

REGIONE
CALABRIA



PROVINCIA DI
CROTONE



Committente:

Euria S.r.l.
Piazza Europa 14
87100 Cosenza (CS)

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo del Progetto:

PARCO EOLICO "UMBRIATICO"

Elaborato:

Report shadow flickering

PROGETTO	DISCIPLINA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	SCALA
W-UMB	A	-	RE	08	-
NOME FILE:	W-UMB-A-RE-08_Report shadow flickering				

Progettazione:



Ing. Mauro Di Prete

Rev:	Prima Emissione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	10/2023	PRIMA EMISSIONE	IRIDE	GEMSA PRO	Euria S.r.l.

Indice

1	Premessa	3
2	Cenni sul fenomeno dello shadow flickering.....	4
3	Calcolo dello shadow flickering.....	6
3.1	<i>Descrizione del contesto territoriale.....</i>	<i>6</i>
3.2	<i>Configurazione di impianto.....</i>	<i>7</i>
3.3	<i>Definizione dell'ambito di studio.....</i>	<i>9</i>
3.4	<i>Individuazione dei recettori</i>	<i>11</i>
3.5	<i>Metodologia di calcolo del software utilizzato</i>	<i>13</i>
3.6	<i>Risultati</i>	<i>18</i>
4	Conclusioni	23
5	Appendice A	24

1 PREMESSA

Nel Comune di Umbriatico in provincia di Crotona (KR) è prevista la realizzazione di un campo eolico costituito da 14 aerogeneratori. La potenza unitaria massima di ciascun aerogeneratore è pari a 7,2 MW per n. 13 aerogeneratori e 6,2 Mw per n. 1 aerogeneratore, per una potenza massima complessiva del parco pari a 99,80 MW.

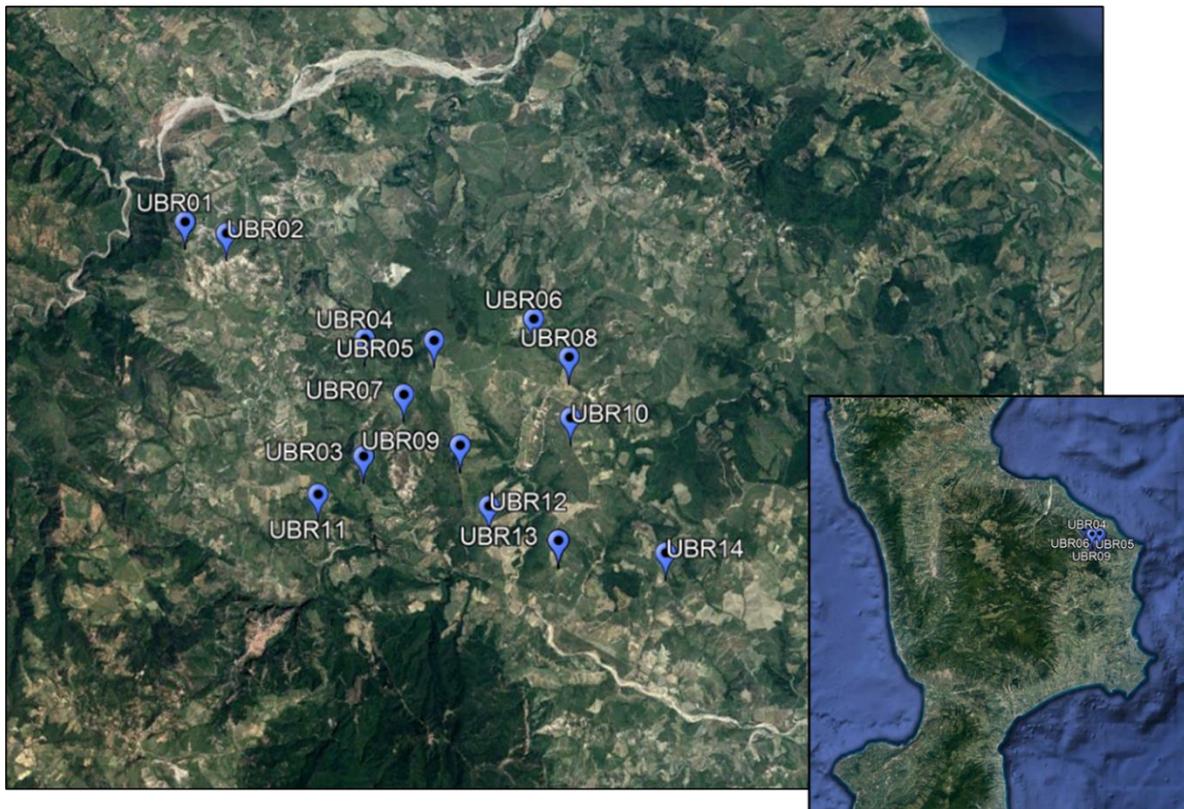


Figura 1-1 Localizzazione del campo eolico oggetto di studio

La torre dell'aerogeneratore è costituita da un tubolare tronco conico suddiviso in più sezioni per una altezza complessiva di 119 m mentre l'altezza massima dell'aerogeneratore (torre + pala) è di 200 m. Il rotore ha un diametro max pari a 162 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.

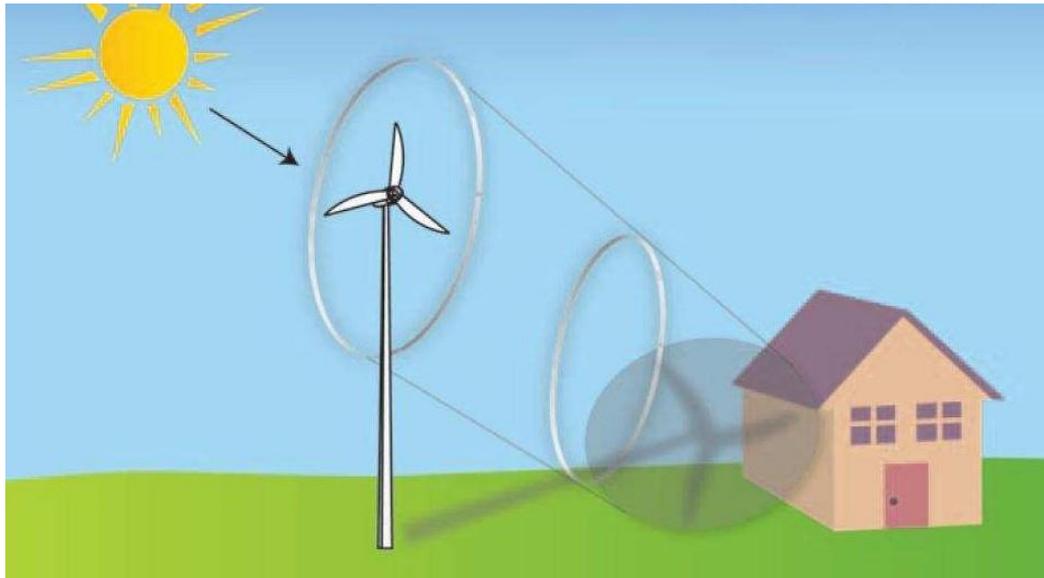


Figura 2-1 Esempio di effetto flickering

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 recettore 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 recettore – 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 recettore;
- l'intensità del flickering sarà minima quando l'ombra prodotta è generata all'estremità delle pale;
- maggiori distanze tra generatore e recettore 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 Umbriatico si trova nella provincia di Crotona in Calabria. Il comune si estende per 72 km² e ha una densità abitativa di 12 abitanti/km² (scarsamente popolato). Il territorio comunale è compreso tra 60 m s.l.m. e 709 m s.l.m.

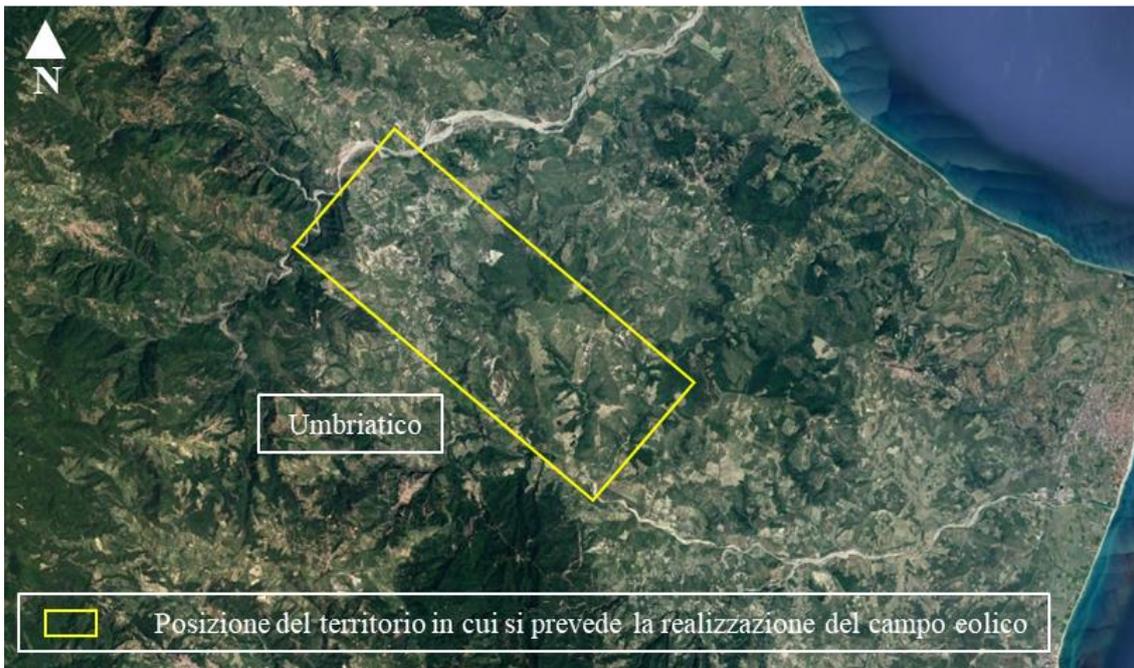
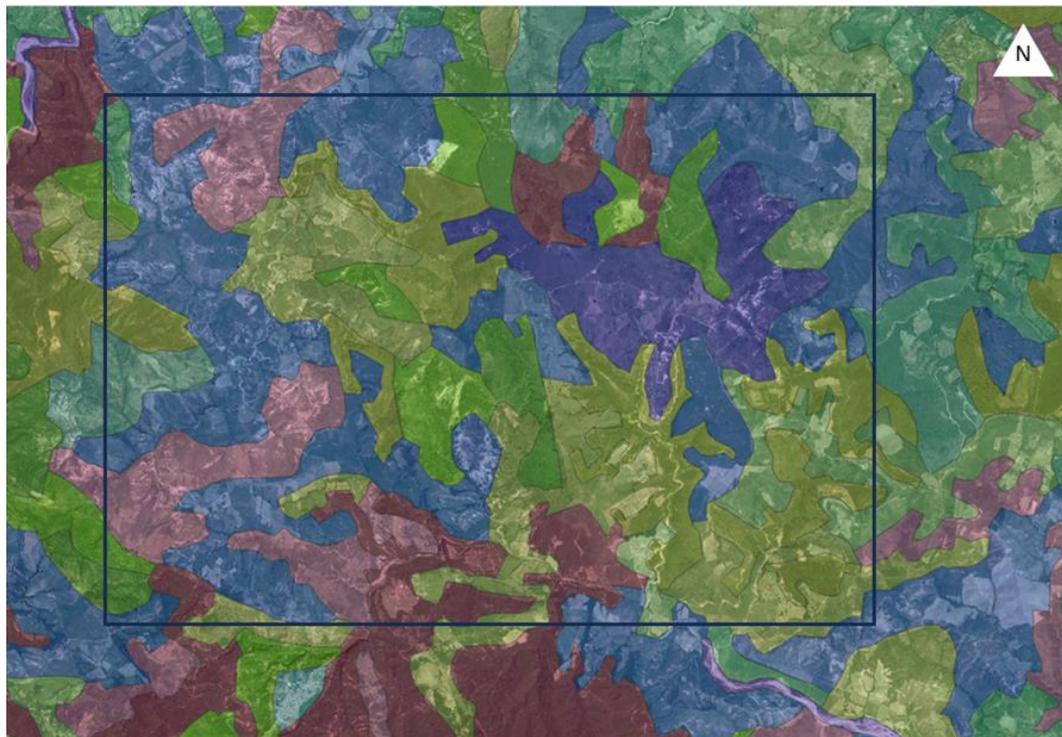


Figura 3-1 Contesto territoriale in cui si prevede l'inserimento del campo eolico

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

- a Sud dal centro abitato di Umbriatico e dalla Strada Provinciale 7 e dalla Strada Provinciale 9;
- a Ovest dalla Strada Provinciale 6;
- a Est da un campo eolico composto da 13 aerogeneratori nel comune di Cirò.

Dalle indagini effettuate, la presenza antropica in questa porzione di territorio è molto ridotta se non per la presenza di alcuni agglomerati urbani posti, comunque, a distanza notevole dal campo eolico di progetto.



Legenda

112 Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	242 Sistemi colturali e particellari complessi	323 Aree a vegetazione sclerofilla
211 Seminativi in aree non irrigue	243 Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	324 Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione
223 Oliveti	311 Boschi di latifoglie	331 Spiagge, dune e sabbie
231 Prati stabili	312 Boschi di conifere	333 Aree con vegetazione rada
241 Colture temporanee associate a colture permanenti	313 Boschi misti di conifere e latifoglie	

Figura 3-2 Inquadramento area di intervento su Carta uso suolo Corine Land Cover. (Fonte: Geo portale Nazionale)

In generale, l'area interessata dalla realizzazione del parco eolico è omogenea per conformazione e caratteristiche meteorologiche in quanto tutto l'ambito di studio ricade su territori collinari con elevazione compresa tra i 230 m e 460 m s.l.m.

3.2 Configurazione di impianto

Nelle seguenti tabelle vengono geolocalizzati, definiti e descritti dal punto di vista tecnico gli aerogeneratori la cui installazione è prevista per il campo eolico in progetto.

Aerogeneratore	Comune	Coordinate geografiche WGS-84	
		Est (m)	Nord (m)
UBR01	Umbriatico	663792,37	364052,49
UBR02	Umbriatico	664484,15	4363876,16
UBR03	Umbriatico	666875,73	4360233,37
UBR04	Umbriatico	666833,37	4362173,46

Aerogeneratore	Comune	Coordinate geografiche WGS-84	
		Est (m)	Nord (m)
UBR05	Umbriatico	667978,96	4362170,79
UBR06	Umbriatico	669612,01	4362563,43
UBR07	Umbriatico	667505,15	4361265,29
UBR08	Umbriatico	670212,84	4361945,38
UBR09	Umbriatico	668457,84	4360450,71
UBR10	Umbriatico	670262,97	4360941,02
UBR11	Umbriatico	666148,09	4359592,16
UBR12	Umbriatico	668959,04	4359462,75
UBR13	Umbriatico	670113,70	4358923,05
UBR14	Umbriatico	671878,86	4358760,53

Tabella 3-1 Coordinate geografiche puntuali aerogeneratori di progetto

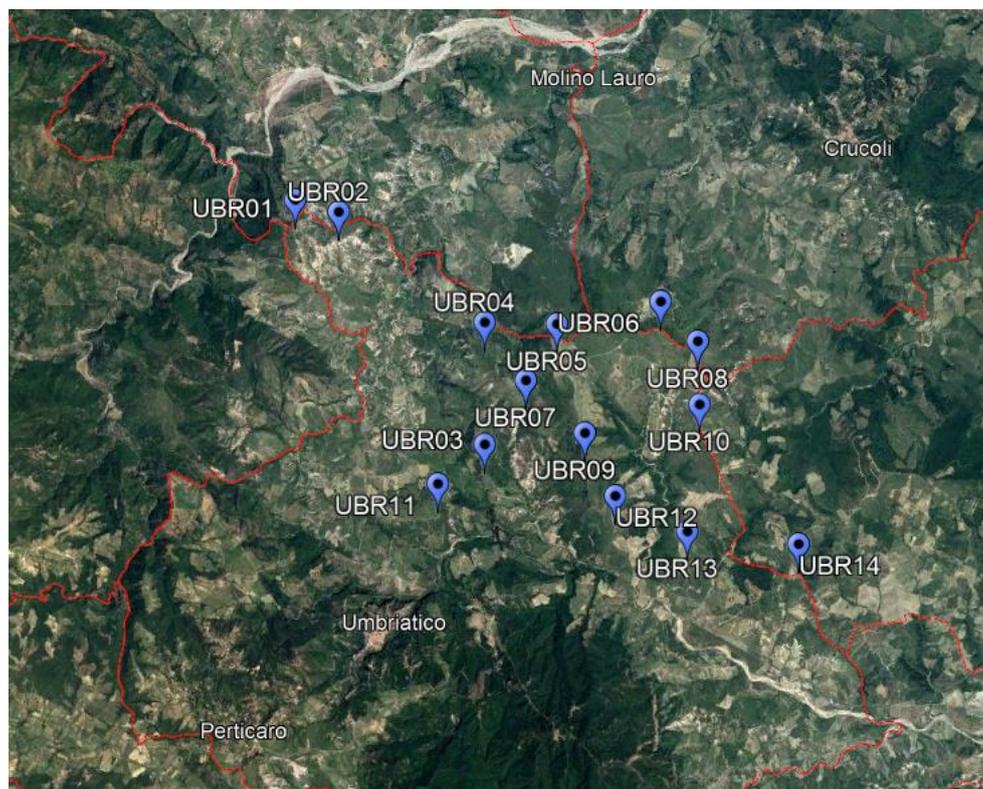


Figura 3-3 Posizione degli aerogeneratori di progetto sul territorio

Di seguito è riportata una scheda riassuntiva delle principali caratteristiche delle turbine che si intendono installare:

Potenza nominale	7,2 MW	6,2 MW
N° aerogeneratori	13	1
Diametro rotore	162 m	162 m
Altezza mozzo rotore	119 m	119 m
Tipologia torre	Tubolare	Tubolare

Tabella 3-2 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, 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 3-4) del parco eolico in progetto è quindi definito dall'involuppo delle 14 singole aree, ciascuna definita per ogni aerogeneratore secondo il suddetto criterio.

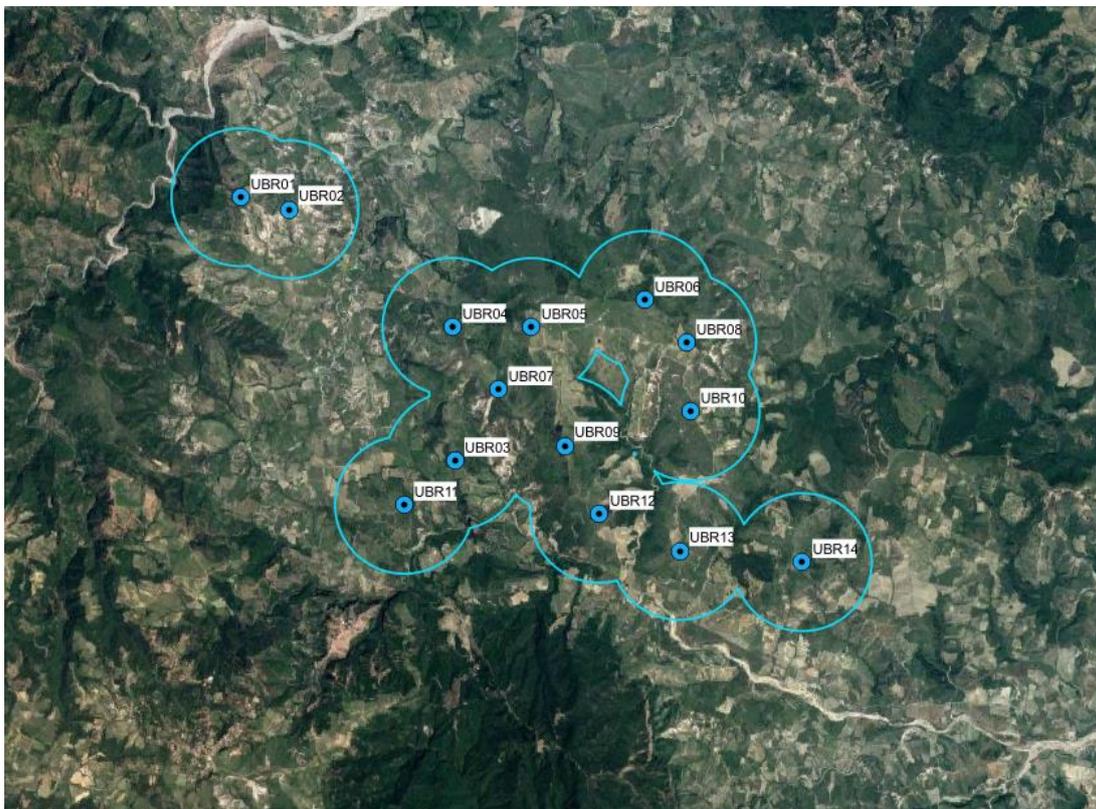


Figura 3-4 Ambito di studio shadow flickering per il campo eolico in progetto

In questo caso il progetto si inserisce in un contesto in cui sono presenti altri aerogeneratori esistenti. Al fine di escludere eventuali effetti cumulativi associati al fenomeno di shadow flickering, sono state individuate le turbine attualmente in esercizio ed è stata misurata la distanza di 1000 m che intercorre tra quest'ultime ed il margine dell'ambito di studio precedentemente definito (cfr. Figura 3-5).

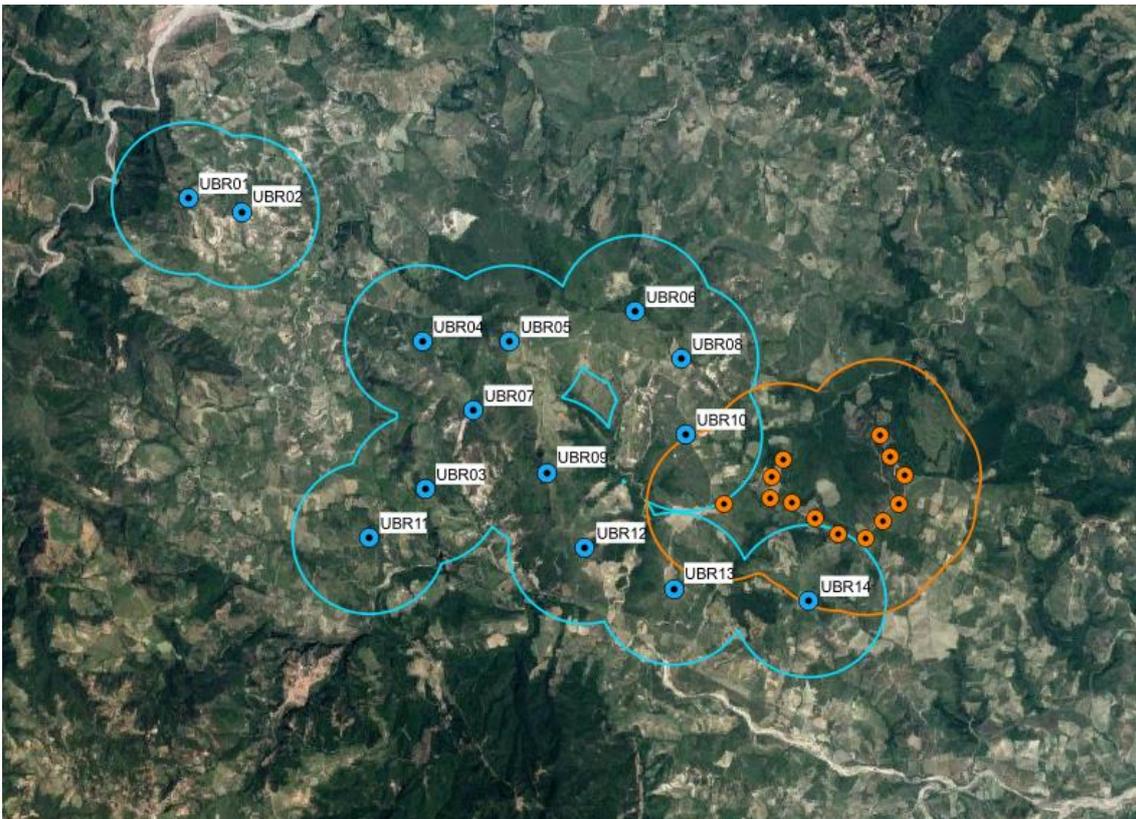


Figura 3-5 Aereogeneratori esistenti (in blu) rispetto al campo eolico di progetto (in arancione)

Considerando che gli effetti dello shadow flickering possono ritenersi nulli per distanze maggiori a 1000 m dalla generica turbina, in Figura 3-5 si osserva come gli aereogeneratori già esistenti del "Parco Eolico di Cirò" interferiscono con il nostro ambito di studio.

Pertanto, per completezza ed al fine di ottenere risultati di simulazione quanto più realistici e cautelativi, all'interno del modello costruito con WindFarm R5 (cfr. paragrafo 3.5) è stato considerato anche l'impianto eolico esistente.

Ai fini dello studio, gli aerogeneratori del parco eolico già esistente sono stati considerati di altezza pari a 100 m.

3.4 Individuazione dei recettori

Ai fini della previsione degli impatti indotti sulle abitazioni e sugli edifici lavorativi dall'impianto eolico in progetto, sono stati censiti i recettori presenti nel raggio di 1 km dagli aerogeneratori. Distanza oltre la quale si può ipotizzare essere nullo il fenomeno di shadow flickering.

I recettori sono stati individuati calcolando l'involuppo delle circonferenze di raggio pari a 1 km con centro geometrico corrispondente alle coordinate geografiche degli aerogeneratori, precedentemente indicate (vedi Tabella 3-1).

Sono stati quindi censiti un totale di 70 edifici, appartenenti al Comune di Umbriatico, dei quali 8 risultano essere adibiti ad uso residenziale e 62 risultano essere ruderi, box o depositi agricoli classificati come "Altri recettori".

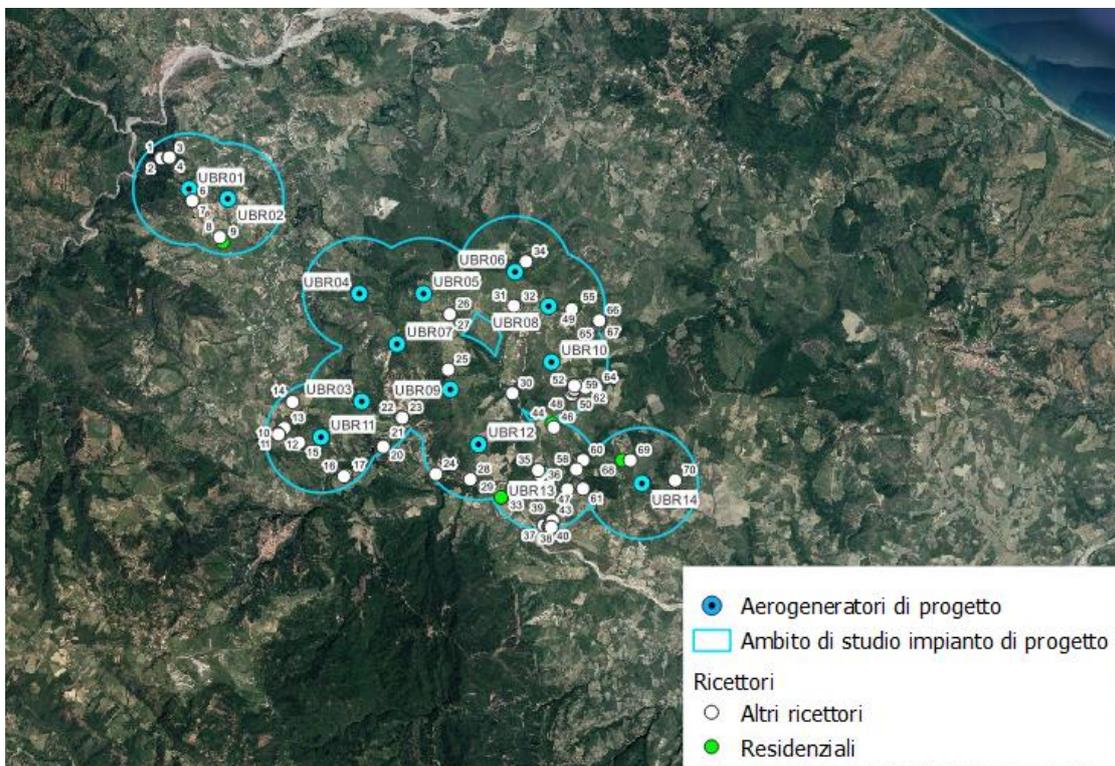


Figura 3-6 Censimento dei recettori all'interno dell'ambito di studio dell'impianto di progetto

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 i recettori classificati come "Altri recettori" in quanto non sensibili al fenomeno indagato.

In considerazione dell'impianto eolico esistente, è stata definita un'area di potenziale interferenza tra l'impianto di progetto e quello di Cirò sovrapponendo le due aree di inviluppo delle circonferenze aventi centro nel singolo aerogeneratore e raggio pari a 1000 m. Da tale sovrapposizione è stato possibile individuare la zona in cui sono possibili effetti cumulativi del fenomeno di ombreggiamento e, conseguentemente, determinare quali recettori potrebbero subirne gli effetti.

Ne consegue che i recettori potenzialmente sensibili (poiché considerati cautelativamente ad uso residenziale) ad eventuali effetti cumulativi prodotti dagli aerogeneratori di progetto con le turbine esistenti sono i recettori R44, R57 e R68, come mostrato nella seguente figura.

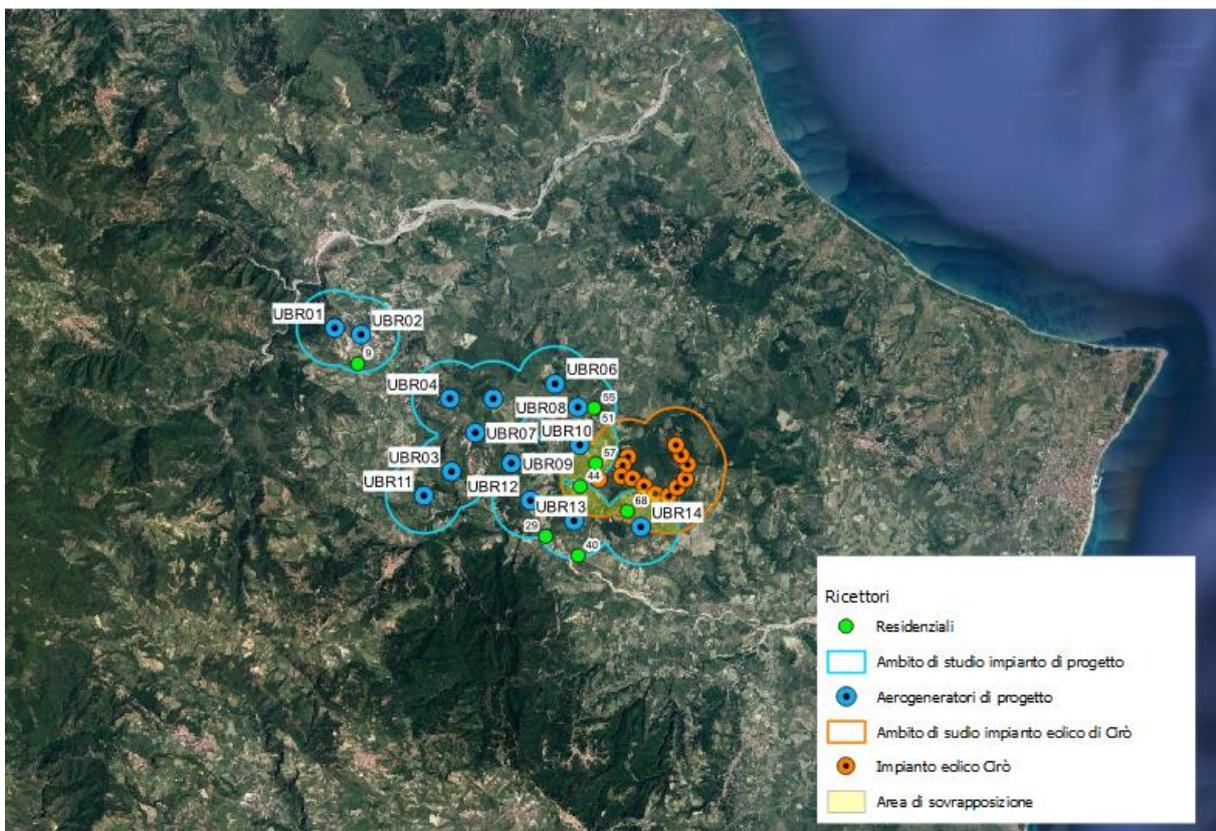


Figura 3-7 Area di sovrapposizione dei potenziali effetti di shadow flickering e recettori coinvolti

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 recettori per i quali è stata eseguita l'analisi dell'interferenza da shadow flickering in quanto a destinazione d'uso residenziale.



Figura 3-8 Esempio di identificazione dell'orientamento delle finestre dei recettori

Data l'entità dei recettori 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 del 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 recettori 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 recettori 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 3-9 Stralcio dell'area di studio in Windfarm: recettori (rosa) e aerogeneratori (ciano)

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 3-10);
- la disposizione geografica delle turbine e dimensione geometrica dei loro componenti (torre e pale);
- la disposizione geografica dei recettori sensibili al fenomeno indagato (abitazioni/edifici lavorativi e relative finestre);
- la latitudine e longitudine dell'area interessata.

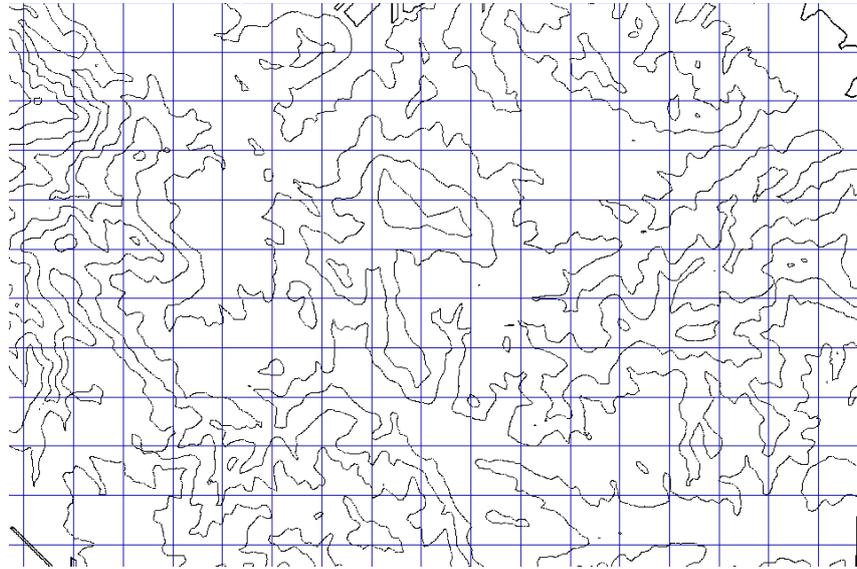


Figura 3-10 Esempio di curve di livello del terreno in WindFarm

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.

SUMMARY OF MERGED SHADOW TIMES ON EACH WINDOW FOR ALL TURBINES

House/ Window	Easting	Northing	Width	Depth	Height	Degrees	Tilt	Days	Max	Mean	Total
			(m)	(m)	(m)	from North	angle	per year	hours per day	hours per day	hours
1/ 1	664396	4363511	1.0	1.0	2.0	0.0	0.0	0	0.00	0.00	0.0
1/ 2	664396	4363511	1.0	1.0	2.0	90.0	0.0	0	0.00	0.00	0.0
1/ 3	664396	4363511	1.0	1.0	2.0	180.0	0.0	0	0.00	0.00	0.0
1/ 4	664396	4363511	1.0	1.0	2.0	270.0	0.0	0	0.00	0.00	0.0
2/ 1	669362	4358511	1.0	1.0	2.0	0.0	0.0	0	0.00	0.00	0.0
2/ 2	669362	4358511	1.0	1.0	2.0	90.0	0.0	0	0.00	0.00	0.0
2/ 3	669362	4358511	1.0	1.0	2.0	180.0	0.0	0	0.00	0.00	0.0
2/ 4	669362	4358511	1.0	1.0	2.0	270.0	0.0	0	0.00	0.00	0.0
3/ 1	670223	4357996	1.0	1.0	2.0	0.0	0.0	17	0.06	0.04	0.7
3/ 2	670223	4357996	1.0	1.0	2.0	90.0	0.0	17	0.06	0.04	0.7
3/ 3	670223	4357996	1.0	1.0	2.0	180.0	0.0	0	0.00	0.00	0.0
3/ 4	670223	4357996	1.0	1.0	2.0	270.0	0.0	0	0.00	0.00	0.0
4/ 1	670274	4359837	1.0	1.0	2.0	0.0	0.0	167	1.14	0.61	101.7
4/ 2	670274	4359837	1.0	1.0	2.0	90.0	0.0	247	1.15	0.47	115.6
4/ 3	670274	4359837	1.0	1.0	2.0	180.0	0.0	125	0.51	0.34	43.0
4/ 4	670274	4359837	1.0	1.0	2.0	270.0	0.0	85	0.51	0.35	29.9
5/ 1	670643	4361921	1.0	1.0	2.0	0.0	0.0	150	1.40	1.19	177.8
5/ 2	670643	4361921	1.0	1.0	2.0	90.0	0.0	0	0.00	0.00	0.0
5/ 3	670643	4361921	1.0	1.0	2.0	180.0	0.0	0	0.00	0.00	0.0
5/ 4	670643	4361921	1.0	1.0	2.0	270.0	0.0	150	1.40	1.19	178.0
6/ 1	670672	4361927	1.0	1.0	2.0	0.0	0.0	154	1.31	1.07	164.2
6/ 2	670672	4361927	1.0	1.0	2.0	90.0	0.0	0	0.00	0.00	0.0
6/ 3	670672	4361927	1.0	1.0	2.0	180.0	0.0	0	0.00	0.00	0.0

Figura 3-11 Esempio di output elaborato tramite WindFarm5

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

- coordinate geografiche baricentriche (UTM): 667841 m - Est, 4360858 m-Nord;
- coordinate geografiche delle turbine considerate (vedi Tabella 3-1);
- coordinate geografiche dei recettori considerati e disposizione delle finestre;
- 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 3-2):
 - diametro rotore: 162 m,
 - altezza torre: 119 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).

Di seguito vengono riportate tutte le ipotesi utilizzate per il calcolo del fenomeno di shadow flickering 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 Crotone (KR), si è stimato che l'impianto eolico sarà in funzione per circa il 60% del tempo nell'arco dell'anno, corrispondente a 2633 ore.

Nella seguente figura è riportato uno stralcio della mappa ottenuta dal software Windfarm; si sottolinea che tale mappa è stata realizzata utilizzando i dati output relativi al caso peggiore.

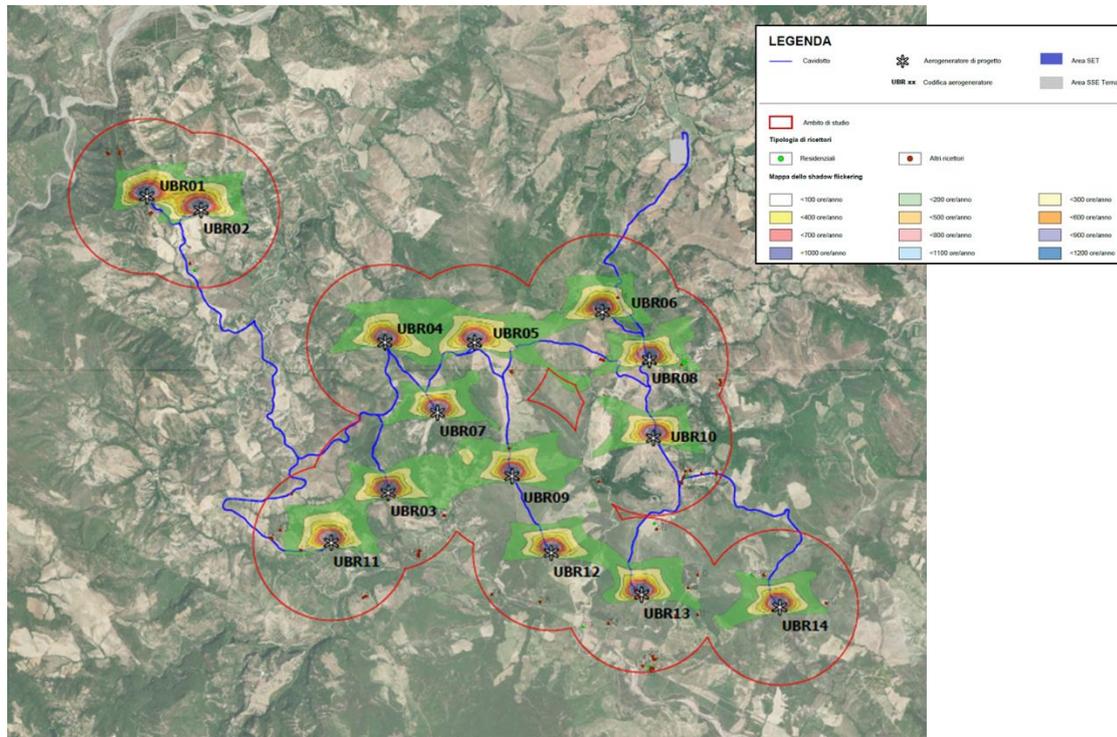


Figura 3-12 Stralcio della carta con l'output restituito dal software WindFarm

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 considerando il parco eolico di progetto, sugli 8 recettori residenziali, secondo la metodologia di calcolo descritta nel paragrafo precedente.

Recettore	Caso peggiore		Caso reale [ore/anno]
	Giorni /anno	Ore /anno	
R9	0	0	0
R29	0	0	0
R40	17	1	0
R44	151	53	32
R51	150	178	107
R55	154	165	99
R57	48	15	9
R68	124	95	57

Tabella 3-3 Risultati di calcolo – Impianto di progetto

Nella Tabella 3-3 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 3-3 si evince che degli 8 recettori analizzati quelli interessati dal fenomeno di shadow flickering sono 5, in particolare, su uno di questi (R51 evidenziato in tabella) si verifica un superamento delle 100 ore annue.

Per tale recettore 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:

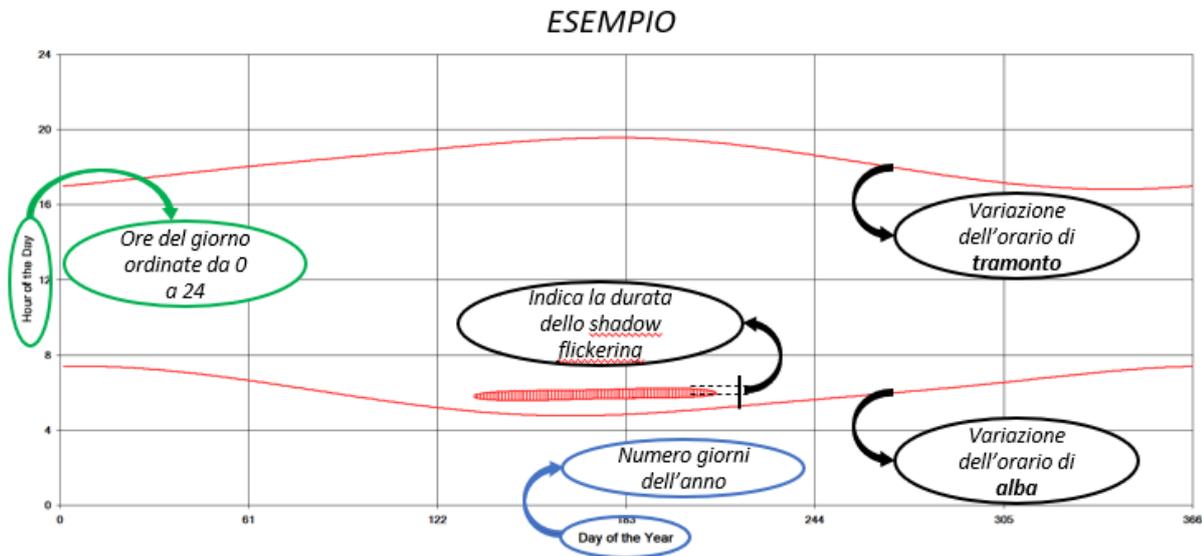


Figura 3-13 Esempio di output grafico dei risultati di simulazione del fenomeno di shadow flickering

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

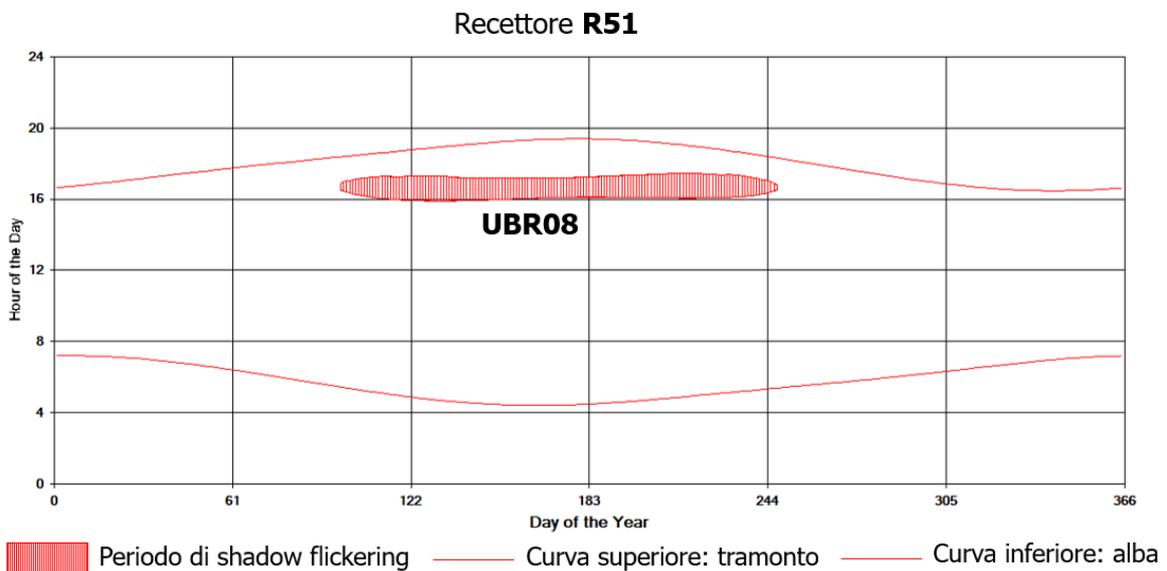


Figura 3-14 Periodi di shadow flickering per il recettore R51

Per quanto riguarda il fabbricato R51 (cfr. Figura 3-14), di seguito si riporta la turbina eolica che genera potenziale interferenza in relazione al fenomeno dello shadow flickering ed i relativi periodi temporali di riferimento:

- **UBR08** dal 8 aprile al 4 settembre tra le 15:50 e le 17:20,

Per approfondire ulteriormente il recettore R51, in Figura 3-15 e Figura 3-16 è mostrata la sua localizzazione rispetto all'aerogeneratore più vicino, che causa l'effetto dello shadow flickering (UBR08). Come si può osservare, esso è circondato da alberi che possono limitare e/o mitigare l'effetto dello shadow flickering.



Figura 3-15 Lato del recettore esposto all'effetto dello shadow flickering



Figura 3-16 Recettore esposto all'effetto dello shadow flickering

Inoltre, allo scopo di verificare l'eventuale sovrapposizione degli effetti, è stata effettuata un'ulteriore analisi prendendo in considerazione, oltre agli aerogeneratori di progetto, anche gli aerogeneratori esistenti del Parco Eolico di Cirò.

Si ricorda, come mostrato in Figura 3-7, che i recettori R44, R57 e R68 ricadono nell'area di sovrapposizione del potenziale effetto di flickering dato dalla presenza delle turbine dei 2 impianti eolici.

Nella seguente tabella sono stati quindi riportati i risultati dell'analisi eseguita considerando la presenza contemporanea dei due parchi eolici, sugli 8 recettori analizzati.

Recettore	Caso peggiore		Caso reale [ore/anno]
	Giorni /anno	Ore /anno	
R9	0	0	0
R29	0	0	0
R40	17	1	0
R44	292	146	87
R51	150	178	107
R55	154	165	99
R57	183	91	54
R68	124	95	57

Tabella 3-4 Risultati di calcolo – Impianto di progetto e impianto esistente di Cirò

È possibile notare come, nonostante l'interferenza del parco eolico esistente di Cirò, il numero di recettori interessati dal fenomeno sono gli stessi 5 riscontrati nell'analisi precedente e che il superamento delle 100 ore annue si verifica sempre nello stesso recettore, R51, con un numero di ore/anno invariato, in quanto non ricade nell'area di intersezione dei due impianti eolici.

Dei 3 recettori ricadenti all'interno dell'area di sovrapposizione (R44, R57 e R68) sono in 2 ad essere soggetti ad effetti cumulati causati dalla presenza contemporanea dei 2 impianti.

Infatti, dal confronto della Tabella 3-3 con la Tabella 3-4 si può osservare un aumento delle ore annue per due recettori, R44 e R57, che rimangono comunque al di sotto delle 100 ore.

Allo scopo di verificare l'effettivo uso e l'effettiva presenza di finestre ed aperture sulle facciate esposte all'effetto di shadow-flickering, in Figura 3-17 sono riportate le immagini che mostrano il fabbricato di interesse (R51).



Figura 3-17 Fabbricato esposto all'effetto di Shadow Flickering

Come si può osservare, il fabbricato è di tipo rurale e nello specifico, dall'osservazione in situ sembra essere utilizzato come magazzino e ricovero attrezzi. Stante ciò è possibile escludere la presenza permanente di persone in loco.

Si ricorda che il calcolo del superamento reale di 107 ore 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.

Un altro modo per contrastare l'effetto sarebbe quello di, in seguito ad un monitoraggio post-operam, programmare degli spegnimenti programmati dell'aerogeneratore responsabile del superamento delle 100 ore.

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 5 degli 8 recettori considerati ai fini dell'analisi (vedi Tabella 3-3).

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 (4 su 5 recettori) inferiore al valore di riferimento pari ad 100 ore l'anno.

Se si rapporta tale valore a quello di eliofania media locale dell'area (3669 ore/anno) si avrebbe un'incidenza percentuale del fenomeno inferiore al 3%.

A tali considerazioni va altresì sottolineato che:

- il recettore maggiormente interessato al fenomeno, ovvero quello con valore di shadow flickering maggiore ad 100 ore/anno (R51), risulta essere un edificio rurale utilizzato come magazzino e ricovero attrezzi. Comunque, l'incidenza di tale fenomeno sul recettore è circoscritta al 3% (107 ore/anno) e di conseguenza ritenuta trascurabile;
- dall'analisi effettuata per verificare l'eventuale sovrapposizione degli effetti indotti dalla presenza contemporanea dell'impianto eolico di progetto e dell'impianto esistente di Cirò, si può affermare che:
 - il recettore R51 non è soggetto ad effetti cumulati indotti dalla presenza dei due impianti eolici;
 - sui recettori R44 e R57 invece tale sovrapposizione ha effetto, ma comunque il valore di 100 ore/annue non è superato;
- 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;
- le turbine in progetto sono lontane dai recettori residenziali analizzati, essendo le distanze comprese tra 420 m e 930 m con la maggioranza dei recettori localizzati a più di 500 metri di distanza. 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 recettori presi in considerazione possa considerarsi trascurabile.

5 APPENDICE A

Recettore	Tipologia	Distanza da aerogeneratore [m]	Coordinate UTM	
			Long E [m]	Lat N [m]
R1	Altri recettori	753,61	16,89674	39,41562
R2	Altri recettori	734,66	16,89691	39,41550
R3	Altri recettori	653,27	16,89850	39,41551
R4	Altri recettori	673,13	16,89860	39,41576
R5	Altri recettori	664,83	16,89859	39,41564
R6	Altri recettori	219,83	16,90294	39,40846
R7	Altri recettori	209,03	16,90314	39,40853
R8	Altri recettori	698,80	16,90866	39,40256
R9	Residenziali	778,97	16,90930	39,40173
R10	Altri recettori	775,17	16,91977	39,37054
R11	Altri recettori	764,33	16,91987	39,37047
R12	Altri recettori	755,78	16,91997	39,37040
R13	Altri recettori	671,88	16,92118	39,37142
R14	Altri recettori	805,47	16,92303	39,37561
R15	Altri recettori	397,61	16,92419	39,36905
R16	Altri recettori	803,48	16,93332	39,36339
R17	Altri recettori	795,87	16,93370	39,36357
R18	Altri recettori	878,28	16,94156	39,36818
R19	Altri recettori	893,42	16,94162	39,36804
R20	Altri recettori	863,36	16,94166	39,36833
R21	Altri recettori	836,75	16,94178	39,36870
R22	Altri recettori	759,19	16,94548	39,37269
R23	Altri recettori	775,73	16,94567	39,37267
R24	Altri recettori	927,39	16,95237	39,36344
R25	Altri recettori	351,84	16,95542	39,38032
R26	Altri recettori	592,74	16,95599	39,38929
R27	Altri recettori	602,81	16,95603	39,38917
R28	Altri recettori	641,81	16,95949	39,36247
R29	Residenziali	848,76	16,96578	39,35947
R30	Altri recettori	892,37	16,96860	39,37626
R31	Altri recettori	606,27	16,96928	39,39041

Recettore	Tipologia	Distanza da aerogeneratore [m]	Coordinate UTM	
			Long E [m]	Lat N [m]
R32	Altri recettori	574,75	16,96970	39,39028
R33	Altri recettori	557,84	16,96958	39,35976
R34	Altri recettori	257,04	16,97202	39,39754
R35	Altri recettori	111,91	16,97357	39,36371
R36	Altri recettori	43,84	16,97409	39,36288
R37	Altri recettori	912,98	16,97452	39,35476
R38	Altri recettori	946,87	16,97562	39,35435
R39	Altri recettori	772,66	16,97606	39,35586
R40	Residenziali	927,39	16,97563	39,35466
R41	Altri recettori	940,48	16,97570	39,35455
R42	Altri recettori	954,84	16,97605	39,35442
R43	Altri recettori	834,58	16,97617	39,35554
R44	Residenziali	917,48	16,97669	39,37123
R45	Altri recettori	845,16	16,97636	39,35550
R46	Altri recettori	856,02	16,97702	39,37057
R47	Altri recettori	499,31	16,97956	39,36052
R48	Altri recettori	654,23	16,98060	39,37596
R49	Altri recettori	411,08	16,98128	39,38966
R50	Altri recettori	681,67	16,98091	39,37586
R51	Residenziali	418,17	16,98150	39,38992
R52	Altri recettori	632,24	16,98113	39,37652
R53	Altri recettori	632,25	16,98124	39,37656
R54	Altri recettori	581,19	16,98147	39,37725
R55	Residenziali	452,21	16,98184	39,38997
R56	Altri recettori	635,22	16,98147	39,37664
R57	Residenziali	644,20	16,98163	39,37664
R58	Altri recettori	591,14	16,98150	39,36371
R59	Altri recettori	623,21	16,98221	39,37731
R60	Altri recettori	743,82	16,98295	39,36518
R61	Altri recettori	745,22	16,98280	39,36056
R62	Altri recettori	758,65	16,98382	39,37691
R63	Altri recettori	898,52	16,98608	39,37711

Recettore	Tipologia	Distanza da aerogeneratore [m]	Coordinate UTM	
			Long E [m]	Lat N [m]
R64	Altri recettori	926,81	16,98605	39,37678
R65	Altri recettori	945,78	16,98693	39,38717
R66	Altri recettori	931,51	16,98693	39,38773
R67	Altri recettori	942,57	16,98699	39,38748
R68	Residenziali	542,78	16,99100	39,36504
R69	Altri recettori	458,77	16,99274	39,36498
R70	Altri recettori	591,65	17,00192	39,36158