



REGIONE SARDEGNA



PROVINCIA SUD SARDEGNA



ESTERZILI



ESCALAPLANO



SEUI

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 29 AEROGENERATORI E RELATIVE OPERE CONNESSE CON POTENZA COMPLESSIVA DI 153,9 MW NEI COMUNI DI ESTERZILI (SU), ESCALAPLANO (SU) E SEUI (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>Gruppo di lavoro: Ing. Simone Abis - Civile Ambientale Ing. Michele Angei - Elettrico Ing. Enea Tocco - Civile Ambientale Ing. Stefano Fanti - Civile Ambientale Dott. Gianluca Fadda</p> <p>Collaboratori: Vamirgeoind Ambiente, Geologia e Geofisica S.r.l. Dott. Archeologo Matteo Tatti Dott. Agronomo Vincenzo Sechi Dott. Geologo Andrea Usai Dott. Naturalista Francesco Mascia Ing. Federico Miscali - Tecnico Acustica Ing. Nicola Sollai - Strutturista Dott. Geologo Luigi Sancieru Ing. Michele Pigliaru - Elettrico Ing. Luigi Cuccu - Elettrotecnico</p>				
Elaborato	Nome Elaborato: <h2 style="text-align: center;">RELAZIONE IMPATTO SHADOW FLICKERING</h2>				
00	Settembre - 2022	PRIMA EMISSIONE	VAMIRGEOIND	VAMIRGEOIND	AGREENPOWER SRL
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione
Scala:	---				
Formato:	A4		Codice Commessa	W2204EES REL27	

Indice

1	. <i>PREMESSA</i>	2
2	<i>CENNI SUL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKERING</i>	3
3	<i>CALCOLO DELLO SHADOW FLICKERING</i>	7
3.1	<i>Descrizione del contesto territoriale</i>	7
3.2	<i>Configurazione di impianto</i>	11
3.3	<i>Definizione dell'ambito di studio</i>	14
3.4	<i>Individuazione dei ricettori</i>	20
3.5	<i>Metodologia di calcolo e software utilizzato</i>	24
3.6	<i>Risultati</i>	31
4	<i>CONCLUSIONI</i>	35
5	<i>APPENDICE A</i>	37

Elaborati grafici

- ❖ Mappa di potenziale interferenza da shadow flickering

1. PREMESSA

Nei Comuni di Esterzili, Escalaplano e Seui è prevista la realizzazione di un campo eolico costituito 29 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 5,7 MW.

L'impianto è localizzato in buona parte sul territorio comunale di Esterzili, 16 delle 29 turbine in progetto, mentre le rimanenti 13 si trovano nel territorio facente parte del Comune di Escalaplano.

In particolare, il campo eolico di progetto si estende a partire dall'area sud del Comune di Esterzili fino alla zona Nord del comune di Escalaplano con quote che vanno dai 406 ai 889 m s.l.m.

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.

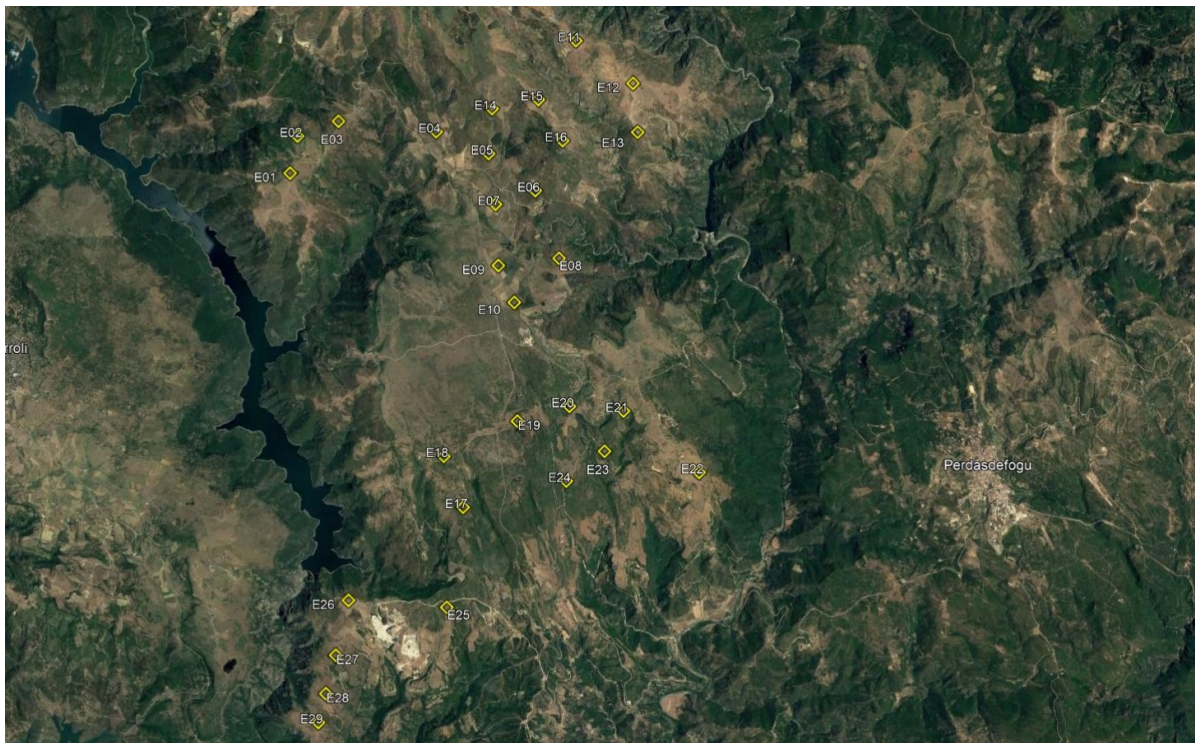


Figura 1-1 Localizzazione del campo eolico oggetto di studio

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.

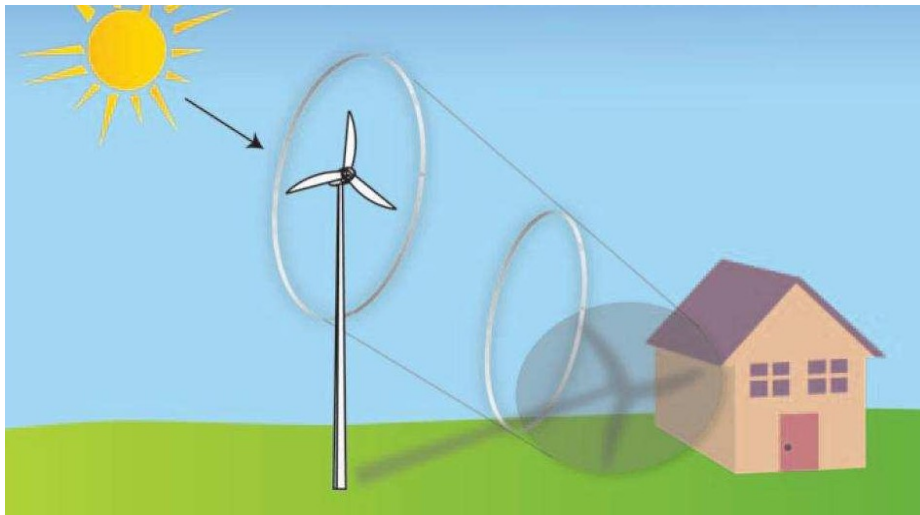


Figura 2-1 Esempio di effetto flickering

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 ricevitore – 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 finestrate 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 ricevitore.
- ⇒ L'intensità del flickering sarà minima quando l'ombra prodotta è generata all'estremità delle pale.
- ⇒ Maggiori distanze tra generatore e ricevitore 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 oltreché dagli edifici abitativi e lavorativi.

3 CALCOLO DELLO SHADOW FLICKERING

3.1 Descrizione del contesto territoriale

Il comune di Escalaplano si estende per 94,04 km², ha una densità abitativa di 22,37 abitanti/ km² (scarsamente popolato) e confina: a nord con Esterzili (SU).

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

L'escursione altimetrica complessiva risulta essere pari a 582 metri con quote comprese tra i 94 e i 676 metri s.l.m.

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.

L'intero territorio comunale si caratterizza per le numerose presenze archeologiche appartenenti ad epoche diverse, che vanno dal Neolitico, come i nuraghi sparsi nel territorio comunale, all'alto Medioevo. Il centro storico del Comune presenta, ancora perfettamente intatti, esempi di architettura tradizionale in pietra, tra i quali caratteristici archi.

Il comune di Esterzili si estende per 100,74 km² ed 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 (OG) 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.

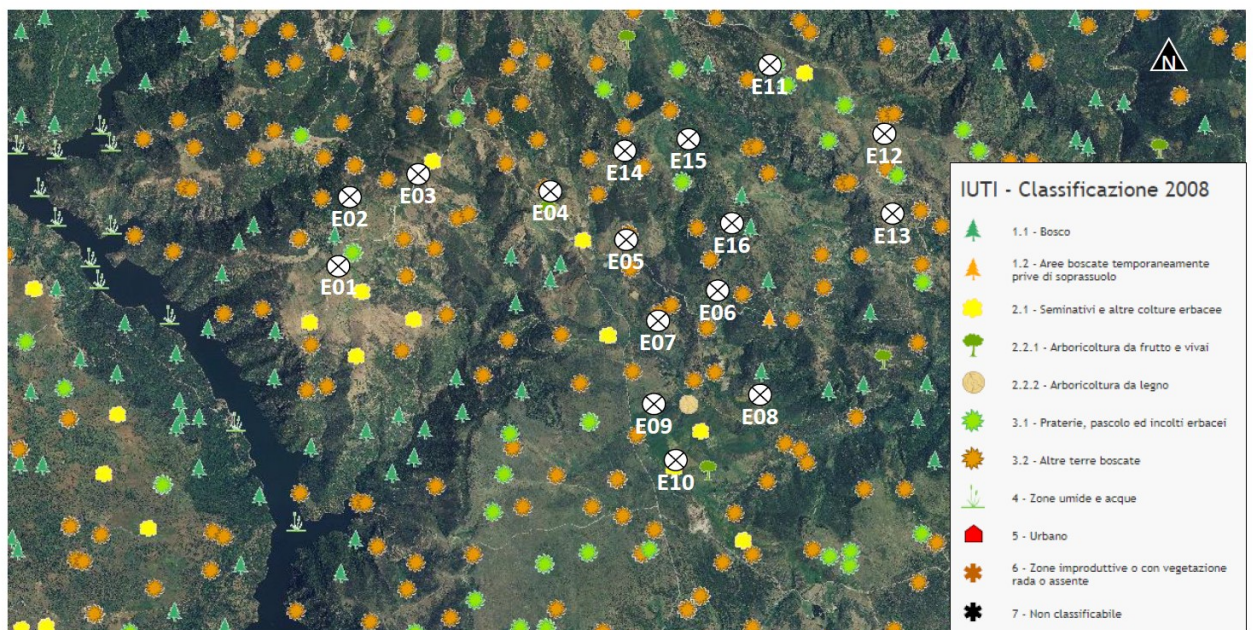


Figura 3-2 Localizzazione aerogeneratori E01-16 del campo eolico di progetto ed Inventario dell'Uso delle Terre d'Italia, fonte: Geoportale Nazionale (<http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>)

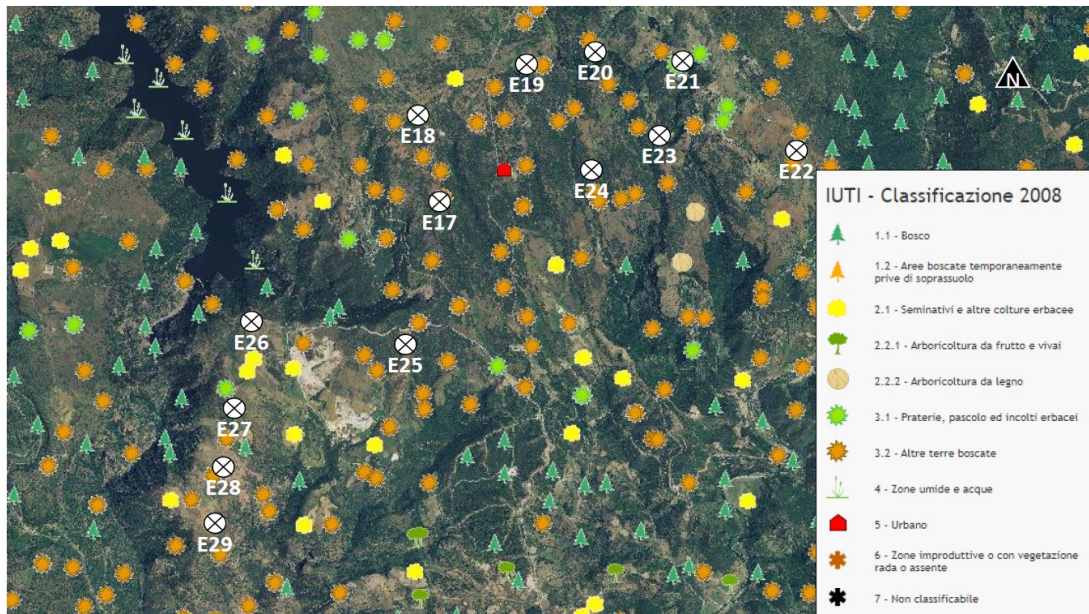


Figura 3-3 Localizzazione aerogeneratori E17-29 del campo eolico di progetto ed Inventario dell'Uso delle Terre d'Italia, fonte: Geoportale Nazionale (<http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>)

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]	
E01	Esterzili	526122,81	4396856,33	694
E02	Esterzili	526216,79	4397476,45	737
E03	Esterzili	526884,11	4397748,24	706
E04	Esterzili	528510,18	4397638,08	814
E05	Esterzili	529395,08	4397307,85	685
E06	Esterzili	530192,59	4396724,59	685
E07	Esterzili	529544,27	4396472,79	622
E08	Esterzili	530629,23	4395621,63	602
E09	Esterzili	529631,95	4395463,82	613
E10	Esterzili	529919,94	4394867,83	625
E11	Esterzili	530769,02	4399247,25	889
E12	Esterzili	531746,63	4398571,38	824
E13	Esterzili	531852,34	4397759,48	775
E14	Esterzili	529422,48	4398057,63	826
E15	Esterzili	530184,84	4398238,55	889
E16	Esterzili	530614,33	4397570,63	852
E17	Escalaplano	529214,59	4391491,97	547
E18	Escalaplano	528864,44	4392308,74	602
E19	Escalaplano	530048,15	4392925,96	588
E20	Escalaplano	530892,64	4393200,50	587
E21	Escalaplano	531784,43	4393158,47	642
E22	Escalaplano	533061,20	4392206,03	602
E23	Escalaplano	531497,48	4392490,55	559
E24	Escalaplano	530887,93	4391982,43	526
E25	Escalaplano	529016,82	4389864,71	447

Turbina	Comune	Coordinate UTM		Altitudine [m]
		Long. E [m]	Lat. N [m]	
E26	Escalaplano	527408,72	4389916,72	463
E27	Escalaplano	527242,06	4389026,36	444
E28	Escalaplano	527109,23	4388404,40	428
E29	Escalaplano	527007,64	4387939,74	406

Tabella 1 Coordinate geografiche puntuali turbine d'impianto

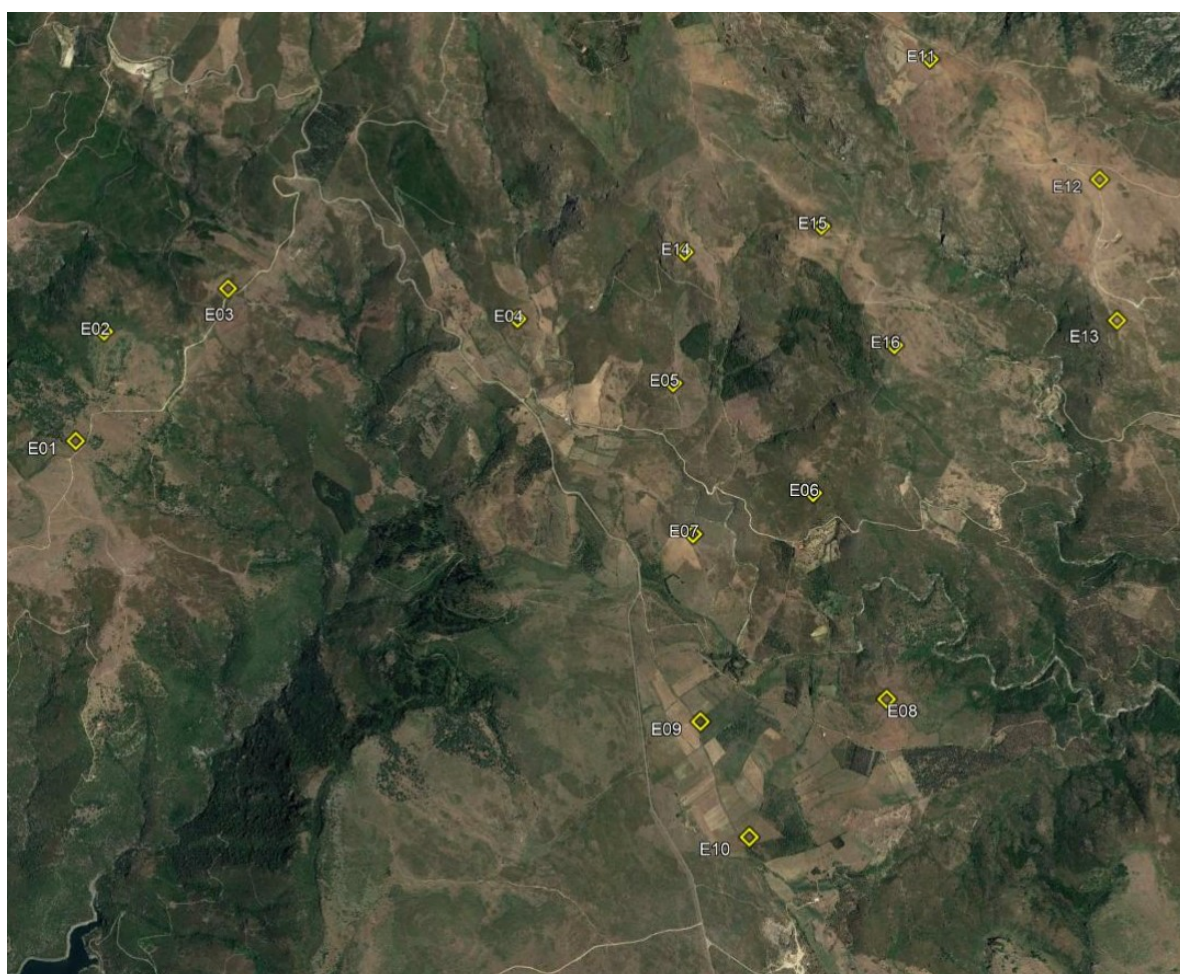


Figura 3-4 Posizione delle turbine di progetto E01-16 sul territorio

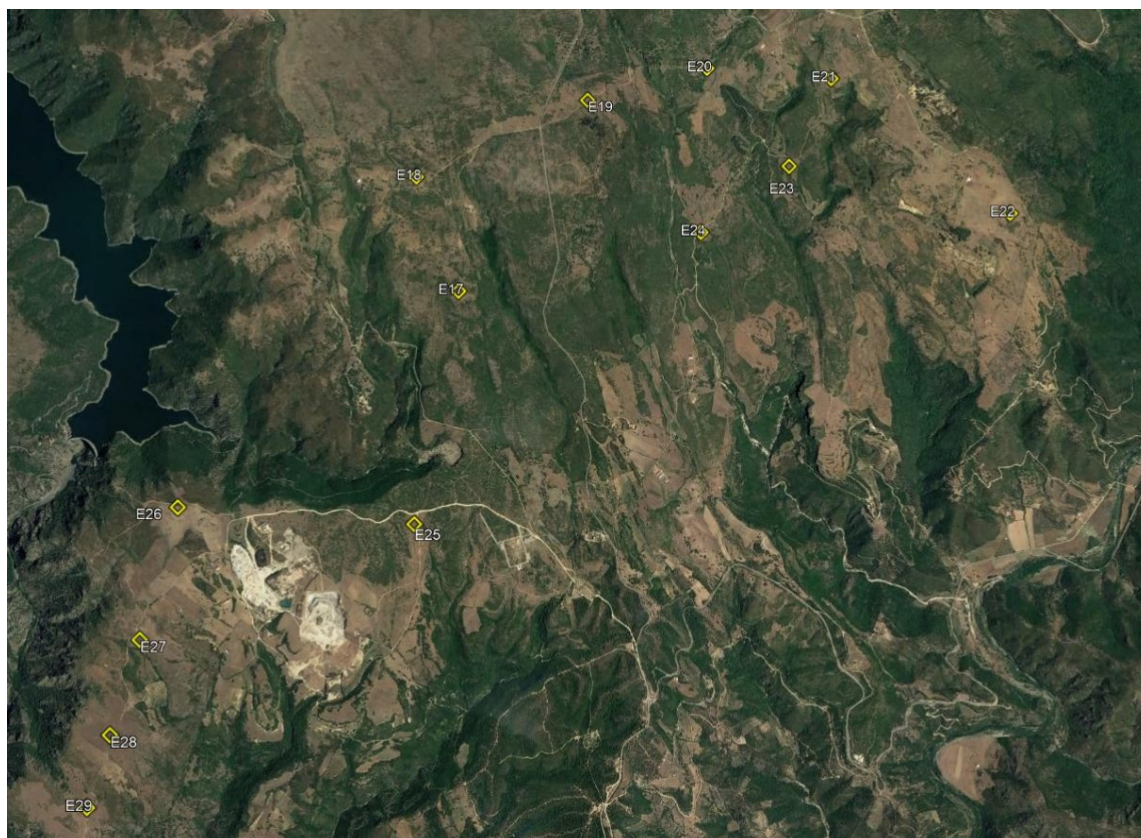


Figura 3-5 Posizione delle turbine di progetto E17-29 sul territorio

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 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, 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 29 singole aree, ciascuna definita per ogni aerogeneratore secondo il suddetto criterio.

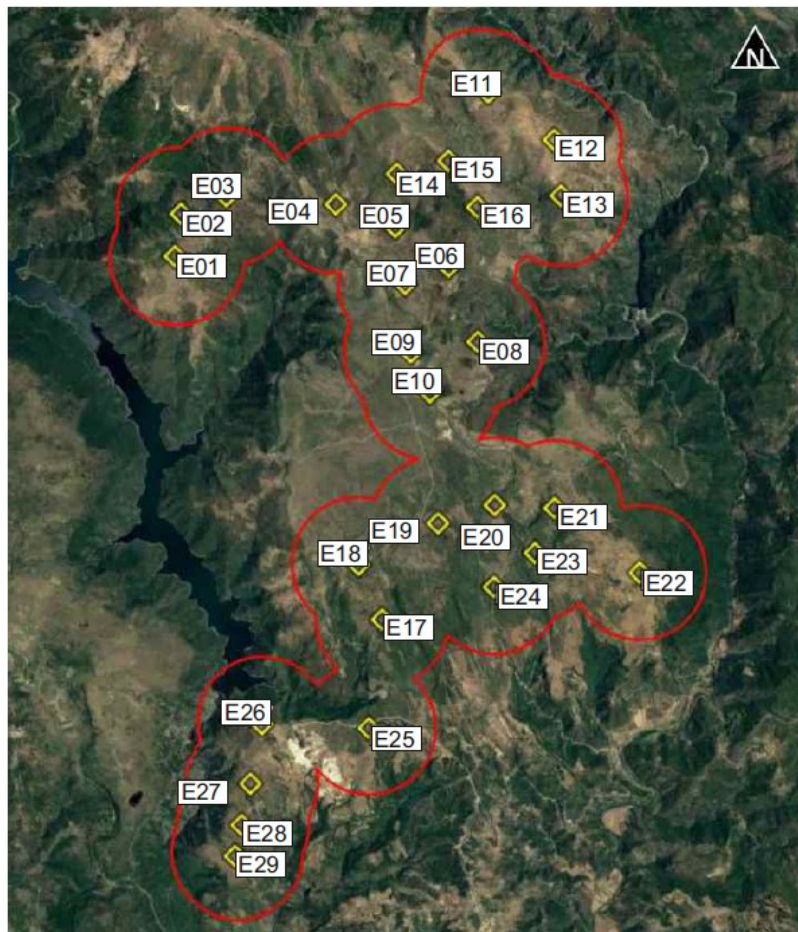


Figura 3-6 Ambito di studio shadow flickering (rosso) per il campo eolico in progetto

In questo caso il progetto si inserisce in un contesto in cui sono presenti altri aerogeneratori ed alcuni autorizzati ma non ancora realizzati. 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 minima che intercorre tra quest'ultime ed il margine dell'ambito di studio precedentemente definito (cfr. Figura 3-7).

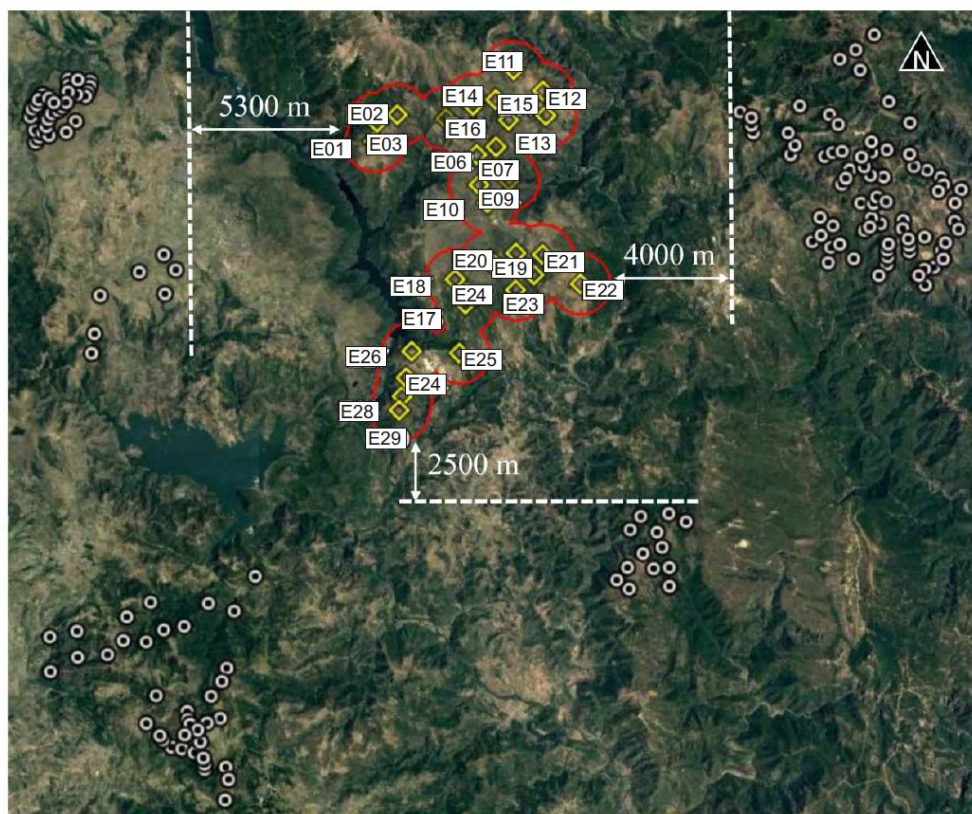


Figura 3-7 Distanza aerogeneratori esistenti ed autorizzati (bianco) rispetto al campo eolico di progetto (giallo)

Considerando che gli effetti di shadow flickering possono ritenersi nulli per distanze maggiori a 1000 m dalla generica turbina e che la distanza risulta essere in ogni caso maggiore uguale a 2500 m, si può escludere la possibilità di effetti cumulati dovuti al fenomeno di shadow flickering.

Tuttavia, si segnala che all'interno dell'ambito di studio sono presenti 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 in 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 esistenti all'interno dell'ambito di studio definito precedentemente.

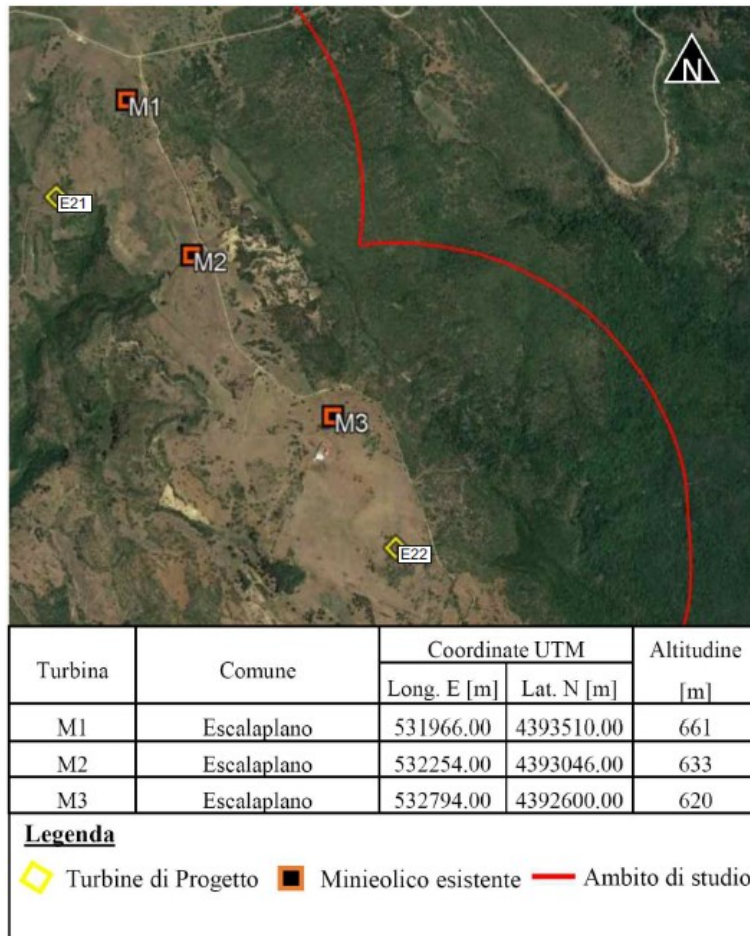


Figura 3-9 Localizzazione delle turbine minieoliche esistenti

È stata quindi definita un'area di potenziale interferenza afferente le turbine minieoliche esistenti come l'involuppo delle circonferenze aventi centro nel singolo aerogeneratore e raggio pari a 1000 m (cfr. Figura 3-10).

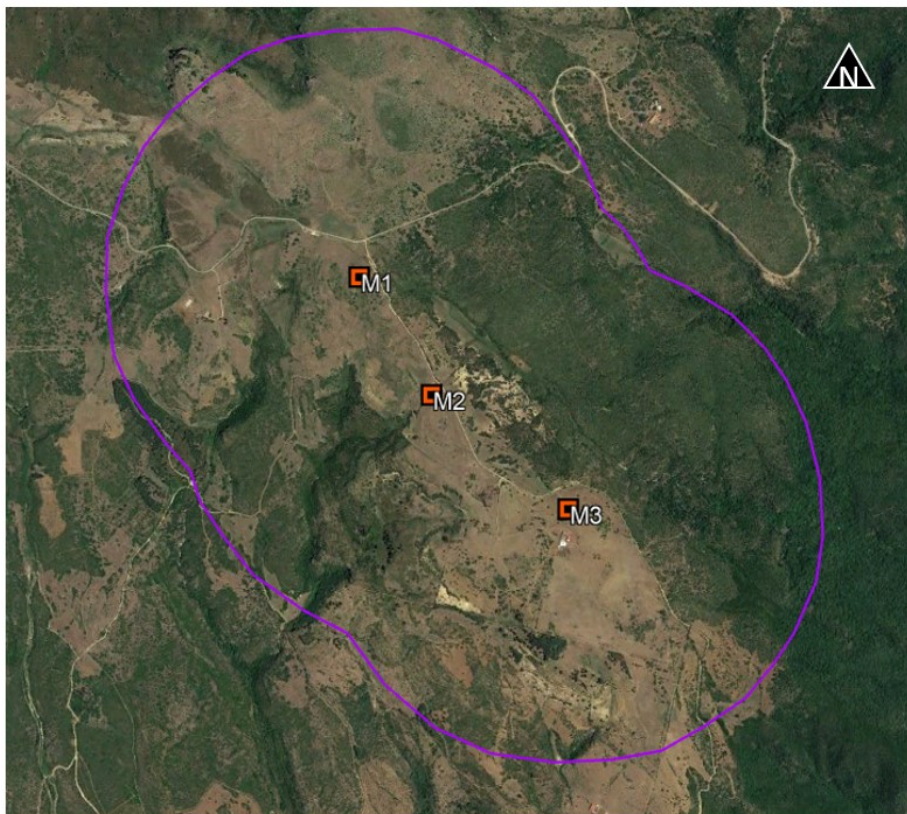


Figura 3-10 Area di potenziale interferenza dovuta alle turbine minieoliche esistenti.

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 l'unico ricettore potenzialmente sensibile (poiché ad uso lavorativo) ad eventuali effetti cumulativi prodotti dagli aerogeneratori di progetto con le turbine minieoliche esistenti è il fabbricato denominato R29 (cfr. APPENDICE A).

La seguente figura riassume le considerazioni fatte finora.

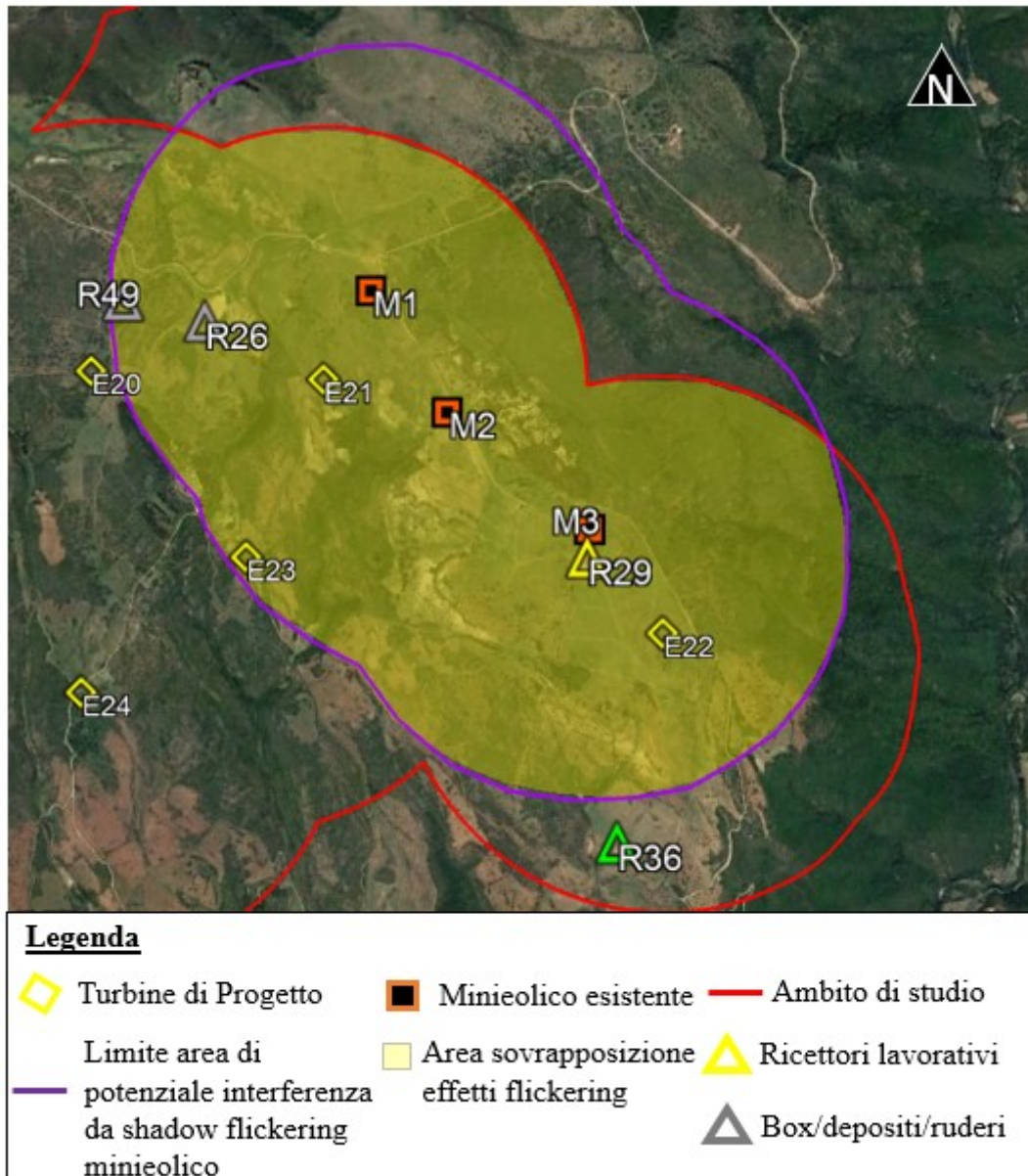


Figura 3-11 Area di sovrapposizione dei potenziali effetti di shadow flickering e ricettori coinvolti

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 50 edifici, appartenenti ai Comuni di Esterzili, Seui, Escalaplano ed Orroli (CA), i quali risultano essere adibiti ad abitazione, edifici lavorativi o depositi agricoli/box/ruderi per lo più in stato di abbandono.

In particolare, dal censimento risultano 18 edifici lavorativi, 1 residenziale e 31 ruderi, box o depositi agricoli.

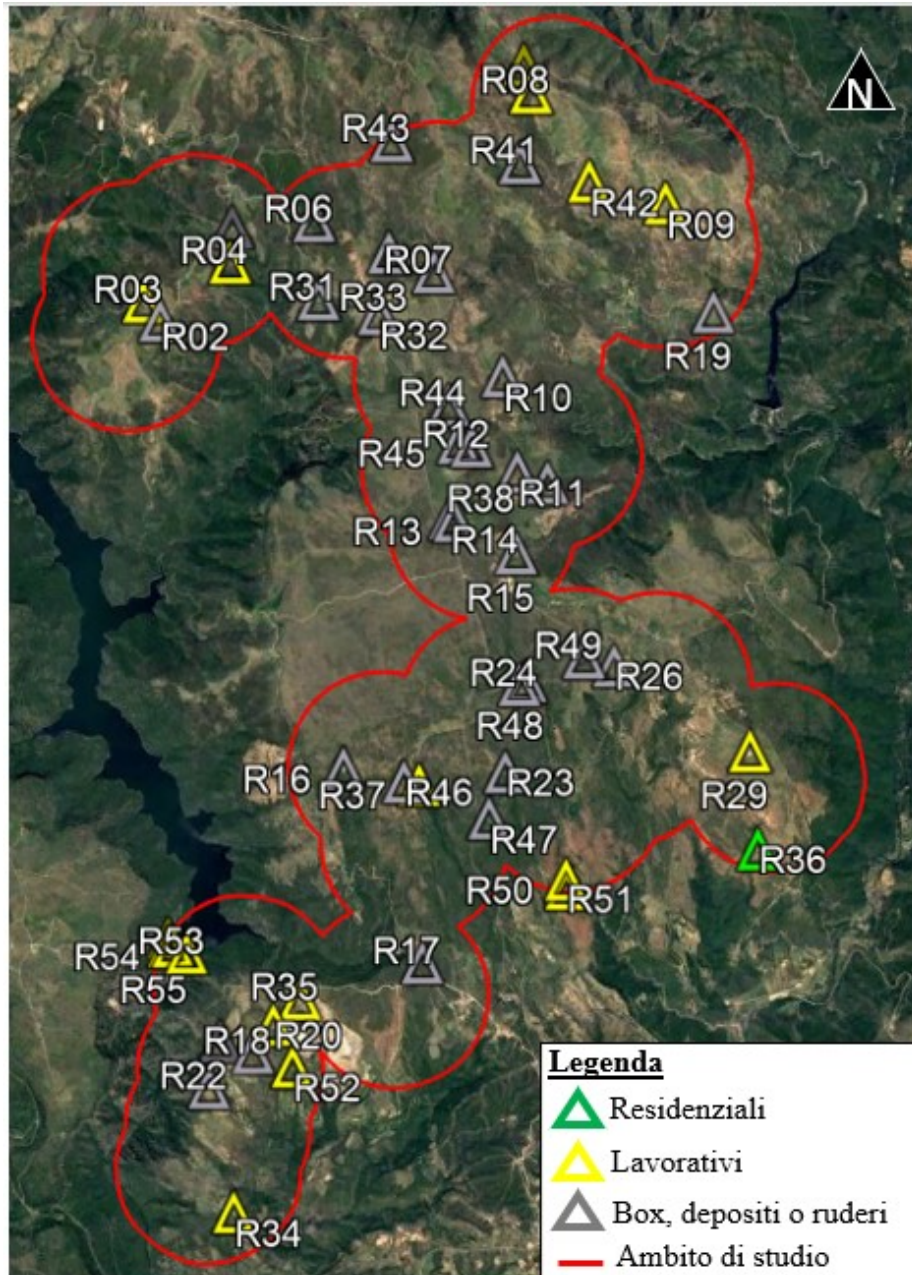


Figura 3-12 Censimento dei ricettori all'interno dell'ambito di studio

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno, esso risulta evidente e fastidioso in quegli ambienti abitativi o lavorativi con finestre 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 3-13 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 finestre 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.

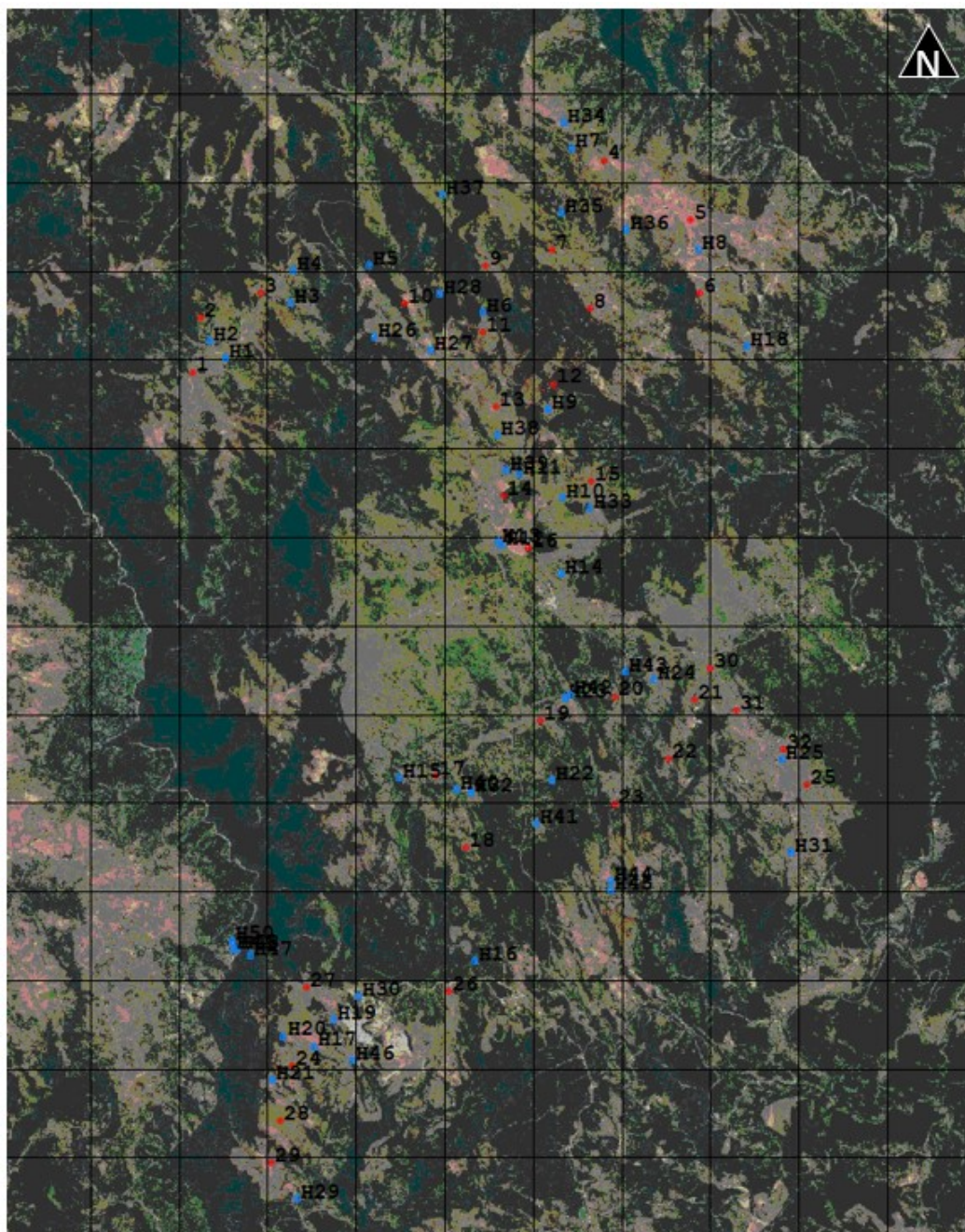


Figura 3-14 Stralcio dell'area di studio in Windfarm: ricettori (blu) e aerogeneratori (rosso)

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 delle abitazioni vicine. 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 3-15);
- 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.

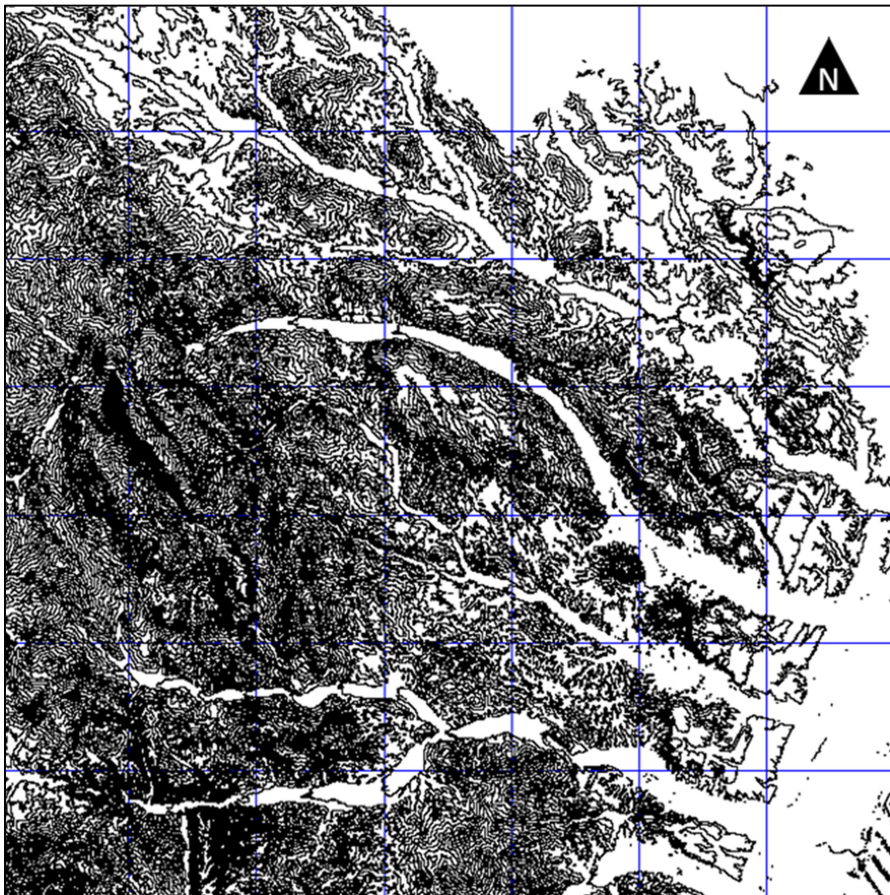


Figura 3-15 Esempio di curve di livello del terreno in WindFarm

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 3-16 Esempio di output elaborato tramite WindFarm5

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

- ⇒ coordinate geografiche baricentriche (UTM): 530212 m - Est, 4394022 m -Nord
- ⇒ coordinate geografiche delle turbine considerate (vedi Tabella 1)
- ⇒ coordinate geografiche delle turbine minieoliche 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 scevro da nubi (potenzialità di generare ombre) e velocità del vento superiore a quella di cut-in (rotore in moto).

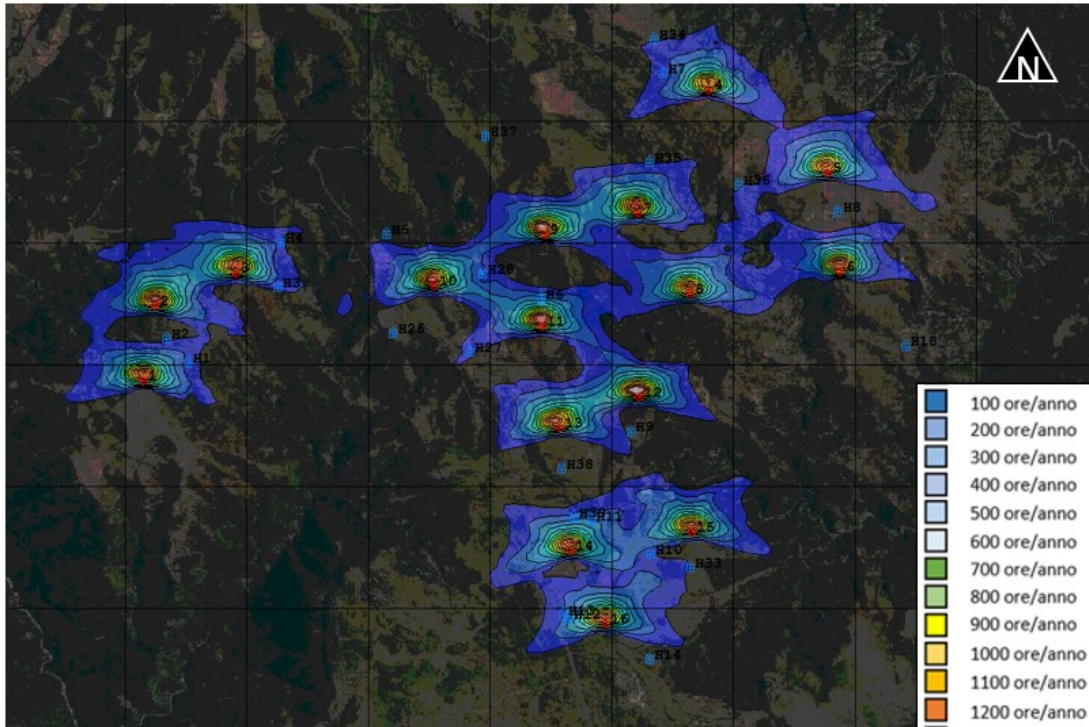


Figura 3-17 Stralcio di output restituito dal software WindFarm (turbine E01-16)

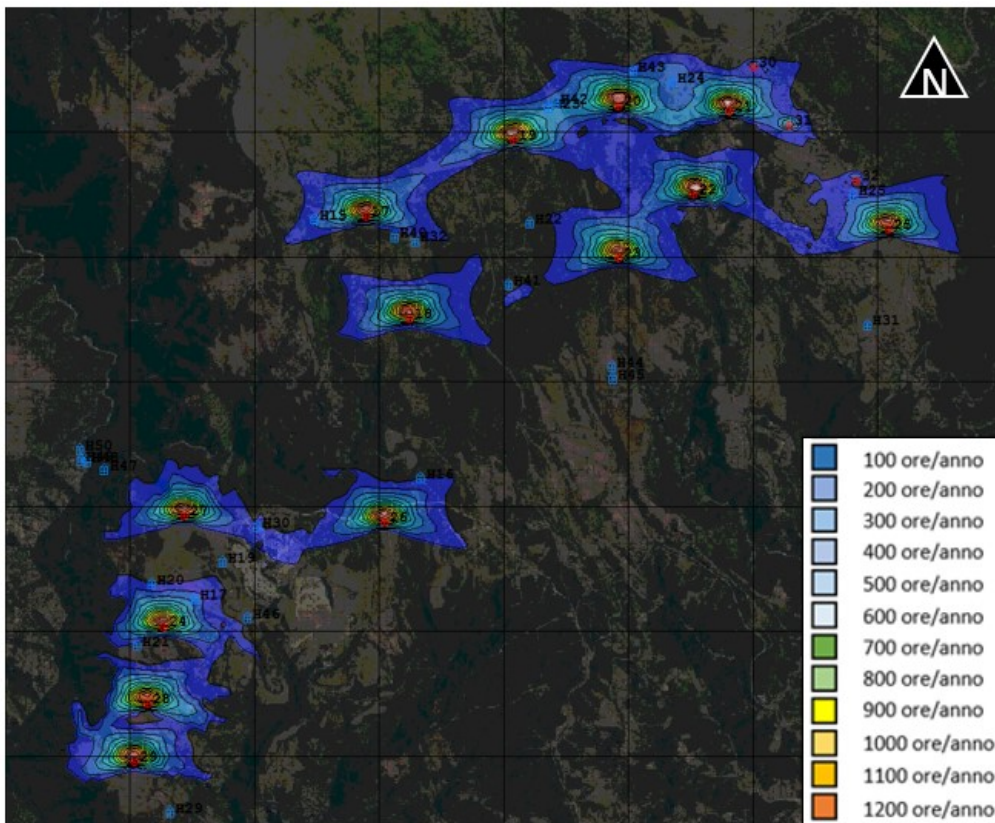


Figura 3-18 Stralcio di output restituito dal software WindFarm (turbine E17-29)

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 WindFarm:

- ❖ 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 19 ricettori lavorativi e residenziali, secondo la metodologia di calcolo descritta nel paragrafo precedente.

Ricettore	Caso peggiore		Caso reale [ore/anno]
	Giorni /anno	Ore /anno	
R03	75	79	47
R04	105	138	83
R08	125	153	92
R09	0	0	0
R20	71	52	31
R29	126	175	105
R34	0	0	0
R35	145	118	71
R36	0	0	0
R37	55	42	25
R40	99	92	55
R42	144	97	58
R50	0	0	0
R51	0	0	0
R52	77	58	35
R53	0	0	0
R54	32	17	10
R55	50	27	16
R56	59	31	18

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 presso 6 fabbricati non si manifesta il fenomeno in analisi mentre per i restanti 13 potrebbe verificarsi.

Tuttavia, tale effetto si può considerare trascurabile per via della scarsa durata del fenomeno che si riduce, nel caso reale, ad un numero esiguo di ore l'anno.

Per il fabbricato evidenziato all'interno della sopracitata Tabella 3, presso il quale l'effetto di shadow flickering potrebbe essere superiore a 100 ore l'anno, è stato elaborato un calendario dell'ombra che riporta in maniera grafica i periodi dell'anno in cui è possibile il verificarsi del fenomeno (condizioni del caso peggiore).

Al fine di garantire una più chiara comprensione di tali grafici, prima di effettuarne la disamina, si riporta una guida alla lettura degli stessi:

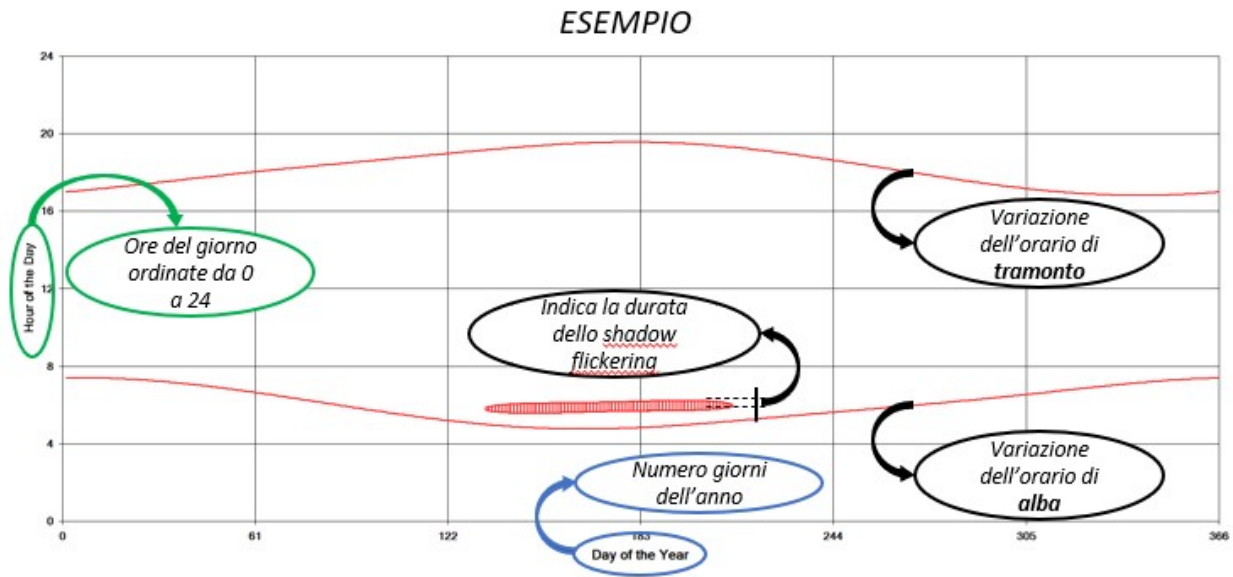


Figura 3-19 Esempio di output grafico dei risultati di simulazione del fenomeno di shadow flickering

Le curve di colore rosso indicano l'ora dell'alba e del tramonto mentre le aree campite il periodo in cui è possibile che il fenomeno si verifichi.

Inoltre, sull'asse delle ordinate sono riportati i giorni dell'anno e su quello delle ascisse l'ora del giorno (ora solare).

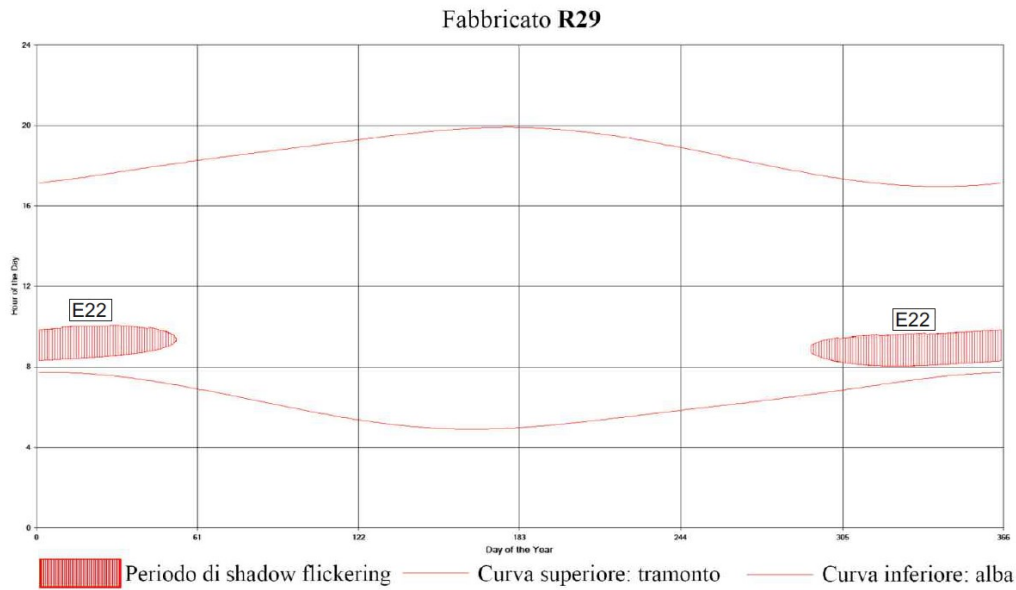


Figura 3-20 Periodi di shadow flickering per il ricettore R29

Per quanto riguarda il fabbricato R29, si riportano le turbine eoliche (Exx) che generano potenziale interferenza in relazione al fenomeno dello shadow flickering ed i relativi periodi temporali di riferimento:

⇒ **E22** dal 1 gennaio al 22 febbraio tra le 8.18 e le 10.04 e dal 20 ottobre al 31 dicembre tra le 8.02 e le 9.50.

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 si può verificare su 13 dei 19 fabbricati considerati ai fini dell'analisi (vedi Tabella 3).

L'incidenza di tale fenomeno sulla qualità della vita può ritenersi trascurabile in quanto, il valore di durata simulato ed atteso del fenomeno è nella maggior parte dei casi (10 su 19 fabbricati) inferiore a 30 ore l'anno ed esclusivamente su un fabbricato (R29) superiore alle 100 ore annue.

Se si rapporta tale valore a quello di eliofania media locale dell'area (3669 ore/anno) si avrebbe un'incidenza percentuale del fenomeno mediamente inferiore all'1% ed al più pari al 3%, in un unico caso.

A tali considerazioni va altresì sottolineato che:

- ⇒ la velocità di rotazione della turbina è 8,5 rotazioni al minuto, quindi nettamente inferiore a 60 rpm, frequenza massima raccomandata al fine di ridurre al minimo i fastidi e soddisfare le condizioni di benessere.
- ⇒ Il ricettore maggiormente interessato al fenomeno, ovvero quello con valore di shadow flickering maggiore ad 100 ore/anno (R29), risulta essere un edificio lavorativo con scarsa densità abitativa durante l'anno. Comunque, l'incidenza di tale fenomeno sul ricettore è circoscritta al 3% (105 ore/anno) e di conseguenza ritenuta trascurabile.

- ⇒ L'analisi del calendario delle ombre (cfr. Figura 3-20) esclude che il fabbricato R29 sia soggetto ad effetti cumulativi indotti dalla presenza contemporanea delle turbine minieoliche.
- ⇒ Le turbine in progetto sono molto lontane dai recettori, essendo le distanze comprese tra 222 m e 985 m. In tali circostanze l'effetto dell'ombra è trascurabile poiché il rapporto tra lo spessore della pala e la distanza dal recettore è molto ridotto;

Stante tutto quanto sopra riportato è possibile concludere come l'interferenza tra la componente in esame, relativa allo shadow flickering, sui ricettori presi in considerazione possa considerarsi trascurabile.

5 APPENDICE A

Ric.	Usò in atto	Distanza da aerogeneratore piú vicino [m]	Coordinate UTM		Numero finestre e orientamento rispetto al NORD
			Long. E [m]	Lat. N [m]	
R02	Ruderi, box e depositi	399	526492	4397008	4(0 – 90 – 180 - 270)
R03	Lavorativo	291	526319	4397204	4(0 – 90 – 180 - 270)
R04	Lavorativo	368	527232	4397628	4(0 – 90 – 180 - 270)
R05	Ruderi, box e depositi	445	527253	4397998	4(0 – 90 – 180 - 270)
R06	Ruderi, box e depositi	576	528123	4398064	4(0 – 90 – 180 - 270)
R07	Ruderi, box e depositi	222	529395	4397530	4(0 – 90 – 180 - 270)
R08	Lavorativo	392	530401	4399385	4(0 – 90 – 180 - 270)
R09	Lavorativo	338	531833	4398244	4(0 – 90 – 180 - 270)
R10	Ruderi, box e depositi	288	530134	4396443	4(0 – 90 – 180 - 270)
R11	Ruderi, box e depositi	380	530297	4395437	4(0 – 90 – 180 - 270)
R12	Ruderi, box e depositi	300	529809	4395706	4(0 – 90 – 180 - 270)
R13	Ruderi, box e depositi	298	529624	4394908	4(0 – 90 – 180 - 270)
R14	Ruderi, box e depositi	348	529578	4394933	4(0 – 90 – 180 - 270)
R15	Ruderi, box e depositi	472	530287	4394571	4(0 – 90 – 180 - 270)
R16	Ruderi, box e depositi	409	528457	4392283	4(0 – 90 – 180 - 270)
R17	Ruderi, box e depositi	454	529310	4390212	4(0 – 90 – 180 - 270)
R18	Ruderi, box e depositi	334	527498	4389241	4(0 – 90 – 180 - 270)

Ric.	Usò in atto	Distanza da aerogeneratore piú vicino [m]	Coordinate UTM		Numero finestre e orientamento rispetto al NORD
			Long. E [m]	Lat. N [m]	
R19	Ruderi, box e depositi	816	532387	4397143	4(0 – 90 – 180 - 270)
R20	Lavorativo	488	527716	4389538	4(0 – 90 – 180 - 270)
R21	Ruderi, box e depositi	350	527149	4389364	4(0 – 90 – 180 - 270)
R22	Ruderi, box e depositi	265	527030	4388868	4(0 – 90 – 180 - 270)
R23	Ruderi, box e depositi	686	530183	4392253	4(0 – 90 – 180 - 270)
R24	Ruderi, box e depositi	375	530328	4393176	4(0 – 90 – 180 - 270)
R26	Ruderi, box e depositi	473	531329	4393383	4(0 – 90 – 180 - 270)
R29	Lavorativo	398	532780	4392487	4(0 – 90 – 180 - 270)
R31	Ruderi, box e depositi	516	528172	4397248	4(0 – 90 – 180 - 270)
R32	Ruderi, box e depositi	619	528813	4397097	4(0 – 90 – 180 - 270)
R33	Ruderi, box e depositi	418	528917	4397735	4(0 – 90 – 180 - 270)
R34	Lavorativo	503	527298	4387530	4(0 – 90 – 180 - 270)
R35	Lavorativo	602	528002	4389817	4(0 – 90 – 180 - 270)
R36	Residenziale	785	532891	4391440	4(0 – 90 – 180 - 270)
R37	Lavorativo	445	529263	4392111	4(0 – 90 – 180 - 270)
R38	Ruderi, box e depositi	299	530619	4395323	4(0 – 90 – 180 - 270)
R40	Lavorativo	611	530323	4399665	4(0 – 90 – 180 - 270)
R41	Ruderi, box e depositi	427	530291	4398652	4(0 – 90 – 180 - 270)
R42	Lavorativo	735	531020	4398464	4(0 – 90 – 180 - 270)
R43	Ruderi, box e depositi	943	528936	4398865	4(0 – 90 – 180 - 270)

Ric.	Uso in atto	Distanza da aerogeneratore più vicino [m]	Coordinate UTM		Numero finestre e orientamento rispetto al NORD
			Long. E [m]	Lat. N [m]	
	depositi				
R44	Ruderi, box e depositi	336	529561	4396137	4(0 – 90 – 180 - 270)
R45	Ruderi, box e depositi	278	529668	4395739	4(0 – 90 – 180 - 270)
R46	Ruderi, box e depositi	288	529101	4392145	4(0 – 90 – 180 - 270)
R47	Ruderi, box e depositi	842	530013	4391760	4(0 – 90 – 180 - 270)
R48	Ruderi, box e depositi	451	530394	4393215	4(0 – 90 – 180 - 270)
R49	Ruderi, box e depositi	293	531011	4393469	4(0 – 90 – 180 - 270)
R50	Lavorativo	879	530843	4391105	4(0 – 90 – 180 - 270)
R51	Lavorativo	975	530846	4391008	4(0 – 90 – 180 - 270)
R52	Lavorativo	683	527922	4389087	4(0 – 90 – 180 - 270)
R53	Lavorativo	731	526772	4390276	4(0 – 90 – 180 - 270)
R54	Lavorativo	893	526626	4390346	4(0 – 90 – 180 - 270)
R55	Lavorativo	935	526582	4390353	4(0 – 90 – 180 - 270)
R56	Lavorativo	985	526573	4390438	4(0 – 90 – 180 - 270)