



REGIONE SARDEGNA



PROVINCIA SUD SARDEGNA



SEUI



ESCALAPLANO



ESTERZILI

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 12 AEROGENERATORI CON POTENZA COMPLESSIVA DI 57 MW NEL COMUNE DI SEUI (SU) CON OPERE CONNESSE NEI COMUNI DI SEUI (SU), ESCALAPLANO (SU) ED ESTERZILI (SU)



Proponente	 <p>LOTO RINNOVABILI SRL <i>Largo Augusto n.3 20122 Milano pec:lotorinnovabili@legalmail.it</i></p>				
Progettazione	 <p>AGREENPOWER s.r.l. Sede legale: Via Serra, 44 09038 Serramanna (SU) - ITALIA Email: info@agreenpower.it</p> <p style="text-align: right;">Gruppo di lavoro: Collaboratori:</p> <p style="font-size: small;"> Ing. Simone Abis - Civile Ambientale Ing. Michele Angei - Elettrico Ing. Enea Tocco - Civile Ambientale Ing. Stefano Fanti - Civile Ambientale Dott. Gianluca Fadda </p> <p style="font-size: small;"> Vamirgeind Ambiente Geologia e Geofisica S.r.l. Ing. Gianluca Vultaggio - Tekto Studio Ing. Nicola Sollai - Strutturista Dott.ssa Archeologa Manuela Simbula Dott. Naturalista Francesco Mascia Dott. Agronomo Vincenzo Sechi Ing. Federico Miscali - Tecnico Acustica Dott. Geologo Luigi Sanciù Ing. Luigi Cuccu - Elettrotecnico Ing. Davide Medici - Analisi Anemologica </p>				
Elaborato	<p>Nome Elaborato:</p> <h2 style="text-align: center;">RELAZIONE IMPATTO SHADOW FLICKERING</h2>				
00	Novembre 2022	Prima emissione	Vamirgeind Srl	Vamirgeind Srl	Agreenpower Srl
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione
Scala:	---				
Formato:	A4		Codice Commessa	W2203SEU Codice Elaborato REL27	

Indice

1	PREMESSA	2
2	CENNI SUL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKERING	4
3	CALCOLO DELLO SHADOW FLICKERING.....	8
3.1	<i>Descrizione del contesto territoriale.....</i>	<i>8</i>
3.1	<i>Configurazione di impianto.....</i>	<i>13</i>
3.2	<i>Definizione dell'ambito di studio</i>	<i>16</i>
3.3	<i>Individuazione dei ricettori</i>	<i>22</i>
3.4	<i>Metodologia di calcolo e software utilizzato</i>	<i>25</i>
3.5	<i>Risultati</i>	<i>33</i>
4	CONCLUSIONI.....	35
5	APPENDICE A.....	36

Elaborati grafici

- Mappa di potenziale interferenza da shadow flickering

1 PREMESSA

Nel Comune di Seui facente parte della provincia del Sud Sardegna è prevista la realizzazione di un campo eolico costituito da 12 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 5,7 MW, che saranno installati deratizzata a 4.75 MW per una potenza totale di impianto pari a 57 MW).

L'impianto è localizzato interamente nel Comune di Seui con quote che vanno da 380 a 880 m s.l.m. circa.

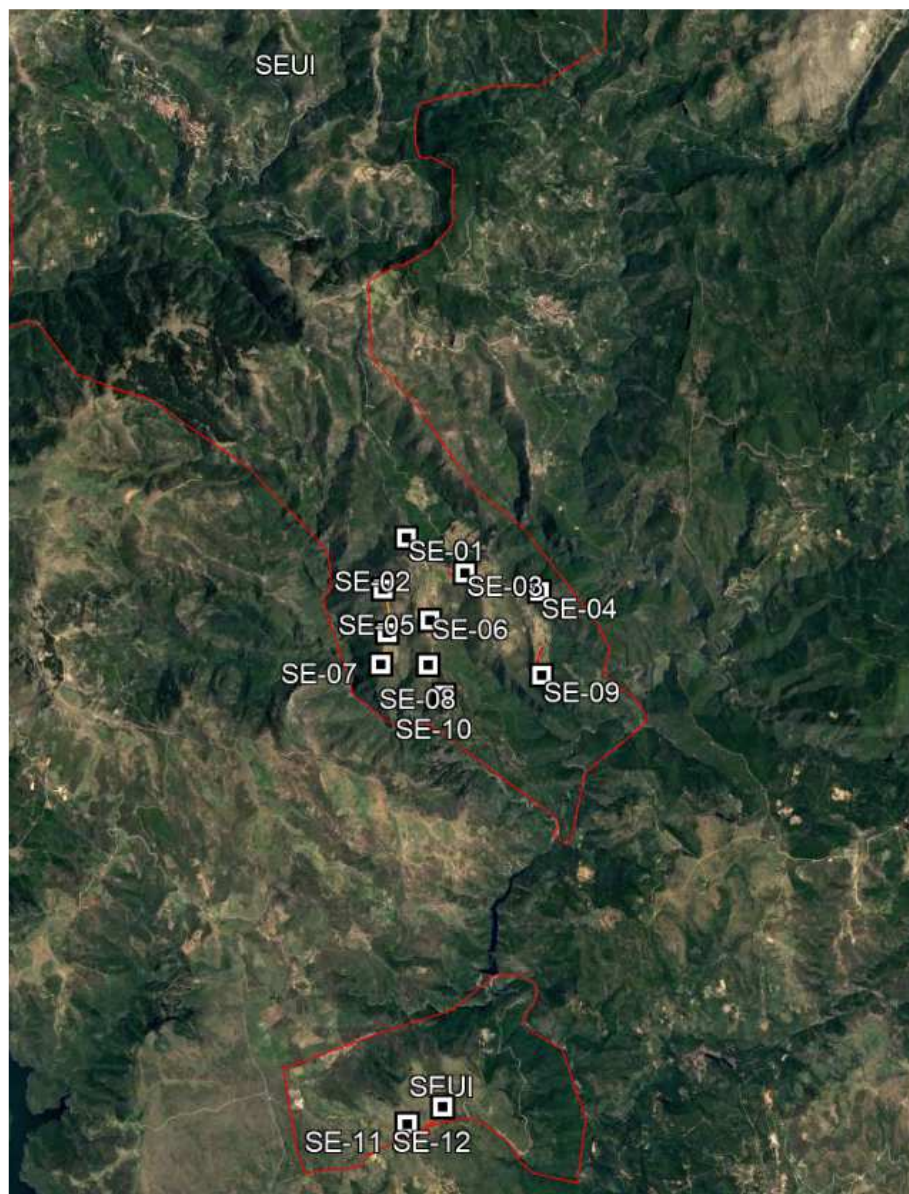


Figura 1-1 Localizzazione del campo eolico oggetto di studio

La tipologia di macchina impiegata è di tipo ad asse orizzontale in cui il sostegno, ovvero una torre tubolare con altezza pari a 118 m, porta alla sua sommità la navicella, al cui lato esterno è collegata un rotore di diametro di 163 m.

2 CENNI SUL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKERING

Le turbine eoliche, come altre strutture fortemente sviluppate in altezza, proiettano un'ombra sulle aree adiacenti in presenza di luce solare diretta.

Il cosiddetto fenomeno del “flickering” indica l'effetto di lampeggiamento che si verifica quando le pale del rotore in movimento “tagliano” la luce solare in maniera intermittente.

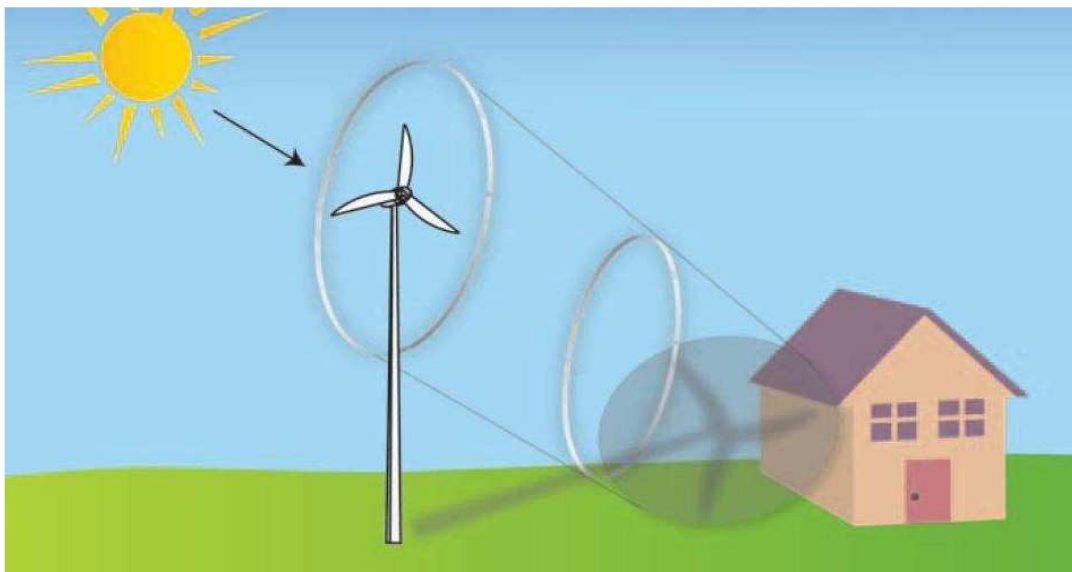


Figura 2-1 Esempio di effetto flickering

Questa variazione alternata di intensità luminosa, a lungo andare, può provocare fastidio agli occupanti delle abitazioni le cui finestre risultano esposte al fenomeno stesso. Ovviamente, tale fenomeno risulta assente sia quando il sole è oscurato da nuvole o nebbia, sia quando, in specifiche condizioni di vento, le pale del generatore non sono in rotazione.

In particolare, le frequenze che possono provocare un senso di fastidio sono comprese tra i 2.5 ed i 20 Hz (Verkuijlen and Westra, 1984), e, l'effetto sugli individui è simile a quello che si sperimenterebbe in seguito alle

variazioni di intensità luminosa di una lampada ad incandescenza sottoposta a continui sbalzi della tensione della rete di alimentazione elettrica.

Tuttavia, i più recenti aerogeneratori tripala operano ad una velocità di rotazione massima di 25 giri al minuto, corrispondente ad una frequenza di passaggio delle pale sulla verticale inferiore a 0.5 Hz, minore, quindi, della frequenza critica di 2.5 Hz.

Inoltre, i generatori di grande potenza (dal MW in su, come nel caso in oggetto) mediamente non superano la velocità di rotazione di 15 giri al minuto, corrispondente a frequenze di passaggio delle pale (0.25 Hz) ampiamente minori di quelle ritenute fastidiose per la maggioranza degli individui.

Studi condotti sui possibili effetti dello shadow flickering sulla salute umana raccomandano, al fine di ridurre al minimo i fastidi, una velocità di flickering non superiore a 3 tagli al secondo (Harding, 4 Aprile 2008). Nel caso di aerogeneratori tripala, tale frequenza si traduce in una velocità massima di rotazione del rotore di 60 rpm (rotazioni per minuto).

Le relazioni spaziali tra un aerogeneratore ed un ricettore sensibile, così come la direzione del vento, l'intensità del medesimo, la copertura del cielo, la posizione del sole (variabile nell'arco dell'anno) risultano essere fattori chiave per la esistenza e durata del fenomeno di shadow flickering.

Per distanze dell'ordine dei 500 m, il fenomeno in esame potrebbe verificarsi all'alba oppure al tramonto, ossia in quelle ore in cui le ombre risultano molto lunghe per effetto della piccola elevazione solare. Al di là di una certa distanza, in realtà l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala ed il diametro del sole diventa molto piccolo.

Come è facile immaginare, la condizione più penalizzante corrisponde al caso in cui il piano del rotore risulta ortogonale alla congiungente ricettore

– sole; infatti, in tali condizioni, l’ombra proiettata darà origine ad un cerchio di diametro pari al rotore del generatore eolico.

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all’esterno, esso risulta evidente e fastidioso in quegli ambienti con finestre rivolte verso le ombre.

In un’ottica generale e in relazione alle condizioni meteorologiche medie della penisola italiana, è possibile affermare che le aree soggette al fenomeno di shadow flickering non si estendono mai oltre i 500-1000 m dall’aerogeneratore e le zone a maggiore impatto ricadono solitamente entro i 300 m di distanza dalle macchine con durata del fenomeno dell’ordine delle 200 ore all’anno e non superiore in genere ai 20/30 minuti di durata nell’arco di una giornata.

L’intensità del fenomeno è definita come la differenza di luminosità che si percepisce in presenza ed in assenza di flickering in una data posizione. In generale, si può affermare che:

- ⇒ Avendo le pale una forma rastremata con lo spessore che cresce verso il mozzo; il fenomeno risulterà tanto più intenso quanto maggiore sarà la porzione di disco solare coperta dalla pala stessa e quanto minore la distanza dal ricettore.
- ⇒ L’intensità del flickering sarà minima quando l’ombra prodotta è generata all’estremità delle pale.
- ⇒ Maggiori distanze tra generatore e ricettore determinano ombre meno nette; in tal caso l’effetto flickering risulterà meno intenso e distinto.

La tipologia di aerogeneratore prevista per l’installazione ha una velocità di rotazione massima di 8,5 rpm che corrisponde ad una velocità massima di flickering di 0,45 tagli al secondo, nettamente inferiore alla frequenza massima raccomandata per la tutela della salute umana.

Tuttavia, una progettazione attenta è fondamentale per evitare questo fenomeno.

In relazione a ciò, si fa presente che, quale misura di prevenzione, già in fase di scelta delle aree sulle quali ubicare l'impianto si è cercato di localizzare gli aerogeneratori il più possibile distanti dall'area urbana oltretché dagli edifici abitativi e lavorativi.

3 CALCOLO DELLO SHADOW FLICKERING

3.1 Descrizione del contesto territoriale

Il comune di Seui si trova nella circoscrizione territoriale della Città metropolitana di Cagliari, si estende per 148,21 km² con una densità abitativa di 8,12 abitanti/km² (scarsamente popolato) e confina con Esterzili a ovest, Escalaplano a sud e Ussassai a nord est.

Il centro abitato si trova ad un'altitudine di 820 m s.l.m a circa 8 km di distanza dall'aereogeneratore più vicino. Una parte cospicua del territorio di Seui è occupata dalla foresta di Montarbu.

Con i suoi 2800 ettari è tra le superfici boschive più importanti della Sardegna sottoposte a tutela in aree SIC e ZPS.

Dal punto di vista altimetrico il territorio del parco varia dai circa trecento metri sopra il livello del mare del confine sud ai 1325 di Punta Margiani Pubusa al confine nord con il Flumendosa e il massiccio del Gennargentu.

Il comune di Ussassai (OG) si estende per 47,32 km², ha una densità abitativa di 10,14 abitanti/km² (scarsamente popolato).

Il centro abitato si trova ad un'altitudine di 710 m s.l.m. sorge sulle pendici di nord-est del monte Arcueri e domina la valle del Rio San Gerolamo.

Nel paese si distinguono la parte bassa, con caratteristiche casette in pietra, e la parte alta, maggiormente estesa, con case di più recente costruzione.

Il suo territorio, compreso tra i 331 m e i 1123 m di altitudine s.l.m., si estende in un paesaggio piuttosto isolato ma ricco di foreste di lecci e querce, corbezzoli, macchia mediterranea, sorgenti; spiccano all'occhio i numerosi Tacchi, imponenti affioramenti rocciosi calcarei, che rendono il paesaggio ussassese particolarmente selvaggio.

Il comune di Escalaplano (CA) si estende per 94,04 km², ha una densità abitativa di 22,37 abitanti/km² (scarsamente popolato).

Il centro abitato si trova ad un'altitudine di 338 metri sul livello del mare.

Il territorio del comune è prevalentemente occupato dall'altopiano che ospita una vegetazione ricca di boschi di sugherete e terreni da destinare a pascolo, scendendo poi dolcemente dai 670 ai 300 metri di altitudine vicino al paese, tra le valli del Flumendosa e del Flumineddu che delimitano in certi tratti i confini con i paesi vicini.

Escalaplano è situato in una regione collinare alle ultime propaggini meridionali del Gennargentu, alla confluenza della strada da Ballao con quella che unisce Orroli a Esterzili e Perdasdefogu.

Il comune di Esterzili (CA) si estende per 100,74 km² e ha una densità abitativa di 5,73 abitanti/ km² (scarsamente popolato).

Il centro abitato si trova ad un'altitudine di 731 metri sul livello del mare, mentre l'altimetria media è di circa 800 m s.l.m., estendendosi dalla modesta quota di 300 metri delle strette e brevi vallate scavate dall'acqua alla vetta del Monte Santa Vittoria che segna 1212 m s.l.m.



Figura 3-1 Contesto territoriale in cui si prevede l'inserimento del campo eolico

Nello specifico, il contesto in cui il progetto si inserisce è delimitato:

- a Nord dai rilievi montuosi che costituiscono il Monte Santa Vittoria nel territorio facente parte del Comune di Esterzili;
- a Sud da alcuni canyon che precedono il centro abitato di Escalaplano;

- ad Est da un profondo e lungo canyon che si estende dai territori a sud del centro abitato di Seui (CA) fino ai comuni di Perdasdefogu (CA) ed Escalaplano;
- ad Ovest dal Fiume Flumendosa, secondo fiume della Sardegna per estensione dopo il Tirso.

Dalle indagini effettuate, la presenza antropica in questa porzione di territorio è molto ridotta con pochi ed isolati edifici posti, comunque, a buona distanza dal campo eolico di progetto.

Nello specifico l'area edificata è minore allo 0,5% del totale, inoltre, i fabbricati presenti sono per lo più ruderi, depositi agricoli, aziende agricole e/o allevamenti, pertanto, meno sensibili ai potenziali effetti dovuti all'ombreggiamento intermittente indotto dal progetto in esame.

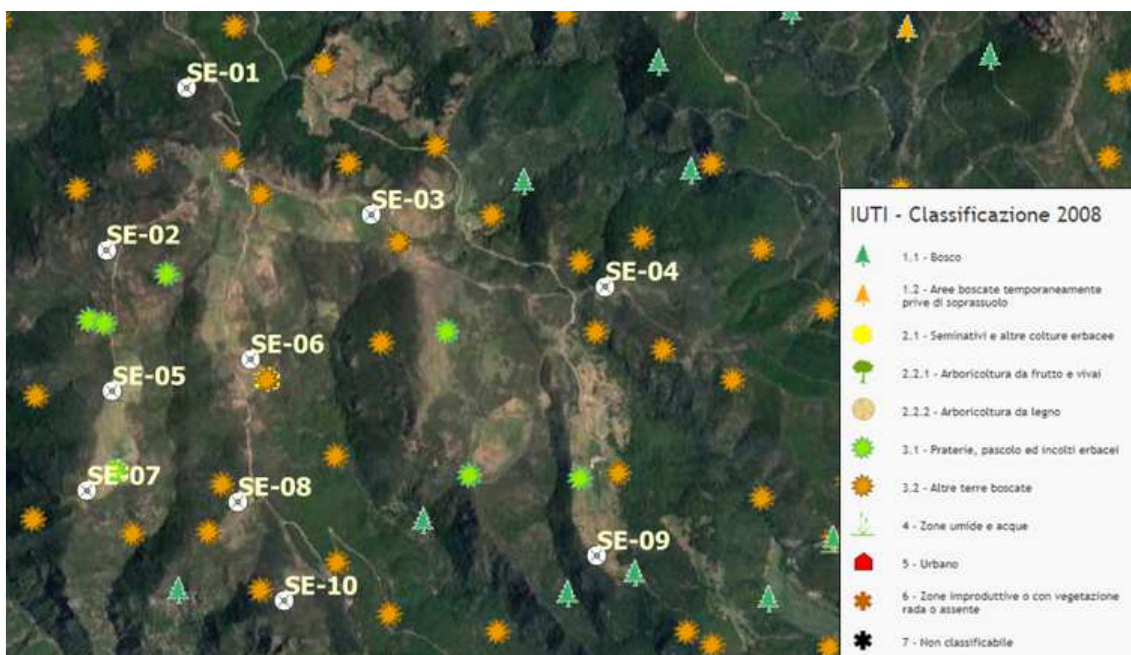


Figura 3-2 Localizzazione aerogeneratori SE01-10 del campo eolico di progetto ed Inventario dell'Uso delle Terre d'Italia, fonte: Geoportale Nazionale (<http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>)

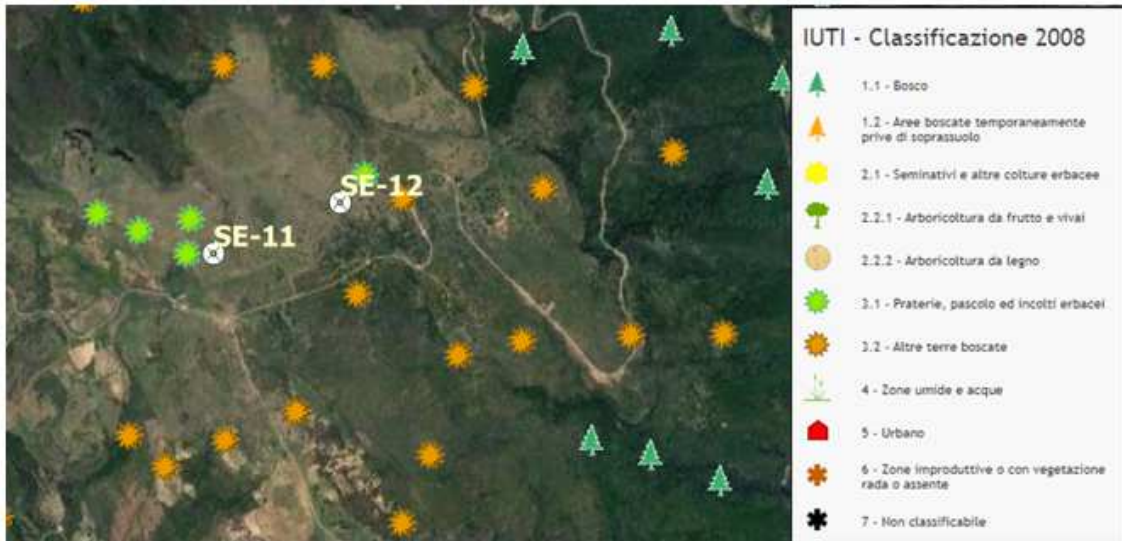


Figura 3-3 Localizzazione aerogeneratori SE11-12 del campo eolico di progetto ed Inventario dell'Uso delle Terre d'Italia, fonte: Geoportale Nazionale (<http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>)

In generale, l'area interessata dalla realizzazione del parco eolico è eterogenea per conformazione e caratteristiche meteo climatiche in quanto l'ambito di studio si estende a partire da territori collinari fino a montani, ovvero con elevazione compresa tra 406 e 889 m s.l.m.

3.2 Configurazione di impianto

Nelle seguenti tabelle vengono geolocalizzate, definite e descritte dal punto di vista tecnico le turbine la cui installazione è prevista per il campo eolico in progetto.

Turbina	Comune	Coordinate UTM		Altitudine [m]
		Long. E [m]	Lat. N [m]	
SE01	Seui	531661.00	4402976.00	821
SE02	Seui	531321.47	4402156.07	847
SE03	Seui	532606.81	4402415.93	832
SE04	Seui	533775.54	4402141.74	699
SE05	Seui	531397.25	4401468.04	795
SE06	Seui	532064.28	4401669.24	808
SE07	Seui	531307.11	4400971.44	791
SE08	Seui	532048.71	4400966.62	771
SE09	Seui	533822.39	4400821.74	593
SE10	Seui	532307.67	4400498.01	750
SE11	Seui	531891.59	4393930.59	676
SE12	Seui	532425.53	4394186.76	660

Tabella 1 Coordinate geografiche puntuali turbine d'impianto



Figura 3-4 Posizione delle turbine di progetto SE01-10 sul territorio



Figura 3-5 Posizione delle turbine di progetto SE11-12 sul territorio

Di seguito è riportata una scheda riassuntiva delle principali caratteristiche della turbina che si intendono installare di potenza nominale pari a 5,7 MW:

Potenza nominale	5,7 MW
n° pale	3
Diametro rotore	163 m
Area spazzata	20 867 m ²
Altezza mozzo rotore	118,0 m
Tipologia torre	Tubolare
Velocità di rotazione del rotore	8,5 rpm
Velocità vento di avvio	3,0 m/s
Velocità vento nominale	15,0 m/s
Velocità vento di stacco	26,0 m/s

Tabella 2 Estratto delle specifiche tecniche delle turbine che si intendono installare.

3.3 Definizione dell'ambito di studio

In generale, come ambito di studio si intende la porzione di territorio che si ritiene potenzialmente interferita dalle opere in progetto nelle loro modalità di funzionamento.

Di conseguenza, per quanto anticipato al paragrafo 2, a ciascun aerogeneratore è stata associata un'area di potenziale interferenza dovuta al fenomeno di shadow flickering delimitata da una circonferenza avente centro nel singolo aerogeneratore e raggio pari a 1000 m.

L'ambito di studio complessivo (cfr. Figura 3-6) del parco eolico in progetto è quindi definito dall'involuppo delle 12 singole aree, ciascuna definita per ogni aerogeneratore secondo il suddetto criterio.



Figura 3-6 Ambito di studio shadow flickering (rosso) per il campo eolico in progetto

In questo caso il progetto si inserisce in un contesto in cui sono presenti altri aerogeneratori, in via di autorizzazione e un minieolico.

Al fine di escludere eventuali effetti cumulativi associati al fenomeno di shadow flickering, sono state individuate le turbine attualmente in esercizio/autorizzate e misurata la distanza di 1000 m che intercorre tra quest'ultime ed il margine dell'ambito di studio precedentemente definito (cfr. Figura 3-7).

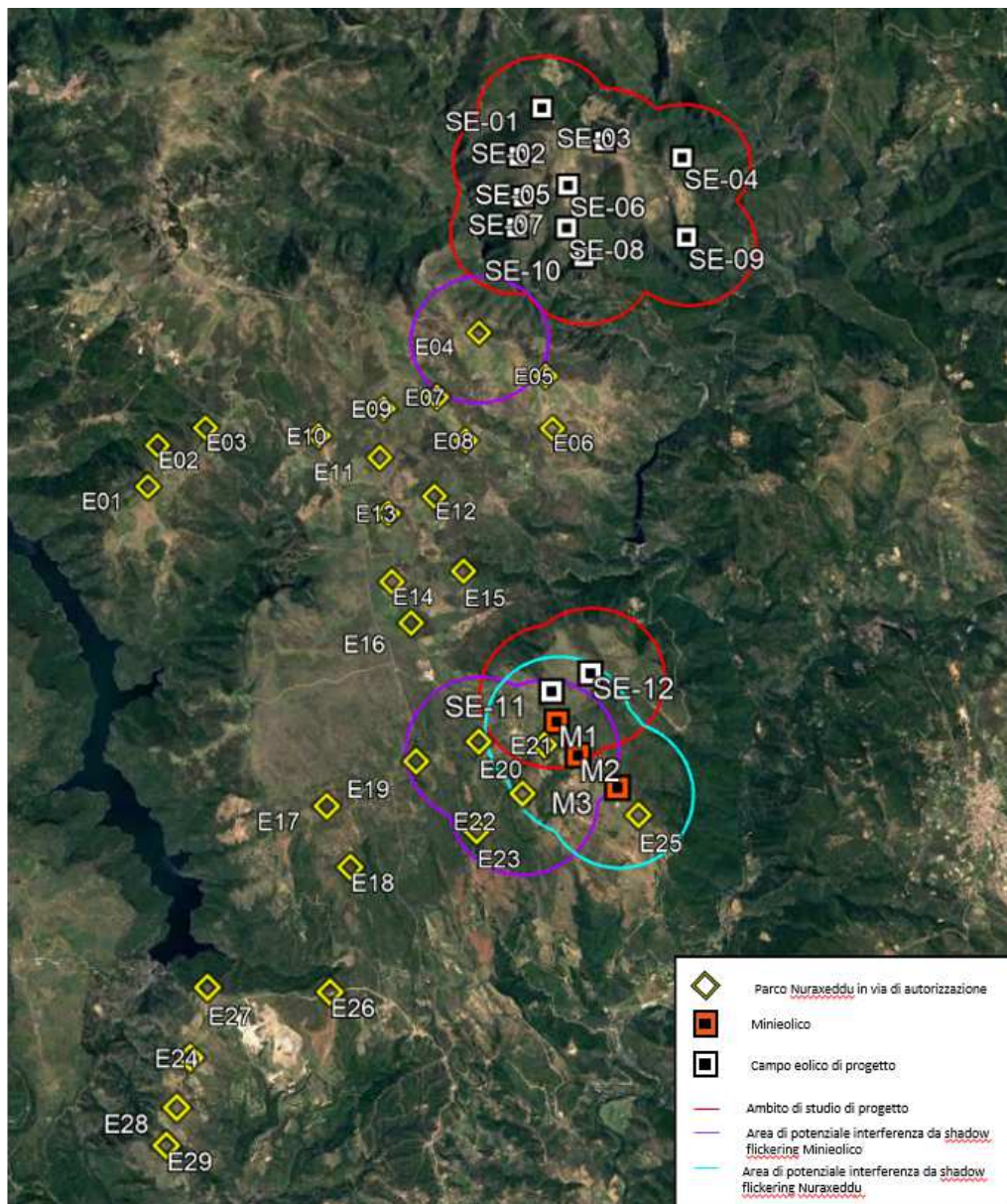


Figura 3-7 Aereogeneratori in via di autorizzazione ed impianto minieolico rispetto al campo eolico di progetto.

Considerando che gli effetti di shadow flickering possono ritenersi nulli per distanze maggiori a 1000 m dalla generica turbina, in Figura 3-7 si osserva come alcuni aereogeneratori del “Parco Eolico di Nuraxeddu” interferiscano con il nostro ambito di studio, in particolare gli aereogeneratori E04, E20, E21 e E22.

Inoltre, si segnala che all'interno dell'ambito di studio sono presenti due delle tre turbine di piccole dimensioni (cfr. Figura 3-8), ovvero con altezza rotore entro i 35 m, i cui effetti, in virtù dell'esiguo sviluppo in altezza dell'aerogeneratore potrebbero considerarsi marginali rispetto al contributo in termini di ombreggiamento intermittente prodotto dalle turbine di progetto.

Ciononostante, per completezza ed al fine di ottenere risultati di simulazione quanto più realistici e cautelativi, sono state considerate all'interno del modello costruito con WindFarm R5 (cfr. paragrafo 3.5).

La figura seguente descrive le caratteristiche tecniche delle turbine minieoliche esistenti inputate nel modello di calcolo ai fini dell'analisi di shadow flickering.

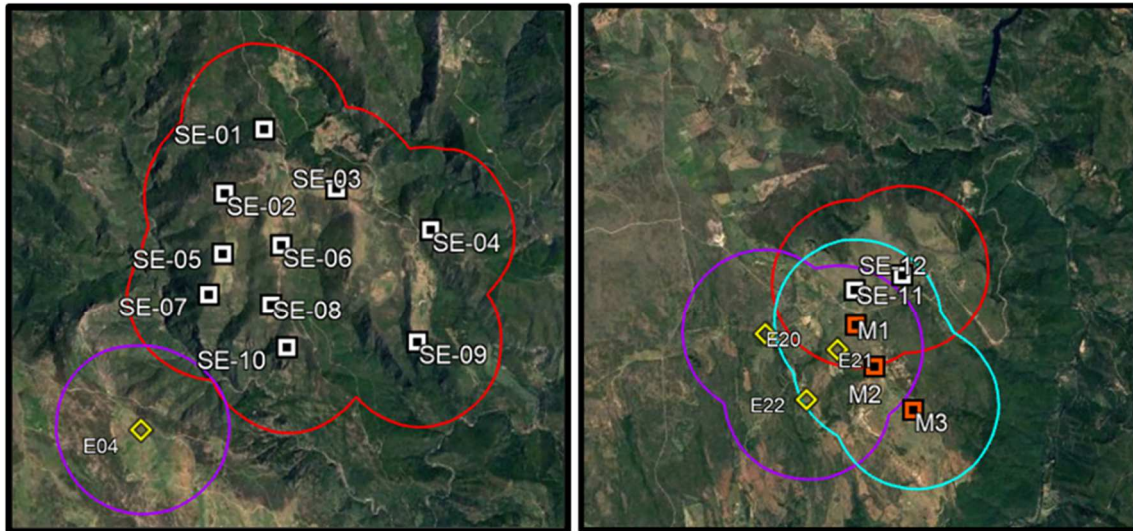
Turbine minieoliche esistenti

Potenza nominale	225 kW
n° pale	3
Diametro rotore	29 m
Area spazzata	661 mq
Altezza mozzo rotore	32 m
Tipologia torre	Tubolare
Velocità di rotazione del rotore	8,5 rpm
Velocità vento di avvio	3,5 m/s
Velocità vento nominale	13,5 m/s
Velocità vento di stacco	25,0 m/s



Figura 3-8 Impianti minieolici esistenti - Turbine M1, M2 ed M3

La seguente figura geolocalizza le turbine minieoliche e quelle del “Parco Eolico Nuraxeddu” che interferiscono con l’ambito di studio del progetto.



Turbina	Comune	Coordinate UTM		Altitudine [m]
		Long. E [m]	Lat. N [m]	
E04	Esterzili	530769.02	4399247.25	882
E20	Escalaplano	530892.64	4393200.50	583
E21	Escalaplano	531784.43	4393158.47	642
E22	Escalaplano	531497.48	4392490.55	554
M1	Escalaplano	531966.00	4393510.00	657
M2	Escalaplano	532254.00	4393046.00	626
M3	Escalaplano	532794.00	4392600.00	618

- Ambito di studio di progetto Campo eolico di progetto Minieolico
- Area di potenziale interferenza da shadow flickering Minieolico
- Area di potenziale interferenza da shadow flickering Nuraxeddu
- Parco Nuraxeddu in via di autorizzazione

Figura 3-9 Localizzazione delle turbine minieoliche esistenti e delle turbine del Parco eolico Nuraxeddu interferenti con l’ambito di studio.

È stata quindi definita un’area di potenziale interferenza afferente alle turbine minieoliche esistenti e alle turbine del “Parco Eolico Nuraxeddu”, come l’inviluppo delle circonferenze aventi centro nel singolo aerogeneratore e raggio pari a 1000 m.

La sovrapposizione della suddetta area con l’ambito di studio di progetto consente di individuare la zona in cui sono possibili effetti

cumulativi del fenomeno di ombreggiamento e, conseguentemente, determinare quali ricettori potrebbero subirne gli effetti.

Ne consegue che il recettore potenzialmente sensibile (poiché ad uso lavorativo) ad eventuali effetti cumulativi prodotti dagli aerogeneratori di progetto con le turbine minieoliche esistenti e in via di approvazione è il fabbricato denominato R13 (cfr. APPENDICE A).

La seguente figura riassume le considerazioni fatte finora.

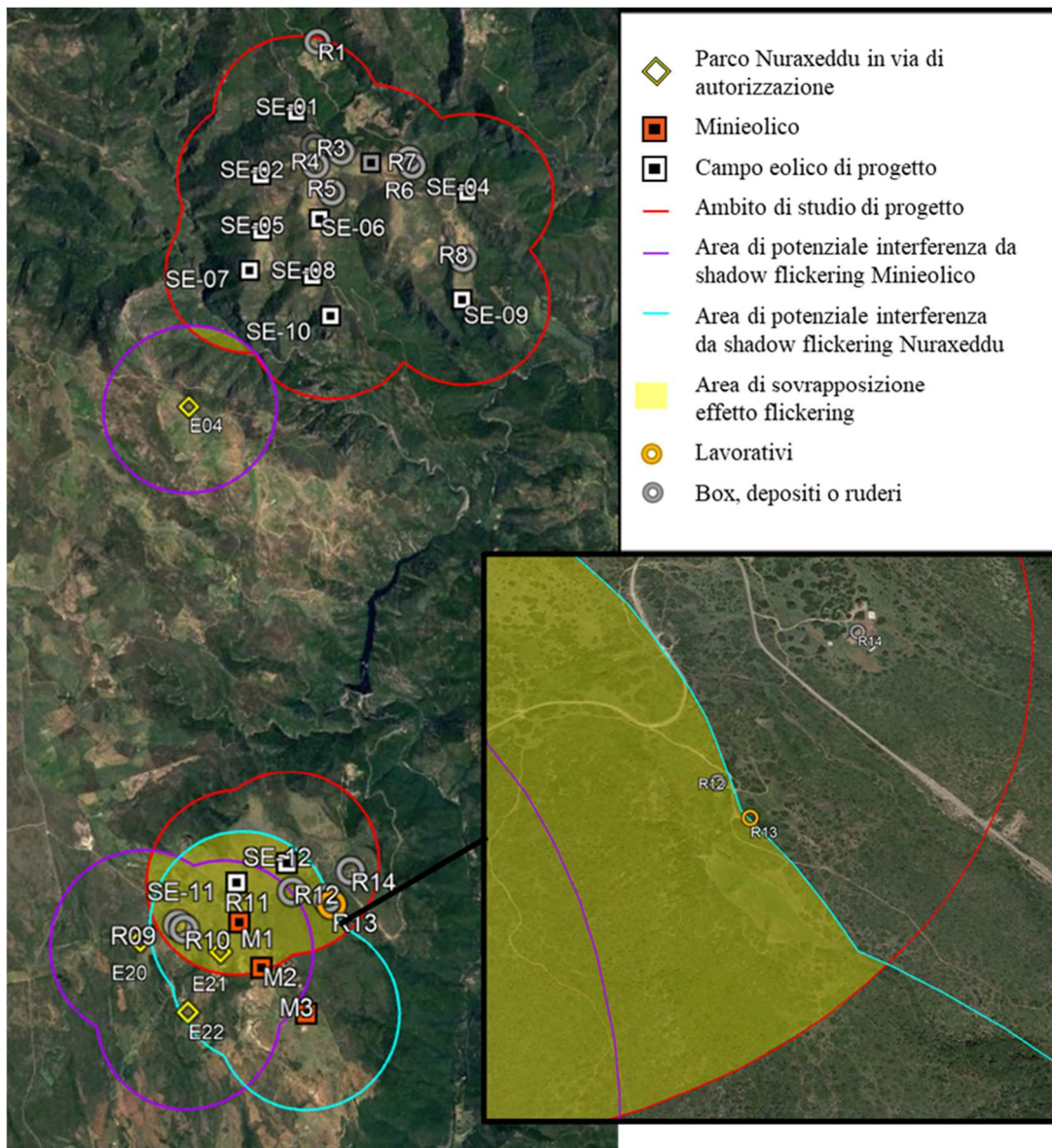


Figura 3-10 Area di sovrapposizione dei potenziali effetti di shadow flickering e ricettori coinvolti

3.4 Individuazione dei ricettori

Ai fini della previsione degli impatti indotti sulle abitazioni e sugli edifici lavorativi dall'impianto eolico in progetto, sono stati censiti i ricettori presenti nel raggio di 1km dagli aerogeneratori.

Distanza oltre la quale si può ipotizzare essere nullo il fenomeno di shadow flickering.

I ricettori sono stati individuati calcolando l'involuppo delle circonferenze di raggio pari a 1km con centro geometrico corrispondente alle coordinate geografiche delle turbine, precedentemente indicate (vedi Tabella 1).

Per snellire il modello di calcolo, considerato che il software di analisi WindFarm R5 non è in grado di tenere conto delle zone d'ombra prodotte reciprocamente da edifici ravvicinati, le quali di fatto annullano il fenomeno di shadow flickering dovuto alle turbine, nel caso di più edifici molto ravvicinati tra loro si prendono in considerazione i soli ricettori perimetrali.

Sono stati quindi censiti un totale di 14 edifici, appartenenti ai Comuni di Seui ed Escalaplano (CA), i quali risultano essere adibiti ad edifici lavorativi o depositi agricoli/box/ruderi per lo più in stato di abbandono.

In particolare, dal censimento risultano solo due edifici lavorativi e 12 ruderi, box o depositi agricoli.

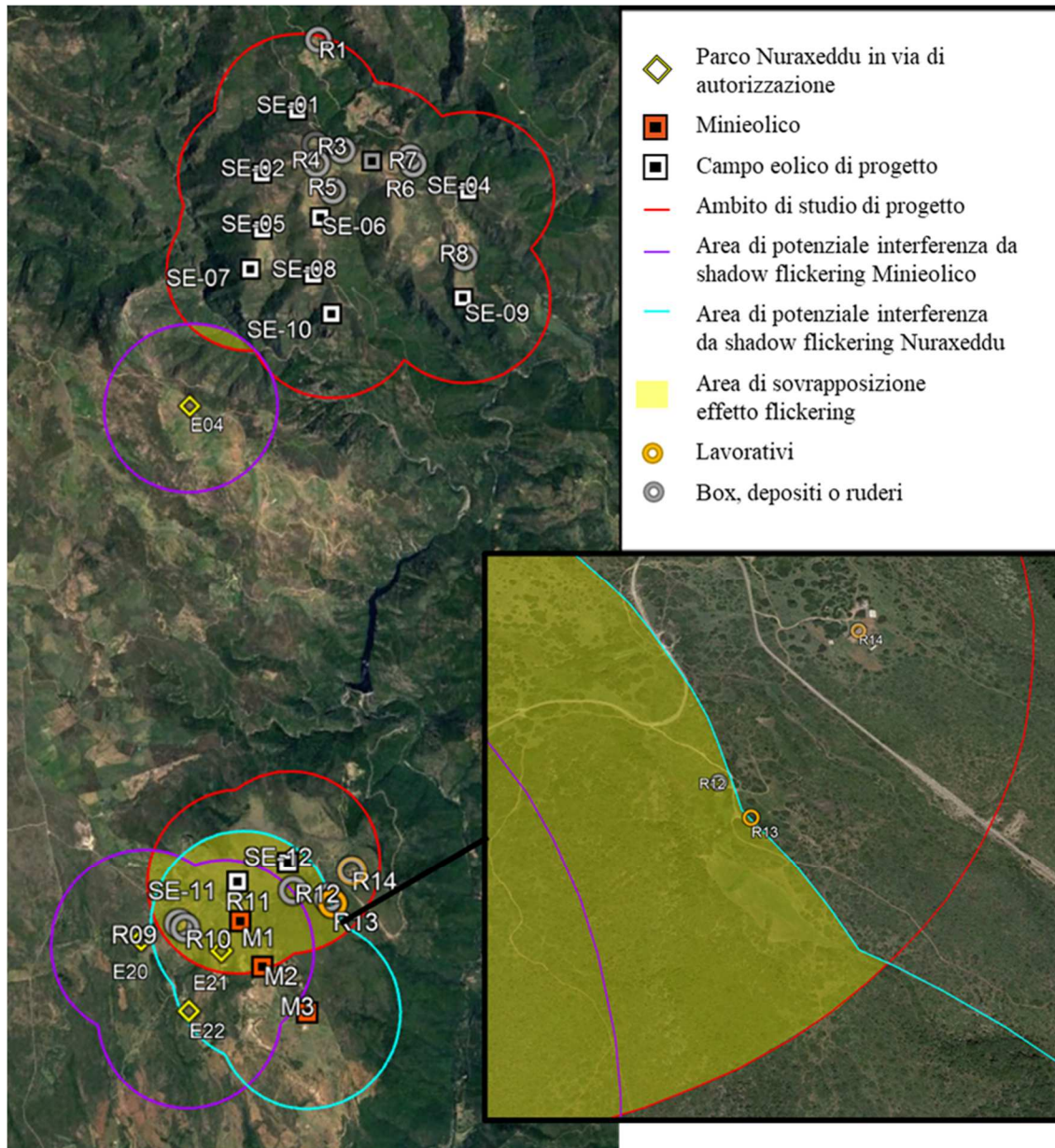


Figura 3-11 Censimento dei ricettori all'interno dell'ambito di studio.

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno, esso risulta evidente e fastidioso in quegli ambienti abitativi o lavorativi con finestrate che si trovano sul prolungamento della direttrice sole-turbina, per questo motivo, si è considerato nella simulazione la presenza di finestre di altezza 1 metro e larghezza 1 metro posizionate ad altezza dal suolo di 2 metri e disposte su tutte le facciate degli edifici.

Per lo stesso motivo, seppur censiti per completezza, **sono stati esclusi dall'analisi box, depositi e ruderi** in quanto non sensibili al fenomeno indagato.

In APPENDICE A sono riportati i riferimenti geografici, l'uso in atto dei fabbricati, la distanza dall'aerogeneratore più vicino e l'orientamento delle finestre ipotizzato.

Le celle evidenziate in tabella rappresentano i ricettori per i quali è stata eseguita l'analisi dell'interferenza da shadow flickering in quanto a destinazione d'uso residenziale o lavorativa.



Figura 3-12 Esempio di identificazione dell'orientamento delle finestre dei ricettori

Data l'entità dei ricettori in studio, è stata ipotizzata una disposizione fissa delle finestre rispetto al nord pari a 0, 90, 180 e 270 gradi.

In questo modo sono state prese in considerazione tutte le possibili esposizioni delle finestrate al fenomeno di shadow flickering, rendendo i risultati dell'analisi ancor più cautelativi e completi.

3.5 Metodologia di calcolo e software utilizzato

L'analisi dell'impatto da shadow flickering prodotto da un campo eolico è realizzata, generalmente, attraverso l'impiego di specifici applicativi che modellano il fenomeno in esame. I pacchetti software impiegati per la progettazione di impianti eolici contengono moduli specifici per il calcolo e l'analisi del fenomeno di flickering.

L'analisi si basa sull'impiego di un modello digitale del terreno dell'area oggetto di progettazione, sulle posizioni (E, N, quota) degli aerogeneratori e dei ricettori sensibili, nonché sui dati che correlano la posizione del sole nell'arco dell'anno con le condizioni operative delle turbine nello stesso arco di tempo.

Al fine di calcolare la posizione relativa del sole nell'arco di un anno rispetto al parco eolico ed ai ricettori è necessario definire la longitudine, la latitudine ed il fuso orario dell'area interessata dal progetto.

Nello specifico, la valutazione tecnica è stata eseguita con l'ausilio del software WindFarm 5 della ReSoft Ltd, software di simulazione specifico per la progettazione di impianti eolici.

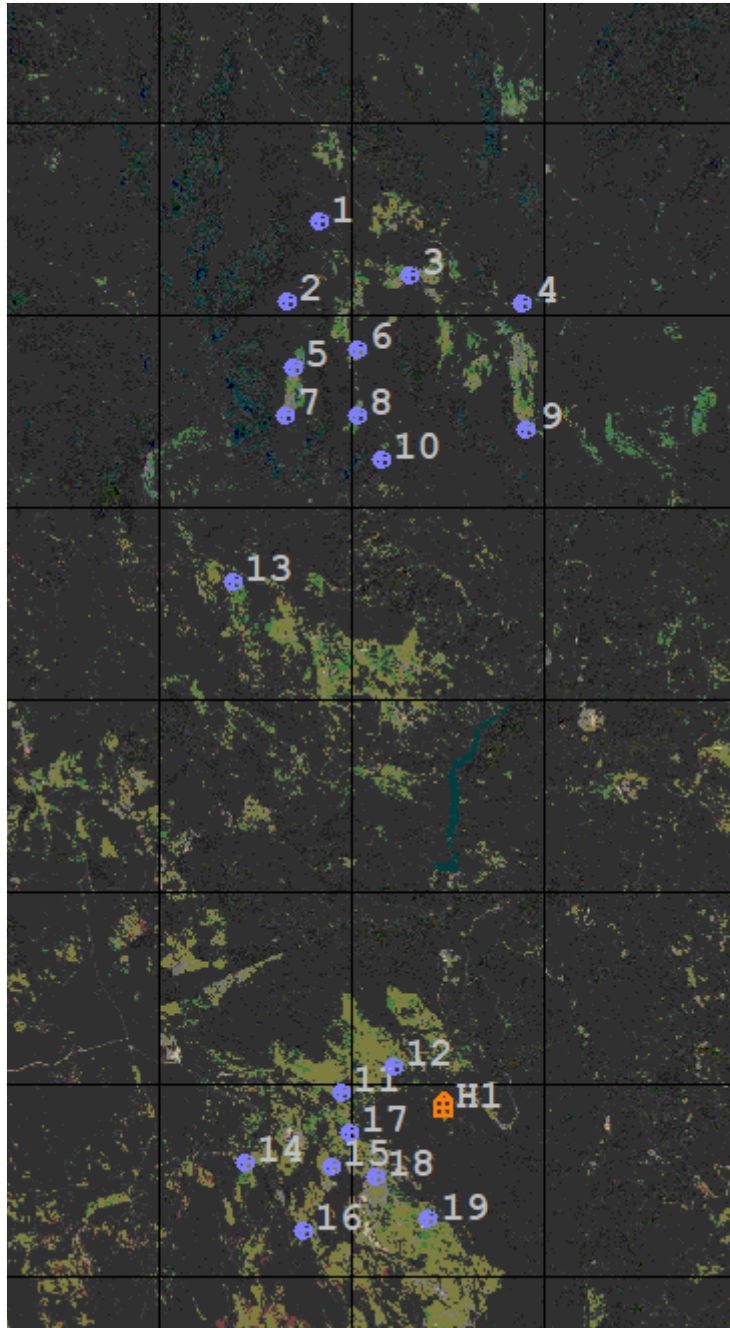


Figura 3-13 Stralcio dell'area di studio in Windfarm: ricettori (arancione) e aerogeneratori (blu).

Il Software consente di analizzare la posizione del sole nell'arco di un anno per identificare i tempi in cui ogni turbina può proiettare ombre sulle finestre degli edifici vicini. In particolare, il modello permette di:

- ❖ calcolare il potenziale per le ombre intermittenti alle finestre delle abitazioni;

- ❖ creare mappe di impatto potenziale che mostrano le ore d'ombra intermittente per l'intero parco eolico o per le singole macchine (curve di isodurata) nell'arco dell'anno.

Il software utilizza una serie di dati di input caratterizzanti quali:

- l'altimetria della zona simulata (formato GTH, vedi Figura 3-14);
- la disposizione geografica delle turbine e dimensione geometrica dei loro componenti (torre e pale);
- la disposizione geografica dei ricettori sensibili al fenomeno indagato (abitazioni/edifici lavorativi e relative finestre);
- la latitudine e longitudine dell'area interessata.

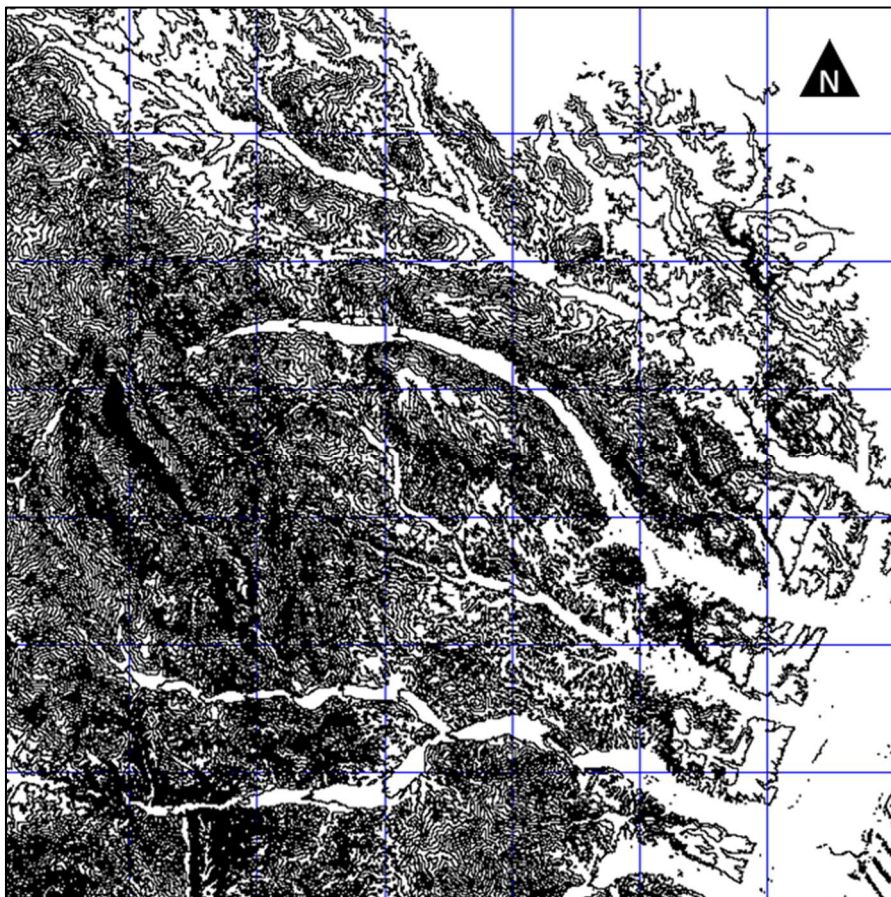


Figura 3-14 Esempio di curve di livello del terreno in WindFarm

Sulla base di questi dati il software calcola il numero di ore annue di esposizione allo shadow flickering per ciascun nodo del grigliato che copre l'intera area, nonché il numero di ore di esposizione per gli ambienti abitativi/lavorativi attraverso le finestre.

```
Project : ESCALAPLANO
Run Name : ESCALAPLANO SHF.WFK
Title : ESCALAPLANO SHF
Time : 18:31:51, 21 Jul 2022
```

SUMMARY OF MERGED SHADOW TIMES ON EACH HOUSE FROM ALL TURBINES

House	Easting	Northing	Days per year	Max hours per day	Mean hours per day	Total hours
1	1526517	4397015	137	1.62	1.23	168.2
2	1526345	4397212	75	1.31	1.05	79.1
3	1527258	4397636	105	1.58	1.31	137.9
4	1527279	4398006	158	1.43	1.14	180.9
5	1528148	4398071	73	1.01	0.83	60.9
6	1529421	4397538	221	2.65	1.77	391.9
7	1530427	4399392	125	1.57	1.22	153.1
8	1531859	4398252	0	0.00	0.00	0.0
9	1530160	4396450	97	1.14	0.88	85.7
10	1530322	4395445	179	1.05	0.73	130.7

Figura 3-15 Esempio di output elaborato tramite WindFarm5

Per l'esecuzione della simulazione sono stati fissati i seguenti parametri:

- ⇒ coordinate geografiche baricentriche (UTM): 532099 m - Est, 4396917 m -Nord
- ⇒ coordinate geografiche delle turbine considerate (vedi Tabella 1)
- ⇒ coordinate geografiche delle turbine minieoliche e del "Parco Eolico Nuraxeddu" esistenti (cfr. Figura 3-9)
- ⇒ coordinate geografiche dei ricettori considerati e disposizione delle finestre (vedi APPENDICE A)
- ⇒ estensione area simulata: 10 km x 5 km (50 km²)
- ⇒ risoluzione di calcolo: 10 m

- ⇒ raggio d'influenza massimo: 1 km dal punto di installazione dell'aerogeneratore;
- ⇒ altezza del punto di vista dell'osservatore: 2 m
- ⇒ parametri turbina (cfr. Tabella 2):
 - ✓ diametro rotore: 163 m
 - ✓ altezza torre: 118 m
 - ✓ larghezza media della pala: 3 m
- ⇒ parametri turbine minieoliche (cfr. Figura 3-8):
 - ✓ diametro rotore: 29 m
 - ✓ altezza torre: 32 m
 - ✓ larghezza media della pala: 3 m

Il modello numerico utilizzato, produce in output una mappa di impatto, e prende in considerazione un caso molto cautelativo relativo, ad una configurazione puramente teorica che vede la costante e contemporanea presenza dei fattori di attivazione del fenomeno, ossia sole scuro da nubi (potenzialità di generare ombre) e velocità del vento superiore a quella di cut-in (rotore in moto).

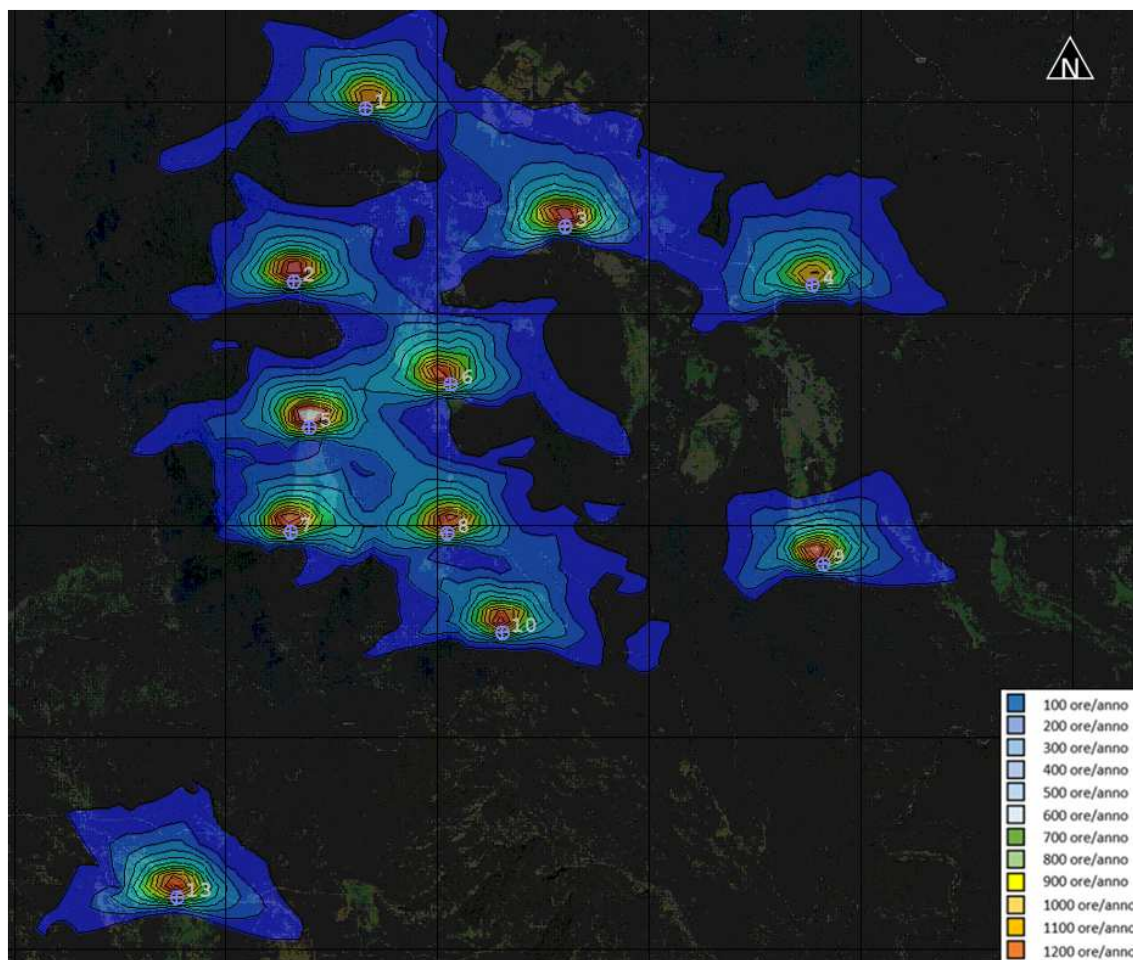


Figura 3-16 Stralcio di output restituito dal software WindFarm (turbine 1-10 progetto di studio, turbina 13 Parco eolico Nuraxeddu).

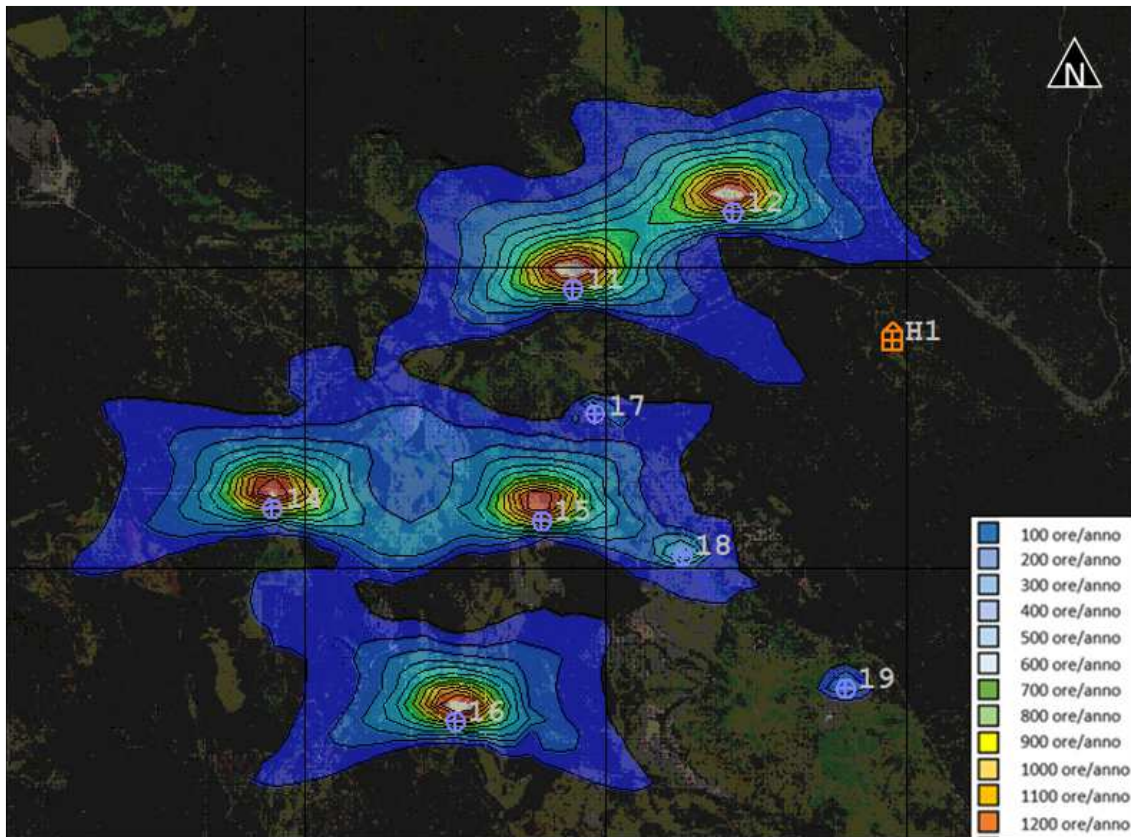


Figura 3-17 Stralcio di output restituito dal software WindFarm (turbine 11-12 progetto turbine, turbine 14-16 Parco eolico Nuraxeddu, turbine 17-19 minieolico).

Di seguito vengono riportate tutte le ipotesi utilizzate per il calcolo del fenomeno di shadow flickering (vedi “caso peggiore” in Tabella 3) effettuato tramite il software WindFarm5:

- ❖ 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 l'aerogeneratore “insegue” il sole);
- ❖ gli aerogeneratori sono sempre operativi;
- ❖ non sono presenti alberi o altri ostacoli che, intercettando l'ombra degli aerogeneratori, riducano o annullino l'effetto di flickering.

Ciò considerato si evince che i risultati ai quali si perverrà sono estremamente cautelativi, trattandosi di una stima puramente teorica. Allo scopo di pervenire a valori più realistici, prossimi al caso reale, è stato corretto il dato di output prendendo in considerazione l'eliofania locale e le ore stimate di funzionamento dell'impianto eolico nell'arco dell'anno.

Nel caso in analisi, sapendo che il tempo in cui il sole permane al di sopra dell'orizzonte nell'arco dell'anno è di circa 4380 ore; tenendo conto dell'eliofania media locale (3669 h/anno), ovvero il numero di ore in cui il cielo è libero da nubi durante il giorno e a partire dalle registrazioni anemometriche relative alla stazione meteorologica più vicina all'area di studio e climaticamente compatibile, ovvero quella di Tortolì (OG), si è stimato che l'impianto eolico sarà in funzione per circa il 60% del tempo nell'arco dell'anno, corrispondente a 2633 ore.

In definitiva, i valori calcolati dal modello numerico (ore di ombreggiamento intermittente all'anno) sono desunti in funzione della probabilità composta di avere contemporaneamente l'occorrenza di rotore in moto (vento) e sole libero da nubi (ombre), fenomeni, questi ultimi, stocasticamente indipendenti.

3.6 Risultati

La seguente tabella riassume i risultati dell'analisi eseguita, sui ricettori lavorativi presenti, secondo la metodologia di calcolo descritta nel paragrafo precedente.

Ricettore	Caso peggiore		Caso reale
	Giorni /anno	Ore /anno	[ore/anno]
R13	0	0	0
R14	0	0	0

Tabella 3 Risultati di calcolo.

In particolare, nella Tabella 3 vengono riportati il numero di giorni e di ore in cui è fisicamente possibile che il fenomeno si presenti (caso peggiore) e il valore reale atteso di ore l'anno in cui il fenomeno potrebbe presentarsi (caso reale).

A tal proposito è importante sottolineare che anche il caso reale, calcolato tenendo conto dell'eliofania locale e delle ore di funzionamento dell'impianto, è comunque un valore cautelativo in quanto nella stima non si è tenuto conto degli effetti mitigativi dovuti al piano di rotazione delle pale non sempre ortogonale alla direttrice sole-finestra e all'eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole e la finestra.

Sempre dalla Tabella 3 si evince che per gli unici ricettore (R13 e R14) presenti, non si manifesta il fenomeno di flickering.

In fase di analisi sono stati presi in considerazione gli aereogeneratori dei parchi eolici in via di approvazione del Parco Eolico Nuraxeddu e già presenti del Minieolico che interferiscono con l'ambito di studio.

Nonostante il ricettore R13 ricada nell'area di sovrapposizione del potenziale effetto di flickering dato dalla presenza delle turbine dell'impianto minieolico e delle turbine del progetto in via di approvazione

del “Parco Eolico Nuraxeddu” il programma WindFarm5 ha restituito un risultato nullo.

```
Project   : SEUI_PRG
Run Name  : SHF_seui.WFK
Title     :
Time      : 14:38:42, 18 Oct 2022

MERGED SHADOW TIMES ON HOUSE 2 DUE TO ALL TURBINES

House Easting Northing
  2    532952  4393758

There are no shadows cast on this window
```

Figura 3-18 Output elaborato tramite WindFarm5 per il ricettore R13 (House 2).

Questo perché l'altezza di 35 m degli aereogeneratori dell'impianto minieolico non generano l'effetto di flickering alla distanza in cui si trova il ricettore e gli aereogeneratori del progetto di studio non si interpongono con il sole nella direzione del ricettore durante tutto l'anno, trovandosi quest'ultimo a SE.

4 CONCLUSIONI

A seguito di quanto descritto nei paragrafi precedenti si può concludere che, pur considerando una stima cautelativa, in quanto non si è tenuto conto degli effetti mitigativi dovuti al piano di rotazione delle pale non sempre ortogonale alla direttrice sole-finestra e all'eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole e la finestra, il fenomeno dello shadow flickering non si verifica sui ricettori esposti (R13 e R14) al potenziale effetto di flickering (vedi Tabella 3).

L'incidenza di tale fenomeno sulla qualità della vita è perciò considerato nullo.

Stante tutto quanto sopra riportato è possibile concludere come l'interferenza tra la componente in esame, relativa allo shadow flickering, sul ricettore preso in considerazione possa considerarsi nullo.

5 APPENDICE A

Ric.	Uso in atto	Distanza da aerogeneratore di progetto più vicino [m]	Coordinate UTM		Numero finestre e orientamento rispetto al NORD
			Long. E [m]	Lat. N [m]	
R01	Ruderi, box e depositi	860	531817.00	4403863.00	4(0 – 90 – 180 - 270)
R02	Ruderi, box e depositi	453	531908.83	4402540.73	4(0 – 90 – 180 - 270)
R03	Ruderi, box e depositi	344	532230.72	4402499.54	4(0 – 90 – 180 - 270)
R04	Ruderi, box e depositi	596	531942.75	4402303.40	4(0 – 90 – 180 - 270)
R05	Ruderi, box e depositi	290	532168.40	4401987.51	4(0 – 90 – 180 - 270)
R06	Ruderi, box e depositi	402	533044.37	4402473.02	4(0 – 90 – 180 - 270)
R07	Ruderi, box e depositi	456	533087.80	4402394.27	4(0 – 90 – 180 - 270)
R08	Ruderi, box e depositi	446	533785.96	4401297.67	4(0 – 90 – 180 - 270)
R9	Ruderi, box e depositi	998	531012.29	4393461.89	4(0 – 90 – 180 - 270)
R10	Ruderi, box e depositi	741	531330.70	4393366.38	4(0 – 90 – 180 - 270)
R11	Ruderi, box e depositi	281	532505.74	4393864.10	4(0 – 90 – 180 - 270)
R12	Ruderi, box e depositi	550	532898.47	4393817.71	4(0 – 90 – 180 - 270)
R13	Lavorativo	683	532952.10	4393758.72	4(0 – 90 – 180 - 270)
R14	Lavorativo	665	533125.69	4394136.56	4(0 – 90 – 180 - 270)