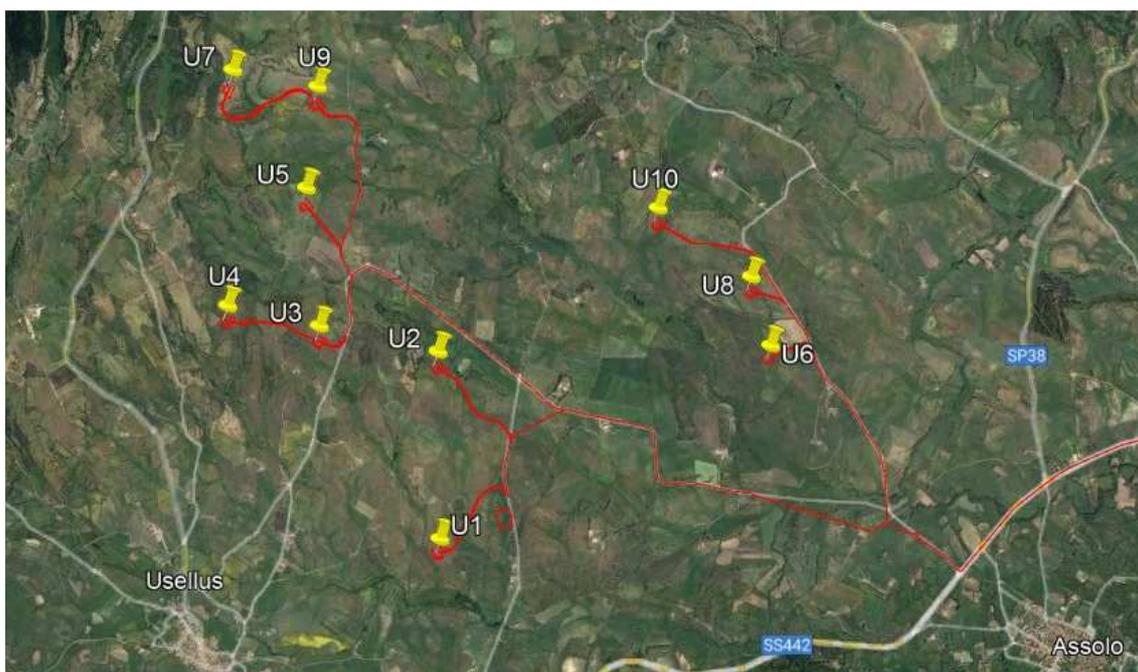


Figura 2 – Lay-Out wind farm Usellus su Google Earth Map

2. ANEMOLOGIA

Dal punto di vista anemometrico le valutazioni del potenziale di sito saranno basate su due fonti di dati:

- Dati misurati delle Stazioni ARPA Sardegna presenti in sito
- Dati storici di Rianalisi per comparare la ventosità rilevata dai dati misurati con la ventosità attesa di lungo termine

In dettaglio:

- a) In una fase pre-screening si sono valutate 4 stazioni di misura ARPA di altezza 10m collocate nella zona di sito: Guasila, Donigala, Serrenti, Sardara. L'ubicazione geografica (come da **Tabella 1** sotto) di queste stazioni e la sensoristica per le misure di velocità e direzione vento sono mostrate in **Allegato A**. Si tratta di strumentazione MTX con: anemometro a mulinello 3 coppe a trasduttore ottico a impulsi Modello FAR203, i cui parametri di Range, Accuratezza e Risoluzione sono accettabili per lo scopo di questo studio; la banderuola Modello FAR305 a potenziometro magnetico presenta Range, Accuratezza, Risoluzione e Sensibilità ritenuti pure accettabili per lo scopo di questo studio.

Stazioni ARPA 10m	UTM wgs84 32S Est	UTM wgs84 32S Nord
Guasila	502871	4381021
Donigala	516337	4386376
Serrenti	496126	4370879
Sardara	487484	4383349

Tabella 1 – Stazioni ARPA Sardegna esaminate in pre-screening per dati di sito

- b) Da questo pre-screening e facendo indagine dell'immediato intorno (per identificare ostacoli soprattutto per le direzioni di vento prevalente attese nella zona) è emerso che la Stazione ARPA Serrenti è quella collocata in zona più aperta e meno soggetta a interferenza da ostacoli, come anche evidenziato in **Figura 3** e **Figura 4** di seguito. Di conseguenza tale Stazione Meteo sarà quella

selezionata come riferimento per tutti gli ulteriori computi di modellistica e la proiezione per il sito di Usellus.



Figura 3 – intorno di Stazione ARPA Serrenti 10m



Figura 4 –Stazione ARPA Serrenti 10m su zoom di Google Earth Map

- c) Si sono quindi recuperati direttamente dal Dipartimento Meteorologico Regione Autonoma Sardegna i dati misurati relativi al periodo Gennaio2020-Dicembre2021 della Stazione Serrenti altezza 10 m, ovvero 24 mesi di dati complessivi.
- d) Un data Quality Check di dettaglio è stato effettuato per riscontrare eventuali anomalie (casi di over-reading o under-reading, icing, ecc.). Si indica in **Tabella 2** sotto le statistiche principali relative ai 24 mesi di dati misurati.

Anno	Mese	Vmedia	Vmax	Std. Dev.	Weibull k	Weibull c
		(m/s)	(m/s)	(m/s)		(m/s)
2020	Jan	3,23	14,06	2,62	1,271	3,488
2020	Feb	4,43	19,75	3,03	1,500	4,909
2020	Mar	3,72	14,53	2,55	1,479	4,112
2020	Apr	3,01	16,38	2,20	1,405	3,312
2020	May	3,79	20,99	2,59	1,515	4,207
2020	Jun	4,42	15,42	2,86	1,594	4,938
2020	Jul	4,19	14,35	2,91	1,459	4,627
2020	Aug	4,68	14,73	3,07	1,546	5,202
2020	Sep	3,47	18,77	2,76	1,354	3,804
2020	Oct	3,66	12,54	2,39	1,568	4,076
2020	Nov	3,25	14,35	2,42	1,431	3,592
2020	Dec	3,01	12,15	2,10	1,449	3,312
2021	Jan	4,44	19,45	3,48	1,270	4,778
2021	Feb	2,97	11,69	2,53	0,808	2,738
2021	Mar	3,26	16,63	2,89	0,75	2,903
2021	Apr	3,41	14,87	2,76	1,053	3,473
2021	May	4,22	15,43	2,58	1,689	4,731
2021	Jun	4,01	11,64	2,22	1,879	4,518
2021	Jul	4,91	14,35	2,89	1,749	5,508
2021	Aug	4,13	13,78	2,74	1,548	4,602
2021	Sep	3,75	11,92	2,31	1,693	4,213
2021	Oct	3,16	12,56	2,26	1,473	3,506
2021	Nov	2,69	12,48	1,73	1,628	3,007
2021	Dec	3,42	15,19	2,74	1,317	3,727

Tabella 2 – Dati misurati elaborati da Stazione ARPA Serrenti 10 m

e) Dai 24 mesi di dati misurati Gennaio2020-Dicembre2021 si è riscontrata una Velocità media misurata di 3,84 m/s e una rosa dei venti prevalente da ovest-nordovest, che è in linea con le aspettative per la zona, Si mostra in **Figura 5** il TAB file in WAsP format dei dati misurati, ovvero i parametri di ventosità della Stazione suddivisi in 12 settori angolari principali: % Frequenza nel settore, fattori A e k della distribuzione di Weibull, Velocità media in ciascun settore derivata da Weibull, potenza del vento contenuta per metro quadrato passante, deviazione standard Velocità.

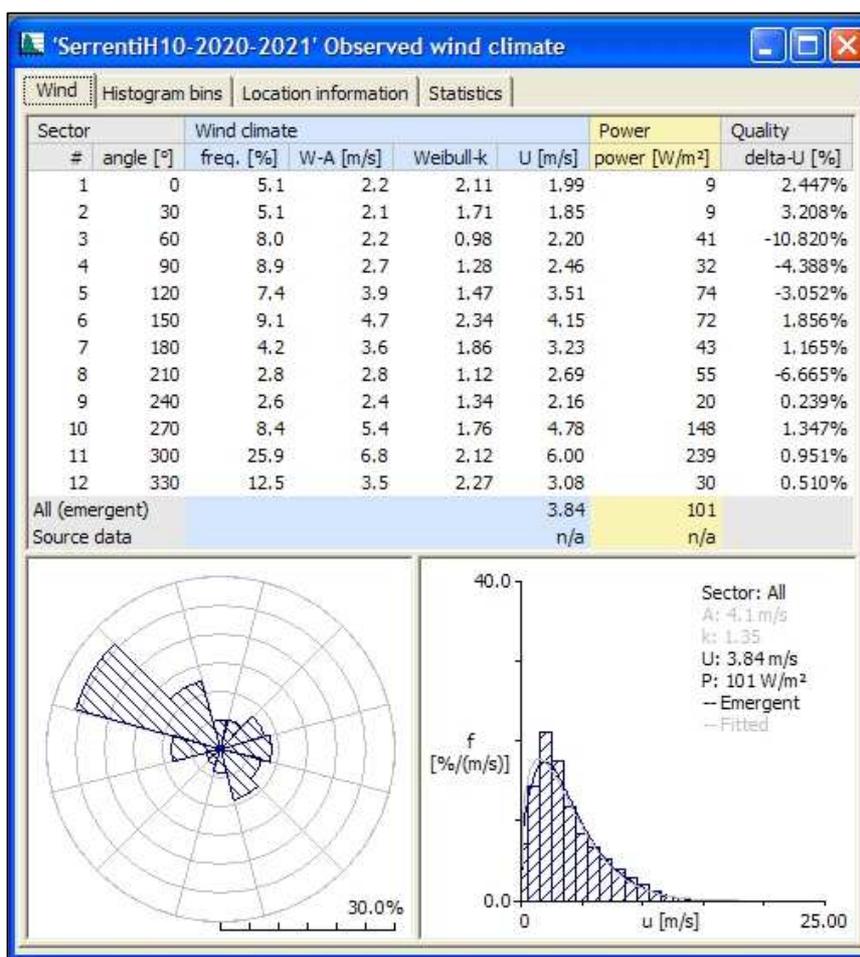


Figura 5 –TAB file di WAsP Stazione ARPA Serrenti 10m da Dati Misurati

f) Nello studio si è altresì verificato il trend di ventosità atteso mediamente durante le 24h della giornata (Daily Wind Speed Profile). La verifica ha dimostrato che le

ore di maggiore ventosità sono concentrate circa tra le ore 9:00 e le ore 19:00 (**Figura 6**), ovvero il futuro parco eolico proposto avrà le sue migliori performance di produzione in questa fascia di orari, mentre è da attendersi un calo nelle ore serali-notturne.

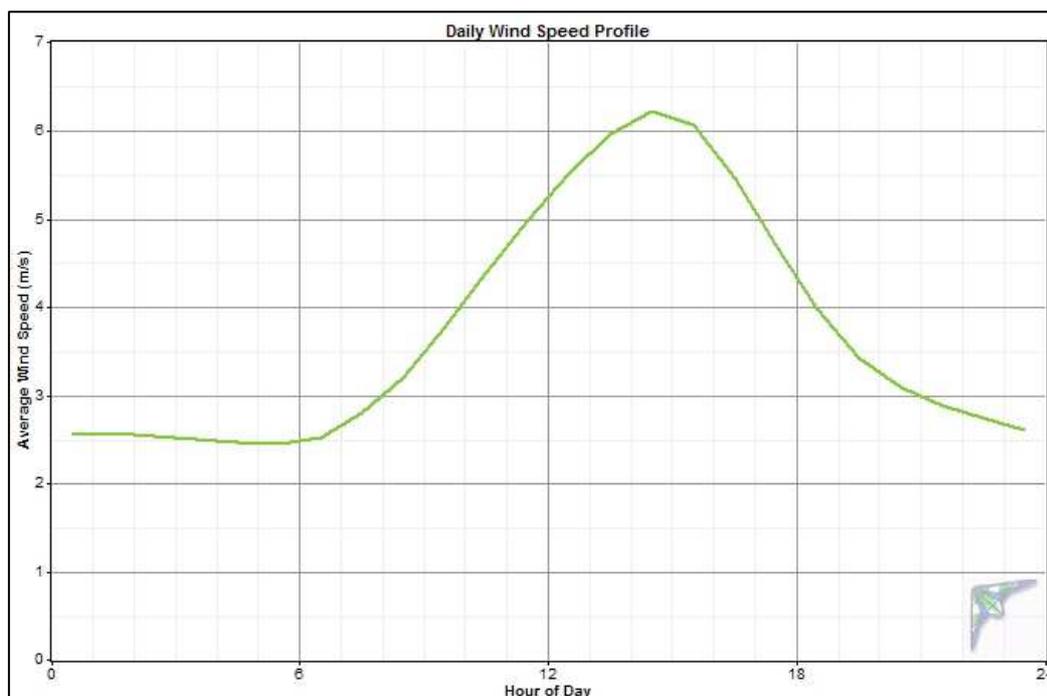


Figura 6 – Profilo velocità medie nelle 24h di Stazione ARPA Serrenti 10m

- g) Per verificare se i dati misurati della Stazione Serrenti sono rappresentativi della ventosità di lungo periodo, si sono estrapolati i dataset di Rianalisi ERA5 ricavati da portale 3TIER (<https://www.3tier.com/>). Come procedura si sono estratti i dati orari ERA5 di velocità e direzione vento del periodo Novembre2013-Ottobre2023 (10 anni complessivi) ad un punto di altezza 113 m sopra il piano di campagna in corrispondenza della collocazione della Stazione Serrenti (Virtual Met Mast a 113 m Hub Height al punto UTM wgs84 32S 496126,4370879). Dopo previo confronto tra rosa dei venti ERA5 dei 10 anni che si mostra allineata con i dati misurati dai 24 mesi di dati misurati della Stazione Serrenti (wind rose check OK), si è dunque confrontata la media di velocità dei 10 anni dei dati ERA5 long-term Novembre2013-Ottobre2023 con la media dati short-term Gennaio2020-

Dicembre2021 degli stessi. Tale confronto di Indice di Ventosità ha dimostrato che il periodo Novembre2013-Ottobre2023 è stato sotto la media per la zona e che un incremento del 1 % circa deve essere applicato alle misure della Stazione Serrenti per ricavare una caratterizzazione di ventosità long-term, da cui una Velocità media long-term attesa di 3,9 m/s circa, come evidenziato nel TAB di **Figura 7** seguente e in formato tabellare di Distribuzione di Frequenza come in **Allegato B**.

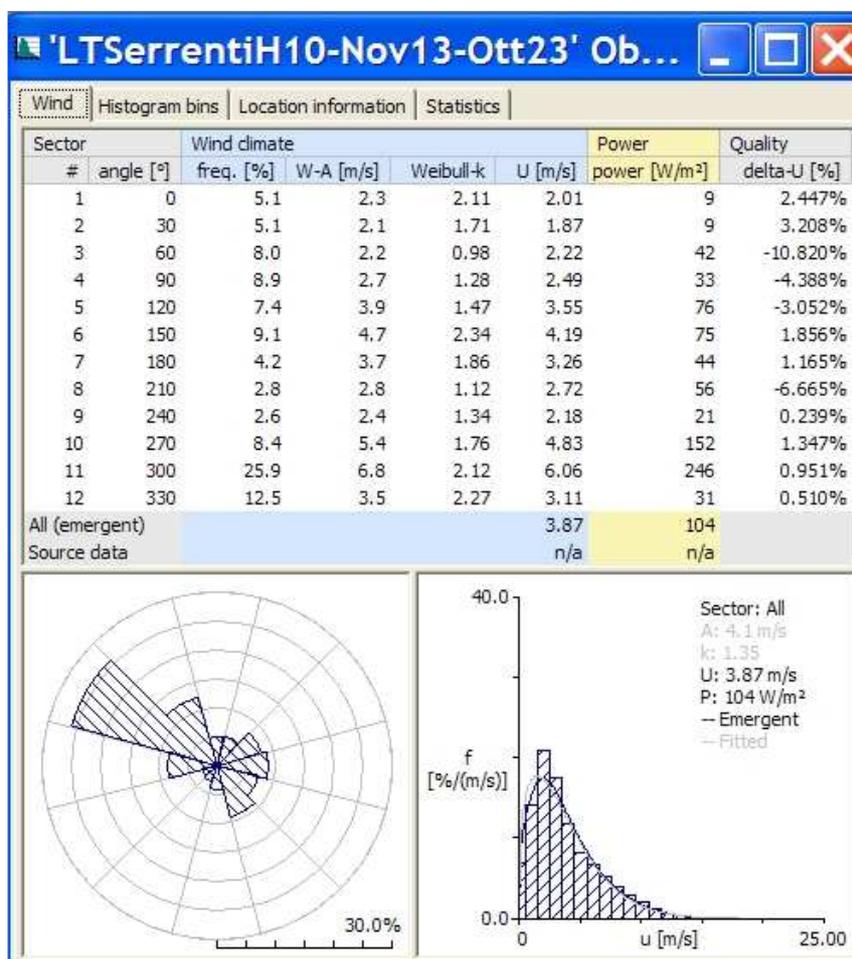


Figura 7 –TAB file di WAsP Stazione ARPA Serrenti 10m di Long-Term

3. ANALISI OROGRAFIA

In questa Sezione, partendo da una mappa satellitare SRTM con risoluzione DTM 10 m (passo griglia blu delle mappe 1000 m), l'obiettivo è di esaminare l'orografia generale di sito ed individuare eventuali fenomeni o criticità presenti nell'immediato intorno delle WTGs secondo il Layout di wind farm proposto o anche effetti determinati da rilievi lontani dal sito. Nello specifico si esaminano le altimetrie, le pendenze del sito e le interdistanze tra WTGs tenendo in considerazione che il modello di WTG proposta è la Vestas V163 4,5 MW, avente diametro rotore 163 m, altezza mozzo 113 m per una altezza fuori terra complessiva massima di 194,5 m (ground to max tip height). Ulteriori informazioni di dettaglio sul modello WTG saranno trattate in una Sezione successiva.

- a) Si premette innanzitutto che le coordinate e altitudini di base delle WTG oggetto di studio sono come da **Tabella 3** seguente,

ID turbina	UTM wgs84 32S Est (m)	UTM wgs84 32S Nord (m)	Altezza della base (m)
U1	488829	4407251	232
U2	488815	4408527	264
U3	488006	4408702	278
U4	487385	4408840	295
U5	487911	4409654	280
U6	491096	4408573	210
U7	487415	4410454	360
U8	490965	4409049	219
U9	487985	4410359	288
U10	490327	4409525	231

Tabella 3 – WTG del Lay-Out wind farm Usellus

- b) Nell'orografia di sito estrapolata da DTM (**Figura 8**) si nota come Layout WTG e aree circostanti presentano una marcata variabilità di altimetria, comunque non critica per l'esposizione delle WTG.

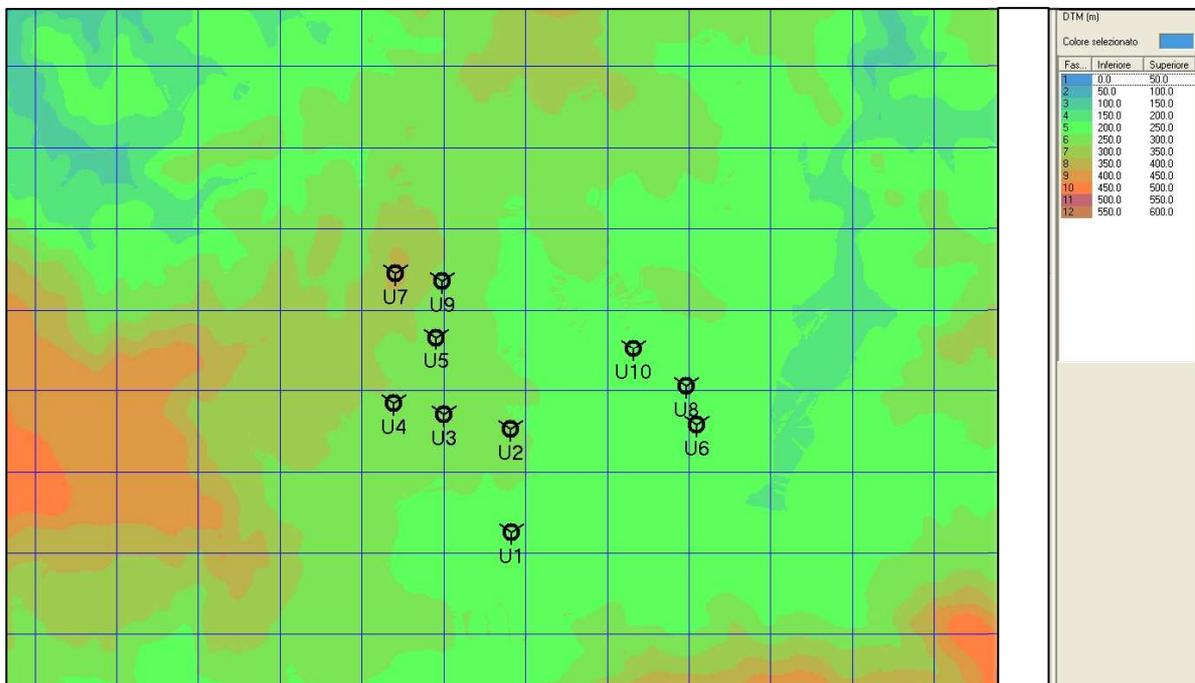


Figura 8 – WTG del Lay-Out wind farm Usellus su DTM di altimetria

- c) Dal punto di vista delle pendenze le WTG si presentano in terreno con pendenze inferiori a 10 gradi nell'intorno del layout, con eccezione di WTG U7 che comunque resta inferiore ai 20 gradi ovvero non critica (**Figura 9**).

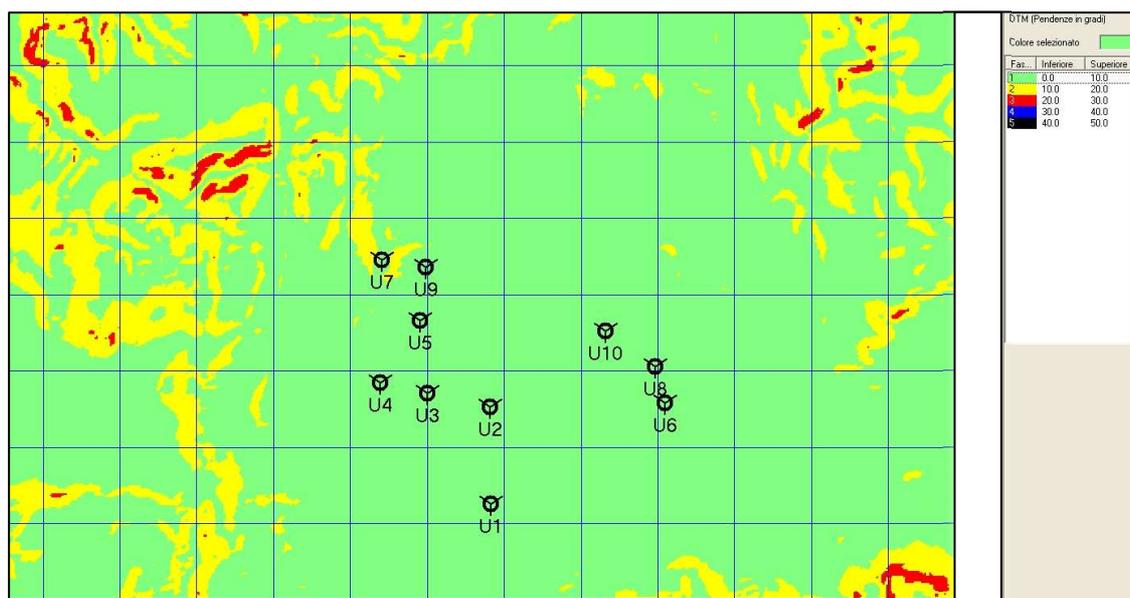


Figura 9 – WTG del Lay-Out wind farm Usellus su DTM di clisimetria

- d) Anche dal punto di vista interdistanze tra WTG non si rilevano criticità e la interdistanza 3D ritenuta minimo progettuale è soddisfatta, con le WTG U6 e U8 a rappresentare il minimo assoluto (poco superiore a 3D). In **figura 10** si indicano le WTG su mappa isoipse. Per promemoria la griglia della mappa è con passo planimetrico 1000 m e ad oggi non si rilevano altri parchi eolici operativi limitrofi o di imminente realizzazione (nel raggio di 3 km circa) al parco oggetto di questo studio.

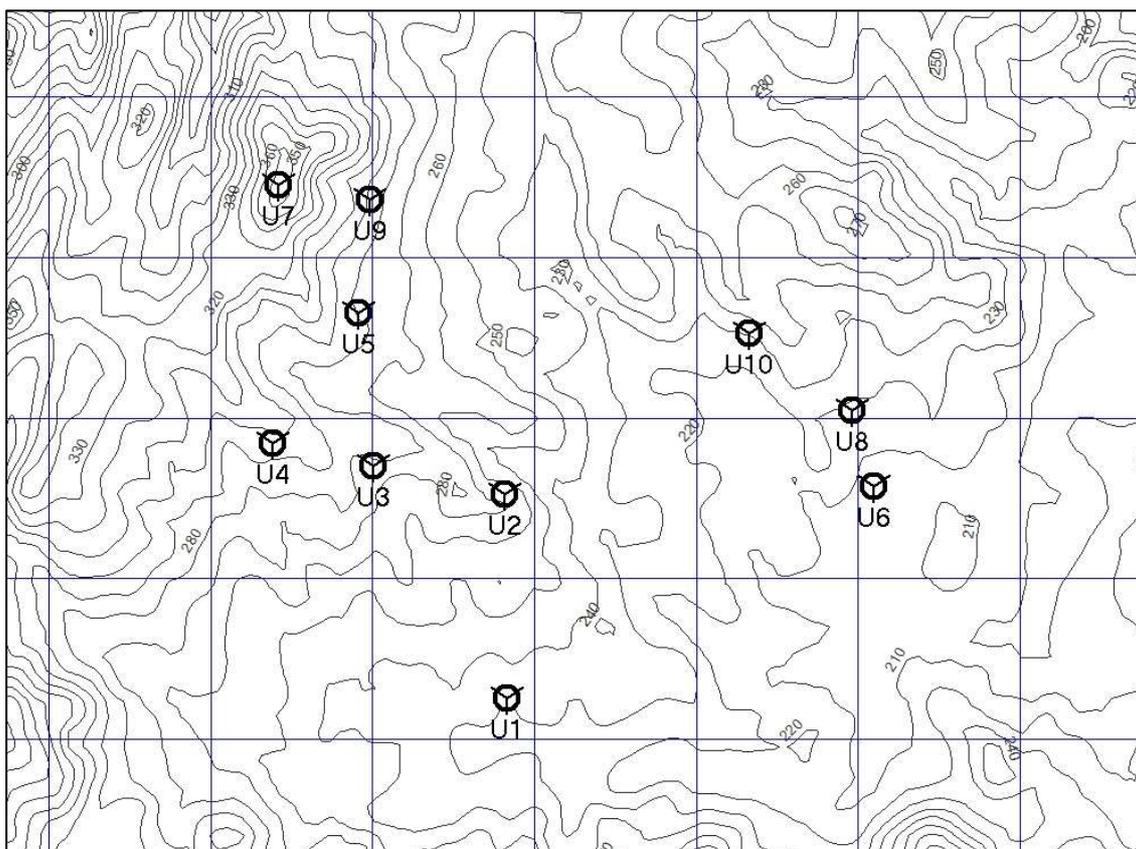


Figura 10 – Interdistanze WTG del Lay-Out wind farm Usellus su mappa isoipse

4. MODELLO TURBINA EOLICA (WTG)

Il modello previsto da progetto è la Vestas V163 4,5MW come da quadro sintetico di **Tabella 4** seguente.

Modello WTG	Vestas V163 4,5 MW
Potenza Nominale	4,5 MW
Diametro Rotore D	163 m
Altezza mozzo H	113 m
Altezza totale fuori terra	194,5 m
IEC class 61400-22	III B
Velocità di Cut-in / Cut-out / Re Cut-in	3,0 – 24,0 – 22,0 m/s

Tabella 4 – Specifiche principali WTG

I dettagli di performance WTG ufficiali Vestas sono desumibili in **Allegato C**.

5. ESTRAPOLAZIONE VENTOSITA' DA STAZIONE ANEMOMETRICA A WTG

Successivamente allo studio dell'anemologia (Sezione 2) e dell'orografia di sito (Sezione 3) si sono effettuati i seguenti passaggi salienti per derivare la ventosità long-term prevista al Layout di progetto e modello WTG (da Sezione 4):

- a) Il software WASP è stato adottato per estrapolare il regime di ventosità alle 10 WTG di progetto ad altezza 70 m (per effettuare poi verifica di velocità media a questa altezza e sua aderenza ai criteri minimi regionali per cui deve essere >5m/s ad ogni punto WTG) e 113 m sopra piano campagna (altezza mozzo WTG prevista) usando la Stazione Anemometrica ARPA Serrenti 10 m come punto di inizializzazione di modello e adottando la Distribuzione di Frequenza Long-Term determinata in Sezione 2 (**Allegato B**).
- b) Data la notevole differenza tra altezza di stazione misura 10 m e altezza mozzo 113 m si è verificato se il windshear α della Stazione Serrenti previsto da software WASP (ovvero il gradiente di incremento di velocità con l'altezza secondo la formula sottostante) è in linea con le attese per il tipo di orografia e rugosità superficiale del sito.

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

Ebbene tale verifica su WASP ha rilevato un valore di 0,2, che si ritiene accettabile e realistico per il tipo di terreno oggetto di studio.

- c) Ulteriore passaggio è stato di rilevare la Velocità media long-term prevista alle 10 posizioni di WTG a 70 m, le quali sono risultate essere come da **Tabella 5** seguente ovvero superiori a 5 m/s sanciti da Delibera Regionale 3/17 del 2009:

ID Turbina	UTM wgs84 32S Est (m)	UTM wgs84 32S Nord (m)	Velocità media del vento libero a 70 m (m/s)
U1	488829	4407251	5,25 > 5 m/s
U2	488815	4408527	5,61 > 5 m/s
U3	488006	4408702	5,61 > 5 m/s
U4	487385	4408840	5,65 > 5 m/s
U5	487911	4409654	5,51 > 5 m/s
U6	491096	4408573	5,28 > 5 m/s
U7	487415	4410454	6,98 > 5 m/s
U8	490965	4409049	5,38 > 5 m/s
U9	487985	4410359	5,67 > 5 m/s
U10	490327	4409525	5,43 > 5 m/s

Tabella 5 – Verifica Velocità minima a 70m di WTG

6. STIMA DI PRODUZIONE ENERGETICA P50

La ventosità determinata tramite software WAsP come Distribuzione di Frequenza Long-Term ai punti WTG del Lay-out è stata dunque introdotta nel software WindFarmer per la previsione delle Efficienze di Scia (Wake Efficiency) e il calcolo delle Efficienze di Sistema (System Efficiency), ovvero tutte quelle perdite tecniche che si devono computare per il passaggio da una produzione lorda a una produzione netta di wind farm.

L'obiettivo di questo calcolo è la determinazione del valore a P50, ovvero tenendo conto che il processo di calcolo è essenzialmente probabilistico e non deterministico (per variabilità interannuale del vento, incertezze di modellistica, ecc.). Il P50 è quel valore che rappresenta la media di un calcolo probabilistico degli scenari ipotizzabili.

In base alle premesse si presentano in **Tabella 6** sottostante i risultati di Stima di Produzione Energetica a P50, con ipotesi modello WTG Vestas V163 4,5MW di diametro rotore 163 m e altezza mozzo 113 m:

Numero di WTG	10	
Potenza Nominale totale sito	45,0	MW
Efficienza di Scia	95,2	%
Efficienza elettrica	97,5	%
Disponibilità WTG	98,0	%
Disponibilità BOP	99,0	%
Degradazione pale	99,5	%
Fermo Utility	100	%
Variazione curva di potenza	98,4	%
Isteresi ad alti venti	99,9	%
Sector Management	100	%
Produzione energetica annua netta stimata	126,7	GWh/anno
Fattore di capacità stimato	32,1	%
Ore Equivalenti annue	2815	he

Tabella 6 – Quadro di dettaglio Stima di Produzione annua P50 di wind farm Usellus

In dettaglio si spiegano le Perdite considerate nel computo di tabella precedente:

a) *Efficienza di Scia*: ciò è dovuto alla riduzione della velocità del vento esercitata dalle schermature che si determinano tra turbine eoliche, dove per un determinata direzione del vento alcune WTG arretrate rispetto alla direzione del vento sono schermate dalle WTG ubicate in posizione più avanzata, Il valore in tabella è calcolato sulla base del modello teorico Eddy Viscosity con software WindFarmer.

b) *Efficienza Elettrica*: è dovuto alle perdite elettriche per effetto joule nei cavi interni del parco, nei trasformatori e in altri componenti dell'impianto elettrico interno alle WTG. Il valore in tabella è ipotizzato sulla base delle caratteristiche di progetto della wind farm in questione.

c) *Disponibilità WTG*: è dovuta ai fermi delle apparecchiature di WTG per manutenzione ordinaria, straordinaria o problemi tecnici, e tiene conto di fattori legati alla tecnologia di WTG e la logistica di manutenzione pianificata. Il valore è ipotizzato sulla base di dati reali storici di impianti con caratteristiche tecniche analoghe alla wind farm in questione.

d) *Disponibilità BOP*: è dovuta ai fermi di tutte le altre apparecchiature di wind farm per manutenzione ordinaria, straordinaria o problemi tecnici (cavidotti, problemi di sottostazione, problemi di accesso WTG per dissesto rete stradale interna di wind farm, ecc.). Il valore è ipotizzato sulla base di dati reali storici di impianti con caratteristiche tecniche analoghe alla wind farm in questione.

e) *Degradazione aerodinamica pale*: è dovuto alle perdite di efficienza aerodinamica dovute alla formazione di sporco o ghiaccio che alterano il profilo aerodinamico delle pale. In base alla climatologia dell'area di parco il valore è ipotizzato sulla base di dati reali storici di impianti con caratteristiche tecniche analoghe alla wind farm in questione.

f) *Disponibilità Rete Nazionale*: è dovuta all'impossibilità in taluni casi di evacuare l'energia prodotta dalla wind farm per problemi di modulazione, manutentivi o tecnici della rete nazionale a cui il parco è allacciato. In questa sede non si sono ipotizzate perdite in tal senso.

g) *Variazione curva di potenza*: eventuali deviazioni della performance di WTG rispetto ai valori garantiti, anche per casi di Lay-Out subottimale o non conforme. Da una verifica

di interdistanze WTG effettuata si ipotizzano delle perdite determinate da questo fattore.

h) *Isteresi ad alti venti*: è dovuta alle perdite di energia provocate dal ciclo di isteresi iterativo del sistema di controllo tra la velocità di cut-off di WTG (24,0 m/s quando la WTG viene fermata) e la velocità di re-cut-in di WTG (22,0 m/s ovvero quando la WTG viene riavviata). Questo parametro è stato calcolato sulla base della performance di WTG e la ventosità specifica di ogni WTG di Lay-Out.

i) *Sector Management*: eventuali interdistanze WTG subottimali possono determinare l'esigenza di un fermo WTG programmato per alcune WTG di wind farm allo scopo di preservarne l'integrità strutturale in certe condizioni di vento (es: alta turbolenza, alto vento da una certa direzione, ecc.). Lo studio preliminare di questo parametro in particolare non ha fatto emergere la necessità di fermi WTG e quindi si è calcolata una perdita di Sector Management pari a zero.

I risultati P50 individuali di WTG per i parametri principali sono riportati nella **Tabella 7** che segue. Da questi risultati si desume che tutte le WTG soddisfano il criterio della produzione minima netta annua P50 di almeno 2000 Ore Equivalenti imposte da Delibera Regionale 3/17 del 2009.

ID Turbina	Velocità media del vento libero (m/s)	Resa Netta P50 (MWh/anno)	Ore Equivalenti P50 (h/anno)
U1	5,96	12071	2682 > 2000
U2	6,29	12630	2807 > 2000
U3	6,30	12532	2785 > 2000
U4	6,35	13172	2927 > 2000
U5	6,25	12480	2773 > 2000
U6	6,00	11799	2622 > 2000
U7	7,44	14922	3316 > 2000
U8	6,10	11676	2595 > 2000
U9	6,39	12883	2863 > 2000
U10	6,15	12488	2775 > 2000

Tabella 7 – Quadro sintetico Stima di Produzione annua P50 di WTG wind farm Usellus

A titolo di riferimento per la finalità di questo studio non si tratteranno eventuali studi delle incertezze di modellistica e di scenari di probabilità PXX in quanto situazioni da considerare tipicamente per una bancabilità e finanziamento futuro di progetto.

ALLEGATO A – STRUMENTAZIONE DI MISURA VENTO STAZIONI ARPA SARDEGNA

Sensore di velocità del ventoCodice - Code
FAR203xx**Wind speed sensor****Descrizione**

Il sensore è provvisto di un elemento a tre coppe girevole intorno ad un asse verticale (mulinello di Robinson). Il gruppo girante è montato su cuscinetti in acciaio inox a basso attrito; in questo modo la sensibilità del sensore risulta molto elevata.

Il corpo del sensore è realizzato in alluminio anticorrosivo, materiale che garantisce una consistente durata nel tempo e un'elevata resistenza alla corrosione, rendendo lo strumento adatto per applicazioni in ambienti marini.

Questo sensore fornisce una buona risposta su tutta la scala di velocità del vento, essendo adatto sia a rilevare basse intensità di vento, che velocità importanti fino a 50 m/s (corrispondenti a 180 km/h).

Il trasduttore utilizzato è un foto accoppiatore ottico che consente di convertire la velocità di rotazione in un segnale impulsivo. La frequenza degli impulsi in uscita dall'accoppiatore ottico è proporzionale alla velocità di rotazione del mulinello e, dunque, alla velocità del vento.

La scheda elettronica di gestione interna, basata su un microprocessore a 32bit a basso consumo energetico, consente di caratterizzare il funzionamento del sensore in più punti all'interno del campo operativo; ciò consente di linearizzare la curva di risposta elevando la precisione complessiva dello strumento.

All'estremità inferiore del sensore è montato il connettore di collegamento al cavo di segnale e di alimentazione. Il connettore è di tipo stagno con innesto a vite.

Per la taratura dello strumento viene utilizzato un sensore campione certificato ACCREDIA, la certificazione per confronto consente di mantenere la continuità con la catena metrologica e garantisce un valore scientifico alla misura.

La manutenzione di questo sensore è molto limitata: un controllo annuale dei cuscinetti garantisce il perfetto funzionamento dello strumento.

Nelle applicazioni in alta montagna, o più in generale dove è probabile che la temperatura scenda sotto lo zero, è possibile utilizzare una versione dello strumento provvista di riscaldatore termostato.

**Description**

The sensor is provided with a Robinson 3 cup rotor which rotates around a vertical axis.

This element is mounted on the top of the sensor body and is joint to an internal axis which is linked to stainless steel bearings with low friction in order to increase sensor sensitivity.

Coupled to the rotation axis, an optical transducer converts the rotation rate to a digital electric signal. The frequency of the impulsive signal is proportional to rotation rate of the rotor and so to wind speed.

The sensor body is made in anticorrosive aluminum, a material which guarantees a substantial durability and high resistance to corrosion, making the instrument suitable for applications in marine environments.

The sensor provides a good response over the entire range of wind speed, it is able to detecting low intensity of wind and high speeds up to 50 m/s (corresponding to 180 km/h).

An electronic board, based on a low power 32bit microprocessor, allows the characterization of the sensor at several points within the operating range; this allows to linearize the response curve so as to elevate the accuracy of the instrument.

On the bottom end of the sensor there is a connector for the signal and supply cable. The connector is watertight and has a screw connection.

For the calibration of the sensor, a certified instrument is used (reference ACCREDIA). The calibration based on comparison allows to maintain continuity with the metrological chain and assigns a scientific value to the measurement.

The sensor requires minimal maintenance: at least once a year, it is recommended to check the regular rotation of the cup-wind mill, which must take place without any particular friction, but rather with the normal smoothness of a mechanical component rotating on bearings.

Optionally, a heating set is available in order to avoid the block of the rotor due to freezing.

Caratteristiche Tecniche
Technical Specifications

Tipo sensore	Mulinello a tre coppe <i>Three cup rotor</i>	Sensor type
Principio di misura	Trasduttore ottico ad impulsi <i>Optical pulse transducer</i>	Measuring principle
Range di misura	0...50m/s - limite di danneggiamento: 75m/s <i>0...50m/s - damage limit: 75m/s</i>	Measuring range
Accuratezza	±0,5m/s fino a 10m/s; ±1,0m/s oltre 10m/s (taratura standard) <i>±0,5m/s until 10m/s; ±1,0 m/s over 10m/s (standard calibration)</i> ±0,2m/s (taratura personalizzata - <i>customized calibration</i>)	Accuracy
Risoluzione	0,01m/s	Resolution
Sensibilità	<0,2m/s	Sensitivity threshold
Uscita elettrica	0 ... 1V; 0 ... 2V; 0 ... 5V; 4 ... 20mA; RS485 Modbus	Electrical output
Alimentazione	9 ... 24 Vdc	Power supply
Consumo	≤10mA @ 12Vdc (+ segnale elettrico in uscita versioni 4-20mA; + <i>electrical output for 4-20mA version</i>)	Power consumption
Protezione transienti elettrici	Zener veloci (diodi ICTE) e varistori <i>Fast zener (ICTE diodes) and varistors</i>	Surge protection
Temperatura di esercizio	-30 ... +70°C	Operating range
Dimensioni	H=300mm D=200mm	Dimensions
Peso	0,6Kg	Weight
Riscaldatore (opzionale)	Alimentazione: 10...15Vdc <i>Power supply: 10...15Vdc</i> Consumo: 0,9 A <i>Power consumption: 0,9 A</i> Soglia di innesco: 4°C <i>Threshold start: 4°C</i>	Heater (optional)

Codice d'ordine
Ordering codes

Sensore velocità vento con uscita 0 ... 1V; 0 ... 2V; 0 ... 5V (da definire all'ordine)	FAR203AA	Wind speed sensor with electrical output 0 ... 1V; 0 ... 2V; 0 ... 5V (to be defined at the order)
Sensore velocità vento con uscita 0 ... 1V; 0 ... 2V; 0 ... 5V (da definire all'ordine) e riscaldatore interno	FAR203CA	Wind speed sensor with electrical output 0 ... 1V; 0 ... 2V; 0 ... 5V (to be defined at the order) and internal heater
Sensore velocità vento con uscita 4 ... 20mA	FAR203BA	Wind speed sensor with electrical output 4 ... 20mA
Sensore velocità vento con uscita 4 ... 20mA e riscaldatore interno	FAR203DA	Wind speed sensor with electrical output 4 ... 20mA and internal heater
Sensore velocità vento con uscita RS485 Modbus	FAR203EA	Wind speed sensor with output RS485 Modbus

Le specifiche tecniche possono essere modificate senza preavviso

Technical specifications may be varied without prior notice

Sensore di direzione del ventoCodice - Code
FAR305xx**Wind direction sensor****Descrizione**

Il sensore di direzione serve per misurare la provenienza del vento.

E' costituito da una banderuola, fissata ad un asse verticale rotante, sagomata in modo da allinearsi sempre con la direzione di provenienza del vento.

La banderuola è montata su cuscinetti INOX a basso attrito che rendono molto affidabile e sensibile lo strumento.

Un potenziometro magnetico circolare, ed un apposito circuito elettronico, convertono la posizione angolare della banderuola in una uscita elettrica proporzionale. La tecnologia magnetica attualmente rappresenta lo stato dell'arte rispetto ad altri sistemi di trasduzione dell'angolo di rotazione; questo oltre a garantire un'elevata precisione prospetta una vita utile superiore ai sensori di tipo ottico o potenziometrico tradizionale. Inoltre i sensori di tipo magnetico annullano completamente l'angolo morto caratteristico dei potenziometri circolari tradizionali.

La misura di uscita del sensore è in gradi (scala 0-360) riferiti al nord.

Il corpo del sensore è realizzato in alluminio anticorrosivo, materiale che garantisce una consistente durata nel tempo e un'elevata resistenza alla corrosione, rendendo lo strumento adatto per applicazioni in ambienti marini.

La misura della direzione del vento è un'informazione fondamentale quando si voglia monitorare la trasmissione dei pollini o degli agenti inquinanti presenti in aria.

La manutenzione di questo sensore è ridotta al minimo: un controllo annuale dei cuscinetti garantisce il perfetto funzionamento dello strumento.

Nelle stazioni in alta montagna o più in generale dove è probabile che la temperatura scenda sotto lo zero, è possibile installare una versione dello strumento provvista di riscaldatore termostato.

**Description**

The sensor is made up of a vane rotating around a vertical axis, designed to be always aligned to the wind direction.

The vane is placed at the end of a counterbalanced support and it's joint to the rotating vertical axis. All the rotating group is linked on stainless steel bearings with low friction, this allows a very high sensitivity.

The vane is joint to a magnetic potentiometer that converts the angular position to an electrical voltage signal. The magnetic technology currently represents the state of the art with respect to other systems of transduction of the angle of rotation; this ensures high precision and a useful life in excess of optical type sensors or potentiometric traditional. In addition, the magnetic transducer eliminates completely the blind spots characteristic of traditional circular pots.

The sensor body is made in anticorrosive aluminum, a material which guarantees a substantial durability and high resistance to corrosion, making the instrument suitable for applications in marine environments.

On the bottom end of the sensor there is a connector for the signal and supply cable. The connector is watertight and has a screw connection.

The measurement of the wind direction is basic information for the monitoring of transmission of pollen or pollutants present in the air.

The sensor requires minimal maintenance: at least once a year, it is recommended to check the regular rotation of the cup-wind mill, which must take place without any particular friction, but rather with the normal smoothness of a mechanical component rotating on bearings.

Optionally, a heating set is available in order to avoid the block of the rotor due to freezing.

Caratteristiche Tecniche
Technical Specifications

Tipo sensore	Gonioanemometro <i>Gonioanemometer</i>	Sensor type
Principio di misura	Potenziometro magnetico <i>Magnetic potentiometer</i>	Measuring principle
Range di misura	0 ... 360°	Measuring range
Accuratezza	±1°	Accuracy
Risoluzione	0,08°	Resolution
Sensibilità	≤0,25m/s	Sensitivity threshold
Uscita elettrica	0 ... 1V; 0 ... 2V; 0 ... 5V; 4 ... 20mA; RS485	Electrical output
Alimentazione	9 ... 24Vdc	Power supply
Consumo	≤10mA @ 12Vdc (+ segnale elettrico in uscita versioni 4-20mA; + <i>electrical output 4-20mA version</i>)	Power consumption
Protezione transienti elettrici	Zener veloci (diodi ICTE) e variatori <i>Fast zener (ICTE diodes) and varistors</i>	Surge protection
Temperatura di esercizio	-30 ... +70°C	Operating range
Dimensioni	H=380mm D=630mm	Dimensions
Peso	0,7Kg	Weight
Riscaldatore (opzionale)	Alimentazione: 10...15Vdc <i>Power supply: 10...15Vdc</i> Consumo: 0,9 A <i>Power consumption: 0,9 A</i> Soglia di innesco: 4°C <i>Threshold start: 4°C</i>	Heater (optional)

Codice d'ordine
Ordering codes

Sensore direzione vento con uscita 0 ... 1V; 0 ... 2V; 0 ... 5V (da definire all'ordine)	FAR305AA	Wind direction sensor with electrical output uscita 0 ... 1V; 0 ... 2V; 0 ... 5V (to be defined at the order)
Sensore direzione vento con uscita 0 ... 1V; 0 ... 2V; 0 ... 5V (da definire all'ordine) e riscaldatore interno	FAR305CA	Wind direction sensor with electrical output 0 ... 1V; 0 ... 2V; 0 ... 5V (to be defined at the order) and internal heater
Sensore direzione vento con uscita 4 ... 20mA	FAR305BA	Wind direction sensor with electrical output 4 ... 20mA
Sensore direzione vento con uscita 4 ... 20mA e riscaldatore interno	FAR305DA	Wind direction sensor with electrical output 4 ... 20mA and internal heater
Sensore direzione vento con uscita RS485	FAR305EA	Wind direction sensor with electrical output RS485

Le specifiche tecniche possono essere modificate senza preavviso

Technical specifications may be varied without prior notice

ALLEGATO B – TAB FILE DI WASP SERRENTI LONG TERM IN FORMATO TABELLARE

TDM Serrenti Long-Term Nov13-Ott23

39.49	8.96	10.00										
12	1.01	0										
	5.060	5.138	7.964	8.913	7.441	9.144	4.218	2.816	2.552	8.425	25.864	12.463
0.5	68.6	81.2	55.2	38.5	34.2	21.4	48.6	82.8	94.8	30.0	11.0	23.8
1.5	276.1	345.6	301.6	191.7	138.0	75.5	149.5	261.0	315.0	103.6	41.3	94.7
2.5	399.2	392.8	330.9	369.1	209.6	145.6	213.7	252.6	271.4	133.9	77.6	221.9
3.5	198.3	126.1	117.9	231.8	196.7	172.6	191.6	122.3	163.8	142.5	114.2	333.5
4.5	44.1	32.5	68.1	72.9	129.5	174.0	154.7	66.6	77.0	116.8	121.7	201.7
5.5	8.7	10.5	41.7	34.7	86.6	163.0	119.4	54.2	36.7	100.3	115.1	73.7
6.5	2.9	4.2	31.1	21.9	72.8	129.2	70.6	52.5	17.9	97.2	111.6	27.8
7.5	1.9	4.5	19.1	11.8	59.3	73.3	33.7	41.0	11.9	87.6	102.0	12.7
8.5	0.0	1.7	13.0	9.5	35.1	30.7	12.7	30.6	5.9	75.9	89.3	7.0
9.5	0.0	0.8	10.1	6.7	16.4	11.3	4.6	22.6	2.7	46.2	81.5	2.4
10.5	0.2	0.2	3.4	5.2	9.7	2.6	0.9	9.1	2.1	31.6	58.0	0.6
11.5	0.0	0.0	2.7	3.0	6.9	0.5	0.0	4.2	0.4	17.0	34.7	0.2
12.5	0.0	0.0	1.0	2.0	3.0	0.3	0.0	0.4	0.5	10.4	19.6	0.0
13.5	0.0	0.0	1.0	1.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	11.0	0.0
14.5	0.0	0.0	0.6	0.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	5.9	0.0
15.5	0.0	0.0	1.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	2.9	0.0
16.5	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.4	0.0
17.5	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.8	0.0
18.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.0
19.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
20.5	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21.5	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ALLEGATO C – SPECIFICHE WTG VESTAS V163 4,5MW

Restricted
Document no.: 0130-7822.V00
2022-08-31

Performance Specification

V163–4.5 MW 50/60 Hz



1 Introduction

The Vestas V163-4.5 MW wind turbine is a pitch regulated upwind turbine with active yaw and a three-blade rotor. The Vestas V163-4.5 MW turbine has a rotor diameter of 163 m.

This Performance Specification contains power curve, Ct curve and sound curve for:

- PO4500-0S/PO4500 V163-4.5 MW

2 Certification and Available Hub Heights

The standard turbine is type certified according to IECRE OD-501. Available hub heights are listed below:

Certification	Wind Class	Hub Height	
		Standard	Large diameter
IECRE OD-501	IECs	HH98, HH99, HH113	

Table 2-1: Type approval data and available hub heights

Tower height configuration can further be evaluated project specifically. Consult Vestas for specific tower request.

3 Operational Envelope and Performance Guidelines

Actual climate and site conditions have many variables and should be considered in evaluating actual turbine performance. The design and operating parameters set forth in this section do not constitute warranties, guarantees, or representations as to turbine performance at actual sites.



3.1 Climate and Site Conditions

The standard turbine operated in 4.5 MW Power Optimized Mode PO4 with the wind climate conditions listed below. Values refer to hub height.

Wind Climate	IEC IIIB
Power Rating	4.5 MW
Extreme Wind Speed (10 min average), V_{50}	37.5 m/s
Survival Wind Speed (3 s gust), V_{e50}	52.5 m/s
Turbulence Intensity, I_{V50}	11%

Table 3-1: Extreme design parameters – IEC

Wind Climate	IEC IIIB
Power Rating	4.5 MW
Wind Speed (10 min average), V_{ave}	7.5 m/s
Weibull K	2.0
I_{ref} acc. to IEC 61400-1	0.14
Turbulence Intensity acc. to IEC 61400-1, Including Wind Farm Turbulence (@15 m/s) I_{90} (90% quantile)	15.7%
Wind Shear, α	0.2
Inflow Angle (vertical)	8°

Table 3-2: Average design parameters – IEC

The wind shear power law exponent shall be valid for the wind profile between the turbine lower tip and upper tip height.

3.1.1 Complex Terrain

Classification of complex terrain according to IEC 61400-1:2005 Chapter 11.2.

For sites classified as complex, appropriate measures are to be included in site assessment. Positioning of each turbine must be verified via Vestas Site Check.

3.1.2 Altitude

The turbine is designed for use at altitudes up to 1000 m above sea level as standard and optional up to 2000 m above sea level.

3.1.3 Wind Power Plant Layout

Turbine spacing is to be evaluated site-specifically. Spacing below two rotor diameters (2D) may require sector-wise curtailment.

NOTE As evaluation of climate and site conditions is complex, consult Vestas for every project. If conditions exceed the above parameters, Vestas must be consulted.



3.2 Operational Envelope - Wind

The operation envelope is listed in Table 3-3. The turbine has the High Wind Operation (HWO) control feature as standard.

Wind Climate	IEC IIIB
Power Rating	4.5 MW
Cut-In, V_{in}	3.0 m/s
HWO start wind speed (10 min exponential avg.)	16.5 m/s
HWO cut-out wind speed	24.0 m/s
HWO re-cut-in wind speed	22.0 m/s

Table 3-3: Operational envelope – wind – IEC

6 Power Curves, Power Optimized Mode PO4500-0S

Air density [kg/m ³]														
WS [m/s]	1.225	0.950	0.975	1.000	1.025	1.050	1.075	1.100	1.125	1.150	1.175	1.200	1.250	1.275
3.0	94	58	62	65	68	71	75	78	81	84	87	91	97	100
3.5	201	142	148	153	158	164	169	174	180	185	190	196	206	211
4.0	334	246	254	262	270	278	286	294	302	310	318	326	342	350
4.5	497	373	384	396	407	418	430	441	452	464	475	486	509	520
5.0	700	530	546	561	577	592	608	623	638	654	669	684	715	730
5.5	946	722	743	763	784	804	824	845	865	886	906	926	967	987
6.0	1241	951	977	1004	1030	1057	1083	1109	1135	1162	1188	1214	1267	1292
6.5	1586	1221	1254	1288	1321	1354	1388	1421	1454	1487	1520	1553	1619	1652
7.0	1989	1537	1578	1620	1661	1702	1744	1785	1826	1867	1907	1948	2029	2070
7.5	2446	1897	1947	1997	2047	2098	2148	2198	2248	2298	2347	2397	2495	2544
8.0	2960	2303	2364	2424	2484	2545	2605	2664	2724	2784	2842	2901	3016	3073
8.5	3505	2744	2815	2885	2956	3027	3096	3166	3235	3305	3372	3438	3557	3610
9.0	4004	3185	3265	3345	3426	3506	3582	3658	3735	3811	3875	3940	4039	4073
9.5	4294	3594	3678	3761	3844	3928	3990	4052	4114	4176	4215	4255	4312	4329
10.0	4432	3972	4038	4103	4168	4234	4270	4307	4344	4381	4398	4415	4439	4446
10.5	4479	4239	4278	4317	4356	4395	4411	4426	4441	4456	4464	4471	4482	4485
11.0	4497	4403	4420	4436	4452	4469	4474	4480	4485	4491	4493	4495	4498	4499
11.5	4500	4462	4469	4476	4483	4490	4492	4494	4496	4498	4499	4499	4500	4500
12.0	4500	4485	4488	4491	4494	4497	4498	4499	4499	4500	4500	4500	4500	4500
12.5	4500	4494	4496	4497	4498	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500
13.0	4500	4498	4499	4499	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500
13.5	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500
14.0	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500
14.5	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500
15.0	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500
15.5	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500
16.0	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500
16.5	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500
17.0	4493	4493	4493	4493	4493	4493	4493	4493	4493	4493	4493	4493	4493	4493
17.5	4440	4440	4440	4440	4440	4440	4440	4440	4440	4440	4440	4440	4440	4440
18.0	4303	4303	4303	4303	4303	4303	4303	4303	4303	4303	4303	4303	4303	4303
18.5	4115	4115	4115	4115	4115	4115	4115	4115	4115	4115	4115	4115	4115	4115
19.0	3920	3920	3920	3920	3920	3920	3920	3920	3920	3920	3920	3920	3920	3920
19.5	3714	3714	3714	3714	3714	3714	3714	3714	3714	3714	3714	3714	3714	3714
20.0	3494	3494	3494	3494	3494	3494	3494	3494	3494	3494	3494	3494	3494	3493
20.5	3268	3268	3268	3268	3268	3268	3268	3268	3268	3268	3268	3268	3268	3268
21.0	3047	3048	3047	3047	3047	3047	3047	3047	3047	3047	3047	3047	3047	3047
21.5	2836	2836	2836	2836	2836	2836	2836	2836	2836	2836	2836	2836	2836	2836
22.0	2636	2636	2636	2636	2636	2636	2636	2636	2636	2636	2636	2636	2636	2636
22.5	2440	2440	2440	2440	2440	2440	2440	2440	2440	2440	2440	2440	2440	2440
23.0	2248	2248	2248	2248	2248	2248	2248	2248	2248	2248	2248	2248	2248	2248
23.5	2070	2070	2070	2070	2070	2070	2070	2070	2070	2070	2070	2070	2070	2070
24.0	1939	1939	1939	1939	1939	1939	1939	1939	1939	1939	1939	1939	1939	1939

Table 6-1: Power curve, Mode PO4500-0S/PO4500



Classification: Restricted

6.1 Ct Values, Power Optimized Mode PO4500

Air density kg/m ³														
WS [m/s]	1.225	0.950	0.975	1.000	1.025	1.050	1.075	1.100	1.125	1.150	1.175	1.200	1.25	1.275
3.0	0,873	0,877	0,876	0,876	0,876	0,876	0,875	0,875	0,875	0,874	0,874	0,874	0,873	0,873
3.5	0,841	0,844	0,844	0,843	0,843	0,842	0,842	0,842	0,842	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841
4.0	0,828	0,827	0,827	0,827	0,827	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828
4.5	0,824	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,824	0,824
5.0	0,822	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822
5.5	0,821	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,822	0,821	0,821	0,821	0,821	0,820	0,820
6.0	0,816	0,821	0,820	0,820	0,820	0,819	0,819	0,819	0,818	0,818	0,817	0,817	0,816	0,816
6.5	0,812	0,818	0,817	0,817	0,816	0,816	0,815	0,815	0,814	0,814	0,813	0,813	0,811	0,811
7.0	0,807	0,815	0,814	0,814	0,813	0,812	0,812	0,811	0,810	0,809	0,809	0,808	0,806	0,805
7.5	0,801	0,811	0,810	0,809	0,809	0,808	0,807	0,806	0,805	0,804	0,803	0,802	0,800	0,799
8.0	0,792	0,804	0,803	0,802	0,801	0,800	0,799	0,798	0,797	0,796	0,795	0,793	0,790	0,787
8.5	0,758	0,771	0,770	0,769	0,768	0,767	0,766	0,765	0,764	0,763	0,761	0,759	0,748	0,739
9.0	0,691	0,715	0,714	0,713	0,712	0,711	0,709	0,708	0,706	0,705	0,700	0,695	0,676	0,661
9.5	0,593	0,656	0,653	0,651	0,649	0,646	0,640	0,634	0,628	0,622	0,612	0,602	0,579	0,565
10.0	0,497	0,598	0,591	0,585	0,578	0,571	0,561	0,551	0,541	0,531	0,520	0,509	0,486	0,474
10.5	0,417	0,532	0,522	0,512	0,502	0,491	0,480	0,469	0,458	0,447	0,437	0,427	0,408	0,399
11.0	0,354	0,465	0,453	0,442	0,430	0,419	0,409	0,399	0,389	0,379	0,371	0,362	0,346	0,339
11.5	0,304	0,400	0,390	0,380	0,369	0,359	0,351	0,342	0,334	0,325	0,318	0,311	0,298	0,292
12.0	0,264	0,346	0,337	0,328	0,320	0,311	0,304	0,296	0,289	0,282	0,276	0,270	0,259	0,254
12.5	0,232	0,302	0,294	0,287	0,279	0,271	0,265	0,259	0,253	0,247	0,242	0,237	0,227	0,223
13.0	0,205	0,265	0,259	0,252	0,245	0,239	0,234	0,228	0,223	0,218	0,213	0,209	0,201	0,197
13.5	0,182	0,235	0,229	0,223	0,218	0,212	0,208	0,203	0,198	0,194	0,190	0,186	0,179	0,176
14.0	0,163	0,209	0,204	0,199	0,194	0,189	0,185	0,181	0,177	0,173	0,170	0,167	0,160	0,157
14.5	0,147	0,187	0,183	0,179	0,174	0,170	0,166	0,163	0,159	0,156	0,153	0,150	0,144	0,142
15.0	0,133	0,169	0,165	0,161	0,157	0,153	0,150	0,147	0,144	0,141	0,138	0,135	0,130	0,128
15.5	0,120	0,153	0,149	0,146	0,142	0,139	0,136	0,133	0,130	0,128	0,125	0,123	0,118	0,116
16.0	0,110	0,139	0,136	0,133	0,129	0,126	0,124	0,121	0,119	0,116	0,114	0,112	0,108	0,106
16.5	0,101	0,127	0,124	0,121	0,118	0,115	0,113	0,111	0,109	0,106	0,104	0,102	0,099	0,097
17.0	0,092	0,116	0,113	0,111	0,108	0,106	0,104	0,102	0,099	0,097	0,096	0,094	0,091	0,089
17.5	0,084	0,106	0,103	0,101	0,099	0,097	0,095	0,093	0,091	0,089	0,088	0,086	0,083	0,082
18.0	0,076	0,094	0,092	0,090	0,088	0,086	0,085	0,083	0,081	0,080	0,078	0,077	0,074	0,073
18.5	0,067	0,083	0,082	0,080	0,078	0,076	0,075	0,073	0,072	0,071	0,069	0,068	0,066	0,065
19.0	0,059	0,073	0,072	0,070	0,069	0,067	0,066	0,065	0,063	0,062	0,061	0,060	0,058	0,057
19.5	0,052	0,065	0,063	0,062	0,061	0,059	0,058	0,057	0,056	0,055	0,054	0,053	0,051	0,050
20.0	0,046	0,057	0,056	0,055	0,053	0,052	0,051	0,050	0,049	0,048	0,048	0,047	0,045	0,044
20.5	0,040	0,050	0,049	0,048	0,047	0,046	0,045	0,044	0,043	0,043	0,042	0,041	0,040	0,039
21.0	0,036	0,044	0,043	0,042	0,041	0,040	0,040	0,039	0,038	0,037	0,037	0,036	0,035	0,034
21.5	0,031	0,039	0,038	0,037	0,036	0,035	0,035	0,034	0,034	0,033	0,032	0,032	0,031	0,030
22.0	0,028	0,034	0,033	0,033	0,032	0,031	0,031	0,030	0,030	0,029	0,029	0,028	0,027	0,027
22.5	0,025	0,030	0,029	0,029	0,028	0,028	0,027	0,027	0,026	0,026	0,025	0,025	0,024	0,024
23.0	0,022	0,026	0,026	0,025	0,025	0,024	0,024	0,024	0,023	0,023	0,022	0,022	0,021	0,021
23.5	0,019	0,023	0,023	0,022	0,022	0,022	0,021	0,021	0,020	0,020	0,020	0,020	0,019	0,019
24.0	0,017	0,021	0,020	0,020	0,020	0,019	0,019	0,019	0,018	0,018	0,018	0,018	0,017	0,017

Table 6-2: Ct values, PO4500-0S/PO4500



Classification: Restricted