

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

COSTRUZIONE DELL'IMPIANTO EOLICO DI "TRAPANI 3"

PROGETTO DEFINITIVO

Studio evoluzione ombra (Shadow Flickering)

File: GRE.EEC.R.26.IT.W.14703.00.020.00 - Studio evoluzione ombra (Shadow Flickering).pdf

00	18/12/2020	Prima emissione	G. Manzi D. Gradogna E. Castiello	L. Lavazza
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED

GRE VALIDATION

T. Fassi (GRE)

A. Puosi (GRE)

COLLABORATORS

VERIFIED BY

VALIDATED BY

PROJECT / PLANT Trapani 3	GRE CODE																		
	GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT			SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION							
	GRE	EEC	R	2	6	I	T	W	1	4	7	0	3	0	0	0	2	0	0
CLASSIFICATION	PUBLIC				UTILIZATION SCOPE	BASIC DESIGN													

INDEX

1. INTRODUZIONE	3
1.1. DESCRIZIONE DEL PROPONENTE	3
1.2. CONTENUTI DELLA RELAZIONE	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	4
3. IL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKERING	6
4. NORME DI RIFERIMENTO	8
5. INDIVIDUAZIONE DEI RICETTORI	9
6. MODELLO DI CALCOLO	13
7. RISULTATI	15

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 realizzazione di un nuovo impianto eolico denominato "Impianto eolico Trapani 3" e delle opere connesse, da ubicarsi nei comuni di Marsala (TP), Mazara del Vallo (TP), Salemi (TP) e Trapani (TP).

Si prevede che l'energia prodotta dagli aerogeneratori, attraverso il sistema di cavidotti interrati in media tensione a 33 kV, venga convogliata ad una sottostazione di trasformazione 220/33 kV, in condivisione con altri produttori, per l'innalzamento da media ad alta tensione. Si prevede che la sottostazione di trasformazione venga collegata alla stazione di smistamento RTN denominata "Partanna 2", di nuova realizzazione da parte dell'ente gestore di rete.

In sintesi, il presente progetto prevede:

- l'installazione di 30 nuovi aerogeneratori, in linea con gli standard più alti presenti sul mercato, per una potenza installata pari a 126 MW;
- la realizzazione delle fondazioni per gli aerogeneratori in progetto;
- la realizzazione di piazzole di montaggio degli aerogeneratori, di nuovi tratti di viabilità e l'adeguamento della viabilità esistente, al fine di garantire l'accesso per il trasporto degli aerogeneratori;
- la connessione degli aerogeneratori ad una sottostazione di trasformazione 220/33 kV, in condivisione con altri produttori, tramite cavidotti interrati a 33 kV e l'adeguamento della sottostazione di trasformazione, per la connessione alla stazione di smistamento RTN "Partanna 2".
- l'utilizzo temporaneo, attraverso opportuni adeguamenti, di aree per il Site Camp e per lo stoccaggio temporaneo (Temporary Storage Area).

Si evidenzia che l'elettrodotto in cavo interrato di connessione della sottostazione di trasformazione alla stazione RTN "Partanna 2", essendo lo stallo di alta tensione condiviso nella stazione Terna, è escluso dal presente progetto poiché in carico ad altri proponenti.

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

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 S.p.A., società del Gruppo Enel che dal 2008 si occupa dello sviluppo e della gestione delle attività di generazione di energia da fonti rinnovabili.

Enel Green Power è presente in 28 paesi nei 5 continenti con una capacità gestita di oltre 46 GW e più di 1.200 impianti.

In Italia, il parco di generazione di Enel Green Power è rappresentato dalle seguenti tecnologie rinnovabili: idroelettrico, eolico, fotovoltaico, geotermia. Attualmente il Paese conta una capacità gestita complessiva di 14,6 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 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 oggetto di studio nel presente elaborato è ubicato a circa 20 km a Sud-Est dal centro abitato di Trapani, nei comprensori comunali di Marsala, Mazara del Vallo, Salemi e Trapani.

La morfologia dell'area e delle zone limitrofe è contraddistinta da un territorio collinare privo di particolari complessità morfologiche. Il sito di interesse è infatti caratterizzato da colline di elevazione limitata (tra i 90 m s.l.m. ed i 210 m s.l.m.) con pendii dolci e poco scoscesi.

Il progetto ricade interamente nella provincia di Trapani, entro i confini comunali di Marsala, Mazara del Vallo, Salemi e Trapani e, in particolare, all'interno dei seguenti riferimenti cartografici:

- Foglio di mappa catastale del Comune di Marsala n° 135, 136, 137, 138, 165, 166, 167, 168, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 218, 219, 220, 221, 222, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 257, 273, 275;
- Foglio di mappa catastale del Comune di Mazara del Vallo n° 1,2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 18;
- Fogli di mappa catastale del Comune di Salemi n° 38,39;
- Fogli di mappa catastale del Comune di Trapani n° 296;
- Fogli I.G.M. in scala 1:25.000, codificati 257-III-NO "Paolini, 257-III-NE "Baglio Chitarra", 257-IV-SE "Borgo Fazio" e 257-I-SO "Vita";
- Carta tecnica regionale CTR in scala 1:10.000, fogli n° 605160, 606130, 617030 e 617040.

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

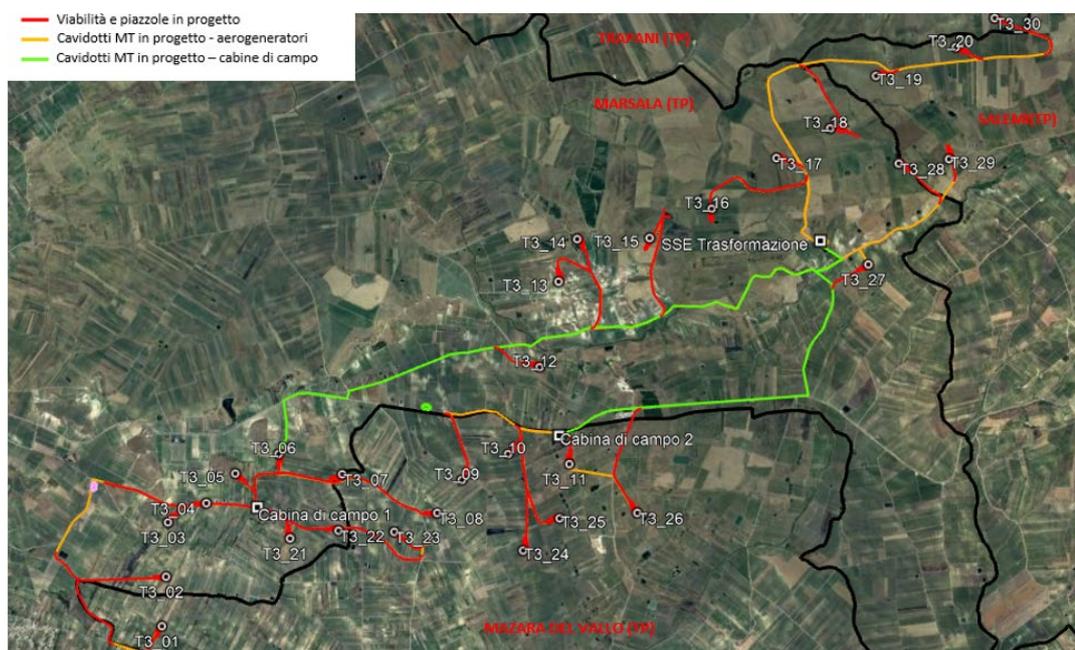


Figura 2-2: Configurazione proposta su ortofoto

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

Tabella 1: Coordinate aerogeneratori

WTG	Comune	Est [m]	Nord [m]	Altitudine [m s.l.m.]
T3_01	Mazara del Vallo	286256,00	4183837,00	134
T3_02	Marsala	286325,91	4184473,37	118
T3_03	Marsala	286368,22	4185172,98	134
T3_04	Marsala	286866,48	4185407,25	132
T3_05	Marsala	287248,88	4185780,02	150
T3_06	Marsala	287809,62	4186016,95	154
T3_07	Mazara del Vallo	288620,41	4185736,57	154
T3_08	Mazara del Vallo	289827,42	4185207,49	164
T3_09	Mazara del Vallo	290153,85	4185622,91	92
T3_10	Mazara del Vallo	290756,21	4185943,28	106
T3_11	Mazara del Vallo	291538,88	4185793,02	110
T3_12	Marsala	291189,00	4187051,00	108
T3_13	Marsala	291461,00	4188146,00	148
T3_14	Marsala	291714,00	4188688,00	104
T3_15	Marsala	292643,32	4188678,75	140
T3_16	Marsala	293449,01	4189036,01	106
T3_17	Marsala	294297,00	4189667,00	154
T3_18	Marsala	294997,00	4190032,00	164
T3_19	Salemi	295602,00	4190693,00	170
T3_20	Salemi	296635,79	4191036,97	190

T3_21	Marsala	287930,52	4184926,36	148
T3_22	Marsala	288554,25	4185010,58	130
T3_23	Mazara del Vallo	289270,56	4184976,88	142
T3_24	Mazara del Vallo	290917,50	4184694,13	104
T3_25	Mazara del Vallo	291396,82	4185097,16	102
T3_26	Mazara del Vallo	292395,37	4185142,39	118
T3_27	Marsala	295442,48	4188266,71	202
T3_28	Marsala	295865,79	4189557,47	186
T3_29	Salemi	296511,93	4189597,49	208
T3_30	Trapani	297144,38	4191400,03	202

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.

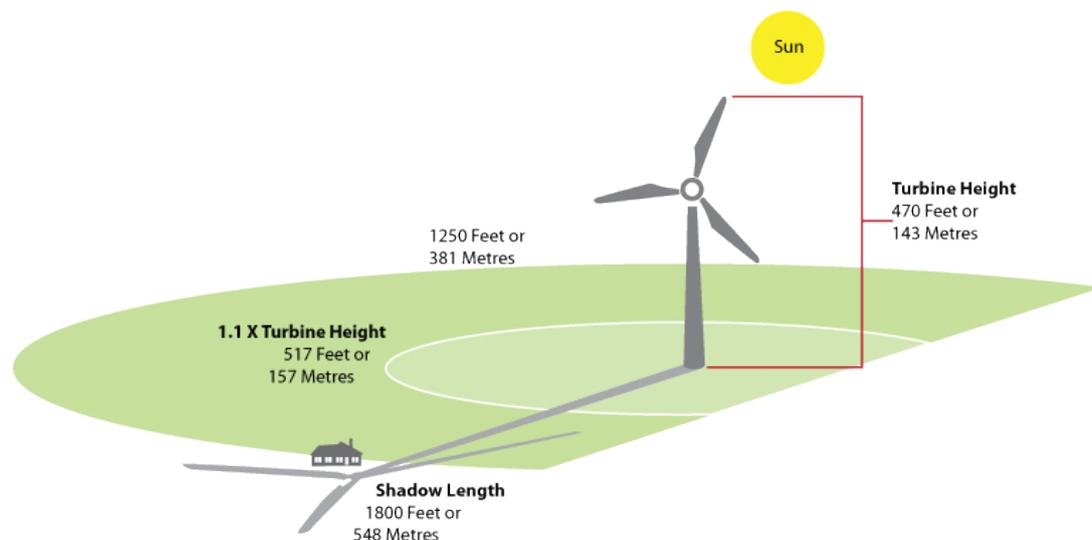


Figura 3-1: rappresentazione schematica

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 flicker. 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 flicker 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 flicker generato dall'esercizio degli impianti eolici, né è stata definita una distanza massima oltre la quale si ritiene improbabile il verificarsi di un impatto significativo sulla salute umana.

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

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

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

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

- Environment Protection and Heritage Council (EPHC) "National Wind Farm Development Guidelines - Draft" (Australia-Governo Nazionale, 2010);
- State of Queensland, Department of Infrastructure, Local Government and Planning "Wind farm State Code Planning Guideline" (Australia-Stato del Queensland, 2017);
- Western Australian Planning Commission "Guidelines for Wind Farm Development" (Western Australia, 2004);
- Victoria State Government, Department of Environment, Land, Water and Planning

"Policy and planning Guidelines for Development of Wind Energy Facilities in Victoria" (Australia, 2017);

- Vlaamse overheid – Departement Leefmilieu, Natuur en Energie, VLAREM II (Belgio-Regione delle Fiandre 2017);
- Arrêté du Gouvernement wallon portant conditions sectorielles relatives aux parcs d'éoliennes d'une puissance totale supérieure ou égale à 0,5 MW (Belgio-Regione Vallone, 2014);
- Scottish Government "Onshore wind turbines" (Scozia, 2012);
- Danish Government, Naturstyrelsen, Miljøministeriet "Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller" (Danimarca, 2015).

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

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

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

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

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

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

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno degli edifici, esso risulta evidente e potenzialmente fastidioso in quegli ambienti con 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: ricettori considerati nei 1700 metri

Ricettore	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria catastale particelle	Comune
	Est	Nord		
RC01	285501	4183734	A/4	Marsala
RC02	285773	4183358	A/4	Marsala
RC03	286216	4183103	A/3	Marsala
RC04	286249	4183035	A/2	Marsala
RC05	285693	4183955	D/7	Mazara del Vallo
RC06	286772	4183244	A/4	Mazara del Vallo
RC07	285541	4184741	A/4	Marsala
RC08	285849	4185377	A/4,A/6	Marsala
RC09	286794	4184822	A/6	Marsala
RC10	287189	4184670	A/4	Marsala
RC11	286515	4186201	A/3	Marsala
RC12	291842	4184737	A/4,D/10	Mazara del Vallo
RC13	292564	4184329	A/4	Mazara del Vallo
RC14	292227	4186373	A/3,D/10	Marsala
RC15	292151	4186892	A/3	Marsala
RC16	292221	4186820	A/4,A/3	Marsala
RC17	294687	4189273	A/4	Marsala
RC18	295455	4189005	A/3,D/10	Marsala
RC19	296523	4191826	A/7	Trapani
RC20	296747	4189645	A/4	Salemi
RC21	286627	4184845	A/6	Marsala
RC22	286588	4184840	A/6	Marsala
RC23	293504	4186539	A/4	Marsala
RC24	292300	4186837	A/3	Marsala
RC25	284904	4183810	A/3, A/3	Marsala
RC26	284862	4183731	A/7	Marsala
RC27	284841	4183665	A/3	Marsala

RC28	284819	4183633	A/3	Marsala
RC29	284834	4183630	A/3	Marsala
RC30	284853	4183621	A/4	Marsala
RC31	284837	4183612	A/4	Marsala
RC32	284843	4183607	A/4	Marsala
RC33	284828	4183570	A/3, A/4	Marsala
RC34	284869	4183808	A/3	Marsala
RC35	284846	4183790	A/3, A/3	Marsala
RC36	284831	4183745	A/3	Marsala
RC37	284830	4183714	A/2, A/2	Marsala
RC38	284806	4183684	A/4	Marsala
RC39	284794	4183818	A/3	Marsala
RC40	284777	4183817	A/4, D/10	Marsala
RC41	284786	4183772	A/2	Marsala
RC42	284821	4183762	A/4	Marsala
RC43	284810	4183757	A/3	Marsala
RC44	284749	4183745	A/4	Marsala
RC45	284738	4183712	A/7	Marsala
RC46	284726	4183698	A/3	Marsala
RC47	284714	4183683	A/4	Marsala
RC48	284721	4183672	A/7	Marsala
RC49	284715	4183663	A/4	Marsala
RC50	284709	4183653	A/3, A/3	Marsala
RC51	284694	4183616	A/4	Marsala
RC52	284667	4183569	A/3	Marsala
RC53	284725	4183629	A/4	Marsala
RC54	284739	4183626	A/4	Marsala
RC55	284773	4183662	A/4	Marsala
RC56	284777	4183645	A/3	Marsala
RC57	284783	4183640	A/4	Marsala

RC58	284782	4183637	A/4	Marsala
RC59	284771	4183627	A/3	Marsala
RC60	284793	4183618	A/2, A/3	Marsala
RC61	284755	4183591	A/2	Marsala
RC62	284768	4183581	A/3	Marsala
RC63	284740	4183603	A/3	Marsala
RC64	284734	4183589	A/4	Marsala
RC65	284730	4183565	A/4	Marsala
RC66	284722	4183548	A/3	Marsala
RC67	284703	4183501	A/7	Marsala
RC68	284728	4183512	A/3	Marsala
RC69	284724	4183502	A/3, C/2	Marsala
RC70	284569	4183815	A/7	Marsala
RC71	284596	4183827	A/4	Marsala
RC72	284602	4183815	A/3	Marsala
RC73	284612	4183799	A/2, A/3	Marsala
RC74	284659	4183800	A/2, A/4	Marsala
RC75	284683	4183817	A/3	Marsala
RC76	284707	4183817	A/2	Marsala
RC77	284734	4183779	A/7	Marsala
RC78	284710	4183740	A/3	Marsala
RC79	284674	4183711	A/3	Marsala
RC80	284664	4183692	A/7	Marsala
RC81	284653	4183672	A/3	Marsala
RC82	284690	4183681	A/4	Marsala
RC83	284678	4183645	A/3	Marsala
RC84	284668	4183608	A/3	Marsala
RC85	284792	4183881	A/2	Marsala
RC86	284780	4183854	A/3	Marsala
RC87	284764	4183853	A/3	Marsala

RC88	284752	4183847	A/4, A/4	Marsala
RC89	284743	4183853	A/3	Marsala
RC90	284722	4183851	A/4	Marsala
RC91	284680	4183849	A/3	Marsala
RC92	284667	4183862	A/4	Marsala
RC93	284647	4183844	A/3	Marsala
RC94	284632	4183852	A/3	Marsala
RC95	284622	4183860	A/3	Marsala
RC96	284623	4183886	A/6	Marsala
RC97	285124	4186068	A/2	Marsala
RC98	285117	4186039	A/2, A/4	Marsala
RC99	285829	4186432	A/3, D/10	Marsala
RC100	293435	4186040	A/3, A/3	Mazara del Vallo
RC101	293909	4185282	A/4, A/4	Mazara del Vallo
RC102	287215	4182875	A/6	Mazara del Vallo
RC103	298282	4190167	A/4	Salemi
RC104	297946	4189406	A/4	Salemi
RC105	296572	4188174	A/4	Salemi
RC106	298243	4189427	A/4	Salemi
RC107	296951	4187465	A/4	Salemi
RC108	293595	4190956	A/2, A/3	Trapani
RC109	294995	4192143	A/4	Trapani
RC110	296194	4192689	A/4	Trapani

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 2600 h/a^{1, 2}, quindi, i risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere abbattuti del 40,64 %, pari al complemento a 1 del rapporto $2600/4380 = 59,36$ %.

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.

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 79,50% delle ore anno, ovvero 6964 ore; in altri termini, la probabilità che il rotore di un aerogeneratore risulti in movimento è appunto dell'ordine del 79,50 % (pari al rapporto 6964/8760).

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 $79,50 \% \times 59,36 \% = 47,19 \%$, 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 **52,81 %**.

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 ricettore;
- della posizione del sole e quindi della proiezione dell'ombra rispetto ai ricettori;
- 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]	
RC01	77	52,4	24,7	19,3	A/4
RC02	0	0	0,0	0,0	A/4
RC03	0	0	0,0	0,0	A/3
RC04	0	0	0,0	0,0	A/2
RC05	89	80,6	38,0	25,6	D/7
RC06	0	0	0,0	0,0	A/4
RC07	146	85,1	40,2	16,5	A/4
RC08	202	138,1	65,2	19,4	A/4,A/6
RC09	168	140,1	66,1	23,6	A/6
RC10	216	129,7	61,2	17,0	A/4
RC11	134	72,7	34,3	15,4	A/3
RC12	57	32,7	15,4	16,2	A/4,D/10
RC13	41	12,1	5,7	8,4	A/4
RC14	103	49,4	23,3	13,6	A/3,D/10
RC15	122	46,9	22,1	10,9	A/3
RC16	61	24,1	11,4	11,2	A/4,A/3
RC17	93	34,6	16,3	10,5	A/4
RC18	64	21,1	10,0	9,3	A/3,D/10
RC19	86	62,4	29,4	20,5	A/7
RC20	259	457,6	215,9	50,0	A/4
RC21	130	108,3	51,1	23,6	A/6
RC22	124	102,4	48,3	23,4	A/6
RC23	0	0	0,0	0,0	A/4
RC24	53	18,7	8,8	10,0	A/3
RC25	125	44,9	21,2	10,2	A/3, A/3
RC26	113	39,6	18,7	9,9	A/7

RC27	101	31,3	14,8	8,8	A/3
RC28	39	13,6	6,4	9,9	A/3
RC29	40	14	6,6	9,9	A/3
RC30	40	14,4	6,8	10,2	A/4
RC31	42	14,2	6,7	9,6	A/4
RC32	40	14,3	6,7	10,1	A/4
RC33	41	14,3	6,7	9,9	A/3, A/4
RC34	126	42,2	19,9	9,5	A/3
RC35	124	41,2	19,4	9,4	A/3, A/3
RC36	118	40,5	19,1	9,7	A/3
RC37	112	38,2	18,0	9,7	A/2, A/2
RC38	40	13,1	6,2	9,3	A/4
RC39	100	30,9	14,6	8,7	A/3
RC40	96	29,6	14,0	8,7	A/4, D/10
RC41	125	36,2	17,1	8,2	A/2
RC42	121	40,4	19,1	9,5	A/4
RC43	121	39,7	18,7	9,3	A/3
RC44	38	11,8	5,6	8,8	A/4
RC45	36	11,7	5,5	9,2	A/7
RC46	36	11,6	5,5	9,1	A/3
RC47	36	11,4	5,4	9,0	A/4
RC48	37	11,6	5,5	8,9	A/7
RC49	37	11,5	5,4	8,8	A/4
RC50	36	11,4	5,4	9,0	A/3, A/3
RC51	37	11,3	5,3	8,6	A/4
RC52	36	11,1	5,2	8,7	A/3
RC53	37	11,8	5,6	9,0	A/4
RC54	38	12,1	5,7	9,0	A/4
RC55	38	12,6	5,9	9,4	A/4
RC56	38	12,7	6,0	9,5	A/3

RC57	39	12,9	6,1	9,4	A/4
RC58	38	12,8	6,0	9,5	A/4
RC59	39	12,7	6,0	9,2	A/3
RC60	40	13,2	6,2	9,3	A/2, A/3
RC61	39	12,6	5,9	9,1	A/2
RC62	40	12,9	6,1	9,1	A/3
RC63	38	12,2	5,8	9,1	A/3
RC64	38	12,2	5,8	9,1	A/4
RC65	38	12,2	5,8	9,1	A/4
RC66	38	12,2	5,8	9,1	A/3
RC67	40	12,2	5,8	8,6	A/7
RC68	40	12,5	5,9	8,8	A/3
RC69	39	12,5	5,9	9,1	A/3, C/2
RC70	32	9	4,2	8,0	A/7
RC71	33	9,3	4,4	8,0	A/4
RC72	32	9,4	4,4	8,3	A/3
RC73	34	9,6	4,5	8,0	A/2, A/3
RC74	34	10,3	4,9	8,6	A/2, A/4
RC75	34	10,6	5,0	8,8	A/3
RC76	34	10,9	5,1	9,1	A/2
RC77	37	11,5	5,4	8,8	A/7
RC78	35	11,1	5,2	9,0	A/3
RC79	35	10,7	5,0	8,7	A/3
RC80	34	10,5	5,0	8,7	A/7
RC81	36	10,5	5,0	8,3	A/3
RC82	36	11	5,2	8,7	A/4
RC83	36	10,9	5,1	8,6	A/3
RC84	36	11	5,2	8,7	A/3
RC85	89	27,9	13,2	8,9	A/2
RC86	91	28,1	13,3	8,7	A/3

RC87	89	27,3	12,9	8,7	A/3
RC88	89	26,7	12,6	8,5	A/4, A/4
RC89	88	26,2	12,4	8,4	A/3
RC90	36	11,2	5,3	8,8	A/4
RC91	35	10,5	5,0	8,5	A/3
RC92	34	10,2	4,8	8,5	A/4
RC93	34	10	4,7	8,3	A/3
RC94	34	9,8	4,6	8,2	A/3
RC95	33	9,6	4,5	8,2	A/3
RC96	33	9,6	4,5	8,2	A/6
RC97	46	15,6	7,4	9,6	A/2
RC98	54	20,5	9,7	10,7	A/2, A/4
RC99	49	17,6	8,3	10,2	A/3, D/10
RC100	0	0	0,0	0,0	A/3, A/3
RC101	35	10,6	5,0	8,6	A/4, A/4
RC102	0	0	0,0	0,0	A/6
RC103	0	0	0,0	0,0	A/4
RC104	37	8,4	4,0	6,4	A/4
RC105	46	18	8,5	11,1	A/4
RC106	0	0	0,0	0,0	A/4
RC107	0	0	0,0	0,0	A/4
RC108	54	19,4	9,2	10,2	A/2, A/3
RC109	0	0	0,0	0,0	A/4
RC110	0	0	0,0	0,0	A/4

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 8 fabbricati, adibiti ad abitazione, potrebbero essere soggetti al fenomeno per un numero di ore superiore a 30 nel corso dell'anno. Solo uno di essi (RC20)

risulta anche soggetto 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 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 successiva) 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 75%, dal momento che le direzioni prevalenti del vento risultano essere quella sud/sud est (16% circa) e quella nord/nord ovest (8% circa). Alla luce di ciò, l'unico ricettore che continua ad essere soggetto al fenomeno dello shadow flickering per più di 30 ore l'anno è il seguente:

- RC20: 54,0 ore (12,5 min/giorno);

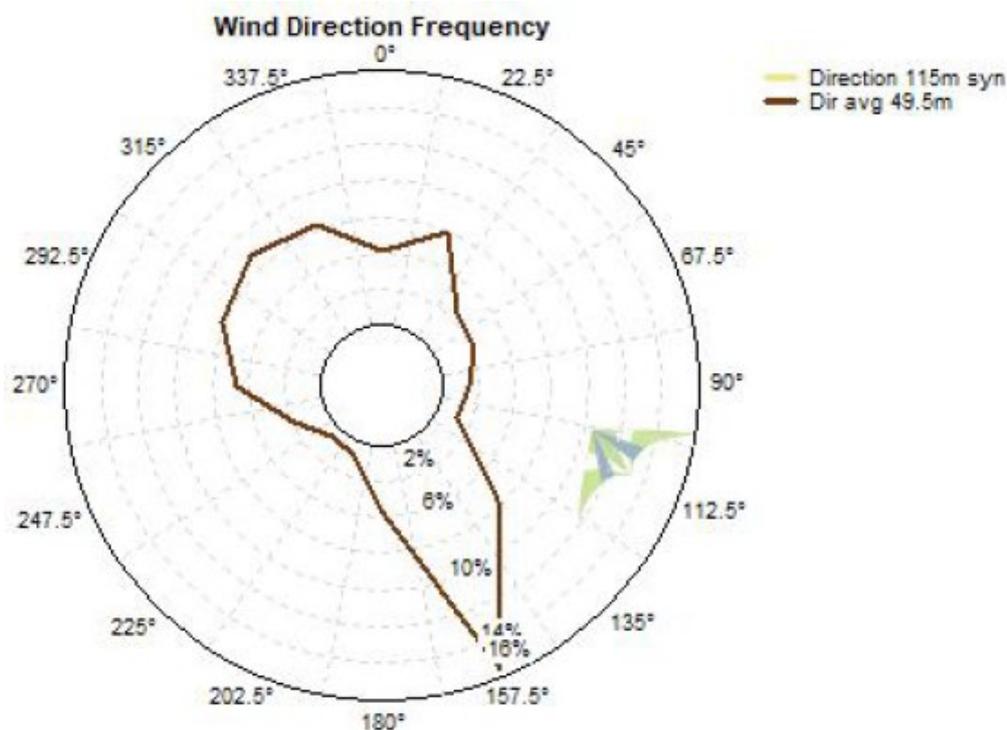


Figura 7-1: frequenza della direzione del vento per la torre anemometrica "Contrada Coniglia"

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 1 abitazione (RC20), incidendo in maniera molto limitata e poco significativa, in quanto il valore atteso massimo è risultato di poco superiore alle 30 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.

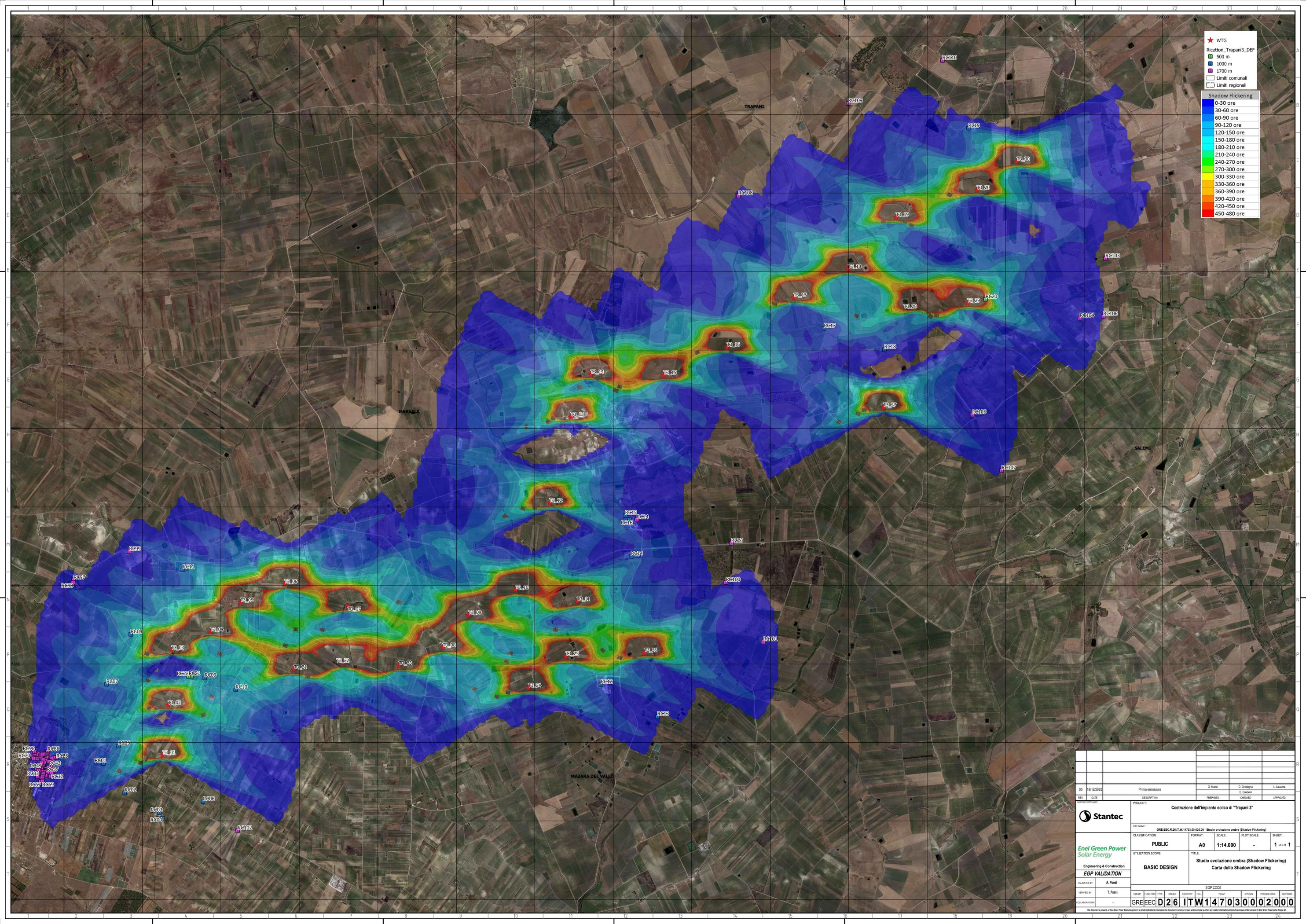
Va altresì sottolineato che:

- 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 mostrata nella pagina seguente è riportata la mappa delle ore di ombreggiamento (shadow flickering) nel worst case così come elaborata dal modello impiegato.



★ WTG
 Ricettori_Trapani3_DEF
 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
- 360-390 ore
- 390-420 ore
- 420-450 ore
- 450-480 ore

00		18/12/2020		Prima emissione		G. Manca		D. Giadogna		L. Lavazza	
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	CHECKED	APPROVED						
PROJECT: Costruzione dell'impianto eolico di "Trapani 3"											
FILE NAME: GRE.EEC.R.26.IT.W.14703.00.020.00 - Studio evoluzione ombra (Shadow Flickering)											
CLASSIFICATION: PUBLIC		FORMAT: A0	SCALE: 1:14.000	PLOT SCALE: -	SHEET: 1 di 1						
UTILIZATION SCOPE: BASIC DESIGN				TITLE: Studio evoluzione ombra (Shadow Flickering) Carta dello Shadow Flickering							
EGP VALIDATION											
VALIDATED BY: A. Pisci		ESP CODE									
VERIFIED BY: T. Fassi		GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TIC	PLANT	SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION
COORDINATORS: GRE.EEC.D26.ITW1470300002000											