



Engineering & Construction



GRE CODE

GRE.EEC.R.26.IT.W.17279.00.018.00

PAGE

1 di/of 21

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

IMPIANTO EOLICO GREENFIELD "SANLURI-SARDARA"

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione sugli effetti shadow-flickering

File: GRE.EEC.R.26.IT.W.17279.00.018.00 - Relazione sugli effetti shadow-flickering.docx

00	01/07/2022	Prima emissione	M. Carnevale	G. Alfano	P. Polinelli
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED

GRE VALIDATION

		G. Alfano
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT Sanluri-Sardara	GRE CODE																		
	GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT			SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION							
	GRE	EEC	R	2	6	I	T	W	1	7	2	7	9	0	0	0	1	8	0
CLASSIFICATION	PUBLIC				UTILIZATION SCOPE	BASIC DESIGN													

This document is property of Enel Green Power Spa. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power Spa.

INDEX

1. INTRODUZIONE	3
1.1. DESCRIZIONE DEL PROPONENTE	3
1.2. CONTENUTI DELLA RELAZIONE	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	3
3. IL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKERING	6
4. NORME DI RIFERIMENTO	8
5. INDIVIDUAZIONE DEI RECETTORI.....	9
6. MODELLO DI CALCOLO	11
7. RISULTATI	13
8. ALLEGATO	21

1. INTRODUZIONE

Stantec S.p.A., in qualità di Consulente Tecnico, è stata incaricata da Marte Srl di redigere il progetto definitivo per la costruzione di un nuovo impianto eolico denominato "Sanluri-Sardara" ubicato nei comuni di Sardara, Sanluri e Villanovaforru, che si trovano in provincia di Sud Sardegna.

Il progetto proposto prevede l'installazione di 12 nuove turbine eoliche ciascuna di potenza nominale fino a 6 MW, in linea con gli standard più alti presenti sul mercato, per una potenza installata totale fino a 72 MW.

L'energia prodotta dagli aerogeneratori, attraverso il sistema di cavidotti interrati in media tensione, verrà convogliata ad una stazione di trasformazione 33/150 kV di nuova realizzazione, all'interno del comune di Sanluri, e poi da qui convogliata alla futura Stazione Elettrica (SE) a 380/150 kV della RTN da inserire in entra - esce alla linea RTN a 380 kV "Ittiri - Selargius", situata nel comune di Sanluri.

In aggiunta alla stessa sottostazione sarà connesso un sistema di accumulo elettrochimico BESS (Battery Energy Storage System) da 35 MW, per un totale di capacità di stoccaggio pari a 280 MWh.

Il progetto è in linea con gli obiettivi nazionali ed europei per la riduzione delle emissioni di CO₂, legate a processi di produzione di energia elettrica.

1.1. DESCRIZIONE DEL PROPONENTE

Marte Srl., in qualità di soggetto proponente del progetto, è una società del Gruppo Enel che si occupa dello sviluppo e della gestione delle attività di generazione di energia da fonti rinnovabili facente capo a Enel Green Power Spa.

Il Gruppo Enel, tramite la controllata Enel Green Power Spa, è presente in 28 Paesi nei 5 continenti con una capacità gestita di oltre 46 GW e più di 1200 impianti.

In Italia, il parco di generazione di Enel Green Power è rappresentato dalle seguenti tecnologie rinnovabili: idroelettrico, eolico, fotovoltaico, geotermia. Attualmente nel Paese conta una capacità gestita complessiva di oltre 14 GW.

1.2. 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 fornisce una descrizione dell'inquadramento territoriale e geografico dell'impianto oggetto di integrale ricostruzione.

Il Capitolo 3 illustra il fenomeno dello "shadow flickering" prodotto dagli aerogeneratori.

Il Capitolo 4 fornisce un breve quadro normativo di riferimento.

Il Capitolo 5 elenca i recettori sensibili che sono stati identificati nell'area di indagine.

Il Capitolo 6 descrive la metodologia che è stata utilizzata per valutare l'effetto dello "shadow flickering" e valutare il suo impatto sui recettori individuati.

Il Capitolo 7 presenta i risultati del calcolo valutandone l'impatto.

Infine, il Capitolo 8 mostra la tavola grafica dei fabbricati considerati nella presente analisi.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il sito si trova nella provincia di Sud Sardegna ed interessa il territorio dei comuni di Villanovaforru, Sardara e Sanluri.

L'area è identificata dalle seguenti coordinate geografiche:

- Latitudine: 39°35'49,84"N
- Longitudine: 8°52'32,16"E

L'impianto in progetto ricade all'interno dei seguenti fogli catastali:

- Comune di Sanluri: n° 1, n° 2, n° 3, n° 4, n° 5, n° 7, n° 8, n° 11, n° 12, n° 13, n° 14, n° 19
- Comune di Sardara: n° 31, n° 43, n° 44, n° 45, n° 46, n° 58, n° 59
- Comune di Villanovaforru: n° 14, n° 15, n° 16

L'area di progetto ricade all'interno dei fogli I.G.M. in scala 1:25.000 codificati 225-I-NE, denominato "Lunamatrona" e 225-I-SE denominato "Sanluri".

Di seguito è riportato l'inquadramento territoriale dell'area di progetto e la posizione degli aerogeneratori su ortofoto.



Figura 2-1: Inquadramento generale dell'area di progetto

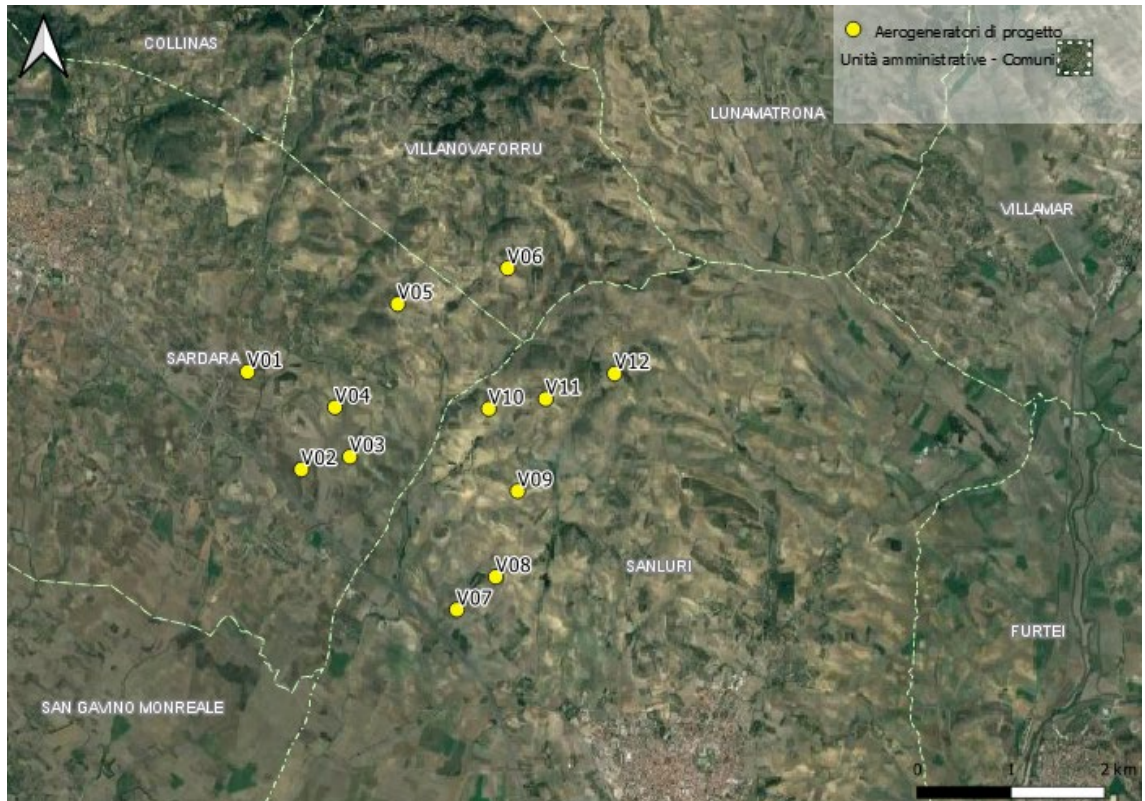


Figura 2-2: Configurazione proposta su ortofoto

Si riporta invece in formato tabellare un dettaglio sulla localizzazione delle WTG di nuova costruzione, in coordinate WGS84 UTM fuso 33 N:

Tabella 1: Coordinate aerogeneratori

ID	Comune	Est [m]	Nord [m]	Altitudine [m s.l.m.]
V01	Sardara	486748	4383451	160
V02	Sardara	487322	4382411	160
V03	Sardara	487838	4382546	186
V04	Sardara	487680	4383073	193
V05	Sardara	488349	4384173	265
V06	Villanovaforru	489520	4384555	287
V07	Sanluri	488979	4380917	157
V08	Sanluri	489393	4381267	187
V09	Sanluri	489627	4382180	229
V10	Sanluri	489319	4383057	236
V11	Sanluri	489926	4383162	283
V12	Sanluri	490660	4383432	297

3. 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 allorché 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.

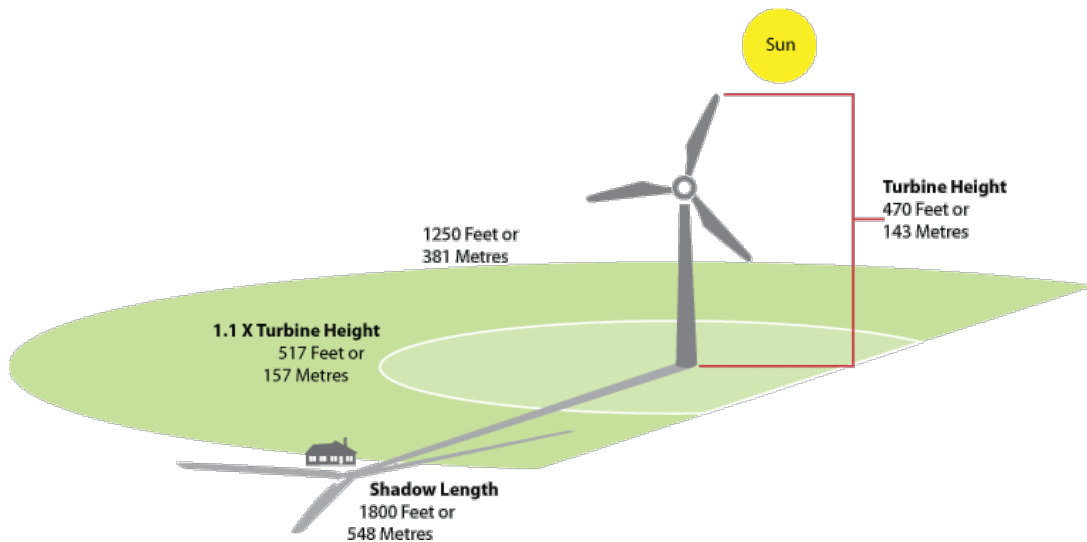


Figura 3-1: rappresentazione schematica

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 finestre 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.

4. 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 Länder 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.

5. 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 (Diametro 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.

Sono stati individuati tutti i recettori sensibili nell'intorno dei 1000 m (distanza dagli aerogeneratori) e i recettori sensibili più influenzati dall'effetto shadow flickering tra i 1000 e i 1700 m.

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno degli edifici, esso risulta evidente e potenzialmente fastidioso in quegli ambienti con finestre 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 2: recettori considerati

Recettore	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria catastale	Comune
	Est	Nord		
RC-011	490465	4384135	F3	Sanluri
RC-022	490223	4382169	D10	Sanluri
RC-023	490240	4382156	D10	Sanluri
RC-024	490267	4382157	D10	Sanluri
RC-027	490293	4381055	D10	Sanluri
RC-028	489075	4382576	A3	Sanluri
RC-029	489031	4382483	A3	Sanluri
RC-030	489001	4382407	A3	Sanluri
RC-031	488973	4382361	A3	Sanluri
RC-034	487748	4382014	D10	Sardara
RC-035	487069	4383054	A2	Sardara
RC-037	488197	4383060	D10	Sardara

RC-038	488144	4383104	F3	Sardara
RC-039	488314	4383304	D10	Sardara
RC-041	488887	4383865	D10	Sardara
RC-042	488912	4383795	D10	Sardara
RC-052	488766	4385034	D1	Villanovaforru
RC-056	489698	4385500	A3	Villanovaforru
RC-076	489957	4380658	D10	Sanluri
RC-077	489363	4380636	F6	Sanluri
RC-085	486503	4382713	A4	Sardara
RC-090	489571	4380141	A2	Sanluri
RC-112	490109	4384800	A4	Villanova Forru
RC-132	486245	4382865	A3	Sardara
RC-134	486163	4382874	D10	Sardara
RC-136	486185	4382831	D10	Sardara
RC-140	486958	4383612	D1	Sardana
RC-143	492007	4382972	A3	Sanluri
RC-144	491921	4383060	D10	Sanluri
RC-145	491980	4383063	D10	Sanluri
RC-146	490709	4381746	A2	Sanluri
RC-148	490440	4381136	A7	Sanluri
RC-149	490467	4381047	A2	Sanluri
RC-150	490511	4380780	A2	Sanluri
RC-151	490570	4380682	A2	Sanluri
RC-152	490623	4380639	F3	Sanluri
RC-153	490596	4380625	A2	Sanluri
RC-154	487927	4381033	F4	Sanluri
RC-158	487972	4381386	A4	Sanluri
RC-159	491981	4383044	D10	Sanluri

6. 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 così detto "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^{1, 2}, 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 (rotore in moto), i valori calcolati dal modello (considerando la 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 86,08% delle ore anno, ovvero 7540 ore; in altri termini, la probabilità che il rotore di un aerogeneratore risulti in movimento è appunto dell'ordine del 86,08% (pari al rapporto $7540 / 8760$).

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 $86,08 \% \times 59,36 \% = 51,09 \%$, corrispondente alla probabilità composta di avere contemporaneamente l'occorrenza di rotore in rotazione (vento) e sole libero da nubi (ombre), fenomeni, questi ultimi, stocasticamente indipendenti per cui la probabilità composta risulta pari al prodotto delle singole probabilità, ovvero **48,91 %**.

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

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

7. 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 3: risultati del calcolo, in rosso i recettori con più di 30 ore/anno nel real case

Recettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"	Caso "realistico"	Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	[min/giorno]	
RC-011	49,9	36,1	25,5	18,4	F3
RC-022	83,9	51,4	42,9	26,2	D10
RC-023	81,4	50,4	41,6	25,7	D10
RC-024	74	48,3	37,8	24,7	D10
RC-027	61,8	30,9	31,6	15,8	D10
RC-028	91,6	35,0	46,8	17,9	A3
RC-029	118,1	34,4	60,3	17,6	A3

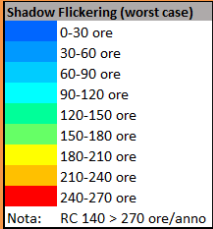




RC-030	118,4	35,5	60,5	18,1	A3
RC-031	106	36,1	54,2	18,5	A3
RC-034	0	0,0	0,0	0,0	D10
RC-035	131,6	40,1	67,2	20,5	A2
RC-037	214,6	65,0	109,6	33,2	D10
RC-038	178,2	66,0	91,1	33,7	F3
RC-039	111,9	50,1	57,2	25,6	D10
RC-041	65,8	40,7	33,6	20,8	D10
RC-042	42	26,0	21,5	13,3	D10
RC-052	64,6	37,6	33,0	19,2	D1
RC-056	0	0,0	0,0	0,0	A3
RC-076	41,2	32,5	21,1	16,6	D10
RC-077	0	0,0	0,0	0,0	F6
RC-085	90,1	31,4	46,0	16,1	A4
RC-090	0	0,0	0,0	0,0	A2
RC-112	72,1	48,6	36,8	24,8	A4
RC-132	52,8	24,6	27,0	12,5	A3
RC-134	36	24,5	18,4	12,5	D10
RC-136	48,3	24,0	24,7	12,2	D10
RC-140	423,9	83,9	216,6	42,9	D1
RC-143	36,7	23,4	18,8	12,0	A3
RC-144	31,1	25,2	15,9	12,9	D10
RC-145	25,8	25,0	13,2	12,8	D10
RC-146	67,4	29,1	34,4	14,9	A2
RC-148	41	26,5	20,9	13,5	A7
RC-149	42,3	26,4	21,6	13,5	A2
RC-150	57,7	29,1	29,5	14,9	A2
RC-151	41,6	25,2	21,3	12,9	A2
RC-152	34,5	23,8	17,6	12,2	F3

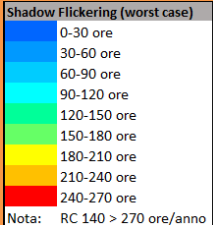


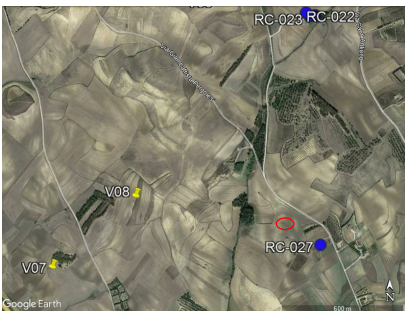

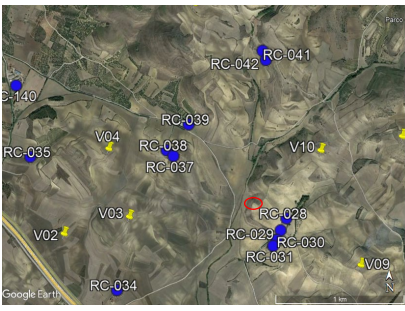

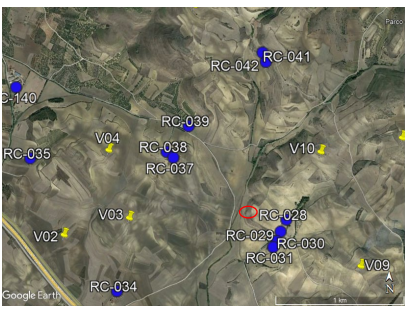

RC-153	29,8	21,8	15,2	11,1	A2
RC-154	41,1	27,1	21,0	13,8	F4
RC-158	43,1	27,5	22,0	14,1	A4
RC-159	27,2	24,7	13,9	12,6	D10

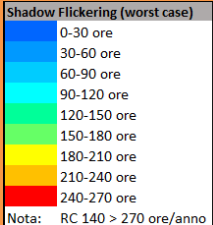


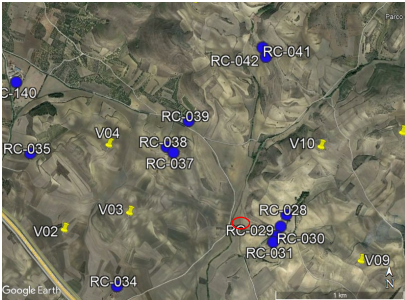



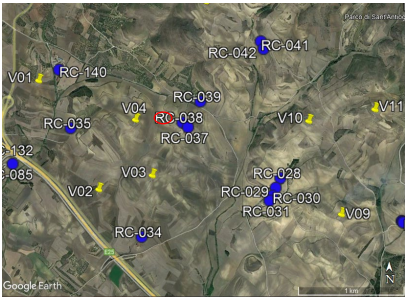

Nello specifico, la tabella precedente riporta il numero di giorni e di ore in cui è fisicamente possibile che il fenomeno si presenti (caso peggiore) e il valore realistico atteso di ore l'anno in cui il fenomeno potrebbe presentarsi. A tal proposito è importante sottolineare che anche il caso realistico, 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.

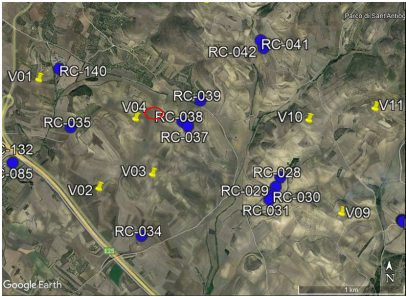

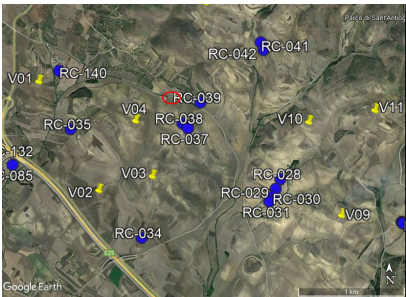

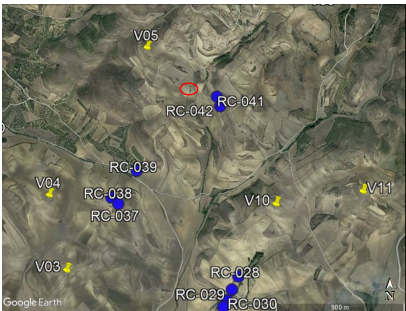



Dall'analisi della tabella si evince che, dei recettori considerati nel buffer di 1700 m dagli aerogeneratori, diciotto fabbricati considerati risultano essere soggetti al fenomeno per un numero di ore superiore a 30 nel corso dell'anno, e solo tre di essi superano un numero di minuti giorno pari a 30.

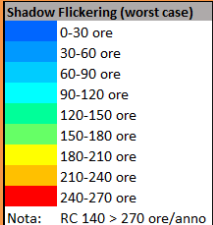




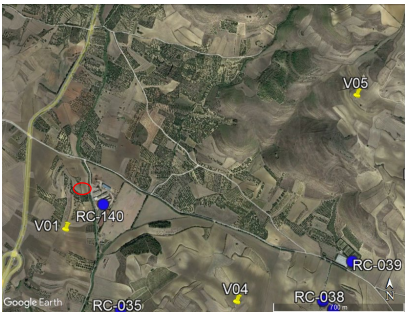

Il dettaglio dei fabbricati considerati nella presente analisi è riportato nella tavola grafica allegata alla presente relazione.

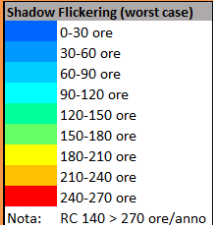

Recettore	Inquadramento recettore su ortofoto	WTG coinvolte nel fenomeno	<p>Inquadramento su carta dello Shadow Flickering (Worst case)</p>  <p>Legenda: Nota: RC 140 > 270 ore/anno</p>
RC-022		V09 a circa 590m	
RC-023		V09 a circa 600m	

Recettore	Inquadramento recettore su ortofoto	WTG coinvolte nel fenomeno	<p>Inquadramento su carta dello Shadow Flickering (Worst case)</p>  <p>Legenda: Nota: RC 140 > 270 ore/anno</p>
RC-024		V09 a circa 635m	
RC-027		V07 a circa 1320m V08 a circa 930m	
RC-028		V03 a circa 1230m V04 a circa 1480m V09 a circa 680m	
RC-029		V03 a circa 1190m V04 a circa 1470m V09 a circa 670m	

Recettore	Inquadramento recettore su ortofoto	WTG coinvolte nel fenomeno	<p>Inquadramento su carta dello Shadow Flickering (Worst case)</p>  <p>Legenda: Nota: RC 140 > 270 ore/anno</p>
RC-030		<p>V02 a circa 1670m V03 a circa 1170m V04 a circa 1470m V09 a circa 675m</p>	
RC-031		<p>V02 a circa 1650m V03 a circa 1150m V04 a circa 1475m V09 a circa 680m</p>	
RC-035		<p>V03 a circa 920m V04 a circa 610m</p>	
RC-037		<p>V01 a circa 1505m V02 a circa 1085m V03 a circa 620m V04 a circa 510m V09 a circa 1675m V10 a circa 1130m</p>	

Recettore	Inquadramento recettore su ortofoto	WTG coinvolte nel fenomeno	Inquadramento su carta dello Shadow Flickering (Worst case) <div data-bbox="1161 421 1374 645"> <p>Shadow Flickering (worst case)</p> <table border="1"> <tr><td>0-30 ore</td></tr> <tr><td>30-60 ore</td></tr> <tr><td>60-90 ore</td></tr> <tr><td>90-120 ore</td></tr> <tr><td>120-150 ore</td></tr> <tr><td>150-180 ore</td></tr> <tr><td>180-210 ore</td></tr> <tr><td>210-240 ore</td></tr> <tr><td>240-270 ore</td></tr> </table> </div> <p>Legenda: Nota: RC 140 > 270 ore/anno</p>	0-30 ore	30-60 ore	60-90 ore	90-120 ore	120-150 ore	150-180 ore	180-210 ore	210-240 ore	240-270 ore
0-30 ore												
30-60 ore												
60-90 ore												
90-120 ore												
120-150 ore												
150-180 ore												
180-210 ore												
210-240 ore												
240-270 ore												
RC-038		<p>V01 a circa 1445m</p> <p>V02 a circa 1080m</p> <p>V04 a circa 450m</p> <p>V10 a circa 1175m</p>										
RC-039		<p>V01 a circa 1580m</p> <p>V04 a circa 685m</p> <p>V10 a circa 1035m</p> <p>V11 a circa 1611m</p>										
RC-041		<p>V04 a circa 1450m</p> <p>V11 a circa 1255m</p>										
RC-052		<p>V06 a circa 895m</p>										

Recettore	Inquadramento recettore su ortofoto	WTG coinvolte nel fenomeno	<p>Inquadramento su carta dello Shadow Flickering (Worst case)</p>  <p>Legenda: Nota: RC 140 > 270 ore/anno</p>
RC-085		<p>V02 a circa 870m V03 a circa 1340m V04 a circa 1240m</p>	
RC-112		<p>V06 a circa 620m</p>	
RC-140		<p>V01 a circa 250m V04 a circa 900m V05 a circa 1500m</p>	

Recettore	Inquadramento recettore su ortofoto	WTG coinvolte nel fenomeno	Inquadramento su carta dello Shadow Flickering (Worst case)  Legenda: Nota: RC 140 > 270 ore/anno
RC-146		V08 a circa 1400m V09 a circa 1170m	

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

Se si considera il grafico della frequenza relativa alla direzione di provenienza del vento (figura successiva) per la torre anemometrica del parco eolico in oggetto 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 74%, dal momento che le direzioni prevalenti del vento risultano essere quella nord ovest (14% circa) e quella nord (12% circa). Alla luce di ciò, l'effetto si riduce ulteriormente diventando trascurabile. Tuttavia, risulta che l'edificio RC 140 (categoria catastale D1) risulta essere soggetto al fenomeno dello shadow flickering per più di 30 ore annue (56,3 h/anno e 11,2 min/giorno).

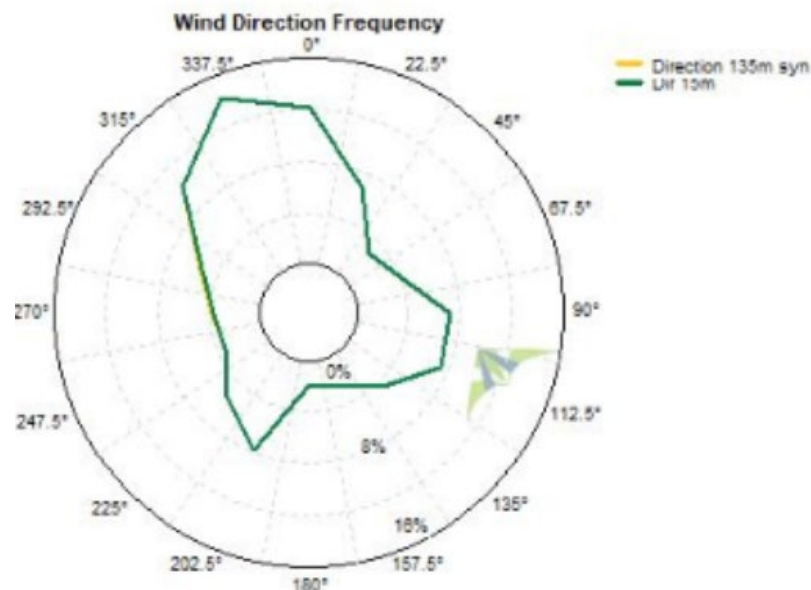


Figura 7-1: Frequenza della direzione del vento per la torre anemometrica "Cozzo Colla"

Dalla Figura 7-2 si può notare il periodo dell'anno e del giorno in cui il recettore RC 140 è influenzato dallo shadow flickering. Esso avviene per lo più in un periodo di tempo limitato durante il giorno, il mattino presto e il tardo pomeriggio nel periodo invernale, caratterizzati

quindi da una intensità luminosa modesta.

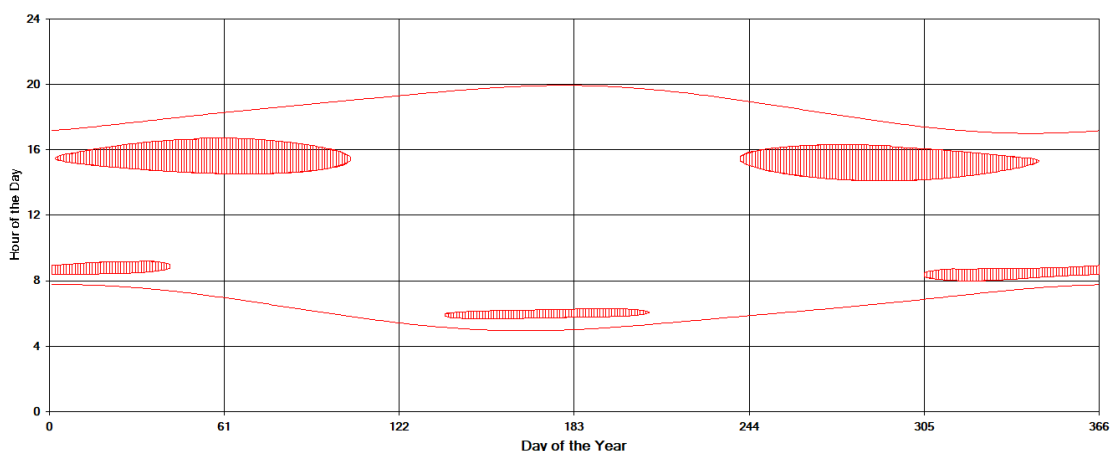


Figura 7-2: Periodo di tempo di Shadow flickering per il recettore RC 140

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 non si verifica per oltre 30 ore l'anno in corrispondenza della maggior parte delle abitazioni. Il recettore RC 140 risulta comunque influenzato dal fenomeno dello shadow flickering.

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:

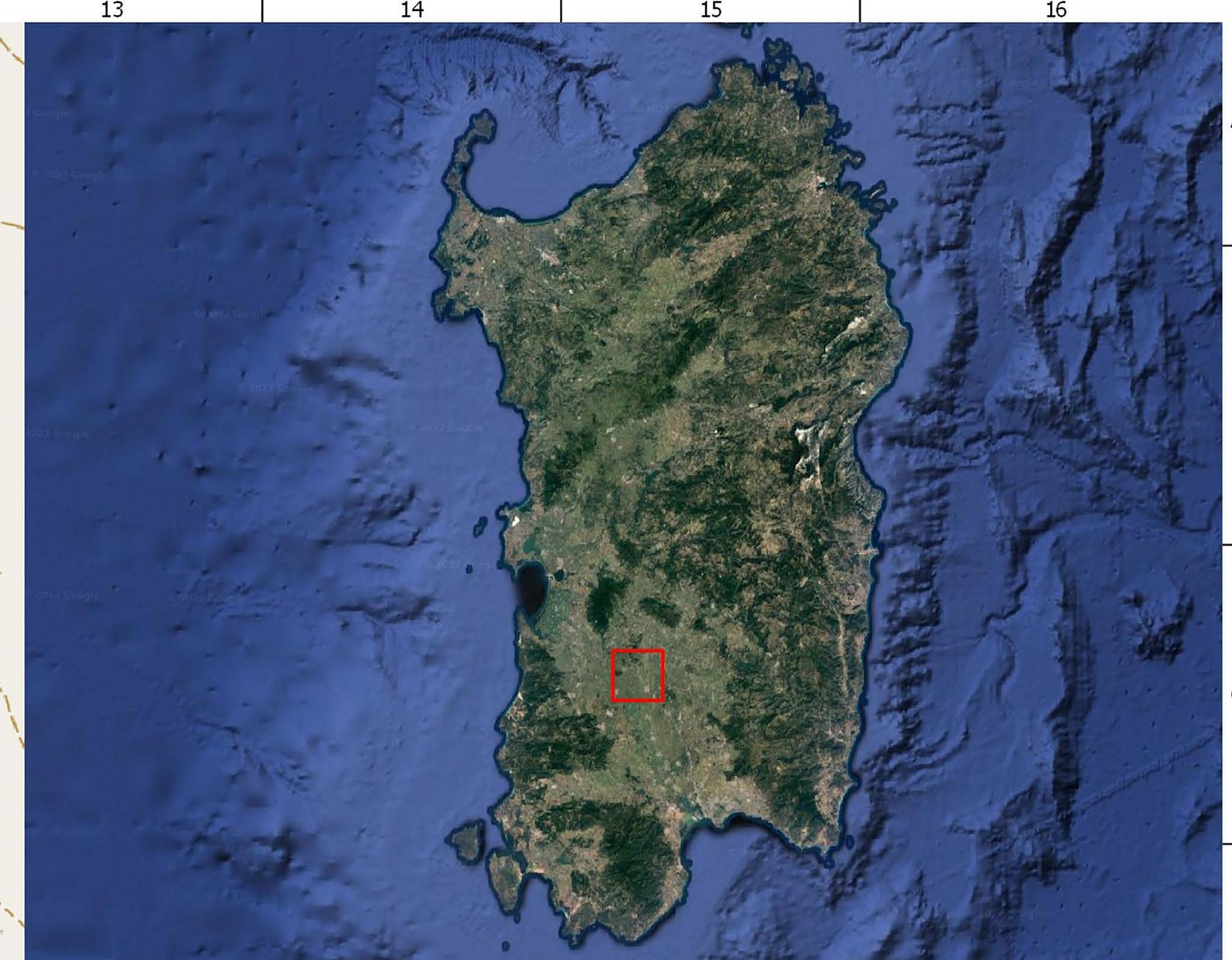
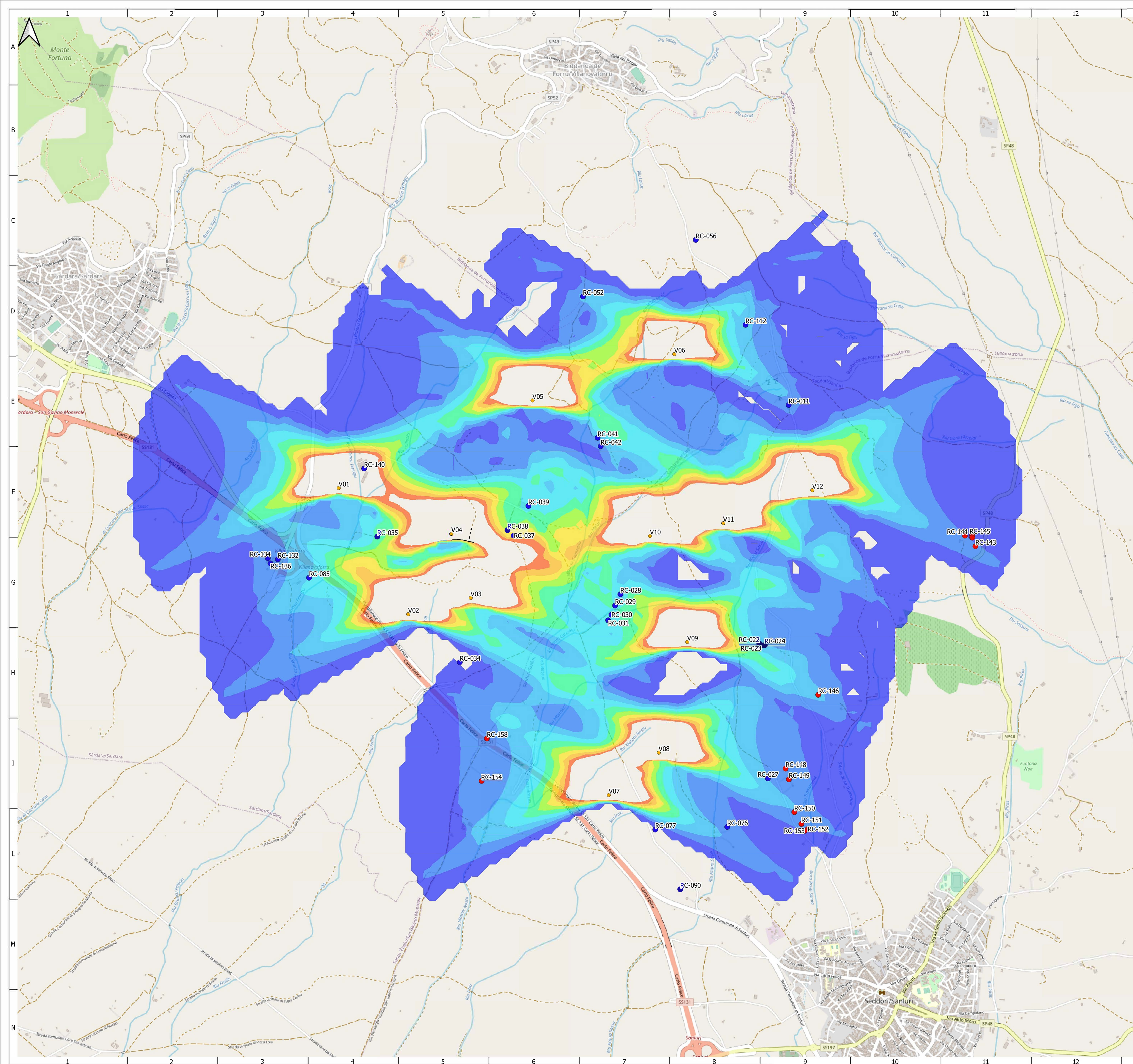
- La velocità di rotazione dell'aerogeneratore di progetto è dell'ordine di 8/9 rotazioni al minuto, quindi nettamente inferiore a 60 rpm, frequenza massima raccomandata al fine di ridurre al minimo i fastidi e soddisfare le condizioni di benessere.

Le distanze reciproche tra generatori eolici e recettori, le condizioni orografiche del sito considerato, determinano la pressoché totale assenza del fenomeno in esame. In aggiunta, il fenomeno si manifesta su un numero limitatissimo di recettori esclusivamente 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.

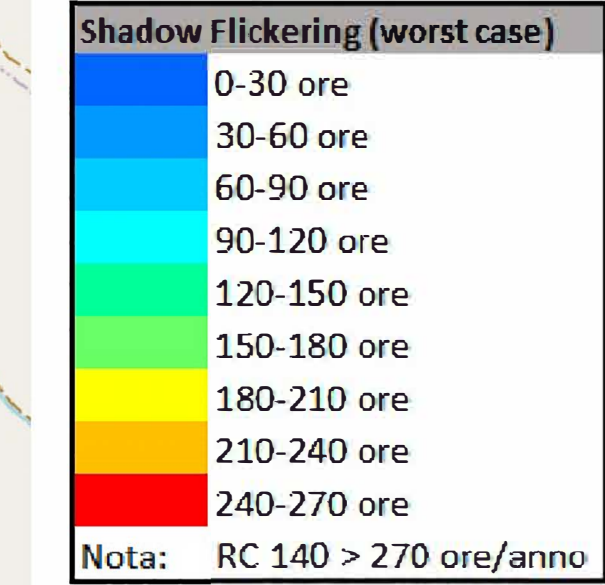
È comunque utile sottolineare che, a vantaggio di sicurezza, le simulazioni effettuate sono state eseguite in condizioni **non realistiche**, ipotizzando che si verificano contemporaneamente le condizioni **più sfavorevoli** per un determinato recettore potenzialmente soggetto a shadow flickering, ovvero concomitanza dei seguenti fattori: assenza di nuvole o nebbia, rotore frontale ai recettori, rotore in movimento continuo, assenza di ostacoli, luce diretta. Pertanto, si sottolinea che i risultati presentati rappresentano il caso peggiore in cui si verificano i fattori sopra esposti in concomitanza per cui è ragionevole ritenere che tale fenomeno possa essere difficilmente percepito nelle condizioni reali.

8. ALLEGATO

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



- Aerogeneratori di progetto
- Recettori sensibili- entro 1000 m
- Recettori sensibili - tra 1000 m e 1700 m



00	01/07/2022	Prima Emissione	M. Carnevale	G. Alfano	P. Polinelli
REV	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	CHECKED	APPROVED
PROJECT		IMPIANTO EOLICO GREENFIELD "SANTURI-SARDARA"			
FILE NAME		GRE.EEC.R.26.ITW.17279.00.018.00 - Tavola sugli effetti shadow-flickering			
CLASSIFICATION	PUBLIC	FORMA	A1	SCALE	1:15.000
UTILIZATION SCOPE	BASIC DESIGN		TITLE	Tavola sugli effetti shadow-flickering	
EGP VALIDATION		EGP CODE			
VALIDATED BY	G. Alfano				
VERIFIED BY					
COLLABORATORS		GREEC R26 ITW172790001800			