



Green Power

Engineering & Construction



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.12420.05.029.00

PAGE

1 di/of 21

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

INTEGRALE RICOSTRUZIONE DELL'IMPIANTO EOLICO DI NICOSIA

PROGETTO DEFINITIVO

Studio evoluzione ombra (Shadow Flickering)

File: GRE.EEC.R.73.IT.W.12420.05.029.00 - Studio evoluzione ombra (Shadow Flickering)

00	03/07/2020	Prima emissione	G. Manzi	N. Novati	G. Manzi
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED

GRE VALIDATION

Lenci (GRE)	Magri (GRE)	Iaciofano (GRE)
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT Nicosia	GRE CODE																		
	GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT				SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION						
	GRE	EEC	R	7	3	I	T	W	1	2	4	2	0	0	5	0	2	9	0

CLASSIFICATION	PUBLIC	UTILIZATION SCOPE	BASIC DESIGN
----------------	---------------	-------------------	---------------------

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

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	5
4. NORME DI RIFERIMENTO	7
5. INDIVIDUAZIONE DEI RICETTORI	8
6. MODELLO DI CALCOLO	11
7. RISULTATI	13

1. INTRODUZIONE

Stantec S.p.A., in qualità di Consulente Tecnico, è stata incaricata da Enel Green Power S.p.A. ("EGP") di redigere il progetto definitivo per il potenziamento dell'esistente impianto eolico ubicato nei comuni di Nicosia (EN) e Mistretta (ME), in località "Contrada Marrocco", costituito da 55 aerogeneratori di potenza nominale pari a 0,85 MW, per una potenza totale installata di 46,75 MW.

L'energia prodotta dagli aerogeneratori, attraverso il sistema di cavidotti interrati in media tensione, viene convogliata alla sottostazione elettrica di alta tensione "Serra Marrocco" 150 kV, realizzata in entra-esce sulla linea Nicosia-Caltanissetta. La suddetta stazione elettrica è ubicata all'interno dell'area dell'impianto eolico.

Il progetto proposto prevede l'installazione di nuove turbine eoliche in sostituzione delle esistenti, in linea con gli standard più alti presenti sul mercato, e consentirà di ridurre il numero di macchine da 55 a 13, per una nuova potenza installata prevista pari a 78 MW, diminuendo in questo modo l'impatto visivo, in particolare il cosiddetto "effetto selva". Inoltre, la maggior efficienza dei nuovi aerogeneratori comporterà un aumento considerevole dell'energia specifica prodotta, riducendo in maniera proporzionale la quantità di CO₂ equivalente.

1.1. DESCRIZIONE DEL PROPONENTE

Enel Green Power S.p.A., in qualità di soggetto proponente del progetto, è la 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 29 Paesi nel mondo: in 18 gestisce delle capacità produttive mentre in 11 è impegnata nello sviluppo e costruzione di nuovi impianti. La capacità gestita totale è di circa 46 GW, corrispondenti a più di 1.200 impianti.

In Italia, il parco di generazione di Enel Green Power è rappresentato da tutte le 5 tecnologie rinnovabili del gruppo: idroelettrico, eolico, fotovoltaico, geotermia e biomassa. Attualmente nel Paese conta una capacità gestita complessiva di oltre 14 GW.

1.2. CONTENUTI DELLA RELAZIONE

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

Il capitolo 2 descrive in generale il sito e il layout degli aerogeneratori di nuova costruzione

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 del presente elaborato, è ubicato a circa 80 km a Sud-Est di Palermo ed a qualche km ad Est delle Madonie, nei comprensori comunali di Nicosia (EN) e Mistretta (ME), Regione Sicilia.

L'area interessata si sviluppa lungo il crinale della dorsale ad andamento O-E, che si estende tra Serra Marrocco, Monte Ferrante, Monte Quattro Finaite e località Portella Palumba (a sud di Monte Saraceno) per una lunghezza di circa 6 Km, e lungo i due crinali delle dorsali ad

andamento Sud-Nord, che si estendono da Serra Marocco per una lunghezza di circa 1 Km e tra Monte della Grassa e Monte Quattro Finaite per una lunghezza di circa 3 Km.

L'impianto in progetto ricade entro i confini comunali di Nicosia e Mistretta, in particolare all'interno dei seguenti riferimenti cartografici:

- Foglio di mappa catastale del Comune di Nicosia n° 1, 3, 4 e 5;
- Foglio di mappa catastale del Comune di Mistretta n° 96;
- Fogli I.G.M. in scala 1:25.000, codificati 260-I-SO Castel di Lucio e 260-II-NO Ganci;
- Carta tecnica regionale CTR in scala 1:10.000, foglio n° 610160.

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

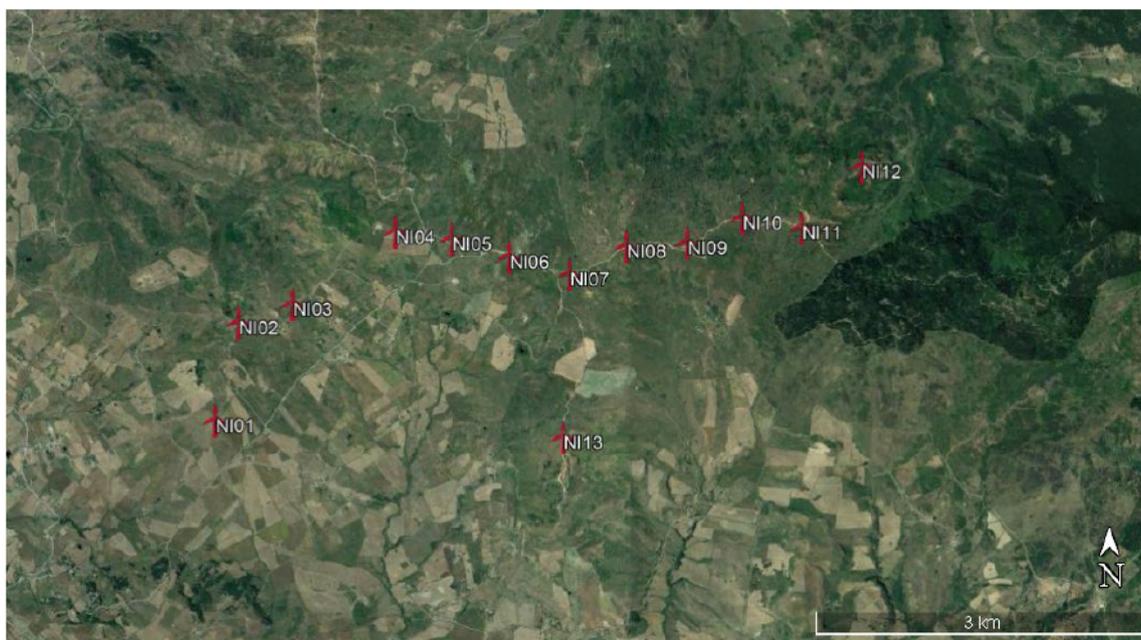


Figura 2-2: Configurazione proposta su ortofoto

Di seguito è riportato in formato tabellare un dettaglio sulla locazione delle WTG di nuova costruzione, in coordinate WGS84 UTM fuso 33N:

Tabella 1: coordinate aerogeneratori

ID	Comune	Est	Nord	Altitudine [m s.l.m.]
NI01	Nicosia	435152,37	4186572,87	997
NI02	Nicosia	435371,96	4187457,03	1093
NI03	Nicosia	435860,43	4187620,53	1073
NI04	Nicosia	436793,02	4188265,95	1105
NI05	Nicosia	437302,81	4188201,13	1083
NI06	Nicosia	437819,67	4188034,76	1087
NI07	Nicosia	438364,31	4187874,32	1101
NI08	Nicosia	438879,01	4188122,02	1111
NI09	Nicosia	439428,41	4188150,68	1119
NI10	Nicosia	439927,01	4188370,05	1142
NI11	Nicosia	440465,48	4188278,58	1124
NI12	Mistretta	441027,00	4188834,00	1033
NI13	Nicosia	438293,20	4186395,24	1104

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.

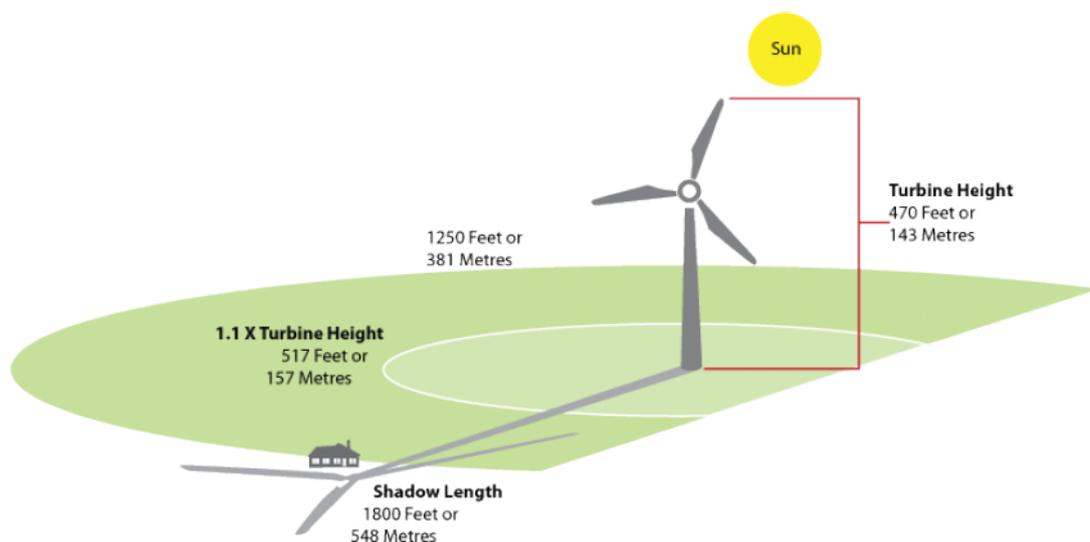


Figura 3-1: rappresentazione schematica del fenomeno dello shadow flickering

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 posso 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'area corrispondente all'involuppo delle aree buffer circolari di raggio pari a 10 volte il diametro del rotore (nel caso in esame 1700 m) del modello di aerogeneratore previsto in progetto (D pari a 170 m), con centro coincidente con le postazioni delle WTG in oggetto; ciò in accordo con quanto stabilito dalla "National Policy Statement for Renewable Energy Infrastructure (EN-3)" (UK, 2011)

(PPS22 per l'Inghilterra, TAN8 per il Galles), secondo la quale è improbabile che si verifichi un impatto significativo da shadow flickering a distanze superiori a dieci volte il diametro del rotore. Si è preferito optare per seguire le indicazioni delle Linee Guida anglosassoni in quanto da esperienze pregresse è sempre risultato che i 10 diametri sono più che cautelativi nella valutazione dello shadow flickering, come peraltro avviene di default all'interno di tutti i software che valutano tale impatto.

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno degli edifici, esso risulta evidente e potenzialmente fastidioso in quegli ambienti con finestrate localizzate lungo la direttrice sole-aerogeneratore e, per tale ragione, si è considerato nella simulazione la presenza di finestre di altezza pari a 1.5 metri e larghezza pari ad 1 metro, posizionate ad una quota dal suolo di 2 metri e disposte su tutte le facciate degli edifici considerati, in direzione dei quattro punti cardinali (N-E-S-W).

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

Tabella 2: Ricettori considerati

Ricettore	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria catastale	Comune
	Est	Nord		
RC01	435455	4186225	A/3 C/6	Nicosia
RC03	435667	4186830	A/4 C/6	Nicosia
RC06	436339	4187516	A/3 A/4 C/2 C/6	Nicosia
RC07	436425	4187577	A/4 C/6	Nicosia
RC09	436579	4187704	A/4 C/2	Nicosia
RC10	436796	4187786	A/4 C/2 C/6	Nicosia
RC11	437335	4187798	A/3 D/10	Nicosia
RC12	437933	4187475	A/3 D/10	Nicosia
RC15	435641	4186118	A/2	Nicosia
RC16	435980	4186059	A/4	Nicosia
RC18	436386	4187093	A/4 C/2 C/6	Nicosia
RC19	436351	4187168	A/4 C/2 C/6	Nicosia
RC20	436747	4187279	A/4	Nicosia
RC22	437659	4186236	A/4 C/2	Nicosia
RC23	437641	4186082	A/3 C/2	Nicosia
RC24	437789	4185628	A/3 C/2	Nicosia
RC28	434432	4187169	A/4 C/2 C/6 F/2	Geraci Siculo
RC31	434530	4187446	A/4 C/2 C/6	Geraci Siculo
RC32	434628	4187426	A/4 D/10	Geraci Siculo

RC33	436790	4187101	D/10	Geraci Siculo
RC34	436922	4186426	A/3	Geraci Siculo
RC35	437010	4186423	A/4	Geraci Siculo
RC36	439721	4185876	A/4 C/6	Geraci Siculo
RC37	439387	4186085	A/4 C/2	Geraci Siculo
RC38	439681	4186149	A/4 C/6	Geraci Siculo
RC39	439803	4186180	D/10	Geraci Siculo
RC40	434068	4187240	A/4 C/6	Geraci Siculo
RC41	434080	4187327	A/4	Geraci Siculo
RC42	434032	4187017	A/3	Geraci Siculo
RC43	433871	4187003	A/4 C/2	Geraci Siculo
RC44	433787	4186901	A/4	Geraci Siculo
RC45	434094	4186658	A/3	Geraci Siculo
RC46	434021	4186407	D/10	Geraci Siculo
RC47	433855	4186590	A/3	Geraci Siculo
RC48	433817	4186446	D/10	Geraci Siculo
RC49	433519	4186453	A/4	Geraci Siculo
RC50	433657	4186520	D/1	Geraci Siculo
RC51	433555	4186362	A/4 C/2 C/6	Geraci Siculo
RC52	433575	4186343	A/4 C/2 C/6	Geraci Siculo
RC53	433649	4186382	A/4 C/2 C/6	Geraci Siculo
RC54	433679	4186370	A/4 C/2 C/6	Geraci Siculo
RC55	433727	4186397	A/4 C/2 C/6	Geraci Siculo
RC56	434070	4186226	A/4	Geraci Siculo
RC57	434033	4186176	A/4 C/2 C/6	Geraci Siculo
RC58	434022	4186197	A/4	Geraci Siculo
RC59	433672	4186255	A/7	Geraci Siculo
RC60	433926	4186059	A/7	Geraci Siculo
RC61	433661	4185943	A/4	Geraci Siculo

La seguente tabella riporta le coordinate degli aerogeneratori previsti in progetto:

Tabella 3: Coordinate aerogeneratori di progetto

WTG	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Diametro del Rotore [m]	Altezza di mozzo [m]
	Est	Nord		
NI01	435152	4186573	170	115
NI02	435372	4187457	170	115
NI03	435860	4187621	170	115
NI04	436793	4188266	170	115
NI05	437303	4188201	170	115
NI06	437820	4188035	170	115
NI07	438364	4187874	170	115
NI08	438879	4188122	170	115
NI09	439428	4188151	170	115
NI10	439927	4188370	170	115
NI11	440465	4188279	170	115
NI12	441009	4188827	170	115
NI13	438293	4186395	170	115

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^{1, 2}, 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 all'82,0% delle ore anno, ovvero 7183 ore; in altri termini, la probabilità che il rotore di un aerogeneratore risulti in

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.

movimento è appunto dell'ordine dell'82,0 % (pari al rapporto 7183/8760).

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 $82,0\% \times 57,08\% = 46,80\%$, 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 **53,20%**.

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 4: risultati del calcolo, in rosso i ricettori con più di 30 ore/anno

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"	Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	
RC01	0	0,0	0,0	A/3 C/6
RC03	108	93,8	43,9	A/4 C/6
RC06	193	191,6	89,7	A/3 A/4 C/2 C/6
RC07	183	156,0	73,0	A/4 C/6

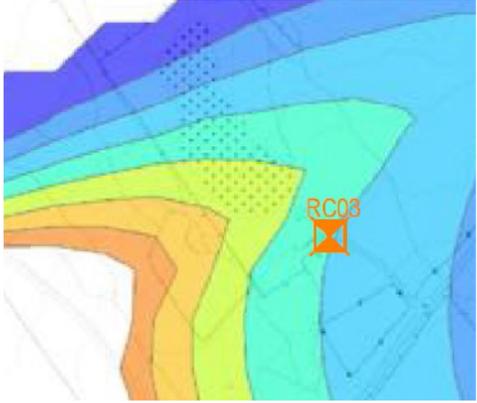
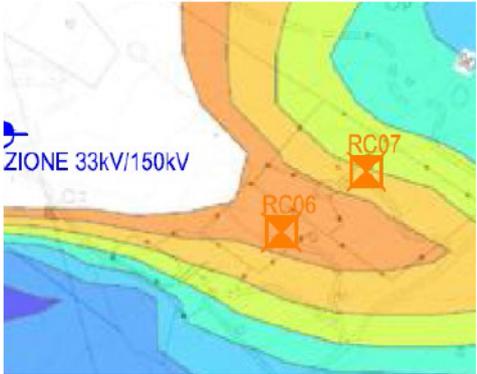
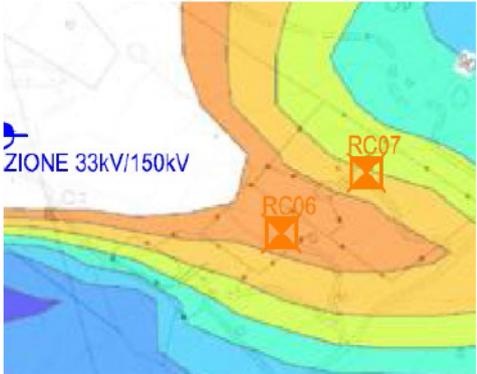
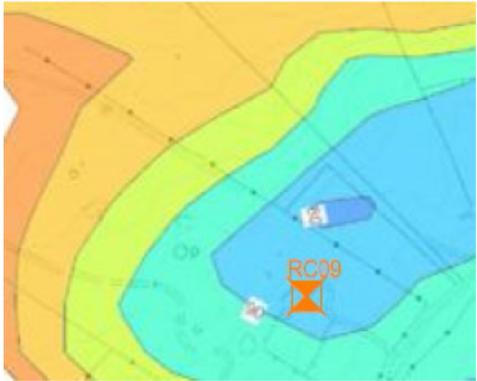
Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"	Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	
RC09	142	83,9	39,3	A/4 C/2
RC10	170	87,1	40,8	A/4 C/2 C/6
RC11	136	63,4	29,7	A/3 D/10
RC12	0	0,0	0,0	A/3 D/10
RC15	0	0,0	0,0	A/2
RC16	0	0,0	0,0	A/4
RC18	120	59,3	27,8	A/4 C/2 C/6
RC19	149	78,0	36,5	A/4 C/2 C/6
RC20	105	49,2	23,0	A/4
RC22	87	68,4	32,0	A/4 C/2
RC23	0	0,0	0,0	A/3 C/2
RC24	0	0,0	0,0	A/3 C/2
RC28	172	115,8	54,2	A/4 C/2 C/6 F/2
RC31	66	51,9	24,3	A/4 C/2 C/6
RC32	81	64,7	30,3	A/4 D/10
RC33	100	36,6	17,1	D/10
RC34	40	16,0	7,5	A/3
RC35	44	18,1	8,5	A/4
RC36	39	9,5	4,4	A/4 C/6
RC37	21	1,0	0,5	A/4 C/2
RC38	59	22,9	10,7	A/4 C/6
RC39	46	16,9	7,9	D/10
RC40	119	51,3	24,0	A/4 C/6
RC41	130	57,0	26,7	A/4
RC42	124	55,0	25,7	A/3
RC43	128	48,8	22,8	A/4 C/2
RC44	106	42,4	19,8	A/4

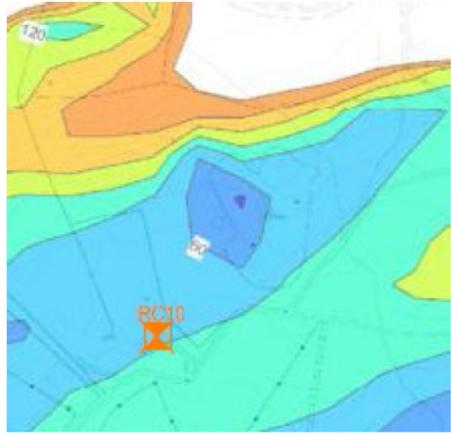
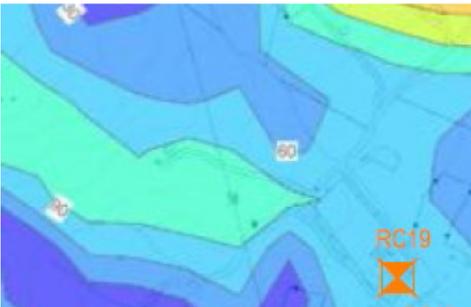
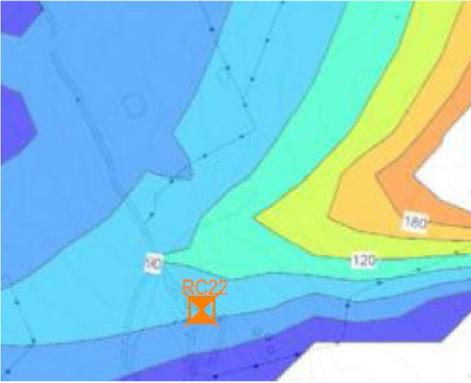
Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"	Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	
RC45	46	24,0	11,2	A/3
RC46	61	28,8	13,5	D/10
RC47	43	17,8	8,3	A/3
RC48	46	18,9	8,8	D/10
RC49	38	12,6	5,9	A/4
RC50	38	14,2	6,6	D/1
RC51	40	14,1	6,6	A/4 C/2 C/6
RC52	42	14,7	6,9	A/4 C/2 C/6
RC53	42	15,7	7,3	A/4 C/2 C/6
RC54	45	16,7	7,8	A/4 C/2 C/6
RC55	46	17,3	8,1	A/4 C/2 C/6
RC56	83	43,7	20,5	A/4
RC57	71	35,2	16,5	A/4 C/2 C/6
RC58	79	39,9	18,7	A/4
RC59	52	19,5	9,1	A/7
RC60	40	13,9	6,5	A/7
RC61	37	10,9	5,1	A/4

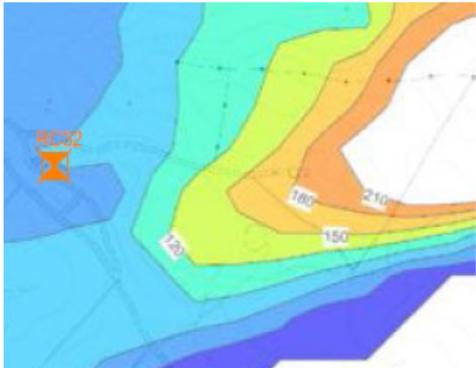
Nello specifico, la tabella precedente riporta il numero di giorni e di ore in cui è fisicamente possibile che il fenomeno si presenti (caso peggiore) e il valore realistico atteso di ore l'anno in cui il fenomeno potrebbe presentarsi. A tal proposito è importante sottolineare che anche il caso realistico, 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, 9 fabbricati, adibiti ad abitazione, potrebbero essere soggetti al fenomeno per un numero di ore superiore a 30 nel corso dell'anno. Nessun ricettore risulta soggetto ad una durata superiore a 30 minuti al giorno. È riportato in tabella seguente, il dettaglio dei 9 fabbricati che potrebbero essere soggetti al fenomeno dello shadow flickering per un numero superiore a 30 nel corso dell'anno, inclusivo dell'inquadramento sulla "Carta dello shadow flickering", riportata in Figura 7-2 e allegata alla presente relazione.

Tabella 5: Dettaglio ricettori sottoposte a fenomeno di shadow flickering per più di 30 ore all'anno

Ricettore	Inquadramento ricettore su ortofoto	WTG coinvolte nel fenomeno	Inquadramento su carta dello Shadow Flickering
RC03		NI01 a 570 m	
RC06		NI03 a 440 m da RC06	
RC07		NI03 a 560 m da RC07	
RC09		NI03 a 720 m, NI04 a 610 m, NI05 a 870 m	

Ricettore	Inquadramento ricettore su ortofoto	WTG coinvolte nel fenomeno	Inquadramento su carta dello Shadow Flickering
RC10		<p>NI03 a 950 m, NI04 a 480 m, NI05 a 650 m</p>	
RC19		<p>NI02 a 1020 m, NI03 a 650 m</p>	
RC22		<p>NI13 a 670 m</p>	

Ricettore	Inquadramento ricettore su ortofoto	WTG coinvolte nel fenomeno	Inquadramento su carta dello Shadow Flickering
RC28		NI01, NI02	
RC32		NI02	

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 di almeno un ulteriore 50%, dal momento che le direzioni prevalenti del vento risultano essere quella nord - sud (30% circa) e quella sud est - nord ovest (15% 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 sono i seguenti:

- RC06: 44,8 ore;
- RC07: 36,5 ore.

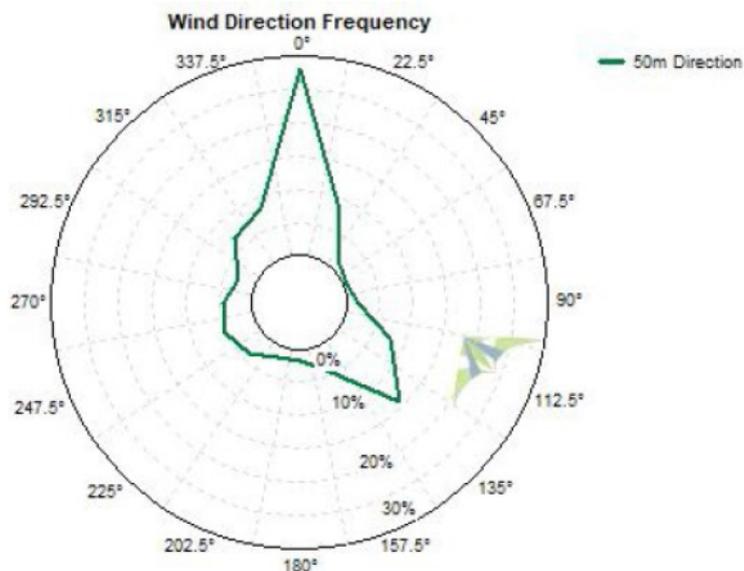


Figura 7-1: frequenza della direzione del vento per la torre anemometrica "Monte la Grassa"

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 2 abitazioni, incidendo in maniera molto limitata e poco significativa, in quanto il valore registrato nella simulazione è risultato dell'ordine delle 40 ore l'anno (RC06 44,8 ore, RC07 36,5 ore).

Inoltre, si rammenta che si tratta di fenomeni:

- limitati nello spazio, in quanto relativi solo a due edifici molto prossimi;
- episodici durante l'anno e localizzati all'alba o al tramonto;
- di breve durata nel corso della giornata, in quanto ciascun 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;
- gli aerogeneratori in progetto che causano il fenomeno dell'ombreggiamento (essenzialmente NI01, NI02, NI03 ed NI06) sono molto distanti dai ricettori (le distanze sono comprese tra 500 m e 1,5 km). In tali circostanze l'effetto dell'ombra è trascurabile poiché il rapporto tra lo spessore della pala e la distanza dal ricettore è molto ridotto;

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 "GRE.EEC.D.73.IT.W.12420.05.024.00 - Carta dello shadow flickering" è riportata la mappa delle ore di ombreggiamento (shadow flickering) nel worst case così come elaborata dal modello impiegato.

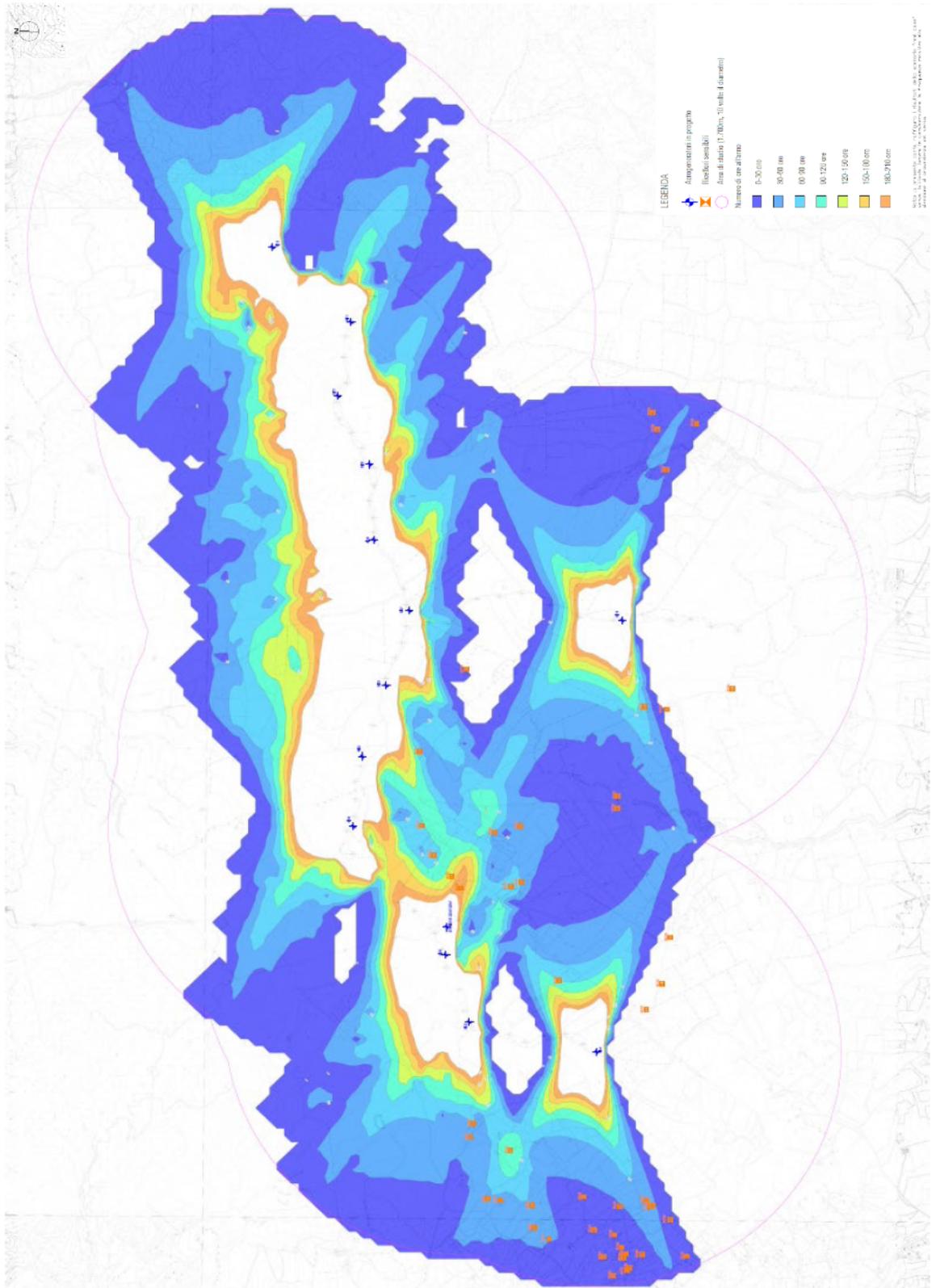
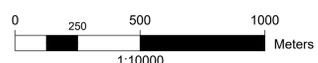
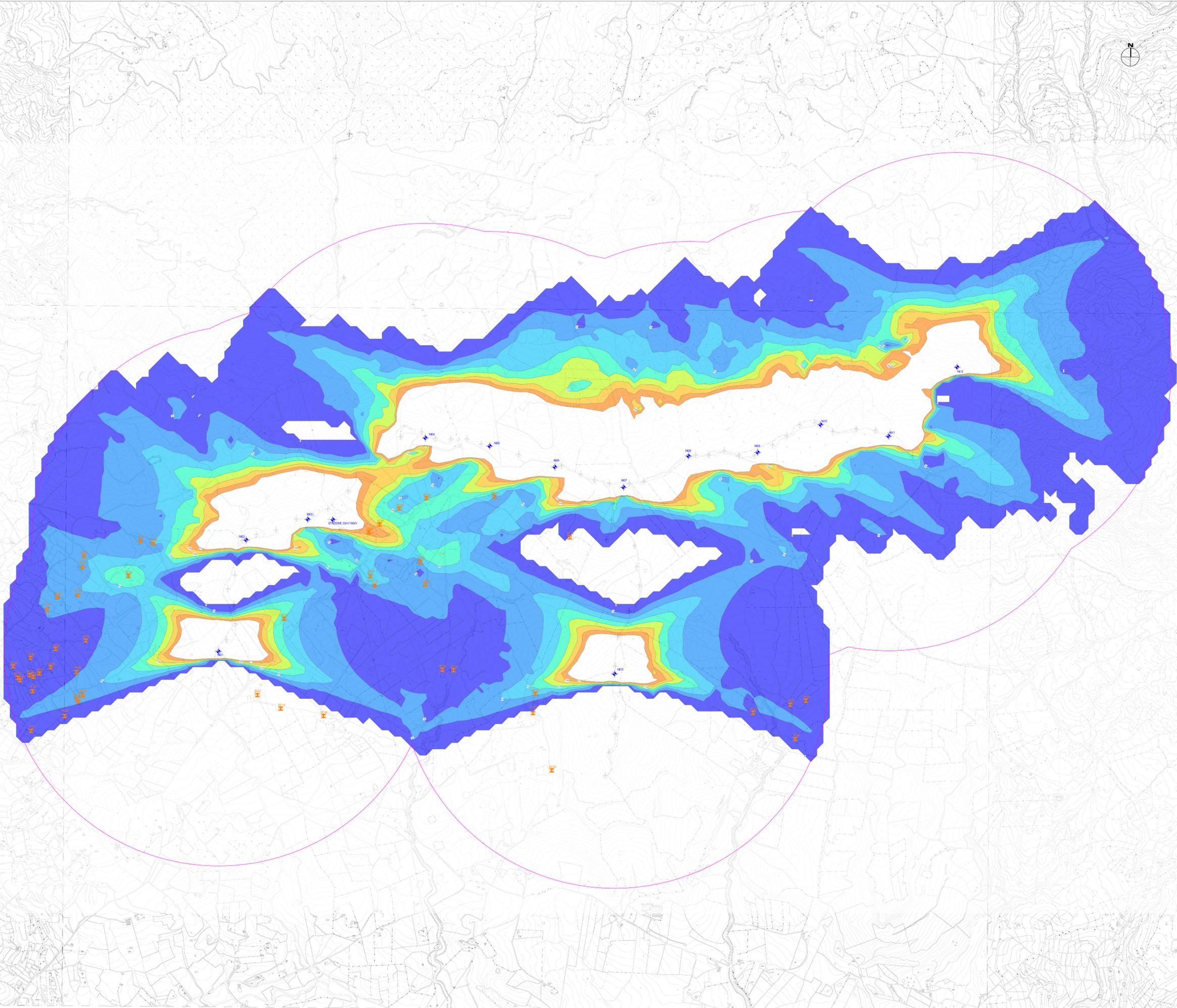


Figura 7-2: Estratto della Carta dello shadow flickering



LEGENDA

- Aerogeneratori in progetto
 - Ricettori sensibili
 - Area di studio (1.700m, 10 volte il diametro)
- Numero di ore all'anno
- 0-30 ore
 - 30-60 ore
 - 60-90 ore
 - 90-120 ore
 - 120-150 ore
 - 150-180 ore
 - 180-210 ore



00		2020.07.03		Prima emissione		N. Nicosia	M. Testa	L. Lanza
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	CHECKED	APPROVED			
		PROJECT: INTEGRALE RICOSTRUZIONE DELL'IMPIANTO EOLICO DI NICOSIA						
		FILE NAME: GRE.EEC.R73.IT.W.12420.05.029.00 - Studio evoluzione ombra (Shadow Flickering)	CLASSIFICATION: PUBLIC	FORMAT: A0	SCALE: 1:10.000	PLOT SCALE: -	SHEET: 1 di 1	
EGP VALIDATION		UTILIZATION SCOPE: BASIC DESIGN		TITLE: Allegato 1 Carta dello shadow flickering				
VALIDATED BY:	Magni	EGP CODE						
VIEWED BY:	Isidoro	GROUP	FUNCTION	TYPE	SECTOR	COUNTRY	TCC	PLANT
COORDINATIONS:	Land	GRE.EEC	R73	ITW124200502900				