

# Progetto per la costruzione e l'esercizio di un Impianto eolico denominato "Luras"

## Progetto definitivo

Oggetto:

**LUR.73 – Relazione sugli effetti di shadow flickering**

Proponente:



LURAS WINDFARM  
ENERGY & INFRASTRUCTURE

**Luras Windfarm**  
Via Dante 7  
20123 Milano (Milano)

Progettista:



**Stantec S.p.A.**  
Centro Direzionale Milano 2, Palazzo Canova  
Segrate (Milano)

Rev. N.	Data	Descrizione modifiche	Redatto da	Rivisto da	Approvato da
00	15/12/23	Prima Emissione	M. Carnevale	S. Bossi	P. Polinelli

Fase progetto: **Definitivo**

Formato elaborato: **A4**

Nome File: **LUR.73.00 – Relazione sugli effetti di shadow flickering.docx**

# Indice

1	CONTENUTI DELLA RELAZIONE .....	3
2	IL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKERING .....	4
3	NORME DI RIFERIMENTO .....	8
4	INDIVIDUAZIONE DEI RECETTORI.....	10
5	MODELLO DI CALCOLO.....	14
6	RISULTATI .....	17
7	ALLEGATI.....	28

## Indice delle figure

Figura 2-1: Rappresentazione schematica.....	5
Figura 6-1: Frequenza della direzione del vento del sito.....	25
Figura 6-2: Inquadramento dei recettori RC 40 .....	26
Figura 6-3: Inquadramento dei recettori RC 42 e RC 43 .....	26

## Indice delle tabelle

Tabella 5-1: recettori considerati.....	10
Tabella 7-1: Risultati del calcolo, in rosso i recettori con più di 30 ore/anno nel caso real case .....	18

## 1 CONTENUTI DELLA RELAZIONE

La presente relazione ha l'obiettivo di illustrare il fenomeno dello "shadow flickering" e di valutare il suo effetto nell'area circostante l'impianto eolico in progetto.

Il Capitolo 2 illustra il fenomeno dello "shadow flickering" prodotto dagli aerogeneratori.

Il Capitolo 3 fornisce un breve quadro normativo di riferimento.

Il Capitolo 4 elenca i recettori considerati presenti nell'area di indagine.

Il Capitolo 5 descrive la metodologia che è stata utilizzata per valutare l'effetto dello "shadow flickering" e valutare il suo impatto sui recettori individuati.

Il Capitolo 6 presenta i risultati del calcolo valutandone l'impatto.

Infine, il Capitolo 7 mostra la tavola grafica dei fabbricati considerati nella presente analisi.

Per informazioni dettagliate riguardo al proponente dell'iniziativa e il progetto proposto, si rimanda all'elaborato *LUR.00 – Presentazione del proponente e dell'iniziativa*.

## 2 IL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKERING

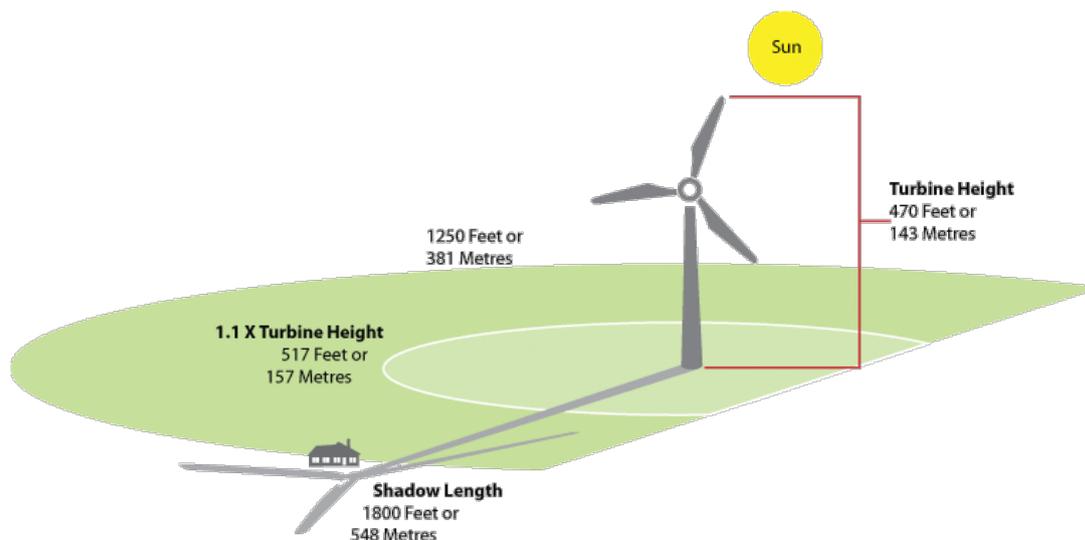
Gli aerogeneratori, al pari di tutte le altre strutture fortemente sviluppate in altezza, proiettano un'ombra sulle aree circostanti in presenza di irraggiamento solare diretto.

Lo shadow flickering (letteralmente ombreggiamento intermittente) è l'espressione comunemente impiegata per descrivere una fluttuazione periodica dell'intensità luminosa osservata. Tale effetto (stroboscopico) è causato dalla proiezione, su una generica superficie, dell'ombra indotta da oggetti in movimento. Nel caso specifico di un impianto eolico il fenomeno è generato dalla proiezione, al suolo o su un recettore (abitazione), dell'ombra prodotta dalle pale degli aerogeneratori in rotazione allorquando il sole si trova alle loro spalle (cfr. figura successiva).

Il fenomeno, dal punto di vista di un potenziale recettore, si traduce in una variazione alternata e ciclica di intensità luminosa che, a lungo andare, può provocare fastidio agli occupanti delle abitazioni le cui finestre risultano esposte al fenomeno stesso. Il fenomeno, ovviamente, risulta assente sia quando il sole è oscurato da nuvole o dalla nebbia, sia quando, in assenza di vento, le pale dell'aerogeneratore 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 a causa di continui sbalzi della tensione della rete di alimentazione elettrica.

I più recenti aerogeneratori tripala operano ad una velocità di rotazione di molto inferiore ai 35 giri al minuto, corrispondente ad una frequenza di passaggio delle pale sulla verticale inferiore a 1,75 Hz, minore, quindi, della frequenza critica di 2,5 Hz riportata in letteratura. Inoltre, i generatori di grande potenza (dal MW in su) raramente superano la velocità di rotazione di 15 giri al minuto, corrispondente a frequenze di passaggio delle pale ampiamente minori di quelle ritenute fastidiose per la maggioranza degli individui.



**Figura 2-1: Rappresentazione schematica**

Tale fenomeno, se sperimentato da un recettore per periodi di tempo prolungati, può generare un disturbo, nelle seguenti condizioni:

- Presenza di un livello sufficiente di intensità luminosa, ovvero in condizioni di cielo sereno sgombro da nubi ed in assenza di nebbia e con sole alto rispetto all'orizzonte;
- Assenza di ostacoli sulla congiungente recettore - aerogeneratore: la presenza di vegetazione e/o edifici interposti all'ombra generata da questi ultimi annullerebbe il fenomeno. Quindi, condizione favorevole affinché il fenomeno in esame si verifichi, è quella rappresentata dall'orientamento perpendicolare delle finestre di un'abitazione rispetto alla linea congiungente il recettore all'aerogeneratore in assenza di ostacoli fisici (alberi, altri edifici ecc...);
- Orientamento perpendicolare del rotore rispetto alla congiungente sole - recettore: infatti, quando il piano del rotore è perpendicolare alla linea sole-recettore, l'ombra proiettata dalle pale risulta muoversi all'interno di un "disco" che induce un effetto non trascurabile di shadow flickering; viceversa, nel caso in cui il piano del rotore risulti essere in linea con il sole, l'ombra proiettata risulterebbe molto assottigliata e di bassa intensità per cui l'effetto di shadow flickering sarebbe del tutto trascurabile.

Inoltre, affinché lo shadow flickering abbia un'intensità non trascurabile è necessario che:

- la posizione del sole sia tale da produrre una luminosità sufficiente; tale condizione corrisponde, per la latitudine di progetto, in un'altezza del sole sull'orizzonte dell'ordine di almeno 10°;
- le pale del rotore siano ovviamente in rotazione;

- l'aerogeneratore ed il potenziale recettore non siano troppo distanti: infatti, le ombre proiettate in prossimità dell'aerogeneratore risultano di maggiore intensità rispetto a quelle proiettate ad una distanza crescente. Tale condizione deriva dal fatto che in presenza di un recettore molto prossimo all'aerogeneratore, una porzione ampia di pala copre il disco solare così come osservato dal punto di vista del recettore stesso, e, quindi, l'intensità del flicker risulta maggiormente percepibile. All'aumentare della distanza tra aerogeneratore e recettore le pale, durante il loro moto di rotazione, andranno a coprire una porzione sempre più piccola del disco solare, inducendo un effetto di flicker di minore intensità.

Alla luce di quanto sopra esposto, le relazioni spaziali tra un aerogeneratore ed un recettore (abitazione), così come la direzione del vento risultano essere fattori chiave per la durata del fenomeno di shadow flickering. Per distanze dell'ordine dei 400-500 m, il fenomeno in esame potrebbe verificarsi all'alba oppure al tramonto, ovvero in quelle ore in cui le ombre risultano molto lunghe e la radiazione diretta è di minore intensità per effetto della piccola elevazione solare. Al di là di una certa distanza l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala ed il diametro apparente del sole diventa molto piccolo. Quindi, come è facile immaginare, la condizione più penalizzante corrisponde al caso in cui il piano del rotore risulti ortogonale alla congiungente recettore – sole; infatti, in tali condizioni, l'ombra proiettata darà origine ad un cerchio di diametro pari a quello del 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 generale, l'area soggetta a shadow flickering non si estende oltre i 500÷1000 m dall'aerogeneratore e le zone a maggiore impatto ricadono entro i 500 m di distanza dalle macchine con durata del fenomeno dell'ordine delle 200 ore all'anno; il flickering, se presente, non supera in genere i 30/40 minuti di durata potenziale 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 definitiva, 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 presente relazione ha lo scopo di stimare le aree potenzialmente interessate dal fenomeno in relazione agli aerogeneratori che costituiscono il parco eolico in oggetto.

Nello specifico, quando si valuta l'impatto da shadow flickering, lo stesso può essere realizzato attraverso l'analisi di due casi specifici:

- Il worst case, in cui viene valutata la massima durata del fenomeno, ovvero quella astronomica, che corrisponde alle condizioni di cielo sempre sgombro da nubi, di rotore in movimento continuo e di perpendicolarità tra quest'ultimo ed il potenziale recettore;
- Il real case, in cui viene valutata la durata realistica del fenomeno, tenendo conto del soleggiamento effettivo dell'area e delle specifiche condizioni anemologiche che determinano la reale operabilità degli aerogeneratori.

### 3 NORME DI RIFERIMENTO

Attualmente nel nostro paese non sono state emanate specifiche norme o linee guida che regolamentino i limiti di esposizione al fenomeno dello Shadow flickering generato dall'esercizio degli impianti eolici, né è stata definita una distanza massima oltre la quale si ritiene improbabile il verificarsi di un impatto significativo sulla salute umana.

Viceversa, a livello internazionale esistono diverse linee guida e normative che stabiliscono specifici limiti di esposizione, in termini di ore/anno e ore/giorno, al fenomeno in esame.

La presente valutazione è finalizzata a valutare il cosiddetto "worst case", tenendo conto delle principali linee guida e/o normative internazionali che fissano i limiti di esposizione entro i quali gli effetti del fenomeno sulla salute umana possono considerarsi trascurabili o nulli, quali:

- Länderausschuss für Immissionsschutz "Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (Guideline for identification and evaluation of the optical emissions of wind turbines) (WEA-Schattenwurf-Hinweise)" (Germania, 2002);
- Department of Energy and Climate Change "National Policy Statement for Renewable Energy Infrastructure (EN-3)" (Regno Unito, 2011).

A titolo puramente informativo si riportano di seguito i riferimenti di altre norme in materia:

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

- Danish Government, Naturstyrelsen, Miljøministeriet "Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller" (Danimarca, 2015).

La maggior parte dei paesi che hanno adottato specifiche linee guida o regolamenti in materia si sono basati sulle norme di riferimento tedesche e sui limiti di accettabilità da esse introdotti. In assenza di una specifica normativa o linea guida, nazioni quali Austria, Brasile, Canada, India, Giappone e Polonia, impiegano, come buona pratica, le indicazioni contenute nelle linee guida tedesche.

Nello specifico, tali linee guida sono state introdotte nel 2002 dal comitato statale per il controllo dell'inquinamento e, da allora, sono state adottate dalla maggior parte dei Lander e sono comunemente considerate buone pratiche nella valutazione dell'impatto prodotto da un parco eolico. In particolare, tali linee guida, stabiliscono che lo shadow flickering deve essere valutato:

- Fino ad una distanza tale che il rotore copra il 20% del disco solare; a distanze superiori il fenomeno è considerato troppo diffuso da poter produrre fastidio;
- Per angoli del sole sull'orizzonte superiori a 3 gradi; per angoli inferiori il fenomeno si ritiene schermato dalla presenza di edifici e/o vegetazione;
- Ad un'altezza di 2 metri dal suolo;

I valori limite di accettabilità stabiliti dalle suddette linee guida sono un massimo di:

- 30 minuti al giorno;
- 30 ore all'anno.

## 4 INDIVIDUAZIONE DEI RECETTORI

Allo scopo di valutare l'impatto indotto sugli edifici da parte dell'impianto eolico in progetto, sono stati individuati i recettori potenzialmente sensibili presenti in un'areale corrispondente all'involuppo delle aree buffer circolari di raggio pari a 10 volte il diametro del rotore (nel caso in esame 1700 m) del modello di aerogeneratore previsto in progetto (D pari a 170 m), con centro coincidente con le postazioni delle WTG in oggetto; ciò in accordo con quanto stabilito dalla "National Policy Statement for Renewable Energy Infrastructure (EN-3)" (UK, 2011) (PPS22 per l'Inghilterra, TAN8 per il Galles), secondo la quale è improbabile che si verifichi un impatto significativo da shadow flickering a distanze superiori a dieci volte il diametro del rotore. Si è preferito optare per seguire le indicazioni delle Linee Guida anglosassoni in quanto da esperienze pregresse è sempre risultato che i 10 diametri sono più che cautelativi nella valutazione dello shadow flickering, come peraltro avviene di default all'interno di tutti i software che valutano tale impatto.

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno degli edifici, esso risulta evidente e potenzialmente fastidioso in quegli ambienti con finestrate localizzate lungo la direttrice sole-aerogeneratore e, per tale ragione, si è considerato nella simulazione la presenza di finestre di altezza pari a 1,5 metri e larghezza pari ad 1 metro, posizionate ad una quota dal suolo di 2 metri e disposte su tutte le facciate degli edifici considerati, in direzione dei quattro punti cardinali (N-E-S-W).

Di seguito sono riportati i riferimenti geografici dei potenziali recettori individuati nel buffer sopra specificato.

**Tabella 4-1: recettori considerati**

Recettore	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 32		Categoria catastale	Comune
	Est	Nord		
RC01	514786	4536500	D10	Luras
RC02	515360	4536345	D10	Luras
RC03	515145	4537086	D10	Luras
RC04	514697	4537561	D10	Luras
RC05	516015	4536739	D10	Luras
RC06	516392	4536901	D10	Luras
RC07	516522	4536982	D10	Luras
RC08	516524	4537024	D10	Luras
RC09	514723	4537594	A03	Luras
RC10	514677	4537561	D10	Luras

RC11	513927	4537578	D10	Luras
RC12	514645	4537987	A04	Luras
RC13	514531	4538031	D10	Luras
RC14	514438	4538101	A03	Luras
RC15	514472	4538089	D10	Luras
RC16	514803	4538133	D10	Luras
RC17	516126	4537601	A03	Luras
RC18	516565	4537785	D10	Luras
RC19	516036	4536396	A03	Luras
RC20	516053	4536395	C03	Luras
RC21	515745	4536164	A03	Luras
RC22	515758	4536178	A03	Luras
RC23	515438	4536026	A04	Luras
RC24	515447	4536035	D10	Luras
RC25	515464	4536035	D10	Luras
RC26	515404	4536085	D10	Luras
RC27	514933	4535713	A03	Luras
RC28	514064	4537309	D10	Luras
RC29	515510	4536311	D01	Luras
RC30	512779	4534432	D10	Luras
RC31	513478	4534228	D10	Luras
RC32	513450	4534217	A03	Luras
RC33	513470	4534173	D10	Luras
RC34	513484	4534164	D10	Luras
RC35	514148	4534142	D10	Luras
RC36	514177	4534155	A03	Luras
RC37	514310	4534134	D10	Luras
RC38	514242	4534078	D01	Luras
RC39	514274	4534466	D10	Luras
RC40	513988	4534945	D10	Luras
RC41	513464	4535469	D10	Luras
RC42	514860	4534904	D10	Luras

RC43	514824	4534910	D10	Luras
RC44	515314	4535254	D10	Luras
RC45	514596	4533926	D10	Luras
RC46	515439	4535533	A03	Luras
RC47	515358	4535356	D10	Luras
RC48	515333	4535328	D10	Luras
RC49	515377	4535286	D10	Luras
RC50	515586	4534935	D10	Luras
RC51	515212	4534212	D10	Luras
RC52	515209	4534180	D10	Luras
RC53	515186	4534190	D10	Luras
RC54	514928	4534485	A03	Luras
RC55	514914	4534504	A03	Luras
RC56	514888	4534454	D10	Luras
RC57	515756	4536156	A03	Luras
RC58	513400	4536345	A03	Luras
RC59	513606	4536757	D10	Luras
RC60	513570	4536841	D10	Luras
RC61	513719	4537115	D10	Luras
RC62	513289	4537617	D10	Luras
RC63	513704	4537650	D10	Luras
RC64	513552	4537735	D10	Luras
RC65	513920	4537696	D10	Luras
RC66	513588	4537881	D10	Luras
RC67	513546	4537855	A03	Luras
RC68	517518	4536966	D10	Luras
RC69	517463	4537007	A04	Luras
RC70	517499	4536955	D10	Luras
RC71	516714	4536279	D10	Luras
RC72	516427	4534958	D10	Luras
RC73	515972	4534731	D10	Luras
RC74	515984	4534717	D10	Luras

RC75	516200	4534584	D10	Luras
RC76	516140	4534583	D10	Luras

## 5 MODELLO DI CALCOLO

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

L'analisi si basa necessariamente sull'impiego di un modello digitale del terreno dell'area oggetto di progettazione, sulle posizioni (E, N, quota) degli aerogeneratori e dei potenziali 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 (coordinate baricentriche del dominio di calcolo).

Nello specifico, nel presente studio, è stato impiegato il modulo shadow flickering del software WindFarm 5.0.1.2 (ReSoft Limited©). Esso consente di analizzare la posizione del sole nell'arco di un anno allo scopo di identificare i tempi in cui ogni aerogeneratore 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;
- Mostrare un calendario grafico degli eventi di flickering;
- Mostrare un elenco dettagliato di ciascun evento di ombreggiamento (ora di inizio, di fine, durata del fenomeno, aerogeneratore/i coinvolti ecc...);
- 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.

Al di là di una certa distanza, come già osservato, l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala e il diametro apparente del disco solare diventa piccolo. Poiché non vi è un valore generalmente accettato per questa distanza massima, WindFarm permette di specificare il limite in metri o multipli del diametro o dell'altezza complessiva del generatore eolico.

Come accennato sopra, nel caso in esame, per quanto concerne le simulazioni effettuate, si è assunta una distanza massima di influenza del fenomeno in esame pari a 10 volte il diametro dell'aerogeneratore di progetto (1700 m) ed un angolo minimo di altezza del sole sull'orizzonte pari a 3°. Tali assunzioni di input al modello risultano molto conservative in relazione a quanto espresso sopra in termini teorici in riferimento al fenomeno di shadow flickering.

In particolare, il modello numerico utilizzato, al pari degli altri presenti sul mercato, produce in output una mappa di impatto nel caso più penalizzante, il cosiddetto "WORST CASE", corrispondente alle ore in cui il sole permane al di sopra dell'orizzonte nell'arco dell'anno (ore di luce, ca. 4380 h/a), indipendentemente dalla presenza o meno di nubi, le quali inficerebbero il fenomeno stesso dello shadow flickering per l'impossibilità che si generino ombre.

Nello specifico, il worst case è caratterizzato dalle seguenti ipotesi:

- Assenza di qualsiasi ostacolo naturale o artificiale (alberature, muri di cinta, edifici, ecc...), ad eccezione dell'orografia dell'area, frapposto tra i recettori e gli aerogeneratori, tale da limitare o eliminare completamente il fenomeno dello shadow flickering;
- Aerogeneratori sempre operativi;
- Presenza di sole durante tutto il periodo diurno dell'anno (assenza di nubi);
- Perpendicolarità tra il piano del rotore e la congiungente sole-recettore (worst case wind direction), ovvero l'aerogeneratore insegue il sole;

Ciò considerato si evince che i risultati ai quali si perverrà risultano estremamente cautelativi, trattandosi di una stima puramente teorica.

Quindi, allo scopo di pervenire a valori più realistici di impatto, prossimi al caso reale (REAL CASE), si dovrebbe considerare il valore di eliofania locale, ovvero il numero di ore di cielo libero da nubi durante il giorno, e quello delle ore stimate di funzionamento dell'impianto eolico nell'arco dell'anno.

Per l'area in esame il valore medio di eliofania corrisponde a circa 2600 h/a<sup>1, 2</sup>, quindi, i risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere abbattuti del 40.64%, pari al complemento a 1 del rapporto  $2600/4380 = 59.36\%$ .

In altri termini, rispetto al WORST CASE, la probabilità di occorrenza del fenomeno di shadow flickering si riduce realisticamente, per l'area in esame, al 59.36 % del valore calcolato dal modello impiegato e che corrisponde proprio alla probabilità che il disco solare risulti libero da nubi.

Inoltre, dal momento che il fenomeno in esame è prodotto dalla contemporanea presenza di sole libero da nubi (potenzialità di generare ombre) e di velocità del vento superiori a quella di cut-in ed inferiore a quella di cut-off (rotore in moto), i valori calcolati dal modello (considerando la

---

<sup>1</sup> Pinna M. (1985). L'eliofania in Italia. Mem. Soc. Geogr. It., 39: pag. 23-58.

<sup>2</sup> Lavagnini A., Martorelli S., Coretti C. (1987). Radiazione solare in Italia. Mappe mensili della radiazione globale giornaliera. Roma, CNR, Ist. Fis. Atm., pag. 48.

condizione più penalizzante di rotore permanentemente in moto) possono essere ulteriormente abbattuti di una percentuale corrispondente alle ore annue di effettivo funzionamento macchina rispetto al totale delle ore in un anno (8760 h).

Per il parco eolico in esame le ore macchina sono stimate pari al 89,15% delle ore anno, ovvero circa 7810 ore; in altri termini, la probabilità che il rotore di un aerogeneratore risulti in movimento è appunto dell'ordine del 89,15% (pari circa al rapporto 7810/8760).

In definitiva, i valori calcolati dal modello numerico (ore di ombreggiamento intermittente all'anno presso i diversi recettori individuati) possono, realisticamente, essere ridotti di un fattore pari al complemento a 1 del prodotto  $59,36\% \times 89,15\% = 52,92\%$ , corrispondente alla probabilità composta di avere contemporaneamente l'occorrenza di sole libero da nubi (ombre) e rotore in rotazione (vento), fenomeni, questi ultimi, stocasticamente indipendenti per cui la probabilità composta risulta pari al prodotto delle singole probabilità, ovvero **47,08 %**.

## 6 RISULTATI

Al fine di verificare la presenza e l'intensità del fenomeno dello shadow flickering indotto dal parco eolico in progetto sono state effettuate una serie di simulazioni con software dedicato che hanno tenuto conto:

- Della latitudine locale, allo scopo di considerare il corretto diagramma solare;
- Della geometria effettiva delle macchine previste, ed in particolare dell'altezza complessiva di macchina, intesa come somma tra l'altezza del mozzo ed il raggio del rotore;
- Dell'orientamento del rotore rispetto al recettore;
- Della posizione del sole e quindi della proiezione dell'ombra rispetto ai recettori;
- Dell'orografia locale, tramite un modello digitale del terreno (DTM) dell'area di installazione del parco;
- Della posizione dei possibili recettori (abitazioni), nonché degli aerogeneratori (layout di progetto).

Come sopra accennato, le simulazioni effettuate sono state condotte in condizioni conservative, assumendo il cielo completamente sgombro da nubi, foschia, ecc. e nessun ostacolo interposto tra i recettori individuati e gli aerogeneratori previsti in progetto.

Il programma effettua il calcolo delle ore del giorno in cui si potrebbe avere l'effetto del flickering sul recettore considerato, facendo la somma dei minuti in cui il fenomeno risulta presente. Effettua poi la somma teorica dei minuti di ciascun mese (worst case) che poi può essere ridotta in considerazione delle giornate soleggiate, dell'operatività effettiva dell'impianto eolico, della direzione del vento ecc... Inoltre, avendo calcolato geometricamente l'evoluzione delle ombre durante la giornata, è possibile identificare l'area in cui avviene il fenomeno dello shadow flickering per ciascun aerogeneratore. Si ottengono così i dati sinteticamente riportati nelle seguenti figure.

La frequenza dello shadow flickering è correlata alla velocità di rotazione del rotore; le frequenze tipiche per le macchine considerate nel presente progetto sono dell'ordine di 0,4-0,45 Hz (corrispondenti a 8 - 9 rpm, circa un passaggio ogni 2-2,5 secondi). In termini di impatto sulla popolazione, tali frequenze sono innocue; basti pensare che le lampade stroboscopiche, largamente impiegate nelle discoteche, producono frequenze comprese tra 5 e 10 Hz.

La tabella seguente riassume i risultati dell'analisi eseguita secondo la metodologia di calcolo descritta nelle sezioni precedenti:

Tabella 6-1: Risultati del calcolo, in rosso i recettori con più di 30 ore/anno nel caso real case

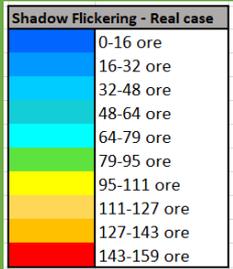
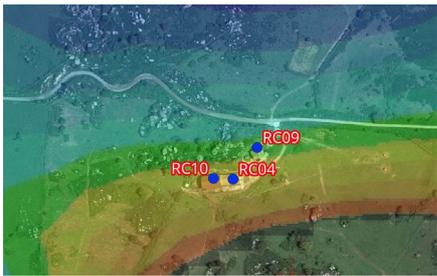
Recettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"	Caso "realistico"	Categoria catastale
	[ore/anno]	[min/giorno]	[ore/anno]	[min/giorno]	
RC01	32	27,0	16,9	14,3	D10
RC02	0	0	0	0	D10
RC03	40,3	37,2	21,3	19,7	D10
RC04	211,7	94,8	112,0	50,2	D10
RC05	28,5	34,9	15,1	18,5	D10
RC06	3,1	15,5	1,6	8,2	D10
RC07	108,3	50,4	57,3	26,7	D10
RC08	149,1	69,3	78,9	36,7	D10
RC09	169,3	82,6	89,6	43,7	A03
RC10	208	93,1	110,1	49,3	D10
RC11	18,2	29,5	9,6	15,6	D10
RC12	0	0	0	0	A04
RC13	0	0	0	0	D10
RC14	0	0	0	0	A03
RC15	0	0	0	0	D10
RC16	0	0	0	0	D10
RC17	21,4	18,9	11,3	10,0	A03
RC18	8	18,5	4,2	9,8	D10
RC19	50,9	35,5	26,9	18,8	A03
RC20	51	34,8	27,0	18,4	C03
RC21	0	0	0	0	A03
RC22	0	0	0	0	A03
RC23	0	0	0	0	A04
RC24	0	0	0	0	D10
RC25	0	0	0	0	D10
RC26	0	0	0	0	D10
RC27	20,5	22,4	10,8	11,8	A03
RC28	59,3	23,4	31,4	12,4	D10
RC29	0	0,0	0,0	0,0	D01
RC30	19,7	20,0	10,4	10,6	D10
RC31	34	24,0	18,0	12,7	D10
RC32	32,6	22,7	17,3	12,0	A03
RC33	28	23,0	14,8	12,2	D10
RC34	24,9	22,3	13,2	11,8	D10

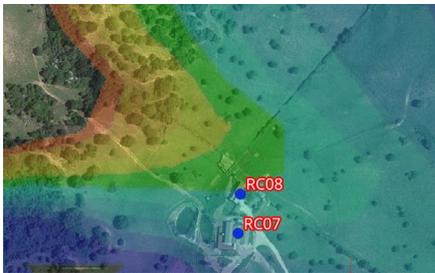
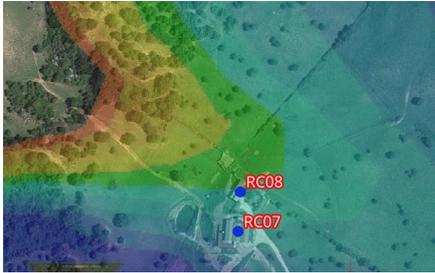
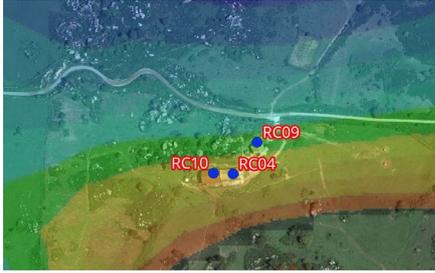
RC35	0	0	0	0	D10
RC36	0	0	0	0	A03
RC37	0	0	0	0	D10
RC38	0	0	0	0	D01
RC39	0	0	0	0	D10
RC40	242,3	83,6	128,2	44,2	D10
RC41	18,2	23,7	9,6	12,6	D10
RC42	976,2	193,9	516,6	102,6	D10
RC43	1036,2	201,9	548,4	106,8	D10
RC44	53,8	39,4	28,5	20,8	D10
RC45	0	0	0	0	D10
RC46	45,3	36,2	24,0	19,2	A03
RC47	70,4	39,5	37,3	20,9	D10
RC48	69,7	37,3	36,9	19,8	D10
RC49	36,1	36,1	19,1	19,1	D10
RC50	36,8	40,1	19,5	21,2	D10
RC51	0	0	0	0	D10
RC52	0	0	0	0	D10
RC53	0	0	0	0	D10
RC54	0	0	0	0	A03
RC55	4,8	13,1	2,5	6,9	A03
RC56	0	0	0	0	D10
RC57	0	0	0	0	A03
RC58	0	0	0	0	A03
RC59	24	20,6	12,7	10,9	D10
RC60	9,7	14,6	5,1	7,7	D10
RC61	27	21,3	14,3	11,3	D10
RC62	11,4	21,4	6,0	11,3	D10
RC63	26,1	18,0	13,8	9,5	D10
RC64	11,2	21,0	5,9	11,1	D10
RC65	33,7	30,2	17,8	16,0	D10
RC66	13,1	20,7	6,9	10,9	D10
RC67	12,6	20,4	6,7	10,8	A03
RC68	16	23,4	8,5	12,4	D10
RC69	16,9	23,6	8,9	12,5	A04
RC70	16,5	23,6	8,7	12,5	D10
RC71	0	0,0	0,0	0,0	D10

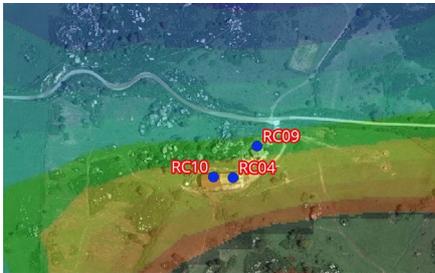
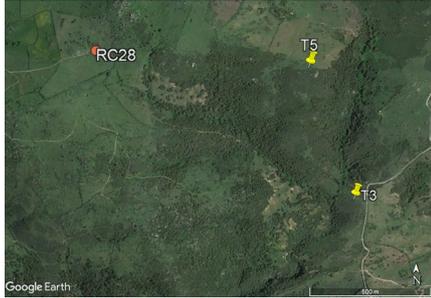
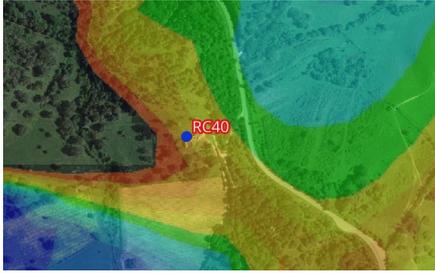
RC72	11,1	19,6	5.9	10.4	D10
RC73	21,8	27,3	11.5	14.4	D10
RC74	21,6	27,0	11.4	14.3	D10
RC75	8,6	19,8	4.6	10.5	D10
RC76	16,8	24,6	8.9	13.0	D10

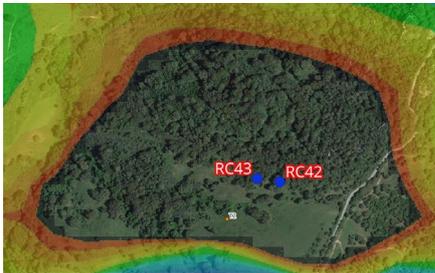
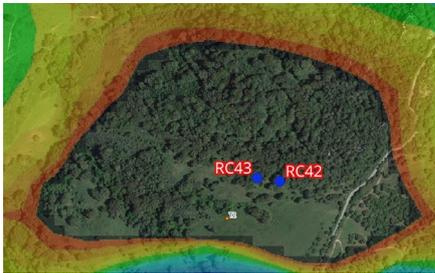
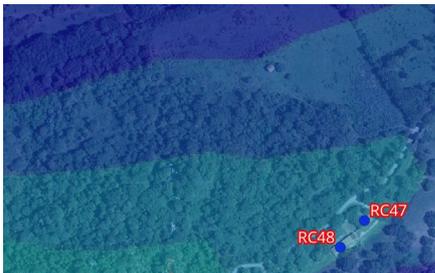
Nello specifico, la tabella precedente riporta il numero di ore e di minuti al giorno in cui è fisicamente possibile che il fenomeno si presenti (caso peggiore) e il valore realistico atteso di ore l'anno e minuti al giorno in cui il fenomeno potrebbe presentarsi. A tal proposito è importante sottolineare che anche il caso realistico, 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 fatto che il piano di rotazione delle pale non sempre risulta ortogonale alla direttrice sole-recettore e all'eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole ed il singolo recettore.

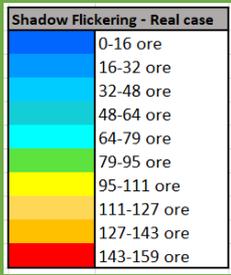
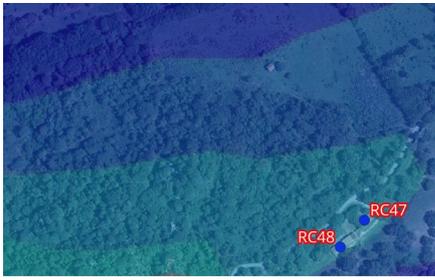
Dall'analisi della tabella si evince che, considerando il real case, dei recettori all'interno del buffer di 1700 m dagli aerogeneratori, undici fabbricati, di cui solo uno adibito ad abitazione, risultano essere soggetti al fenomeno per un numero di ore superiore a 30 nel corso dell'anno e sette di essi supera un numero di minuti giorno pari a 30. Il dettaglio dei fabbricati considerati nella presente analisi è riportato nella tavola grafica allegata alla presente relazione.

Recettore	Inquadramento recettore su ortofoto	WTG coinvolte nel fenomeno	<b>Inquadramento su carta dello Shadow Flickering (Real Case)</b>  <b>Legenda:</b> 
RC 04		T4 a circa 1470m T5 a circa 345m	

<p><b>Recettore</b></p>	<p><b>Inquadramento recettore su ortofoto</b></p>	<p><b>WTG coinvolte nel fenomeno</b></p>	<p><b>Inquadramento su carta dello Shadow Flickering (Real Case)</b></p> <p><b>Legenda:</b></p> <table border="1" data-bbox="1114 421 1345 696"> <thead> <tr> <th colspan="2">Shadow Flickering - Real case</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0-16 ore</td></tr> <tr><td>16-32 ore</td></tr> <tr><td>32-48 ore</td></tr> <tr><td>48-64 ore</td></tr> <tr><td>64-79 ore</td></tr> <tr><td>79-95 ore</td></tr> <tr><td>95-111 ore</td></tr> <tr><td>111-127 ore</td></tr> <tr><td>127-143 ore</td></tr> <tr><td>143-159 ore</td></tr> </tbody> </table>	Shadow Flickering - Real case		0-16 ore	16-32 ore	32-48 ore	48-64 ore	64-79 ore	79-95 ore	95-111 ore	111-127 ore	127-143 ore	143-159 ore
Shadow Flickering - Real case															
0-16 ore															
16-32 ore															
32-48 ore															
48-64 ore															
64-79 ore															
79-95 ore															
95-111 ore															
111-127 ore															
127-143 ore															
143-159 ore															
<p>RC 07</p>		<p>T4 a circa 430m</p>													
<p>RC 08</p>		<p>T4 a circa 420m</p>													
<p>RC 09</p>		<p>T4 a circa 1465m T5 a circa 360m</p>													

<p><b>Recettore</b></p>	<p><b>Inquadramento recettore su ortofoto</b></p>	<p><b>WTG coinvolte nel fenomeno</b></p>	<p><b>Inquadramento su carta dello Shadow Flickering (Real Case)</b></p> <p><b>Legenda:</b></p> <table border="1" data-bbox="1115 423 1345 692"> <thead> <tr> <th colspan="2">Shadow Flickering - Real case</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0-16 ore</td></tr> <tr><td>16-32 ore</td></tr> <tr><td>32-48 ore</td></tr> <tr><td>48-64 ore</td></tr> <tr><td>64-79 ore</td></tr> <tr><td>79-95 ore</td></tr> <tr><td>95-111 ore</td></tr> <tr><td>111-127 ore</td></tr> <tr><td>127-143 ore</td></tr> <tr><td>143-159 ore</td></tr> </tbody> </table>	Shadow Flickering - Real case		0-16 ore	16-32 ore	32-48 ore	48-64 ore	64-79 ore	79-95 ore	95-111 ore	111-127 ore	127-143 ore	143-159 ore
Shadow Flickering - Real case															
0-16 ore															
16-32 ore															
32-48 ore															
48-64 ore															
64-79 ore															
79-95 ore															
95-111 ore															
111-127 ore															
127-143 ore															
143-159 ore															
<p>RC 10</p>		<p>T4 a circa 1490m T5 a circa 355m</p>													
<p>RC 28</p>		<p>T3 a circa 1150m T5 a circa 795m</p>													
<p>RC 40</p>		<p>T1 a circa 375m T2 a circa 795m</p>													

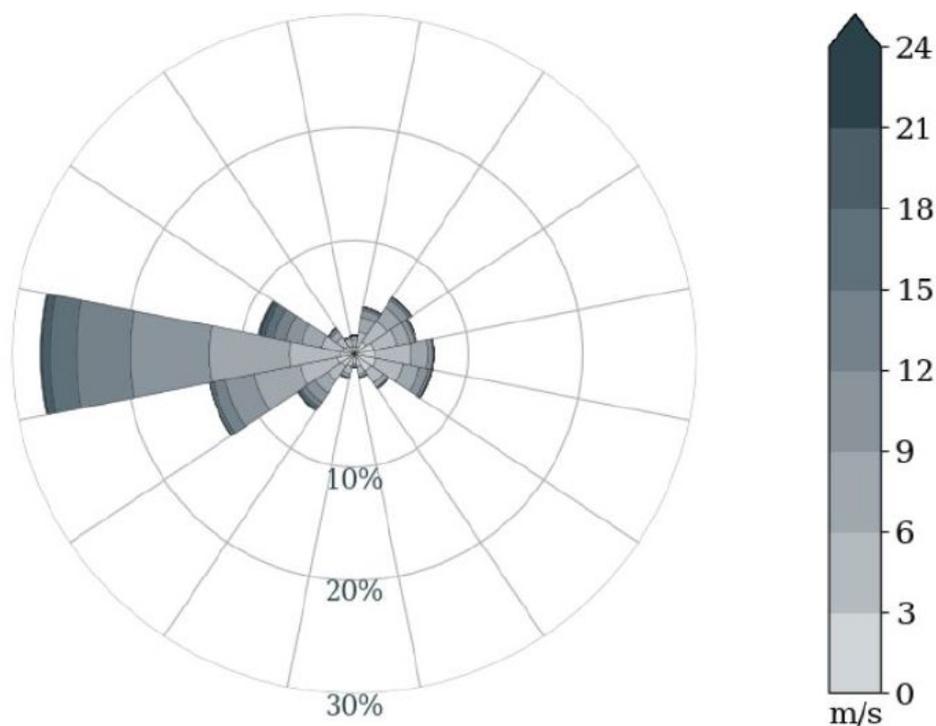
<p><b>Recettore</b></p>	<p><b>Inquadratura recettore su ortofoto</b></p>	<p><b>WTG coinvolte nel fenomeno</b></p>	<p><b>Inquadratura su carta dello Shadow Flickering (Real Case)</b></p> <p><b>Legenda:</b></p> <table border="1" data-bbox="1114 421 1345 689"> <thead> <tr> <th colspan="2">Shadow Flickering - Real case</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0-16 ore</td></tr> <tr><td>16-32 ore</td></tr> <tr><td>32-48 ore</td></tr> <tr><td>48-64 ore</td></tr> <tr><td>64-79 ore</td></tr> <tr><td>79-95 ore</td></tr> <tr><td>95-111 ore</td></tr> <tr><td>111-127 ore</td></tr> <tr><td>127-143 ore</td></tr> <tr><td>143-159 ore</td></tr> </tbody> </table>	Shadow Flickering - Real case		0-16 ore	16-32 ore	32-48 ore	48-64 ore	64-79 ore	79-95 ore	95-111 ore	111-127 ore	127-143 ore	143-159 ore
Shadow Flickering - Real case															
0-16 ore															
16-32 ore															
32-48 ore															
48-64 ore															
64-79 ore															
79-95 ore															
95-111 ore															
111-127 ore															
127-143 ore															
143-159 ore															
<p>RC 42 (ore/anno &gt;159)</p>		<p>T2 a circa 80m</p>													
<p>RC 43 (ore/anno &gt;159)</p>		<p>T2 a circa 90m</p>													
<p>RC 47</p>		<p>T2 a circa 770m</p>													

Recettore	Inquadramento recettore su ortofoto	WTG coinvolte nel fenomeno	Inquadramento su carta dello Shadow Flickering (Real Case)  Legenda: 
RC48		T2 a circa 735m	

L'effetto si può considerare minore, sulla base della seguente considerazione.

Se si considera il grafico della frequenza relativa alla direzione di provenienza del vento (figura successiva) si evince che i risultati sopra riportati possono essere ridotti, per i recettori più esposti, ovvero posizionati lungo la direttrice prevalente del vento, di almeno un ulteriore 67%, dal momento che la direzione prevalente del vento risulta essere quella **ovest-est** (ovest 27% circa, est 6% circa). Alla luce di ciò, l'effetto si riduce ulteriormente diventando assolutamente trascurabile. Tuttavia, i fabbricati RC 04, RC 10, RC 40, RC 42 e RC43 risultano essere soggetti al fenomeno dello shadow flickering per più di 30 ore annue:

- **RC 04:** 37,0 h/anno, 16,6 min/giorno;
- **RC 10:** 36,3 h/anno, 16,3 min/giorno;
- **RC 40:** 42,3 h/anno, 14,6 min/giorno;
- **RC 42:** 170,5 h/anno, 33,9 min/giorno;
- **RC 43:** 181,0 h/anno, 35,3 min/giorno.



**Figura 6-1: Frequenza della direzione del vento del sito**

A seguito di quanto descritto nelle sezioni precedenti si può concludere che, pur considerando una stima cautelativa in quanto non si è tenuto conto dell'eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole e i recettori considerati, il fenomeno dello shadow flickering si verifica per oltre 30 ore l'anno in corrispondenza di soli 5 recettori (RC 04, RC 10, RC 40, RC 42 e RC43), aventi categoria catastale D10. Essi non sono quindi abitazioni e, ad eccezione dei recettori RC42 ed RC 43, sono caratterizzati da un valore atteso di ore annue di poco superiori a 30.

Per quanto riguarda i recettori RC 40, RC 42 e RC 43, da risultanze dei sopralluoghi e da immagine ortofoto (Figura 6-2, Figura 6-3) risulta che essi sono circondati da alberi che fungono da ostacolo alla diffusione dello shadow flickering, limitandone così l'influenza reale.



**Figura 6-2: Inquadramento dei recettori RC 40**



**Figura 6-3: Inquadramento dei recettori RC 42 e RC 43**

Inoltre, si rammenta che si tratta di fenomeni:

- Limitati nello spazio, in quanto relativi solo ad un edificio;

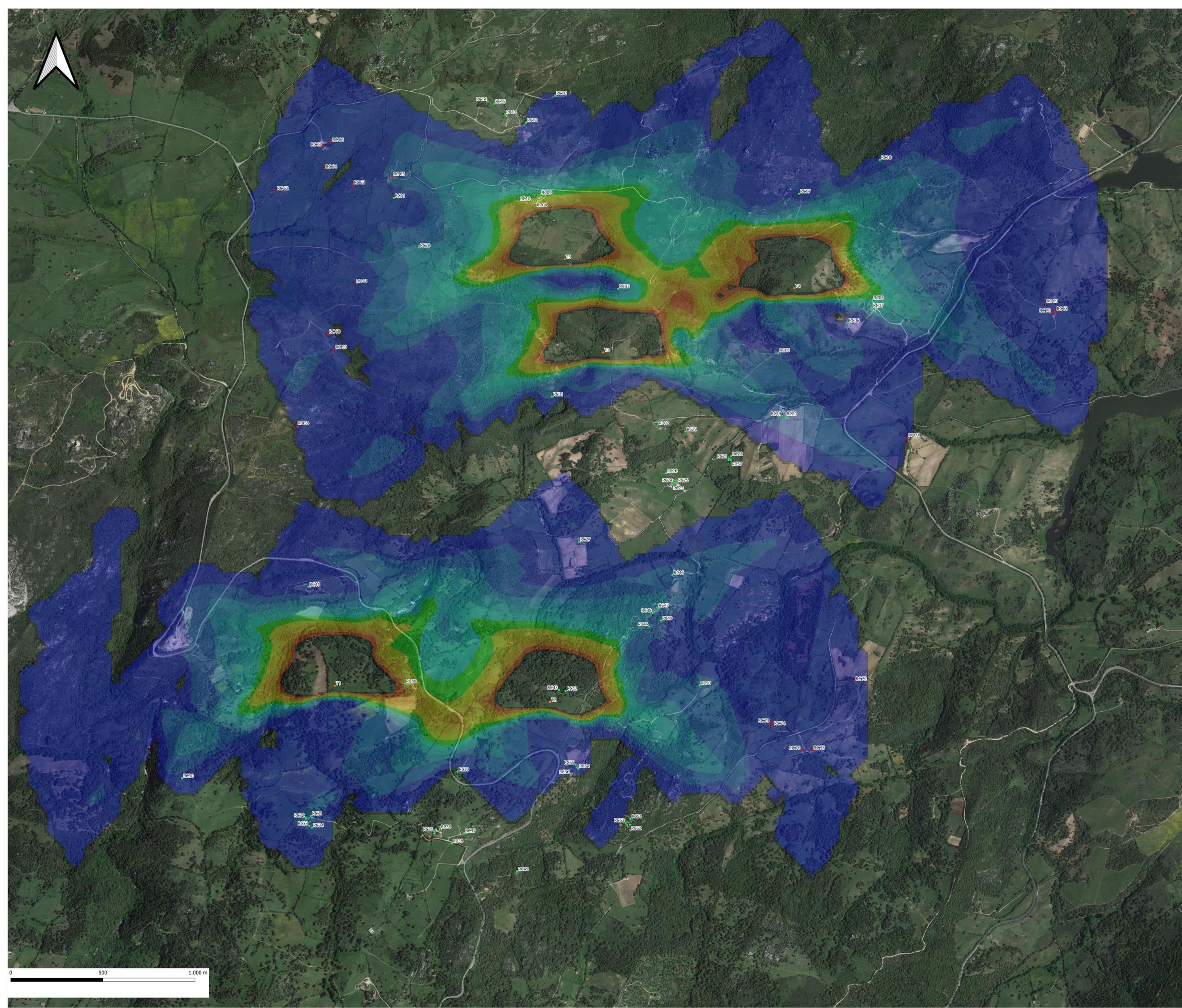
- Episodici durante l'anno e localizzati all'alba o al tramonto;
- Di breve durata nel corso della giornata, in quanto l'edificio è interessato solo per un breve periodo;
- Limitati come intensità, dal momento che la luce del sole, in condizioni di alba o tramonto, risulta di intensità modesta e, quindi, è modesta anche la variazione dovuta allo shadow flickering.

Va altresì sottolineato che:

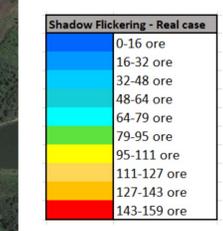
- La velocità di rotazione dell'aerogeneratore di progetto è dell'ordine di 8/9 rotazioni al minuto, quindi nettamente inferiore a 60 rpm, frequenza massima raccomandata al fine di ridurre al minimo i fastidi e soddisfare le condizioni di benessere.
- Le distanze reciproche tra generatori eolici e recettori, le condizioni orografiche del sito considerato, determinano la quasi totale assenza del fenomeno in esame. In aggiunta, il fenomeno si manifesta su un numero limitatissimo di recettori per lo più quando il sole presenta un'altezza inferiore ai 20° sull'orizzonte, pertanto può ritenersi trascurabile, per l'elevata intensità della radiazione diffusa rispetto a quella diretta.

## 7 ALLEGATI

Il dettaglio dei fabbricati considerati nella presente analisi è riportato nella tavola grafica (real case) allegata alla presente relazione.



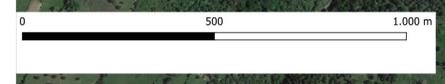
- Legenda**
- Aerogeneratori di progetto
  - Recettori considerati in una distanza di 1000m dagli aerogeneratori
  - Recettori considerati in una distanza tra 1000m e 1700m dagli aerogeneratori



Progetto per la costruzione e l'esercizio di un Impianto eolico denominato "Luras"

Oggetto:  
  
LUR.73 - Carta dello shadow Flickering

<p><b>Proponente:</b></p> <p>LURAS Windfarm Srl Via Dante n.7 - 20123 Milano (MI)</p>	<p><b>Progettista:</b></p> <p>Stantec S.p.A. Centro Direzionale Milano 2 Palazzo Canova - 20090 Segrate (Milano) Tel: +39 02 94257420 www.stantec.com</p>
---	---



01	PRIMA EMISSIONE	M. Corvino	S. Bossi	F. Polverelli	15/12/2023
Revisione	Decisione	Redatto	Controllato	Approvato	Data
Fase del Progetto: Definitiva		Formato: A0		Scala: 1:6500	