



OTTOBRE 2023

## POVEGLIA WIND S.R.L.

IMPIANTO EOLICO "CHIARAMONTI" DA 34 MW  
LOCALITÀ STRADA DI SANTA GIUSTA  
COMUNI DI CHIARAMONTI E PLOAGHE (SS)

Marntana

**ELABORATI TECNICI DI PROGETTO**

**ELABORATO R11**

**STUDIO DEGLI EFFETTI DI SHADOW  
FLICKERING**

**Progettista**

Ing. Laura Maria Conti – Ordine Ing. Prov. Pavia n. 1726

**Coordinamento**

Eleonora Lamanna

Matteo Lana

Lorenzo Griso

**Codice elaborato**

2799\_4965\_CHR\_PFTE\_R11\_Rev0\_SHADOWFLICKERING.docx

## Memorandum delle revisioni

Cod. Documento	Data	Tipo revisione	Redatto	Verificato	Approvato
2799_4965_CHR_PFTE_R11_Rev0_SHA DOWFLICKERING.docx	10/2023	Prima emissione	G.d.L.	E.Lamanna	A.Angeloni

## Gruppo di lavoro

Nome e cognome	Ruolo nel gruppo di lavoro	N° ordine
Laura Conti	Direttore Tecnico - Progettista	Ord. Ing. Prov. PV n. 1726
Corrado Pluchino	Responsabile Tecnico Operativo	Ord. Ing. Prov. MI n. A27174
Eleonora Lamanna	Coordinamento Generale, Progettazione, Studio Ambientale, Studi Specialistici	
Matteo Lana	Coordinamento Progettazione Civile	
Riccardo Festante	Coordinamento Progettazione Elettrica	
Lorenzo Griso	Coordinamento Dati Territoriali – Senior GIS Expert	
Ali Basharзад	Ingegnere Civile - Progettazione civile e viabilità	Ord. Ing. Prov. PV n. 2301
Mauro Aires	Ingegnere Civile – Progettazione Strutture	Ord. Ing. Prov. Torino – n. 9583J
Stefano Adami	Ingegnere Civile Ambientale – Progettazione Civile	Ord. Ing. Milano – n. A23812
Andrea Amantia	Geologo - Progettazione Civile	
Giancarlo Carboni	Geologo	Ord. Geologi Sardegna n. 497
Fabio Lassini	Ingegnere Civile Ambientale – Progettazione Civile	Ord. Ing. Prov. MI n. A29719
Carla Marcis	Ingegnere per l’Ambiente ed il Territorio, Tecnico competente in acustica	Ord. Ing. Prov. CA n. 6664 – Sez. A ENTECA n. 4200



Lia Buvoli	Biologa – Esperto GIS – Esperto Ambientale	
Elena Comi	Biologa – Esperto GIS – Esperto Ambientale	Ord. Nazionale Biologi n. 060746 Sez. A
Andrea Mastio	Ingegnere per l’Ambiente e il Territorio – Esperto Ambientale Junior	
Sara Zucca	Architetto – Esperto GIS – Esperto Ambientale	
Andrea Delussu	Ingegnere Elettrico – Progettazione Elettrica	
Matthew Piscedda	Esperto in Discipline Elettriche	
Francesca Casero	Esperto GIS – Esperto Ambientale Junior	
Simone Demonti	Esperto GIS – Esperto Ambientale Junior	
Alessia Papeti	Esperto Ambientale – Geologo - GIS Junior	
Riccardo Coronati	Geourbanista – Pianificatore junior	
Fabio Bonelli	Esperto Ambientale - Naturalista	
Davide Molinetti	Esperto GIS – Esperto Ambientale Junior	
Mariana Marchioni	Ingegnere Civile Ambientale – Progettazione Civile	
Elide Moneta	Esperto GIS – Esperto Ambientale Junior	
Roberto Camera	Esperto GIS – Esperto Ambientale Junior	

**Montana S.p.A.**

Via Angelo Carlo Fumagalli 6, 20143 Milano  
Tel. +39 02 54 11 81 73 | Fax +39 02 54 12 98 90

Milano (Sede Certificata ISO) | Brescia | Palermo | Cagliari | Roma | Siracusa

C. F. e P. IVA 10414270156  
Cap. Soc. 600.000,00 €

[www.montanambiente.com](http://www.montanambiente.com)





## INDICE

1. PREMESSA .....	5
1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DEL SITO .....	5
1.2 SCOPO DEL DOCUMENTO .....	7
1.3 SINTESI NORMATIVA.....	8
2. CARATTERISTICHE PROGETTUALI .....	10
2.1 AEROGENERATORI.....	10
3. INDIVIDUAZIONE DEI RECETTORI.....	12
4. ANALISI DI SHADOW FLICKERING .....	16
4.1 METODOLOGIA D’ANALISI .....	16
5. RISULTATI .....	20
6. CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI.....	23
ALLEGATO A .....	24



## 1. PREMESSA

Il progetto in esame riguarda la realizzazione di un nuovo Parco Eolico della potenza complessiva di 34 MW, che prevede l'installazione di n. 5 aerogeneratori da 6,8 MW con relative opere di connessione da installarsi nei territori comunali di Chiamonti e Ploaghe, nel territorio provinciale di Sassari, regione Sardegna.

La Società Proponente è la POVEGLIA WIND S.R.L., con sede legale in Via Friuli Venezia Giulia 75, 30030 Pianiga (VE).

Tale opera si inserisce nel quadro istituzionale di cui al D.Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387 "Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità" le cui finalità sono:

- promuovere un maggior contributo delle fonti energetiche rinnovabili alla produzione di elettricità nel relativo mercato italiano e comunitario;
- promuovere misure per il perseguimento degli obiettivi indicativi nazionali;
- concorrere alla creazione delle basi per un futuro quadro comunitario in materia;
- favorire lo sviluppo di impianti di microgenerazione elettrica alimentati da fonti rinnovabili, in particolare per gli impieghi agricoli e per le aree montane.

La Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) elaborata prevede che l'impianto eolico venga collegato in antenna a 36 kV con un futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione 380/220/150 kV della RTN "Codrongianos".

Nel suo complesso il parco di progetto sarà composto da:

- N° 5 aerogeneratori della potenza nominale di 6,8 MW ciascuno;
- dalla viabilità di servizio interna realizzata in parte ex-novo e in parte adeguando strade comunali e/o agricole esistenti;
- dalle opere di regimentazione delle acque meteoriche;
- dalle opere di collegamento alla rete elettrica;
- dalla viabilità di servizio interna;
- dalle reti tecnologiche per il controllo del parco.

A tal fine il presente documento costituisce lo **Studio degli effetti di Shadow Flickering** del progetto.

### 1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DEL SITO

Il parco eolico in progetto si estende nella provincia di Sassari e prevede l'installazione di n. 5 aerogeneratori territorialmente così collocati:

- n. 4 aerogeneratori nel comune di Chiamonti (CHR02, CHR03, CHR04, CHR05);
- n. 1 aerogeneratori nel comune di Ploaghe (CHR01).

Le opere di connessione sono collocate anch'esse nei comuni di Chiamonti e Ploaghe, nel territorio provinciale di Sassari (Figura 1.1).

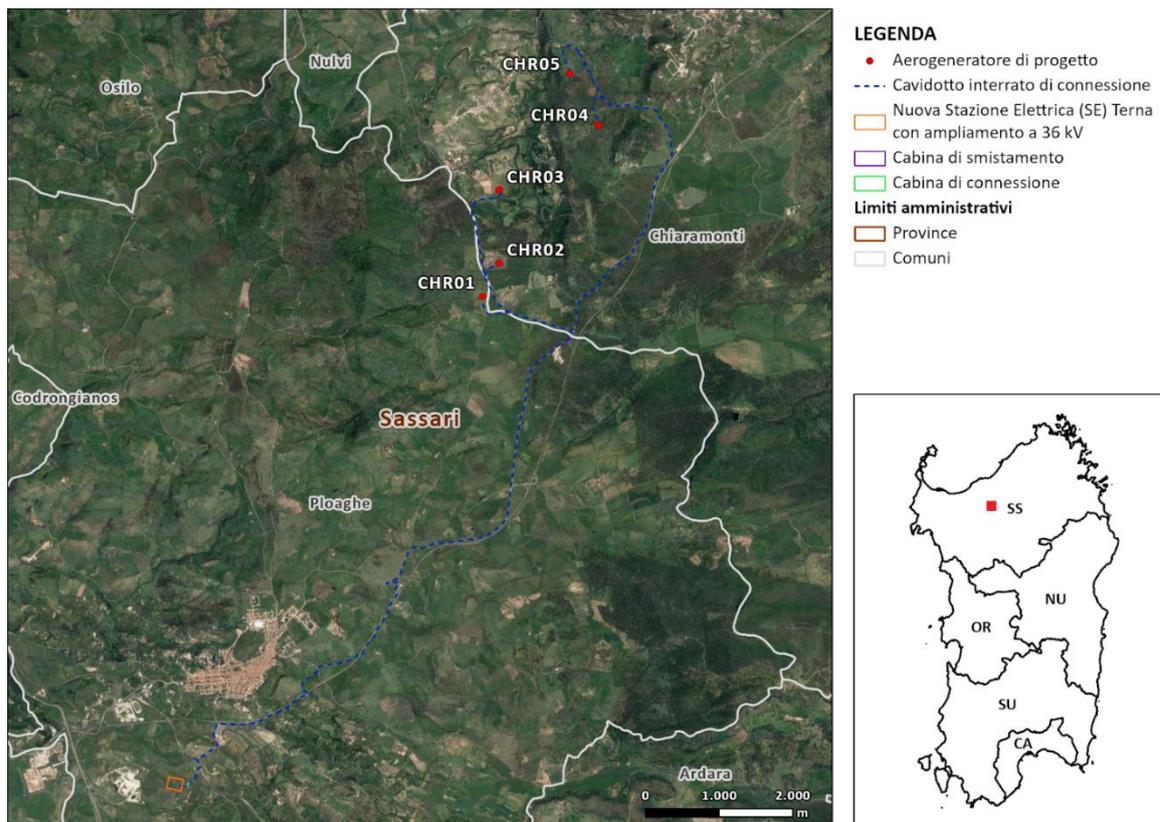


Figura 1.1: Localizzazione a scala provinciale e comunale dell’impianto proposto

Le coordinate degli aerogeneratori previsti sono riportate in Tabella 1-1.

Tabella 1-1 Coordinate aerogeneratori - Monte Mario - Zona 1 EPSG 3003 (Metri)

WTG	WGS 84 – GRADI DECIMALI	
	Longitudine	Latitudine
CHR01	1481676,241	4506716,1332
CHR02	1481909,18826	4507166,55749
CHR03	1481908,3228	4508165,9402
CHR04	1483249,8348	4509059,7679
CHR05	1482862,1831	4509756,5101

L’accesso al sito avverrà mediante strade pubbliche esistenti a carattere nazionale e provinciale partendo dal porto di Porto Torres, per poi percorrere le principali strade statali del territorio fino ad arrivare all’area di progetto (Figura 1.1).

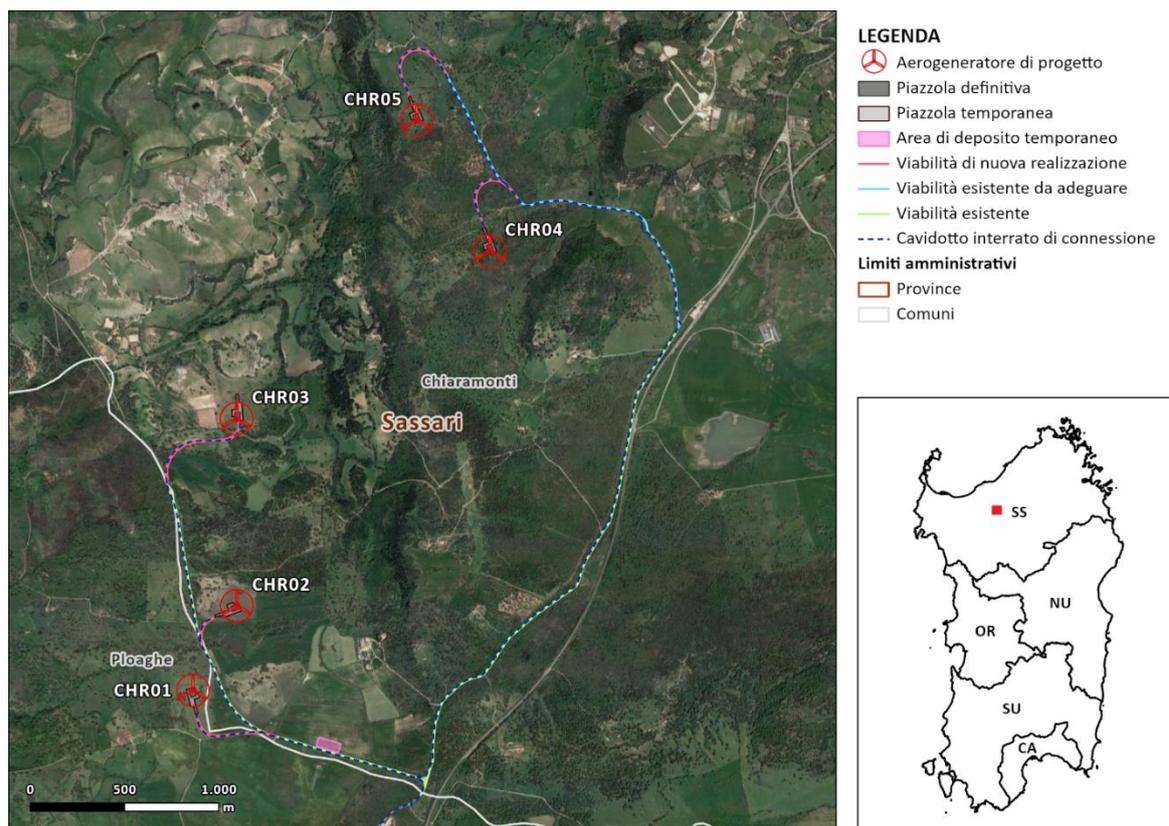


Figura 1.2: Inquadramento della viabilità di progetto.

## 1.2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento ha lo scopo di fornire uno studio dettagliato sugli effetti di ombreggiamento (“Shadow-Flickering”) derivante dalla realizzazione del nuovo parco eolico.

Lo Shadow-Flickering è l’espressione comunemente impiegata in ambito specialistico per descrivere l’effetto stroboscopico delle ombre proiettate dalle pale rotanti degli aerogeneratori eolici quando sussistono le condizioni meteorologiche opportune. La possibilità e la durata di tali effetti dipendono da una serie di condizioni ambientali, tra cui: posizione del sole, giorno dell’anno, ora del giorno, condizioni atmosferiche e posizione della turbina eolica rispetto ad un recettore sensibile.

La valutazione tecnica è eseguita con l’ausilio di un software di simulazione specifico per la progettazione degli impianti eolici WIND PRO®, costituito da un insieme di moduli di elaborazione orientati alla simulazione di una serie di aspetti che caratterizzano le diverse fasi progettuali. Il modulo SHADOW è quello specifico per la valutazione dell’evoluzione dell’ombra e del flickering.

Tale documento è stato redatto dall’Ing. Andrea Mastio e tratterà i seguenti temi:

- Una sintesi della normativa e linee guida esistenti in ambito internazionale.
- Descrizione del caso di studio con le posizioni delle turbine e loro caratteristiche tecniche.
- Un’analisi dei potenziali recettori sensibili al fenomeno.
- Una breve descrizione tecnica del fenomeno di shadow flickering.
- Sintesi della metodologia di analisi seguita per lo studio.



- Sintesi dei risultati ottenuti, con allegati grafici ed analitici di dettaglio (ALLEGATO A) che descrivono il fenomeno su ognuno dei recettori e da parte di ognuna delle turbine per tutto l'anno solare.

### **1.3 SINTESI NORMATIVA**

Alla data di emissione del presente documento, in Italia non vi sono specifiche norme o linee guida che regolamentino i limiti di esposizione al fenomeno dello Shadow flicker generato dagli impianti eolici, né una distanza massima oltre la quale è improbabile che si verifichi un impatto significativo sulla salute umana.

Ai fini della presente specifica tecnica si farà riferimento alle seguenti norme internazionali, che fissano limiti di esposizione entro i quali gli effetti del fenomeno sulla salute umana possono considerarsi trascurabili o nulli:

- Länderausschuss für Immissionsschutz “Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise)” (Germania, 2002)
- Department of Energy and Climate Change “National Policy Statement for Renewable Energy Infrastructure (EN-3)” (Regno Unito, 2011).

Altre norme in materia sono:

- Environment Protection and Heritage Council (EPHC) “National Wind Farm Development Guidelines - Draft” (Australia-Governo Nazionale, 2010).
- State of Queensland, Department of Infrastructure, Local Government and Planning “Wind farm State Code Planning Guideline” (Australia-Stato del Queensland, 2017).
- Western Australian Planning Commission “Guidelines for Wind Farm Development” (Western Australia, 2004).
- Victoria State Government, Department of Environment, Land, Water and Planning “Policy and planning Guidelines for Development of Wind Energy Facilities in Victoria” (Australia, 2017).
- Vlaamse overheid – Departement Leefmilieu, Natuur en Energie, VLAREM II (Belgio- Regione delle Fiandre 2017).
- Arrêté du Gouvernement wallon portant conditions sectorielles relatives aux parcs d'éoliennes d'une puissance totale supérieure ou égale à 0,5 MW (Belgio-Regione Vallone, 2014).
- Scottish Government “Onshore wind turbines” (Scozia, 2012).
- Danish Government, Naturstyrelsen, Miljøministeriet “Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller” (Danimarca, 2015).

Le linee guida tedesche stabiliscono due limiti per la durata dell'esposizione al fenomeno, il primo riferito a un periodo giornaliero, il secondo riferito a un periodo annuale. Un impatto dovuto all'ombreggiatura periodica prevista non è considerato significativamente fastidioso se la durata astronomicamente massima possibile dell'ombreggiatura, tenendo conto della valutazione cumulativa di tutti i contributi delle turbine eoliche nel rispettivo luogo di immissione ad un'altezza di riferimento di 2 m dal suolo, non supera le 30 ore per l'anno civile ed il fenomeno non supera i 30 minuti per giorno di calendario.

Le linee guida inglesi individuano preliminarmente una distanza oltre la quale l'intensità dell'ombra delle pale rotanti delle turbine sia sufficientemente ridotta in modo da non avere un impatto significativo su eventuali edifici occupati, fissando tale limite a una distanza pari a 10 volte il diametro del rotore dell'aerogeneratore che provoca l'emissione.



Le norme di riferimento scelte costituiscono una valida sintesi dei diversi gradi di attenzione, attraverso i quali è possibile definire i limiti per cui lo shadow flicker non rappresenta un problema significativo per la salute umana e possono sintetizzarsi nella seguente prescrizione:

- **Massimo n° 30 ore/anno di shadow flicker**

## 2. CARATTERISTICHE PROGETTUALI

### 2.1 AEROGENERATORI

Un aerogeneratore ha la funzione di convertire l'energia cinetica del vento prima in energia meccanica e successivamente in energia elettrica.

Sostanzialmente un aerogeneratore è così composto:

- Un rotore, nel caso in esame a tre pale, per intercettare il vento
- Una "navicella" in cui sono alloggiati tutte le apparecchiature per la produzione di energia
- Un fusto o torre che ha il compito di sostenere gli elementi sopra descritti (navicella e rotore) posizionandoli alla quota prescelta in fase di progettazione

In questa fase progettuale l'aerogeneratore scelto è una Vestas della potenza nominale di 6,8 MW ad asse orizzontale. In fase esecutiva, in funzione anche della probabile evoluzione dei macchinari, la scelta dell'aerogeneratore potrà variare mantenendo inalterate le caratteristiche geometriche massime.

Di seguito si riporta uno schema grafico dell'aerogeneratore e della navicella.

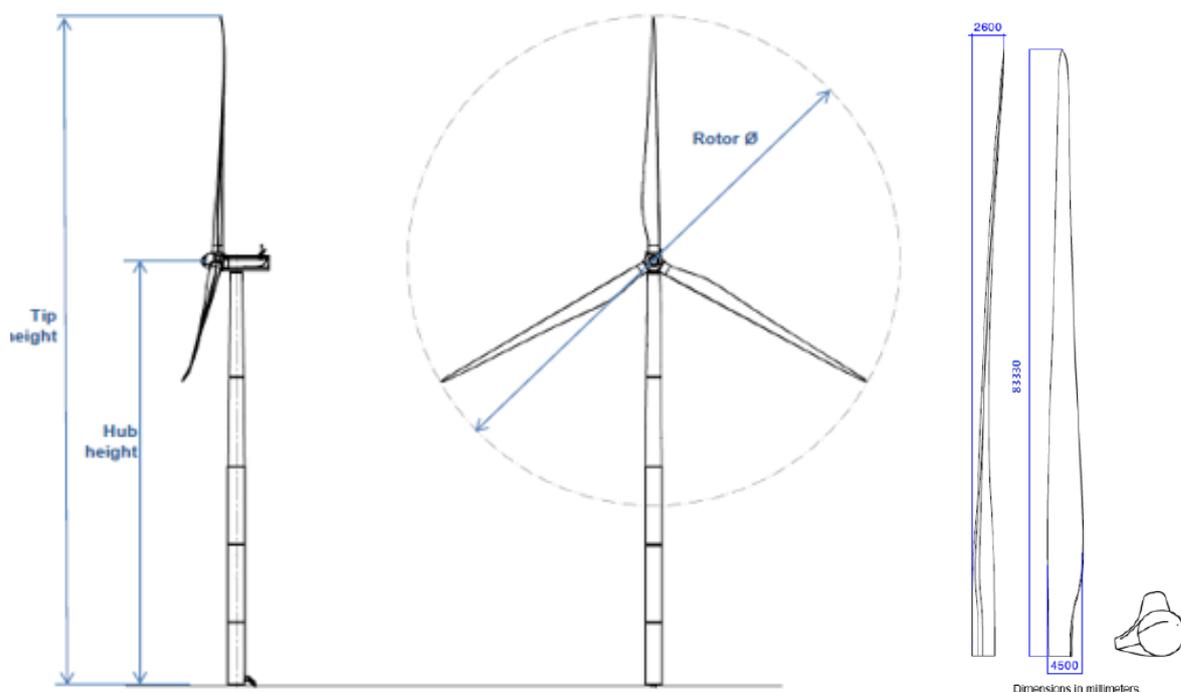
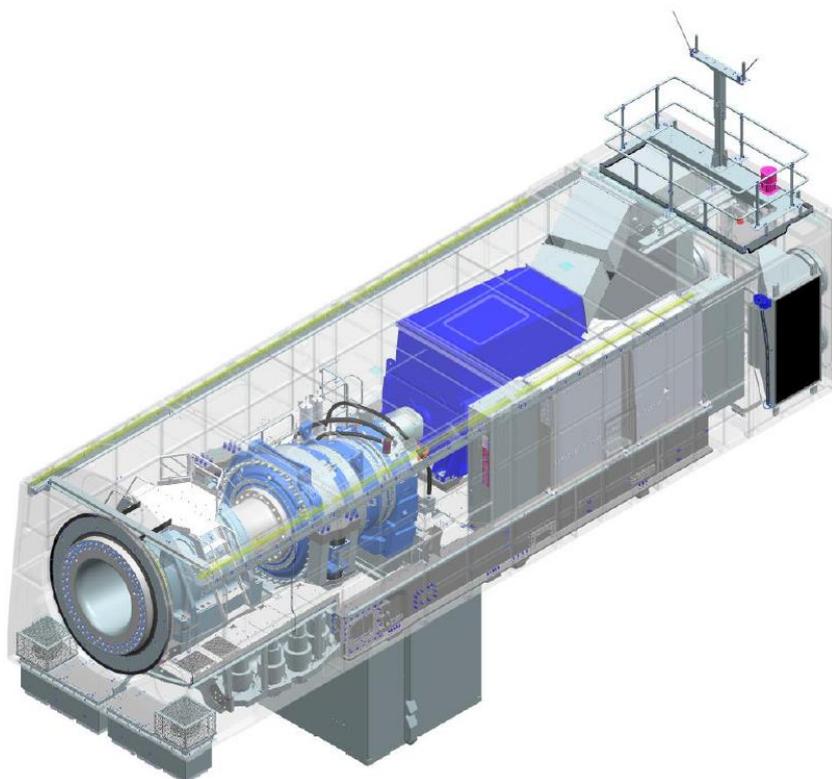


Figura 2.1 - Struttura aerogeneratore



*Figura 2.2 - Struttura navicella*

All'interno della navicella sono alloggiati l'albero di trasmissione lento, il moltiplicatore di giri, l'albero veloce, il generatore elettrico ed i dispositivi ausiliari. All'estremità dell'albero lento, corrispondente all'estremo anteriore della navicella, è fissato il rotore costituito da un mozzo sul quale sono montate le pale, costituite in fibra di vetro rinforzata. La navicella può ruotare rispetto al sostegno in modo tale da tenere l'asse della macchina sempre parallela alla direzione del vento (movimento di imbardata); inoltre è dotata di un sistema di controllo del passo che, in corrispondenza di alta velocità del vento, mantiene la produzione di energia al suo valore nominale indipendentemente dalla temperatura e dalla densità dell'aria; in corrispondenza invece di bassa velocità del vento, il sistema a passo variabile e quello di controllo ottimizzano la produzione di energia scegliendo la combinazione ottimale tra velocità del rotore e angolo di orientamento delle pale in modo da avere massimo rendimento. Il funzionamento dell'aerogeneratore è continuamente monitorato e controllato da un'unità a microprocessore.

### 3. INDIVIDUAZIONE DEI RECETTORI

L'individuazione dei fabbricati (Rif. 2799\_4965\_CHR\_PFTE\_R07\_Rev0\_MONOGRAFIAFABBRICATI) è stata effettuata mediante indagine preliminare della presenza sul territorio di edifici all'interno di un buffer di 1.700 m intorno alle WTGs in progetto. Successivamente all'analisi su immagini satellitare e catastali sono stati effettuati dei sopralluoghi che hanno permesso di verificare quanto analizzato dal catasto, di rilevare lo stato di fatto del fabbricato e la frequentazione di persone. Durante il sopralluogo sono stati esclusi dalla documentazione fotografica i recettori che dall'analisi satellitare e catastale risultavano essere con certezza delle abitazioni frequentate da persone o dei depositi agricoli.

Dall'analisi risultano 84 recettori all'interno dell'area individuata (20 recettori classificati in classe catastale "A" abitativa), la cui localizzazione è mostrata in Figura 3.1.

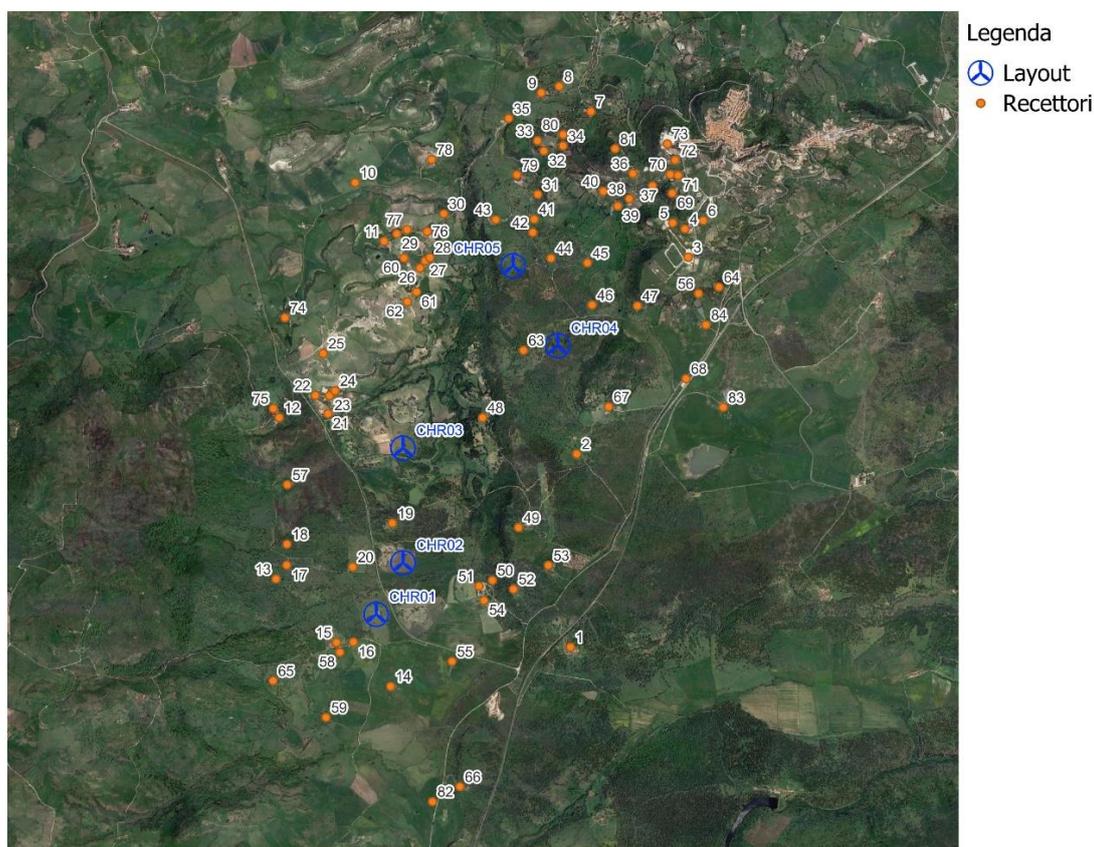


Figura 3.1: Individuazione dei recettori all'interno dei buffer dalle WTGs in progetto

Sono stati identificati i recettori: nel caso di più fabbricati adiacenti è stato considerato come recettore più rappresentativo l'edificio ad uso abitativo o comunque dove si presume possa esserci maggior presenza di persone; mentre in caso di più recettori adiacenti con stessa tipologia di destinazione d'uso, si è scelto quello meno distante dalla WTG più vicina. Nella tabella seguente si riportano i recettori identificati.



Tabella 3.1: Individuazione dei potenziali recettori e corrispondente fabbricato censito più rappresentativo del cluster

N. RECETTORE	ID FABBRICATO	COORDINATE GEOGRAFICHE WGS 84		COMUNE	FOGLIO	PARTICELLA	CATEGORIA CATASTALE	DESCRIZIONE	WTG PIÙ VICINA	DISTANZA WTG PIU' VICINA [m]
		x	y							
1	8	1483359,86	4506430	Chiaramonti	33	66	D01	==	CHR02	1627
2	14	1483414,25	4508115	Chiaramonti	26	145	A03	Abitazione	CHR04	959
3	24	1484379,92	4509832	Chiaramonti	18	525	D01	Stalla/Azienda Agricola	CHR04	1369
4	27	1484351,41	4510079	Chiaramonti	18	429	A03	Abitazione	CHR04	1500
5	28	1484245,64	4510131	Chiaramonti	18	468	C02	Abitazione	CHR05	1433
6	29	1484509,38	4510152	Chiaramonti	18	413	C02	Magazzino/deposito privato	CHR04	1667
7	41	1483537,43	4511102	Chiaramonti	18	486	D10	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR05	1506
8	43	1483261,97	4511322	Chiaramonti	12	168	A04	==	CHR05	1616
9	44	1483106,67	4511266	Chiaramonti	12	167	D10	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR05	1529
10	46	1481493,91	4510483	Chiaramonti	11	136	NC	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR05	1549
11	48	1481745,46	4509971	Chiaramonti	17	305	D10	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR05	1137
12	60	1480835,88	4508433	Chiaramonti	17	262	D10	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR03	1105
13	70	1480808,29	4507025	Ploaghe	3	274	D10	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR01	921
14	79	1481800,96	4506088	Ploaghe	7	124	C02	Stalla/Azienda Agricola	CHR01	641
15	80	1481332,93	4506470	Ploaghe	3	258	D10	Stalla/Azienda Agricola	CHR01	422
16	81	1481478,52	4506475	Ploaghe	6	158	F02	Magazzino/deposito privato	CHR01	312
17	85	1480900,89	4507145	Ploaghe	3	266	D10	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR01	886
18	87	1480903,42	4507328	Ploaghe	3	272	C02	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR01	986
19	93	1481816,72	4507512	Chiaramonti	32	81	D10	Magazzino/deposito privato	CHR02	358
20	94	1481473,45	4507129	Ploaghe	3	259	F02	Stalla/Azienda Agricola	CHR02	437
21	97	1481258,5	4508466	Chiaramonti	17	275	D10	Stalla/Azienda Agricola	CHR03	716
22	98	1481149,69	4508627	Chiaramonti	17	287	D10	Magazzino/deposito privato	CHR03	888
23	102	1481271,79	4508624	Chiaramonti	17	230	A03	Abitazione	CHR03	784
24	112	1481319,76	4508666	Chiaramonti	17	302	D10	Abitazione	CHR03	773
25	113	1481217,59	4508992	Chiaramonti	17	237	NC	Abitazione	CHR03	1076
26	115	1482055,28	4509737	Chiaramonti	17	323	D07	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR05	807
27	117	1482101,27	4509800	Chiaramonti	17	325	A03	Abitazione	CHR05	762
28	118	1482142,2	4509828	Chiaramonti	17	298	A03	Abitazione	CHR05	724
29	123	1481855,24	4510035	Chiaramonti	17	246	A03	Abitazione	CHR05	1045



N. RECETTORE	ID FABBRICATO	COORDINATE GEOGRAFICHE WGS 84		COMUNE	FOGLIO	PARTICELLA	CATEGORIA CATASTALE	DESCRIZIONE	WTG PIÙ VICINA	DISTANZA WTG PIU' VICINA [m]
		x	y							
30	124	1482262,9	4510210	Chiaramonti	17	250	C06	Magazzino/deposito privato	CHR05	752
31	134	1483077,03	4510380	Chiaramonti	18	423	D10	Magazzino/deposito privato	CHR05	660
32	137	1483128,99	4510758	Chiaramonti	12	184	C02	Magazzino/deposito privato	CHR05	1037
33	138	1483073,88	4510848	Chiaramonti	12	105	NC	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR05	1112
34	139	1483295,19	4510804	Chiaramonti	18	487	A03	Abitazione	CHR05	1133
35	142	1482824,92	4511042	Chiaramonti	12	178	F02	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR05	1286
36	145	1483900,34	4510562	Chiaramonti	18	474	C02	Magazzino/deposito privato	CHR05	1314
37	146	1484071,61	4510454	Chiaramonti	18	483	C02	Magazzino/deposito privato	CHR05	1396
38	148	1483868,9	4510342	Chiaramonti	18	521	C02	Magazzino/deposito privato	CHR05	1165
39	149	1483769,44	4510277	Chiaramonti	18	439	A03	Abitazione	CHR05	1046
40	150	1483644,86	4510407	Chiaramonti	18	433	D10	Magazzino/deposito privato	CHR05	1018
41	152	1483044,95	4510163	Chiaramonti	18	416	D10	Magazzino/deposito privato	CHR05	446
42	153	1483033,43	4510048	Chiaramonti	18	431	F02	Magazzino/deposito privato	CHR05	338
43	154	1482712,62	4510160	Chiaramonti	18	481	D10	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR05	430
44	156	1483191,29	4509823	Chiaramonti	18	472	D10	Magazzino/deposito privato	CHR05	336
45	159	1483506,18	4509782	Chiaramonti	18	377	NC	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR05	644
46	160	1483547,48	4509415	Chiaramonti	18	489	D10	Magazzino/deposito privato	CHR04	463
47	161	1483939,33	4509407	Chiaramonti	18	435	D10	Stalla/Azienda Agricola	CHR04	772
48	163	1482597,94	4508432	Chiaramonti	26	120	A03	Abitazione	CHR03	739
49	167	1482909,67	4507472	Chiaramonti	32	93	A04	Abitazione	CHR02	1046
50	172	1482682,93	4507012	Chiaramonti	32	104	A03	Abitazione	CHR02	789
51	174	1482567,12	4506962	Chiaramonti	32	87	D10	Stalla/Azienda Agricola	CHR02	689
52	179	1482865,67	4506935	Chiaramonti	32	103	D10	Stalla/Azienda Agricola	CHR02	984
53	181	1483167,84	4507144	Chiaramonti	32	110	D10	Stalla/Azienda Agricola	CHR02	1259
54	182	1482610,22	4506838	Chiaramonti	32	114	A02	Abitazione	CHR02	774
55	184	1482333,6	4506305	Ploaghe	7	134	D10	Stalla/Azienda Agricola	CHR01	775
56	188	1484468,34	4509515	Chiaramonti	26	16	NC	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR04	1301
57	190	1480906,23	4507847	Ploaghe	3	10	NC	Stalla/Azienda Agricola	CHR03	1052
58	191	1481361,9	4506385	Ploaghe	6	98	NC	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR01	456
59	192	1481241,68	4505817	Ploaghe	6	96	NC	Magazzino/deposito privato	CHR01	999
60	196	1481918,08	4509824	Chiaramonti	17	264	NC	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR05	947



N. RECETTORE	ID FABBRICATO	COORDINATE GEOGRAFICHE WGS 84		COMUNE	FOGLIO	PARTICELLA	CATEGORIA CATASTALE	DESCRIZIONE	WTG PIÙ VICINA	DISTANZA WTG PIU' VICINA [m]
		x	y							
61	197	1482025,51	4509528	Chiaramonti	17	94	NC	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR05	867
62	198	1481947,01	4509443	Chiaramonti	17	94	NC	Magazzino/deposito privato	CHR05	967
63	201	1482952,25	4509019	Chiaramonti	26	43	NC	Stalla/Azienda Agricola	CHR04	300
64	218	1484645,89	4509571	Chiaramonti	26	178	C02	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR04	1487
65	219	1480783,29	4506137	Ploaghe	6	92	NC	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR01	1064
66	1	1482401,76	4505213	Ploaghe	7	120	D10	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR01	1670
67	18	1483690,81	4508527	Chiaramonti	26	119	D10	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR04	692
68	19	1484360,27	4508772	Chiaramonti	27	87	C01	Attività commerciale	CHR04	1147
69	32	1484241,12	4510390	Chiaramonti	18	452	A03	Abitazione	CHR05	1517
70	36	1484224,35	4510554	Chiaramonti	18	479	A03	Abitazione	CHR05	1579
71	37	1484291,12	4510546	Chiaramonti	18	482	A03	Abitazione	CHR05	1633
72	39	1484265,97	4510680	Chiaramonti	18	508	C02	Magazzino/deposito privato	CHR05	1680
73	40	1484198,71	4510821	Chiaramonti	19	1270	D06	Fabbricato per esercizi sportivi	CHR05	1708
74	51	1480885,95	4509304	Chiaramonti	17	A	E07	Chiesa	CHR03	1530
75	56	1480785,54	4508511	Chiaramonti	17	258	D10	Abitazione	CHR03	1175
76	119	1482119,83	4510056	Chiaramonti	17	247	C06	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR05	800
77	122	1481944,19	4510073	Chiaramonti	17	248	D10	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR05	971
78	127	1482157,8	4510684	Chiaramonti	11	141	A03	Abitazione	CHR05	1165
79	132	1482895,69	4510550	Chiaramonti	18	383	D10	Magazzino/deposito per attività produttive	CHR05	794
80	141	1483295,83	4510901	Chiaramonti	18	502	A03	Abitazione	CHR05	1224
81	144	1483747,16	4510778	Chiaramonti	18	476	D10	Magazzino/deposito privato	CHR05	1352
82	208	1482164,35	4505082	Ploaghe	7	122	D10	Magazzino/Deposito privato	CHR01	1705
83	210	1484683,8	4508522	Chiaramonti	27	91	A03	Abitazione	CHR04	1532
84	216	1484533,84	4509241	Chiaramonti	26	114	A03	Abitazione	CHR04	1297



## **4. ANALISI DI SHADOW FLICKERING**

Le turbine eoliche, come altre strutture sviluppate in altezza, proiettano un'ombra sulle aree adiacenti in presenza della luce solare diretta. Il termine "Shadow Flickering" è utilizzato per indicare il fenomeno del cambiamento dell'intensità della luce causato da un oggetto in movimento. Per un impianto eolico tale fenomeno, che si traduce in una variazione ciclica dell'intensità luminosa, è generato dalla proiezione, al suolo o su un recettore, dell'ombra prodotta dalle pale in rotazione degli aerogeneratori.

Il flickering si verifica solo in determinate condizioni e coinvolge solo un'area limitata che circonda un parco eolico, tuttavia esso può determinare fastidio agli occupanti dei fabbricati le cui finestre risultano esposte al fenomeno stesso.

Affinché il fenomeno si verifichi presso un recettore, devono verificarsi le seguenti condizioni:

- la turbina deve essere in funzione, altrimenti non vengono emesse ombre in movimento;
- il cielo deve essere sereno, sgombro da nubi, con assenza di nebbia e con sole alto rispetto all'orizzonte, tale da generare un livello sufficiente di intensità luminosa;
- la direzione del vento deve essere tale da orientare le turbine in modo che, in rispetto alla posizione istantanea del sole, l'ombra prodotta dalle pale in rotazione interessi la posizione del recettore;
- il rotore della turbina deve essere situato lungo la linea di vista, senza ostacoli, dal recettore al sole, infatti in presenza di vegetazione o edifici interposti, l'ombra generata dagli ostacoli annulla il fenomeno;

Le ombre proiettate in prossimità dell'aerogeneratore risultano di maggiore intensità e nitidezza rispetto a quelle proiettate lontano in quanto, all'aumentare della distanza tra turbina e recettore, le pale coprono una porzione sempre più piccola del sole, inducendo un flickering di minore entità. Di conseguenza oltre una certa distanza, che solitamente non si estende oltre 10 volte il diametro del rotore, l'ombra smette di essere un problema poiché il rapporto tra lo spessore della pala ed il diametro del sole diventa molto piccolo.

Pertanto, in riferimento a quanto sin qui esposto, la durata e l'entità del fenomeno di Shadow flickering sono determinate e condizionate:

- dalla distanza tra aerogeneratore e recettore;
- dalla direzione ed intensità del vento;
- dall'orientamento del recettore;
- dalla presenza o meno di ostacoli lungo la linea di vista recettore – aerogeneratore – sole;
- dalle condizioni meteorologiche;
- dall'altezza del sole.

Alcune linee guida di paesi esteri condotti riportano che frequenze inferiori a 3Hz non causano episodi di epilessia fotosensibile. Gli aerogeneratori tripala in commercio, in particolar modo quelli di ultima generazione, hanno una velocità di rotazione tipicamente non superiore ai 20 rpm, il che equivale ad una frequenza di flickering prodotto inferiore a 1Hz. Pertanto, a queste basse frequenze, lo sfarfallio prodotto da una turbina eolica potrebbe essere motivo di fastidio, ma sulla base degli studi condotti, è ragionevolmente possibile escluderlo tra le cause di epilessia fotosensibile.

### **4.1 METODOLOGIA D'ANALISI**

La valutazione tecnica è stata eseguita con l'ausilio di un software di simulazione specifico per la progettazione degli impianti eolici WIND PRO®, costituito da un insieme di moduli di elaborazione

orientati alla simulazione di una moltitudine di aspetti che caratterizzano le diverse fasi progettuali. Il modulo SHADOW è quello specifico per la valutazione dell'evoluzione dell'ombra e del flickering.

I dati di input sono (Figura 4.1):

- modello DTM del terreno (fonte: TINITALY passo 10m);
- posizione degli aerogeneratori di progetto ed esistenti, con relativi modelli e caratteristiche dimensionali;
- posizione geografica dei recettori;
- dati meteorologici storici di una stazione di riferimento per il calcolo del "real case".

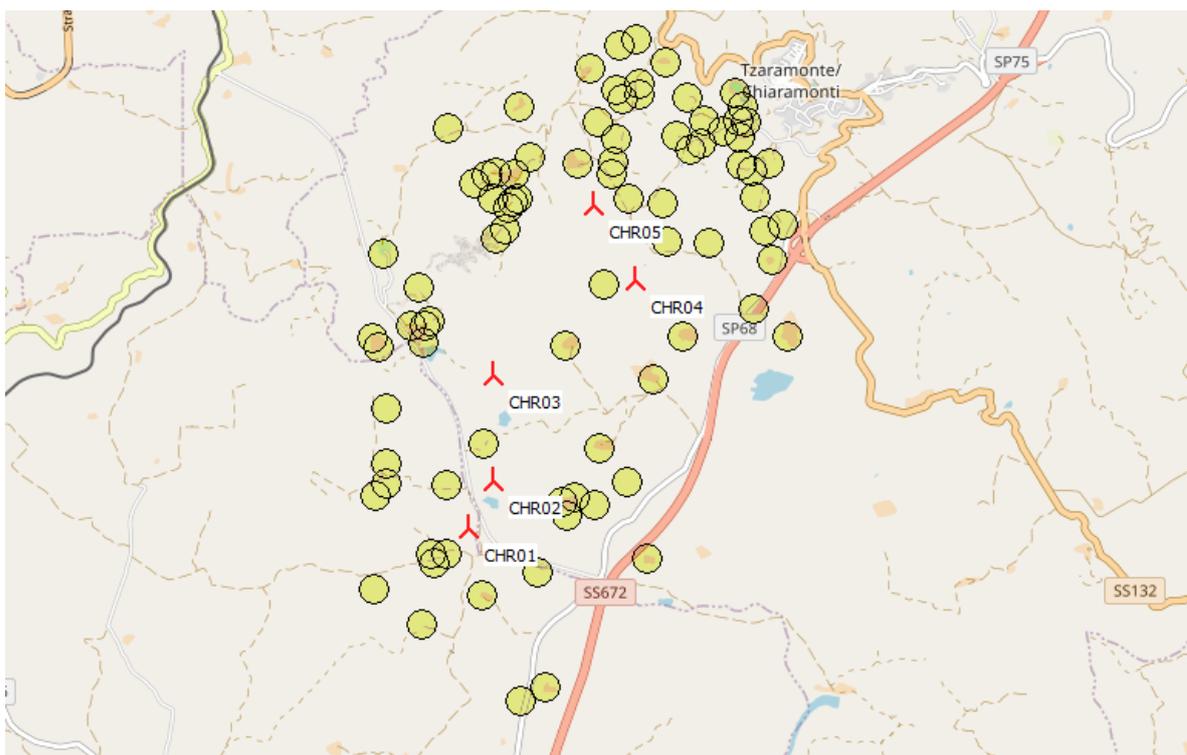


Figura 4.1: Disposizione planimetrica degli aerogeneratori di progetto e dei recettori

Nel modello di calcolo dell'ombra utilizzato da WIND PRO® (Figura 4.2) i seguenti parametri definiscono la propagazione dell'ombra dietro il disco del rotore:

- Diametro del Sole, D: 1.390.000 km
- Distanza dal Sole, d: 150.000.000 km
- Angolo di attacco: 0.531 gradi

Teoricamente, ciò comporterebbe un impatto di ombra fino a 4,8 km con un rotore di 45 metri di diametro. In realtà le ombre non raggiungono mai il massimo teorico a causa delle caratteristiche ottiche dell'atmosfera. Quando il sole diventa troppo basso all'orizzonte e la distanza diventa troppo lunga, l'ombra si disperde prima che raggiunga il suolo (o il recettore). Per tale motivo il modulo SHADOW del software WindPRO assume 2 km come valore di default della distanza massima di propagazione dell'ombra.

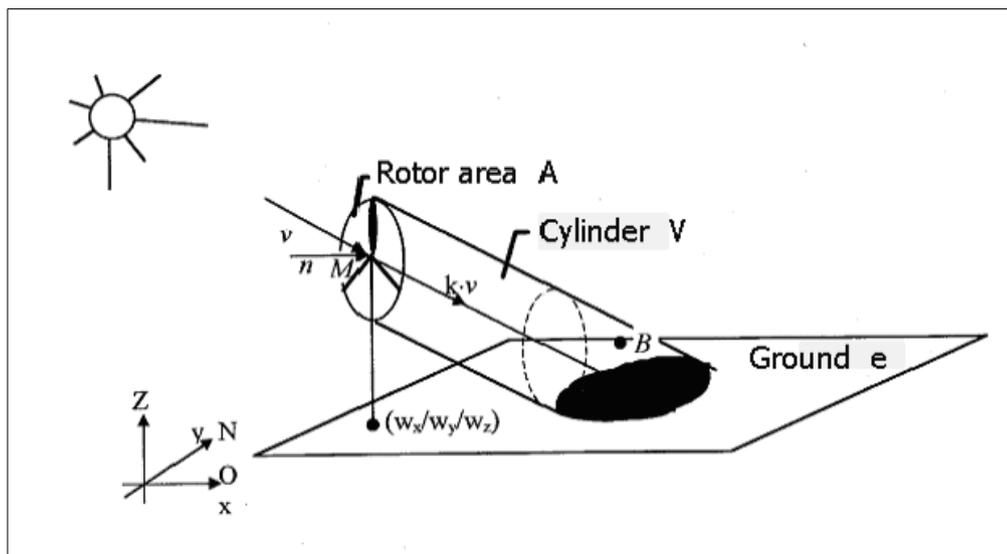


Figura 4.2: Schema di calcolo del modulo Shadow

Il modulo SHADOW di WIND PRO®, nella definizione dei recettori permette di definire sia la dimensione della finestra che l'orientazione direzionale e angolare (inclinazione rispetto al piano orizzontale). Un'altra opzione è quella di impostare il recettore nella modalità "green house" (modalità Serra), in tale modalità non si fa riferimento ad una porzione (la finestra) del recettore orientato in una particolare direzione, ma si considera l'intero recettore esposto al fenomeno in maniera omnidirezionale.

Per il parco eolico oggetto del presente studio, visto che per alcuni recettori sono presenti turbine su più lati del recettore stesso, al fine di considerare l'effetto complessivo prodotto da tutte le turbine, si è proceduto ponendosi nella condizione peggiore di considerare ogni recettore nella modalità "green house" ovvero, per ciascun recettore, non sono state indicate le dimensioni e le orientazioni delle singole finestre, ma il recettore è stato considerato come se tutte le pareti esterne fossero esposte al fenomeno. Allo stesso tempo, è stata trascurata la presenza degli alberi e di eventuali altri ostacoli posti ai margini delle strade che, intercettando l'ombra prodotta dagli aerogeneratori, potrebbero ridurre o completamente annullare l'effetto del flickering.

Il modulo SHADOW di WINDPRO® permette di effettuare il calcolo in due modalità definite rispettivamente "worst case" e "real case".

Il calcolo nella modalità definita "worst case" viene effettuato nelle condizioni più sfavorevoli possibili, in quanto viene assunto che:

- il sole splende per tutta la giornata, dall'alba al tramonto (cioè si è sempre in assenza di copertura nuvolosa);
- il piano di rotazione delle pale è sempre perpendicolare alla direttrice sole-aerogeneratore (ovvero si assume che l'aerogeneratore "insegue" il sole);
- l'aerogeneratore è sempre operativo.

Sulla base di tali assunzioni, si evidenzia come la modalità definita "worst case" sia rappresentativa di una condizione irrealistica, e costituisca lo scenario peggiore possibile.

Il calcolo nella modalità definita "real case" invece consente di avvicinarsi maggiormente alle condizioni effettive, quindi al reale effetto del disturbo, in quanto permette di tener conto nei calcoli di dati statistici ricavati da una stazione anemometrica sita nella stessa area e di una stazione meteo che fornisce i dati di copertura nuvolosa della zona. In tal modo, viene ricavato un numero di ore di ombreggiamento più realistico poiché, a differenza del caso precedente, si tiene conto della reale

presenza del sole e delle reali ore di funzionamento della turbina nell’arco di un anno anche in funzione della direzione del vento, ovvero vengono considerati tutti i fattori che influiscono sull’orientamento delle turbine rispetto al sole e dunque sull’ombra proiettata sui recettori.

Sulla base di tali assunzioni, si evidenzia come la modalità definita “real case” sia rappresentativa di una condizione di certo più realistica rispetto alla modalità “worst case”, ma comunque non ancora pienamente rappresentativa dell’effettivo fenomeno di ombreggiamento che si ottiene nella realtà, in quanto non tiene conto della presenza di eventuali ostacoli fonte di ombra (quali alberi, lampioni ecc) e in quanto soggetto anche alle assunzioni sull’esposizione dei recettori spiegate precedentemente.

Pertanto, nel corso del presente studio, qualsiasi riferimento alla dicitura “real case” dovrà considerarsi semplicemente come indicativo della modalità di calcolo del software, e sulla base delle considerazioni appena esposte, non dovrà intendersi come reale effetto del fenomeno.

Per lo studio relativo all’impianto eolico di progetto sono stati utilizzati i dati anemologici presenti nello studio di producibilità fornito da Tecnogaia. Per l’indicazione della reale presenza del sole nel corso di un anno è stata considerata la stazione meteorologica di Alghero posta a 44 km di distanza dall’impianto (Figura 4.3).

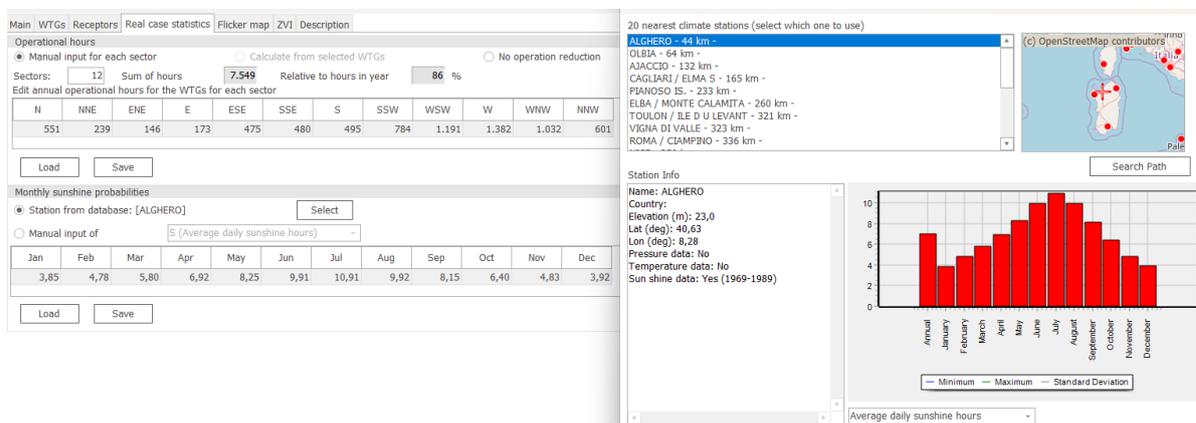


Figura 4.3: Caratteristiche della stazione meteorologica di riferimento per i valori di probabilità di soleggiamento mensile e dei dati anemometrici per il calcolo “real case”.



## 5. RISULTATI

La Tabella 5.1 riporta i risultati dell'effetto di ombreggiamento generato dall'impianto di progetto su ogni recettore identificato, modellati in modalità "green-house", ovvero senza indicare le dimensioni e le orientazioni delle singole finestre, ma considerando il recettore cautelativamente come se tutte le pareti esterne fossero esposte al fenomeno.

Nella seconda e terza colonna sono riportati i valori di ombreggiamento in ore/anno e giorni/anno nella modalità "worst case" che quantifica e riproduce il risultato di un calcolo teorico non aderente alla realtà, basato sull'assunzione che gli aerogeneratori funzionino per tutte le ore dell'anno e sempre in presenza di sole. Può tuttavia risultare utile un confronto con il reale valore atteso per comprendere quanto impatta la matrice delle probabilità di copertura nuvolosa e delle ore di operatività delle macchine. Nella quarta colonna sono riportati i valori massimi di ore/giorno per ogni recettore.

Nella quinta colonna sono presentati i valori ottenuti in base alla probabilità di copertura nuvolosa e dati anemometrici dettagliati nel paragrafo precedente, tali valori sono da confrontare con il limite che si è scelto a riferimento di 30 ore/anno (in rosso i valori oltre il limite). Per il report del calcolo effettuato si rimanda all'allegato A.

Tabella 5.1: Risultati effetto shadow flickering per ogni recettore.

ID RECETTORE	WORST CASE			REAL CASE
	ORE/ANNO	GIORNI/ANNO	ORE/GIORNO	ORE/ANNO
[-]				
1	15:58:00	92	0:14:00	6:01:00
2	14:19:00	96	0:18:00	4:09:00
3	29:23:00	99	0:27:00	7:46:00
4	4:38:00	28	0:15:00	1:25:00
5	7:32:00	33	0:21:00	2:16:00
6	3:12:00	23	0:12:00	0:58:00
7	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
8	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
9	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
10	14:59:00	44	0:27:00	3:59:00
11	20:21:00	45	0:35:00	6:28:00
12	8:43:00	39	0:20:00	2:36:00
13	26:03:00	92	0:30:00	8:05:00
14	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
15	15:46:00	43	0:30:00	6:10:00
16	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
17	41:15:00	132	0:36:00	11:30:00
18	40:48:00	100	0:36:00	10:20:00
19	98:01:00	72	1:40:00	20:21:00
20	193:29:00	197	1:30:00	<b>65:24:00</b>
21	58:20:00	81	0:56:00	16:40:00
22	52:45:00	102	0:47:00	13:24:00
23	79:49:00	106	0:54:00	19:17:00
24	70:25:00	88	0:56:00	16:16:00
25	9:01:00	57	0:13:00	3:35:00
26	61:44:00	123	0:49:00	19:47:00
27	73:57:00	155	0:52:00	22:26:00
28	84:03:00	152	0:54:00	24:53:00



ID RECETTORE	WORST CASE			REAL CASE
29	48:31:00	120	0:38:00	13:02:00
30	76:23:00	122	0:54:00	19:00:00
31	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
32	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
33	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
34	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
35	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
36	16:13:00	44	0:26:00	3:52:00
37	17:23:00	60	0:28:00	4:33:00
38	29:36:00	65	0:36:00	7:54:00
39	33:30:00	66	0:40:00	9:09:00
40	48:31:00	78	0:42:00	11:46:00
41	99:26:00	82	1:28:00	22:38:00
42	225:03:00	132	1:58:00	<b>54:58:00</b>
43	78:13:00	70	1:24:00	16:45:00
44	212:46:00	155	1:49:00	<b>73:24:00</b>
45	63:49:00	82	1:00:00	22:33:00
46	198:16:00	186	1:29:00	<b>55:03:00</b>
47	83:49:00	150	0:52:00	26:52:00
48	51:28:00	73	0:54:00	15:33:00
49	23:57:00	120	0:24:00	6:38:00
50	74:07:00	133	0:52:00	25:38:00
51	135:18:00	177	1:01:00	<b>48:47:00</b>
52	30:13:00	96	0:30:00	10:27:00
53	14:10:00	65	0:21:00	4:36:00
54	88:39:00	134	0:55:00	<b>32:31:00</b>
55	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
56	16:05:00	44	0:32:00	4:48:00
57	26:15:00	115	0:20:00	7:55:00
58	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
59	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
60	43:38:00	109	0:42:00	13:23:00
61	68:11:00	135	0:48:00	24:08:00
62	57:05:00	139	0:41:00	20:51:00
63	345:25:00	216	2:10:00	<b>129:34:00</b>
64	14:27:00	62	0:24:00	4:32:00
65	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
66	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
67	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
68	28:25:00	62	0:36:00	10:21:00
69	8:12:00	38	0:20:00	2:17:00
70	8:49:00	50	0:18:00	2:16:00
71	6:56:00	40	0:16:00	1:48:00
72	11:07:00	62	0:16:00	2:45:00
73	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
74	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
75	6:31:00	35	0:16:00	1:54:00
76	55:45:00	105	0:50:00	15:32:00



ID RECETTORE	WORST CASE			REAL CASE
<b>77</b>	50:42:00	111	0:41:00	13:35:00
<b>78</b>	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
<b>79</b>	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
<b>80</b>	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
<b>81</b>	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
<b>82</b>	0:00:00	0	0:00:00	0:00:00
<b>83</b>	20:28:00	62	0:28:00	7:39:00
<b>84</b>	26:03:00	80	0:31:00	8:59:00



## 6. CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

Lo studio eseguito ha evidenziato che il fenomeno di shadow flickering interessa 7 dei 84 recettori individuati considerando il “real case” (superamento del limite di 30 ore/anno), i fabbricati in questione sono dei magazzini e unità collabenti o fabbricati connesse alle attività agricole, solo il recettore 54 risulta essere un’abitazione (si rimanda a 2799\_4965\_CHR\_PFTE\_R07\_Rev0\_MONOGRAFIAFABBRICATI per un maggiore dettaglio).

Tuttavia è opportuno precisare che i risultati riportati nel presente studio sono ampiamente cautelativi in quanto riferiti ad uno scenario peggiorativo rispetto a quello reale. Infatti, il “worst case” considera le condizioni più sfavorevoli possibili (il sole splende per tutta la giornata, il piano di rotazione delle pale è sempre perpendicolare alla direttrice sole-aerogeneratore, l'aerogeneratore è sempre operativo). Inoltre, sia nel “real case” che nel “worst case”, i recettori sono stati considerati esposti al fenomeno in maniera omnidirezionale (modalità “green house”) e si è trascurata la presenza di vegetazione o di altri ostacoli in grado di “intercettare” l’ombra degli aerogeneratori.

Infine va sottolineato che il reale disturbo del fenomeno è fortemente legato alla frequenza di lampeggiamento, a sua volta correlata alla velocità di rotazione del rotore delle macchine. Gli aerogeneratori oggetto di questo studio hanno una velocità di rotazione massima pari a circa 12 giri/minuto, valore ben lontano dal provocare un effetto di stroboscopia; ciò per chiarire che la quantificazione riguarda la valutazione di un fastidio che non ha effetto sanitario diretto.

In conclusione il fenomeno di shadow flickering interessa un solo recettore abitativo considerando la modalità “real case” ed altri 6 fabbricati identificati come magazzini, unità collabenti e aziende agricole. L’impatto risulta essere di bassa entità in virtù delle condizioni previste sia in termini temporali che di frequenza d’intermittenza, considerando sia l’approccio cautelativo adottato, che il limite prefissato.

Una volta che il parco eolico sarà operativo, in seguito a studi più approfonditi e all’acquisizione di ulteriori dati di esercizio, sarà rivalutato l’effettivo contributo dell’ombreggiamento e ove questo si verificasse superiore ai limiti, sarà opportunamente mitigato.

Infatti è opportuno segnalare che esistono una serie di misure di mitigazione al fine di ridurre l’effetto dello shadow flickering che potrebbero essere implementate, se necessario, una volta che il parco eolico sarà operativo.

Oltre la realizzazione di schermi artificiali o naturali (vegetazione), che esprimono la piena funzionalità solo in determinate condizioni orografiche, la principale misura consiste nella pre-programmazione firmware delle macchine eseguita sulla base dei dati di “Calendario” calcolati e riportati in Allegato A.

Tali dati esplicitano con dettaglio del minuto tutti i momenti dell’anno in cui è previsto il verificarsi del fenomeno, in questi intervalli di tempo la macchina potrebbe essere pre-programmata a non funzionare. Da alcuni anni sono inoltre stati brevettati diversi sistemi che si abbinano alla pre-programmazione del worst case, basati su sensori che rilevano le effettive condizioni ambientali (ventosità e copertura nuvolosa) ed applicano la pre-programmazione solo nei casi in cui il fenomeno si dovesse realmente verificare. In tal senso le macchine sarebbero limitate nel loro funzionamento solo per un numero di ore pari a quelle stimate per il real case, e quindi con impatto economico trascurabile.



---

## **ALLEGATO A**