

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

# IMPIANTO EOLICO "CALTAVUTURO ESTENSIONE"

## PROGETTO DEFINITIVO

### Studio evoluzione ombra (Shadow Flickering)

File: GRE.EEC.K.73.IT.W.14362.05.029.01 - Studio evoluzione ombra (Shadow Flickering).docx

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
01	19/02/2021	<i>Integrati commenti</i>	G.Manzi	D. Gradogna	P. Polinelli
00	12/02/2021	<i>Prima emissione</i>	G.Manzi	D. Gradogna	L. Lavazza

#### GRE VALIDATION

	<i>Lenci (GRE)</i>	<i>Iaciofano (GRE)</i>
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT <b>Caltavuturo Estensione</b>	GRE CODE																			
	GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT					SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION						
	<b>GRE</b>	<b>EEC</b>	<b>K</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>I</b>	<b>T</b>	<b>W</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
CLASSIFICATION	<b>PUBLIC</b>					UTILIZATION SCOPE	<b>BASIC DESIGN</b>													

**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 RICETTORI .....	9
6. MODELLO DI CALCOLO .....	16
7. RISULTATI .....	17

## **1. INTRODUZIONE**

Stantec S.p.A., in qualità di Consulente Tecnico, è stata incaricata da Enel Green Power Solar Energy S.r.l. di redigere il progetto definitivo per la costruzione di un nuovo impianto eolico denominato "Caltavuturo Estensione", da ubicarsi nei comuni di Caltavuturo (PA), Valledolmo (PA) e Sclafani Bagni (PA).

Il progetto proposto prevede l'installazione di 18 nuove turbine eoliche di potenza 4,52 MW ciascuna, in linea con gli standard più alti presenti sul mercato, per una potenza installata totale pari a 81,36 MW.

L'energia prodotta dagli aerogeneratori, attraverso il sistema di cavidotti interrati in media tensione a 33 kV, verrà convogliata alla sottostazione di trasformazione 150/33 kV in progetto nel comune di Sclafani Bagni, per l'innalzamento da media ad alta tensione. La sottostazione di trasformazione verrà collegata, tramite cavidotto in alta tensione a 150 kV, ad una stazione elettrica di trasformazione 380/150 kV della RTN, di nuova realizzazione da parte dell'ente gestore di rete.

In aggiunta alla sottostazione di trasformazione 150/33 KV in progetto, sarà connesso un sistema di accumulo elettrochimico BESS (Battery Energy Storage System) di taglia pari a 35 MW / 140 MWh.

Il progetto è in linea con gli obiettivi nazionali ed europei per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, legate a processi di produzione di energia elettrica.

### **1.1. DESCRIZIONE DEL PROPONENTE**

Il soggetto proponente dell'iniziativa è Enel Green Power Solar Energy S.r.l., società iscritta alla Camera di Commercio di Roma che ha come Socio Unico la società Enel Green Power Italia S.r.l.

La Società ha per oggetto l'esercizio e lo sviluppo dell'attività di produzione e vendita di energia elettrica generata da fonti rinnovabili.

### **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 ricettori 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 ricettori individuati.

Infine, il Capitolo 7 presenta i risultati del calcolo valutandone l'impatto e indicando possibili azioni mitigative del fenomeno.

## **2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE**

Il sito si trova nella provincia di Palermo, a circa 7 km a sud rispetto al comune di Caltavuturo ed a 3 km a est del comune di Valledolmo.

L'impianto eolico in progetto è ubicato in un'area prevalentemente collinare, con pendii scoscesi e quasi completamente privi di alberi, caratterizzato da una morfologia complessa sviluppandosi ad una quota su livello del mare che oscilla tra i 600 m e i 1.100 m.

L'impianto eolico in progetto ricade entro i confini comunali di Sclafani Bagni, Caltavuturo e Valledolmo, in particolare all'interno dei seguenti riferimenti cartografici:

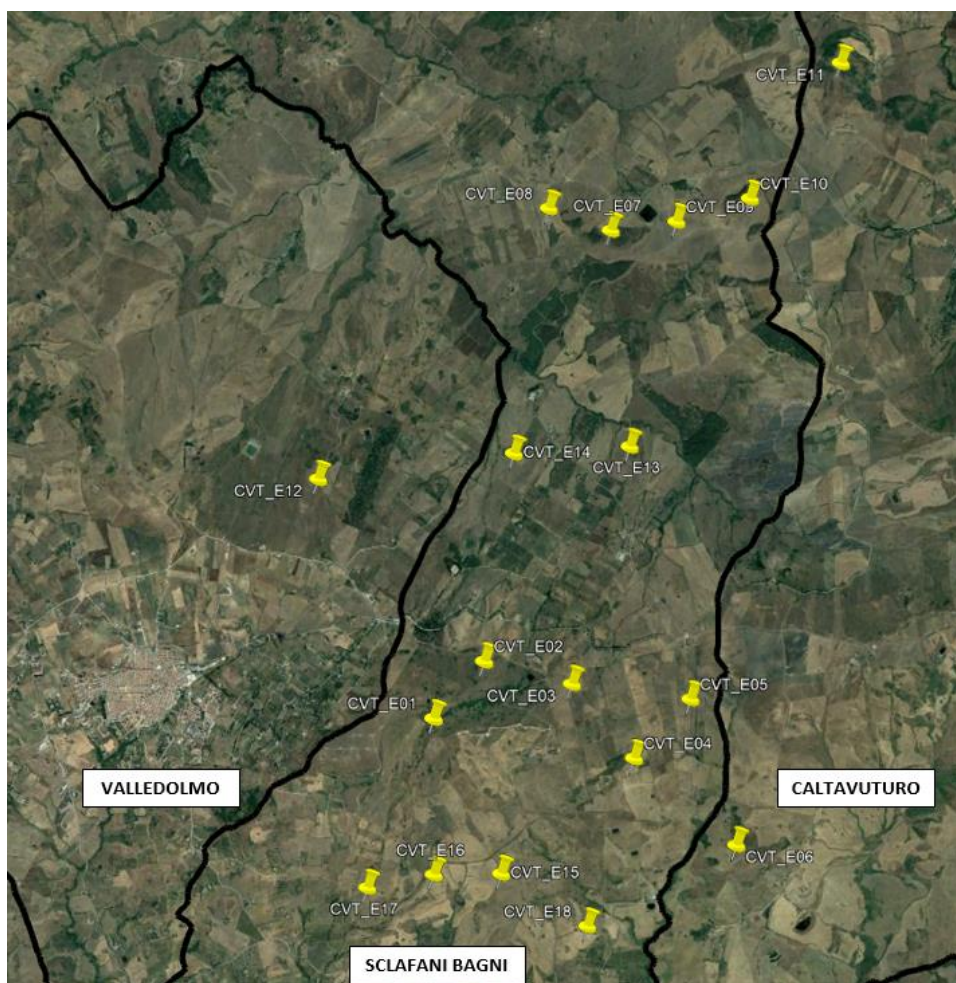
- Fogli di mappa catastale del Comune di Caltavuturo n°26, 33, 37;
- Fogli di mappa catastale del Comune di Sclafani Bagni n°23, 24, 25, 26, 27, 28;
- Fogli di mappa catastale del Comune di Valledolmo n° 6, 16;
- Fogli I.G.M. in scala 1:25.000, codificati 259-II-NE "Caltavuturo" e 259-II-SE "Vallelunga Pratameno";
- Carta tecnica regionale CTR in scala 1:10.000, fogli n° 621030 e 621070.

Di seguito è riportato l'inquadramento territoriale dell'area di progetto e la configurazione proposta su ortofoto:



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





**Figura 2-2: Configurazione proposta su ortofoto**

Di seguito è riportato in formato tabellare un dettaglio sul posizionamento degli aerogeneratori di nuova costruzione, in coordinate WGS84 UTM fuso 33N:

**Tabella 1: Coordinate aerogeneratori**

WTG	Comune	Est [m]	Nord [m]	Altitudine [m s.l.m.]
<b>CVT_E01</b>	Sclafani Bagni	398916,44	4178074,21	1.051
<b>CVT_E02</b>	Sclafani Bagni	399300,05	4178481,10	970
<b>CVT_E03</b>	Sclafani Bagni	399954,50	4178287,26	922
<b>CVT_E04</b>	Sclafani Bagni	400409,94	4177704,71	865
<b>CVT_E05</b>	Sclafani Bagni	400855,21	4178131,90	804
<b>CVT_E06</b>	Caltavuturo	401176,05	4177007,23	797
<b>CVT_E07</b>	Sclafani Bagni	400344,72	4181721,69	792
<b>CVT_E08</b>	Sclafani Bagni	399874,16	4181920,93	715
<b>CVT_E09</b>	Sclafani Bagni	400851,88	4181779,93	769
<b>CVT_E10</b>	Sclafani Bagni	401413,89	4181926,86	828
<b>CVT_E11</b>	Caltavuturo	402158,97	4182923,12	868
<b>CVT_E12</b>	Valledolmo	398059,00	4179887,00	816
<b>CVT_E13</b>	Sclafani Bagni	400448,00	4180074,00	687

<b>CVT_E14</b>	Sclafani Bagni	399553,00	4180045,00	716
<b>CVT_E15</b>	Sclafani Bagni	399376,00	4176864,00	889
<b>CVT_E16</b>	Sclafani Bagni	398861,00	4176861,00	847
<b>CVT_E17</b>	Sclafani Bagni	398341,00	4176758,00	781
<b>CVT_E18</b>	Sclafani Bagni	400018,00	4176396,00	709

### 3. IL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKERING

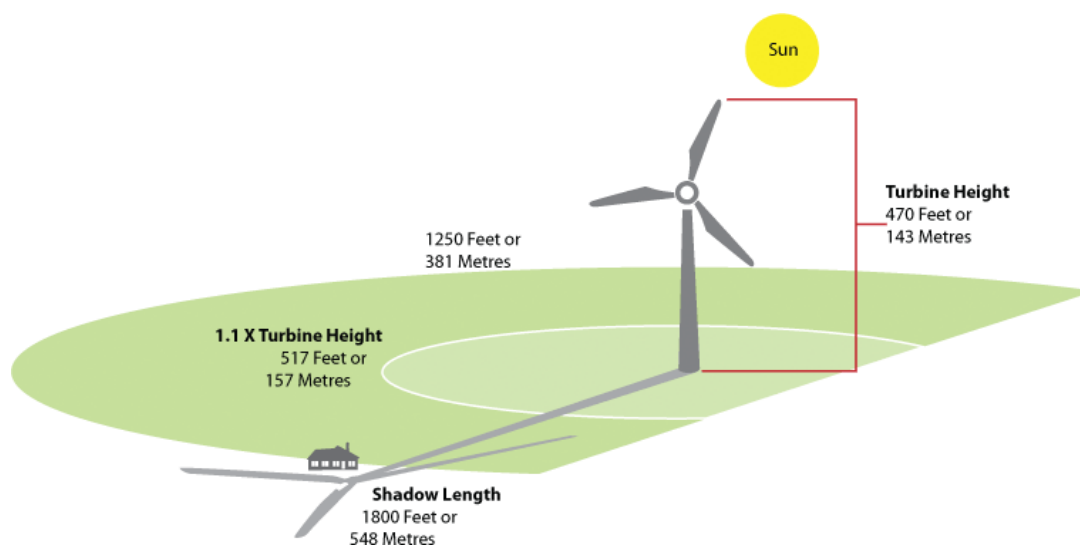
Gli aerogeneratori, al pari di tutte le altre strutture fortemente sviluppate in altezza, proiettano un'ombra sulle aree circostanti in presenza di irraggiamento solare diretto.

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 ricettore (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 ricettore, 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 ricettore 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 ricettore - 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 ricettore all'aerogeneratore in assenza di ostacoli fisici (alberi, altri edifici ecc...);
- Orientamento perpendicolare del rotore rispetto alla congiungente sole - ricettore: infatti, quando il piano del rotore è perpendicolare alla linea sole-ricettore, 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 ricettore 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 ricettore molto prossimo all'aerogeneratore, una porzione ampia di pala copre il disco solare così come osservato dal punto di vista del ricettore stesso, e, quindi, l'intensità del flicker risulta maggiormente percepibile. All'aumentare della distanza tra aerogeneratore e ricettore 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 ricettore (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 ricettore - 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 ricettore;
- L'intensità del flickering sarà minima quando l'ombra prodotta è generata all'estremità delle pale;
- Maggiori distanze tra generatore e ricettore determinano ombre meno nette; in tal caso l'effetto flickering risulterà meno intenso e distinto.

La 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 ricettore;
- 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 RICETTORI

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'inviluppo 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 2: ricettori considerati**

Ricettore	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria catastale	Comune
	Est	Nord		
RC_04	402781	4183664	C/2	Caltavuturo
RC_05	402809	4183581	A/7	Caltavuturo
RC_18	401738	4181929	A/4	Caltavuturo
RC_19	401831	4181468	A/4	Caltavuturo
RC_23	401043	4181303	A/4	Sclafani Bagni
RC_26	401626	4181277	D/1	Caltavuturo
RC_34	399733	4180638	A/4	Sclafani Bagni
RC_48	399852	4182634	A/4	Sclafani Bagni
RC_57	401031	4182204	Non	Sclafani Bagni

			Censito	
RC_65	399640	4181466	A/4	Sclafani Bagni
RC_79	398293	4180674	A/4	Valledolmo
RC_80	398342	4180808	D/10	Valledolmo
RC_81	398320	4180788	D/10	Valledolmo
RC_82	398292	4180815	D/10	Valledolmo
RC_85	397492	4180637	A/4	Valledolmo
RC_91	399097	4180105	F/6	Valledolmo
RC_96	399876	4180347	A/4	Sclafani Bagni
RC_102	400604	4179545	F/6	Sclafani Bagni
RC_103	400604	4179489	F/6	Sclafani Bagni
RC_108	400105	4179681	A/4	Sclafani Bagni
RC_111	399972	4179492	A/4	Sclafani Bagni
RC_114	397404	4179466	D/10	Valledolmo
RC_115	397395	4179568	D/1	Valledolmo
RC_116	397399	4179209	D/10	Valledolmo
RC_124	397674	4179498	D/7	Valledolmo
RC_125	397722	4179434	D/1	Valledolmo
RC_126	397805	4179433	A/3	Valledolmo
RC_127	397881	4179408	F/3	Valledolmo
RC_128	397890	4179405	D/1	Valledolmo
RC_131	398069	4179399	D/1	Valledolmo
RC_137	399106	4179306	A/4	Sclafani Bagni
RC_140	399360	4179446	D/10	Sclafani Bagni
RC_144	400383	4179338	D/10	Sclafani Bagni
RC_146	398458	4178864	A/7	Valledolmo
RC_147	398600	4178777	D/1	Valledolmo
RC_149	398385	4178734	A/7	Valledolmo
RC_150	398371	4178697	A/7	Valledolmo
RC_154	398231	4178642	A/4	valledolmo

RC_155	398255	4178559	A/4	Valledolmo
RC_159	398233	4178509	A/7	Valledolmo
RC_167	397963	4178332	A/4	Valledolmo
RC_168	398016	4178352	A/3	Valledolmo
RC_172	398105	4178237	A/4	Valledolmo
RC_174	398051	4178201	A/7	Valledolmo
RC_196	399724	4178582	A/4	Sclafani Bagni
RC_200	400539	4178459	C/2	Sclafani Bagni
RC_201	400840	4178672	A/4	Sclafani Bagni
RC_202	400879	4178674	A/7	Sclafani Bagni
RC_203	400905	4178666	D/1	Sclafani Bagni
RC_204	400923	4178691	A/4	Sclafani Bagni
RC_206	401670	4178481	D/1	Caltavuturo
RC_211	399766	4177930	D/10	Sclafani Bagni
RC_225	401803	4177189	A/4	Caltavuturo
RC_230	401727	4176739	D/10	Caltavuturo
RC_232	401382	4176526	D/10	Caltavuturo
RC_233	401076	4176486	F/6	Caltavuturo
RC_235	401043	4176450	C/2	Caltavuturo
RC_237	400350	4176823	D/10	Sclafani Bagni
RC_238	400470	4176798	A/4	Sclafani Bagni
RC_239	400549	4176735	D/10	Sclafani Bagni
RC_247	397760	4177065	F/3	Sclafani Bagni
RC_252	397460	4177114	A/3	Sclafani Bagni
RC_258	397481	4176795	F/3	Sclafani Bagni
RC_259	397669	4176707	A/4	Sclafani Bagni
RC_260	397722	4176736	C/2	Sclafani Bagni
RC_261	397779	4176686	A/7	Sclafani Bagni
RC_262	397476	4176399	A/7	Sclafani Bagni
RC_269	398020	4176677	A/3	Sclafani Bagni

RC_288	399683	4175815	C/2	Sclafani Bagni
RC_291	400229	4175861	D/10	Sclafani Bagni
RC_294	400218	4175633	A/4	Sclafani Bagni
RC_295	400195	4175568	D/10	Sclafani Bagni
RC_296	400234	4175579	D/10	Sclafani Bagni
RC_298	400248	4175660	D/10	Sclafani Bagni
RC_300	398650	4178900	A/4	Valledolmo
RC_301	402218	4178507	D/10	Caltavuturo
RC_302	402194	4178555	A/4	Caltavuturo
RC_303	401552	4179155	A/3	Caltavuturo
RC_304	401576	4180889	A/3	Sclafani Bagni
RC_305	402123	4180714	D/10	Caltavuturo
RC_306	402675	4181424	A/4	Caltavuturo
RC_307	403053	4181562	D/10, A/3	Caltavuturo
RC_308	403037	4181641	A/4	Caltavuturo
RC_309	402812	4182052	A/7	Caltavuturo
RC_310	403412	4182055	A/7	Caltavuturo
RC_311	403383	4182275	A/4	Caltavuturo
RC_312	403687	4182626	D/10	Caltavuturo
RC_313	403589	4182883	A/4	Caltavuturo
RC_314	403546	4182911	A/4	Caltavuturo
RC_315	403376	4183190	A/4	Caltavuturo
RC_316	403261	4183700	A/3	Caltavuturo
RC_317	403244	4183902	A/4	Caltavuturo
RC_318	402580	4183992	A/4	Caltavuturo
RC_319	402827	4184270	A/4	Caltavuturo
RC_320	402811	4184376	A/4	Caltavuturo
RC_321	402727	4184389	A/7	Caltavuturo
RC_322	402777	4184438	A/3	Caltavuturo
RC_323	399871	4183397	A/4	Sclafani Bagni



RC_324	398255	4182393	A/4	Valledolmo
RC_325	397120	4180276	A/4	Valledolmo
RC_326	396381	4180011	A/4	Valledolmo
RC_327	396716	4179268	A/7	Valledolmo
RC_328	396696	4178959	A/7	Valledolmo
RC_329	396818	4178968	A/3	Valledolmo
RC_330	396865	4179019	A/7	Valledolmo
RC_331	396855	4178960	A/3	Valledolmo
RC_332	397010	4178925	A/7	Valledolmo
RC_333	396848	4178768	A/3	Valledolmo
RC_334	397408	4178767	A/4	Valledolmo
RC_335	397388	4178817	A/4	Valledolmo
RC_336	396835	4178738	A/4	Valledolmo
RC_337	396835	4178742	A/4	Valledolmo
RC_338	396841	4178739	A/2	Valledolmo
RC_339	396847	4178738	A/4	Valledolmo
RC_340	396852	4178739	A/4	Valledolmo
RC_341	396860	4178740	A/4	Valledolmo
RC_342	396876	4178733	A/4	Valledolmo
RC_343	396883	4178740	A/3	Valledolmo
RC_344	396883	4178734	A/3	Valledolmo
RC_345	396888	4178738	A/2	Valledolmo
RC_346	396861	4178719	A/2	Valledolmo
RC_347	396872	4178711	A/4	Valledolmo
RC_348	396878	4178710	A/3	Valledolmo
RC_349	396897	4178730	A/4	Valledolmo
RC_350	396896	4178723	A/4	Valledolmo
RC_351	396911	4178728	A/3	Valledolmo
RC_352	396937	4178719	A/4	Valledolmo
RC_353	396899	4178703	A/4	Valledolmo

RC_354	396910	4178709	A/4	Valledolmo
RC_355	396911	4178703	A/4	Valledolmo
RC_356	396919	4178706	A/4	Valledolmo
RC_357	396925	4178709	A/3	Valledolmo
RC_358	396924	4178703	A/3	Valledolmo
RC_359	396940	4178702	A/3	Valledolmo
RC_360	396889	4178686	A/3	Valledolmo
RC_361	396896	4178687	A/4	Valledolmo
RC_362	396914	4178681	A/3	Valledolmo
RC_363	396927	4178679	A/4	Valledolmo
RC_364	396936	4178685	A/4	Valledolmo
RC_365	396939	4178674	A/2	Valledolmo
RC_366	396946	4178681	A/3	Valledolmo
RC_367	396912	4178661	A/2	Valledolmo
RC_368	396918	4178665	A/3	Valledolmo
RC_369	396926	4178659	A/4	Valledolmo
RC_370	396940	4178658	A/3	Valledolmo
RC_371	396968	4178648	A/3	Valledolmo
RC_372	397631	4178795	A/7	Valledolmo
RC_373	397237	4178430	A/2	Valledolmo
RC_374	397550	4178689	A/4	Valledolmo
RC_375	397597	4178715	A/7	Valledolmo
RC_376	397270	4178415	A/3	Valledolmo
RC_377	397270	4178403	A/2	Valledolmo
RC_379	397485	4178591	A/7	Valledolmo
RC_380	397516	4178556	A/7	Valledolmo
RC_381	397298	4178408	A/2	Valledolmo
RC_382	397282	4178368	A/3	Valledolmo
RC_383	397286	4178380	A/3	Valledolmo
RC_384	397297	4178346	A/3	Valledolmo

RC_385	397260	4178334	A/2	Valledolmo
RC_386	397257	4178326	A/3	Valledolmo
RC_387	397395	4178293	A/3	Valledolmo
RC_388	397522	4178497	A/7	Valledolmo
RC_389	397655	4178649	A/4	Valledolmo
RC_390	397579	4178505	A/7	Valledolmo
RC_391	397705	4178618	A/7	Valledolmo
RC_392	397796	4178687	A/4	Valledolmo
RC_393	397053	4176988	A/7	Valledolmo
RC_394	396959	4177010	A/4	Valledolmo
RC_395	397036	4177221	A/2	Valledolmo
RC_396	397088	4177254	A/4	Valledolmo
RC_397	397019	4177285	A/3,A/10	Valledolmo
RC_398	397148	4177310	A/7	Valledolmo
RC_399	396991	4177456	A/7	Valledolmo
RC_400	397018	4177759	A/4	Valledolmo
RC_401	397740	4177837	A/7	Valledolmo
RC_402	397801	4177802	A/7	Valledolmo
RC_403	397567	4178002	A/4	Valledolmo
RC_404	397426	4178184	A/3	Valledolmo
RC_405	397602	4178060	A/7	Valledolmo
RC_406	397662	4177992	A/7	Valledolmo
RC_407	397736	4178020	A/7	Valledolmo
RC_408	397386	4177163	A/7	Sclafani Bagni
RC_409	397392	4177167	A/7	Sclafani Bagni
RC_410	397353	4177213	A/7	Sclafani Bagni
RC_411	397219	4177210	A/7	Sclafani Bagni
RC_412	397375	4177095	A/7	Sclafani Bagni
RC_413	397056	4176919	A/4	Sclafani Bagni
RC_414	397159	4176903	A/4	Sclafani Bagni

RC_415	397307	4176666	A/4	Sclafani Bagni
RC_416	397231	4176412	A/4	Sclafani Bagni
RC_417	397128	4176308	A/4	Sclafani Bagni
RC_418	397159	4176103	A/4	Sclafani Bagni
RC_419	398984	4175587	A/4	Sclafani Bagni
RC_420	400464	4174959	A/3	Sclafani Bagni
RC_421	400615	4175066	A/7	Sclafani Bagni
RC_422	400670	4174910	A/2	Sclafani Bagni

## 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 ricettori sensibili, nonché sui dati che correlano la posizione del sole nell'arco dell'anno con le condizioni operative delle turbine nello stesso arco di tempo.

Al fine di calcolare la posizione relativa del sole nell'arco di un anno rispetto al parco eolico ed ai ricettori è necessario definire la longitudine, la latitudine ed il fuso orario dell'area interessata dal progetto (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 ricettori 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-ricettore (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 2500 h/a<sup>1, 2</sup>, quindi, i risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere abbattuti del 42,92 %, pari al complemento a 1 del rapporto  $2500/4380 = 57,08 \%$ .

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 57,08 % 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 83,00% delle ore anno, ovvero 7271 ore; in altri termini, la probabilità che il rotore di un aerogeneratore risulti in movimento è appunto dell'ordine del 83,00 % (pari al rapporto  $7271/8760$ ).

In definitiva, i valori calcolati dal modello numerico (ore di ombreggiamento intermittente all'anno presso i diversi ricettori individuati) possono, realisticamente, essere ridotti di un fattore pari al complemento a 1 del prodotto  $83,00 \% \times 57,08 \% = 47,37 \%$ , 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 **52,63 %**.

## 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

---

<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.

rotore;

- dell'orientamento del rotore rispetto al ricettore;
- 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 ricettori (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 ricettori 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 ricettore 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 ricettori con più di 30 ore/anno**

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"	Caso "realistico"	Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	[min/giorno]	
RC_04	79	46.6	22.1	16.8	C/2
RC_05	103	57.1	27.1	15.8	A/7
RC_18	32	18.8	8.9	16.7	A/4
RC_19	58	20.6	9.8	10.1	A/4
RC_23	35	5.6	2.7	4.5	A/4
RC_26	49	9.7	4.6	5.6	D/1
RC_34	86	56.8	26.9	18.8	A/4
RC_48	110	47	22.3	12.1	A/4
RC_57	161	299.8	142.0	52.9	Non Censito
RC_65	37	7.2	3.4	5.5	A/4
RC_79	0	0	0.0	0.0	A/4

RC_80	20	3	1.4	4.3	D/10
RC_81	0	0	0.0	0.0	D/10
RC_82	14	1.4	0.7	2.8	D/10
RC_85	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_91	113	148.2	70.2	37.3	F/6
RC_96	159	249.7	118.3	44.6	A/4
RC_102	130	43.5	20.6	9.5	F/6
RC_103	77	21.8	10.3	8.0	F/6
RC_108	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_111	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_114	35	5.1	2.4	4.1	D/10
RC_115	95	51.7	24.5	15.5	D/1
RC_116	0	0	0.0	0.0	D/10
RC_124	0	0	0.0	0.0	D/7
RC_125	0	0	0.0	0.0	D/1
RC_126	0	0	0.0	0.0	A/3
RC_127	76	28.8	13.6	10.8	F/3
RC_128	76	29.1	13.8	10.9	D/1
RC_131	58	22.7	10.8	11.1	D/1
RC_137	41	9	4.3	6.2	A/4
RC_140	100	36.1	17.1	10.3	D/10
RC_144	81	30.9	14.6	10.8	D/10
RC_146	61	34.7	16.4	16.2	A/7
RC_147	75	60.6	28.7	23.0	D/1
RC_149	107	65.6	31.1	17.4	A/7
RC_150	115	75	35.5	18.5	A/7
RC_154	95	49.5	23.5	14.8	A/4
RC_155	84	46.2	21.9	15.6	A/4
RC_159	83	45.8	21.7	15.7	A/7
RC_167	56	26.1	12.4	13.2	A/4

RC_168	28	14.8	7.0	15.0	A/3
RC_172	77	40.2	19.0	14.8	A/4
RC_174	73	36.6	17.3	14.3	A/7
RC_196	253	354.5	167.9	39.8	A/4
RC_200	202	190.6	90.3	26.8	C/2
RC_201	91	44	20.8	13.7	A/4
RC_202	89	41.4	19.6	13.2	A/7
RC_203	86	39.6	18.8	13.1	D/1
RC_204	87	38.8	18.4	12.7	A/4
RC_206	110	56.7	26.9	14.7	D/1
RC_211	254	133.8	63.4	15.0	D/10
RC_225	139	76.9	36.4	15.7	A/4
RC_230	0	0	0.0	0.0	D/10
RC_232	37	15	7.1	11.5	D/10
RC_233	50	25.3	12.0	14.4	F/6
RC_235	52	27.2	12.9	14.9	C/2
RC_237	212	174	82.4	23.3	D/10
RC_238	257	216.3	102.5	23.9	A/4
RC_239	214	134.1	63.5	17.8	D/10
RC_247	182	117.6	55.7	18.4	F/3
RC_252	89	38.4	18.2	12.3	A/3
RC_258	66	42.9	20.3	18.5	F/3
RC_259	85	66.2	31.4	22.1	A/4
RC_260	90	77.5	36.7	24.5	C/2
RC_261	118	103.9	49.2	25.0	A/7
RC_262	83	46.3	21.9	15.9	A/7
RC_269	147	230.6	109.2	44.6	A/3
RC_288	0	0	0.0	0.0	C/2
RC_291	0	0	0.0	0.0	D/10
RC_294	0	0	0.0	0.0	A/4



RC_295	0	0	0.0	0.0	D/10
RC_296	0	0	0.0	0.0	D/10
RC_298	0	0	0.0	0.0	D/10
RC_300	102	77.9	36.9	21.7	A/4
RC_301	37	7.7	3.6	5.9	D/10
RC_302	38	7.3	3.5	5.5	A/4
RC_303	0	0	0.0	0.0	A/3
RC_304	22	3.5	1.7	4.5	A/3
RC_305	0	0	0.0	0.0	D/10
RC_306	29	7.3	3.5	7.2	A/4
RC_307	0	0	0.0	0.0	D/10, A/3
RC_308	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_309	15	4.7	2.2	8.9	A/7
RC_310	0	0	0.0	0.0	A/7
RC_311	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_312	44	15.6	7.4	10.1	D/10
RC_313	40	14.7	7.0	10.4	A/4
RC_314	40	15.4	7.3	10.9	A/4
RC_315	42	17.5	8.3	11.8	A/4
RC_316	57	23.1	10.9	11.5	A/3
RC_317	71	28.7	13.6	11.5	A/4
RC_318	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_319	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_320	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_321	0	0	0.0	0.0	A/7
RC_322	0	0	0.0	0.0	A/3
RC_323	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_324	33	10.9	5.2	9.4	A/4
RC_325	65	32.7	15.5	14.3	A/4
RC_326	0	0	0.0	0.0	A/4

RC_327	68	21.1	10.0	8.8	A/7
RC_328	0	0	0.0	0.0	A/7
RC_329	0	0	0.0	0.0	A/3
RC_330	0	0	0.0	0.0	A/7
RC_331	0	0	0.0	0.0	A/3
RC_332	0	0	0.0	0.0	A/7
RC_333	0	0	0.0	0.0	A/3
RC_334	35	11.7	5.5	9.5	A/4
RC_335	36	11.7	5.5	9.2	A/4
RC_336	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_337	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_338	0	0	0.0	0.0	A/2
RC_339	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_340	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_341	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_342	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_343	0	0	0.0	0.0	A/3
RC_344	0	0	0.0	0.0	A/3
RC_345	0	0	0.0	0.0	A/2
RC_346	0	0	0.0	0.0	A/2
RC_347	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_348	0	0	0.0	0.0	A/3
RC_349	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_350	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_351	0	0	0.0	0.0	A/3
RC_352	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_353	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_354	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_355	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_356	0	0	0.0	0.0	A/4

RC_357	0	0	0.0	0.0	A/3
RC_358	0	0	0.0	0.0	A/3
RC_359	0	0	0.0	0.0	A/3
RC_360	0	0	0.0	0.0	A/3
RC_361	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_362	0	0	0.0	0.0	A/3
RC_363	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_364	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_365	0	0	0.0	0.0	A/2
RC_366	0	0	0.0	0.0	A/3
RC_367	0	0	0.0	0.0	A/2
RC_368	0	0	0.0	0.0	A/3
RC_369	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_370	0	0	0.0	0.0	A/3
RC_371	0	0	0.0	0.0	A/3
RC_372	65	23.1	10.9	10.1	A/7
RC_373	0	0	0.0	0.0	A/2
RC_374	38	13.8	6.5	10.3	A/4
RC_375	39	14.8	7.0	10.8	A/7
RC_376	32	10.4	4.9	9.2	A/3
RC_377	32	10.4	4.9	9.2	A/2
RC_379	36	12.8	6.1	10.1	A/7
RC_380	36	13.3	6.3	10.5	A/7
RC_381	32	10.6	5.0	9.4	A/2
RC_382	32	10.6	5.0	9.4	A/3
RC_383	32	10.5	5.0	9.3	A/3
RC_384	31	10.6	5.0	9.7	A/3
RC_385	31	10.2	4.8	9.4	A/2
RC_386	32	10.4	4.9	9.2	A/3
RC_387	32	11.9	5.6	10.6	A/3

RC_388	37	13.5	6.4	10.4	A/7
RC_389	59	21.9	10.4	10.6	A/4
RC_390	38	14.4	6.8	10.8	A/7
RC_391	59	22.9	10.8	11.0	A/7
RC_392	67	26.6	12.6	11.3	A/4
RC_393	41	15.4	7.3	10.7	A/7
RC_394	15	4.4	2.1	8.3	A/4
RC_395	0	0	0.0	0.0	A/2
RC_396	45	13.7	6.5	8.7	A/4
RC_397	0	0	0.0	0.0	A/3,A/10
RC_398	56	14.3	6.8	7.3	A/7
RC_399	0	0	0.0	0.0	A/7
RC_400	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_401	35	10.4	4.9	8.4	A/7
RC_402	37	7.2	3.4	5.5	A/7
RC_403	38	15.2	7.2	11.4	A/4
RC_404	32	12.3	5.8	10.9	A/3
RC_405	31	12.6	6.0	11.6	A/7
RC_406	39	16.6	7.9	12.1	A/7
RC_407	66	24	11.4	10.3	A/7
RC_408	93	36.7	17.4	11.2	A/7
RC_409	97	37.5	17.8	11.0	A/7
RC_410	107	35.2	16.7	9.4	A/7
RC_411	86	28	13.3	9.3	A/7
RC_412	73	30.7	14.5	12.0	A/7
RC_413	42	15.8	7.5	10.7	A/4
RC_414	45	19.4	9.2	12.3	A/4
RC_415	52	28.3	13.4	15.5	A/4
RC_416	83	39.5	18.7	13.5	A/4
RC_417	90	42.8	20.3	13.5	A/4

RC_418	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_419	0	0	0.0	0.0	A/4
RC_420	0	0	0.0	0.0	A/3
RC_421	0	0	0.0	0.0	A/7
RC_422	0	0	0.0	0.0	A/2


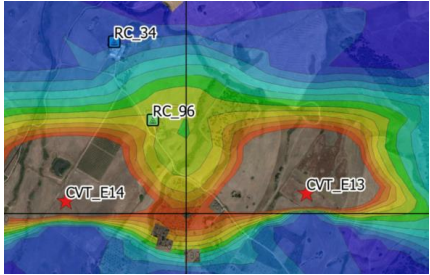
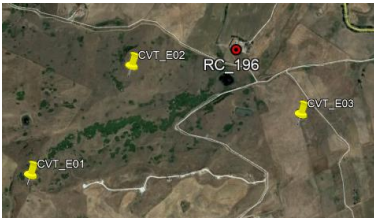
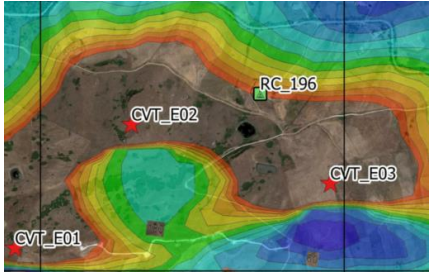

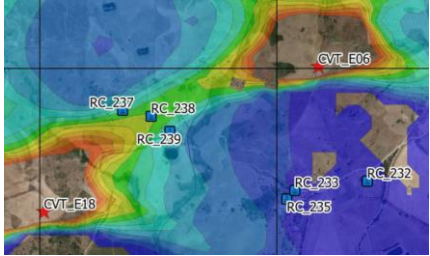

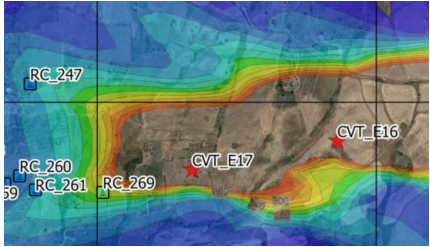
Nello specifico, la tabella precedente riporta il numero di giorni e di ore in cui è fisicamente possibile che il fenomeno si presenti (caso peggiore) e il valore realistico atteso di ore l'anno in cui il fenomeno potrebbe presentarsi. A tal proposito è importante sottolineare che anche il caso realistico, 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-ricettore e all'eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole ed il singolo ricettore.

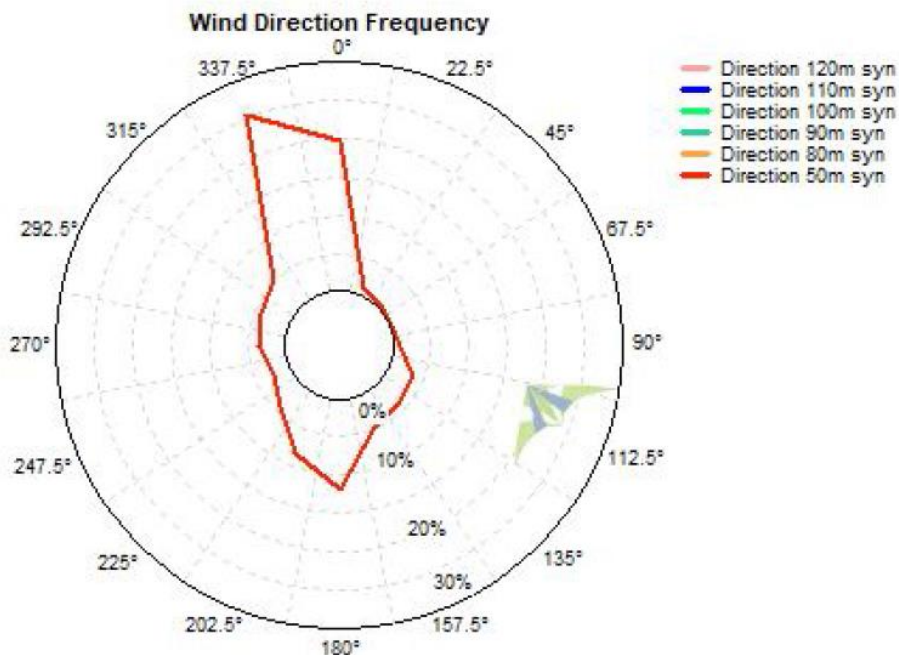
Dall'analisi della tabella si evince che, dei ricettori considerati nel buffer di 1700 m dagli aerogeneratori, solo 10 fabbricati, adibiti ad abitazione, potrebbero essere soggetti al fenomeno per un numero di ore superiore a 30 nel corso dell'anno. Solo tre di essi (RC\_96, RC\_196 e RC\_269) risultano anche soggetti ad una durata superiore a 30 minuti al giorno. Il dettaglio dei fabbricati che potrebbero essere soggetti al fenomeno dello shadow flickering per un numero di ore superiore a 30 nel corso dell'anno è riportato nella tavola grafica allegata alla presente relazione, il cui stralcio è riportato nella Figura 7-2.

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 7-1) per la torre anemometrica del parco eolico in oggetto si evince che i risultati sopra riportati possono essere ridotti, per i ricettori più esposti, ovvero posizionati lungo la direttrice prevalente del vento, di almeno un ulteriore 60%, dal momento che le direzioni prevalenti del vento risultano essere quella sud/sud est (10% circa) e quella nord/nord ovest (30% circa). Alla luce di ciò, gli unici ricettori che continuano ad essere soggetti al fenomeno dello shadow flickering per più di 30 ore l'anno risultano i seguenti:

- RC\_96: 47.3 ore (17.9 min/giorno);
- RC\_196: 67.2 ore (15.9 min/giorno);
- RC\_238: 41.0 ore (9.6 min/giorno);
- RC\_269: 43.7 ore (17.8 min/giorno);

Ricettore	Inquadramento ricettore su ortofoto	WTG coinvolte nel fenomeno	<p>Inquadramento su carta dello Shadow Flickering</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Shadow Flickering</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0-30 ore</td><td>Blue</td></tr> <tr><td>30-60 ore</td><td>Light Blue</td></tr> <tr><td>60-90 ore</td><td>Light Green</td></tr> <tr><td>90-120 ore</td><td>Green</td></tr> <tr><td>120-150 ore</td><td>Yellow-Green</td></tr> <tr><td>150-180 ore</td><td>Yellow</td></tr> <tr><td>180-210 ore</td><td>Orange</td></tr> <tr><td>210-240 ore</td><td>Red-Orange</td></tr> <tr><td>240-270 ore</td><td>Red</td></tr> <tr><td>270-300 ore</td><td>Dark Red</td></tr> <tr><td>300-330 ore</td><td>Dark Orange</td></tr> <tr><td>330-360 ore</td><td>Dark Red</td></tr> </tbody> </table> <p>Legenda:</p>	Shadow Flickering		0-30 ore	Blue	30-60 ore	Light Blue	60-90 ore	Light Green	90-120 ore	Green	120-150 ore	Yellow-Green	150-180 ore	Yellow	180-210 ore	Orange	210-240 ore	Red-Orange	240-270 ore	Red	270-300 ore	Dark Red	300-330 ore	Dark Orange	330-360 ore	Dark Red
Shadow Flickering																													
0-30 ore	Blue																												
30-60 ore	Light Blue																												
60-90 ore	Light Green																												
90-120 ore	Green																												
120-150 ore	Yellow-Green																												
150-180 ore	Yellow																												
180-210 ore	Orange																												
210-240 ore	Red-Orange																												
240-270 ore	Red																												
270-300 ore	Dark Red																												
300-330 ore	Dark Orange																												
330-360 ore	Dark Red																												
RC_96		<p>CVT_E13, 630 m CVT_E14, 450 m</p>																											
RC_196		<p>CVT_E01, 940 m CVT_E02, 440 m CVT_E03, 380 m</p>																											
RC_238		<p>CVT_E06, 730 m CVT_E18, 600 m</p>																											
RC_269		<p>CVT_E16, 320 m CVT_E17, 850 m</p>																											



**Figura 7-1: frequenza della direzione del vento per la torre anemometrica “Caltavuturo”**

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 ricettori considerati, il fenomeno dello shadow flickering si verifica per oltre 30 ore l’anno esclusivamente su 4 abitazioni (RC\_96, RC\_196, RC\_238 e RC\_269), incidendo in maniera molto limitata e poco significativa, in quanto il valore atteso massimo è risultato di poco superiore alle 60 ore l’anno.

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.

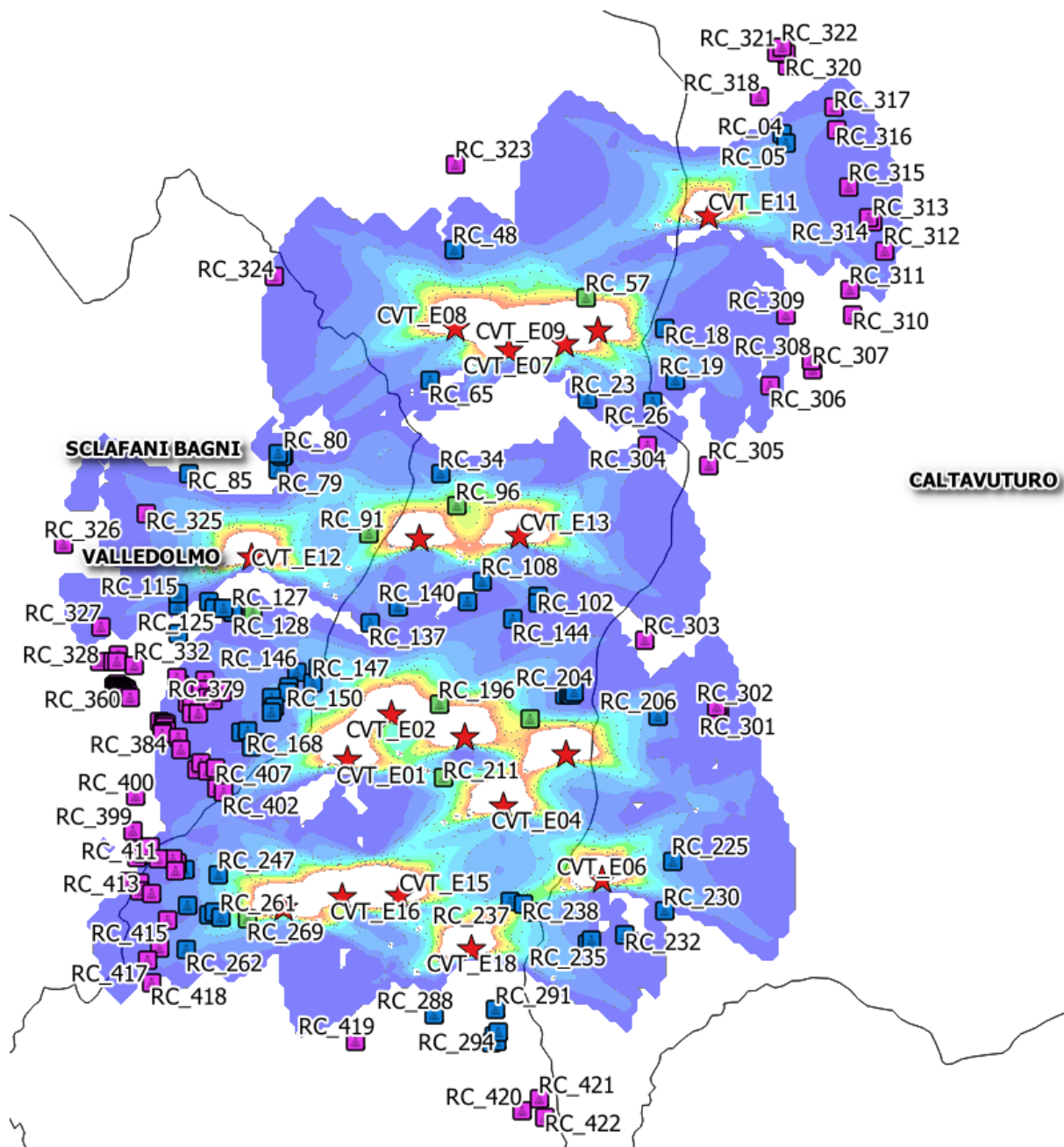
Le distanze reciproche tra generatori eolici e ricettori, le condizioni orografiche del sito considerato, determinano la pressoché totale assenza del fenomeno in esame. In aggiunta, il fenomeno si manifesta su un numero limitatissimo di ricettori esclusivamente quando il sole presenta un’altezza inferiore 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 ricettore potenzialmente soggetto a shadow flickering, ovvero concomitanza dei seguenti fattori: assenza di nuvole o nebbia, rotore frontale ai ricettori, 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.

Nella tavola allegata (si veda la figura seguente) è riportata la mappa delle ore di



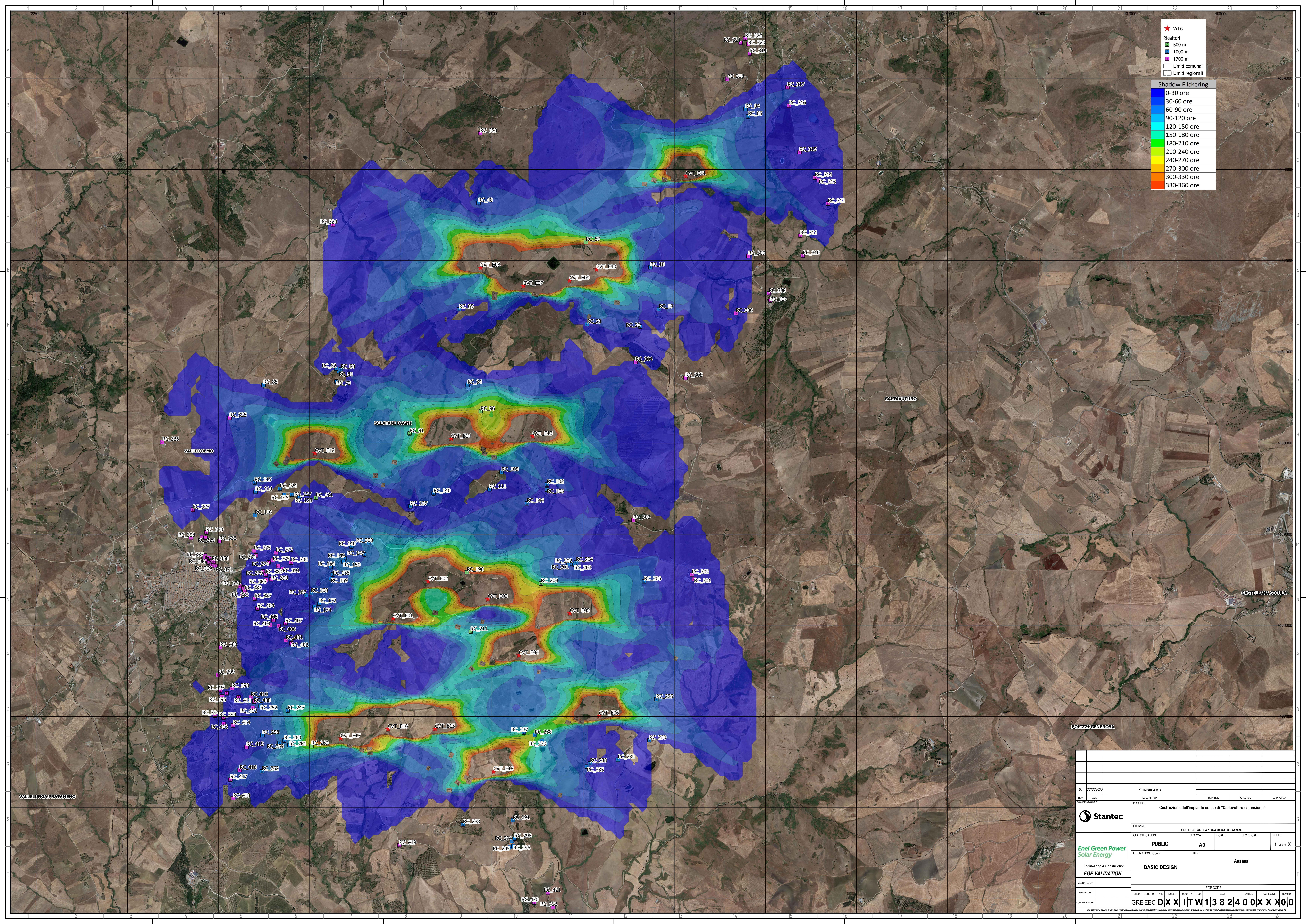
ombreggiamento (shadow flickering) nel worst case così come elaborata dal modello impiegato.



**Figura 7-2: Estratto della Carta dello shadow flickering – PE “Caltavuturo estensione”**

Si riporta in pagina seguente l'intera mappa delle ore di ombreggiamento (Shadow flickering) così come elaborata dal modello impiegato.





★ WTG

Ricettori  
 500 m  
 1000 m  
 1700 m

Limiti comunali  
 Limiti regionali

**Shadow Flickering**

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
270-300 ore
300-330 ore
330-360 ore

00	XXXXXX00	Prima emissione	PREMEDI	CHECKED	APPROVED
PROJECT: Costruzione dell'impianto solare di "Caltavuturo estensione"					
FILE NAME: GRE.EEC.D.XXX.IT.W.13824.00.0XX.00 - Aa888					
CLASSIFICATION:	PUBLIC	FORMAT:	A0	SCALE:	PLLOT SCALE:
UTILIZATION SCOPE:	BASIC DESIGN	TITLE:	Aa888		
EGP VALIDATION					
VALIDATED BY:	EGP CODE				
CHECKED BY:	GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY
EGP VALIDATION	GRE.EEC	DXX	ITW	13824	000XX00