



Green Power

Engineering & Construction



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.12420.05.029.01

PAGE

1 di/of 15

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

INTEGRALE RICOSTRUZIONE DELL'IMPIANTO EOLICO DI MONTEMAGGIORE BELSITO

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione sullo shadow flickering

File: GRE.EEC.R.73.IT.W.14180.05.029.01 - Studio evoluzione ombra (Shadow-Flickering)

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
01	22/09/2020	Emissione finale dopo commenti	G. Manzi	N. Novati	G. Manzi
00	10/07/2020	Prima emissione	G. Manzi	N. Novati	G. Manzi

GRE VALIDATION

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

PROJECT / PLANT Montemaggiore Belsito	GRE CODE																		
	GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT			SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION							
	GRE	EEC	R	7	3	I	T	W	1	4	1	8	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	9
7. RISULTATI	11

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 Montemaggiore Belsito e Sclafani Bagni (PA) in località "Cozzo Vallefondi", costituito da 18 aerogeneratori di potenza nominale pari a 0,85 MW, per una potenza totale installata di 15,3 MW.

L'energia prodotta dagli aerogeneratori, attraverso il sistema di cavidotti interrati in media tensione, viene convogliata a due cabine MT separate, una ubicata nell'area dell'impianto di Montemaggiore Belsito, l'altra all'interno dell'area di impianto di Sclafani Bagni.

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 18 a 6, per una nuova potenza installata prevista pari a 36 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 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 del presente elaborato, è ubicato a circa 50 km a Sud-Est di Palermo ed a qualche km ad ovest delle Madonie, nei comprensori comunali di Montemaggiore Belsito (PA) e Sclafani Bagni (PA), Regione Sicilia.

L'area interessata si sviluppa lungo i crinali di un'area collinare. I crinali hanno sviluppo ad arco in direzione Est-Ovest.

L'impianto in progetto ricade interamente entro i confini comunali di Montemaggiore Belsito e Sclafani Bagni, in particolare all'interno dei seguenti riferimenti cartografici:

- Foglio di mappa catastale del Comune di Montemaggiore Belsito n° 21;
- Foglio di mappa catastale del Comune di Sclafani Bagni n° 13-14;
- Fogli I.G.M. in scala 1:25.000, codificati 259-II-NO Alia;
- Carta tecnica regionale CTR in scala 1:10.000, foglio n° 609140.

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

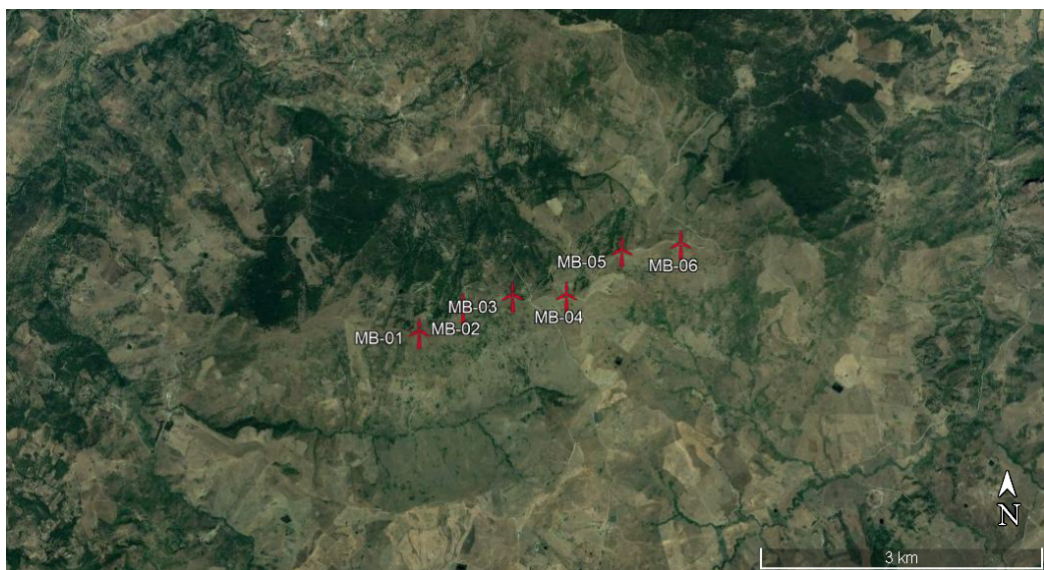


Figura 2-2: Configurazione proposta su ortofoto

Di seguito è riportato in formato tabellare un dettaglio sulla locazione delle WTG di nuova costruzione:

Tabella 1: Inquadramento territoriale WTG

ID	Comune	Est	Nord	Altitudine [m s.l.m.]
MB-01	Montemaggiore Belsito	392155,10	4185035,00	967
MB-02	Montemaggiore Belsito	392626,00	4185291,00	1001
MB-03	Montemaggiore Belsito	393155,00	4185406,00	956
MB-04	Montemaggiore Belsito	393729,00	4185401,00	971
MB-05	Sclafani Bagni	394324,00	4185869,00	1021
MB-06	Sclafani Bagni	394954,00	4185932,00	1015

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.

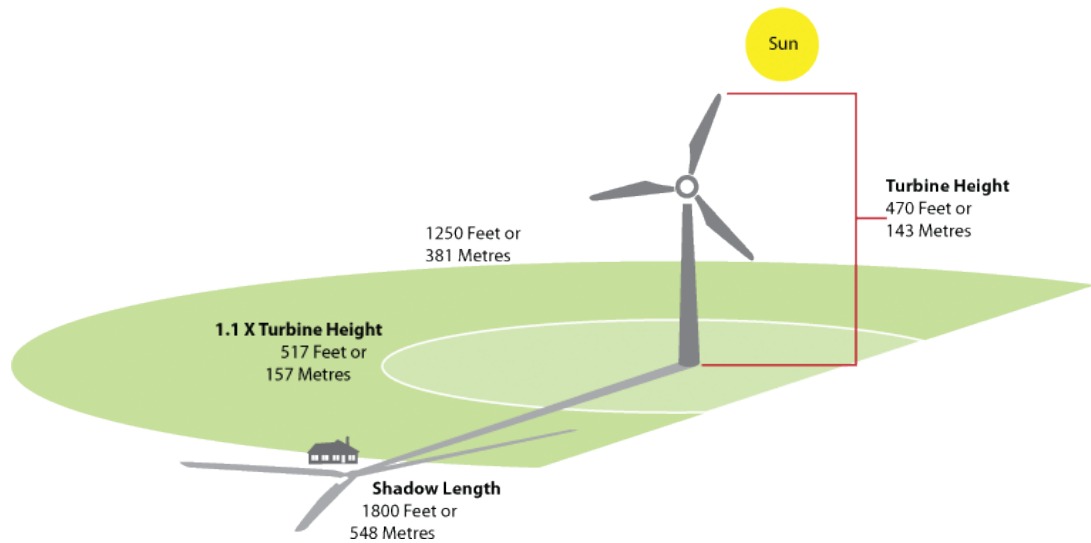


Figura 2-1: rappresentazione schematica del fenomeno dello shadow flickering

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 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:

- 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	394677	4184981	A/4 C/2 C/6	Sclafani Bagni
RC05	393689	4186406	A/4 C/6	Montemaggiore Belsito
RC16	392171	4186139	A/4	Montemaggiore Belsito
RC18	392154	4185454	D/10	Montemaggiore Belsito
RC19	392112	4185471	A/3 D/10	Montemaggiore Belsito
RC24	391984	4184523	A/4 C/2	Sclafani Bagni

La seguente tabella riporta le coordinate degli aerogeneratori previsti in progetto (SG 6.0 MW – D170)

Tabella 3: coordinate aerogeneratori di progetto

WTG	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Diametro del Rotore [m]	Altezza di mozzo [m]
	Est	Nord		
MB-01	392155	4185035	170	115
MB-02	392626	4185291	170	115
MB-03	393155	4185406	170	115
MB-04	393729	4185401	170	115
MB-05	394324	4185869	170	115
MB-06	394954	4185932	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 $2500/4380 = 57,08 \%$.

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 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, in assenza di specifici dati forniti dal committente nell'ambito dello studio anemologico, sono state ipotizzate pari all'83,0% delle ore anno, ovvero 7271 ore; in altri termini, la probabilità che il rotore di un aerogeneratore risulti in movimento è appunto dell'ordine dell'83.0 % (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 $83,0 \% \times 57,08 \% = 47,37$ 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 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:


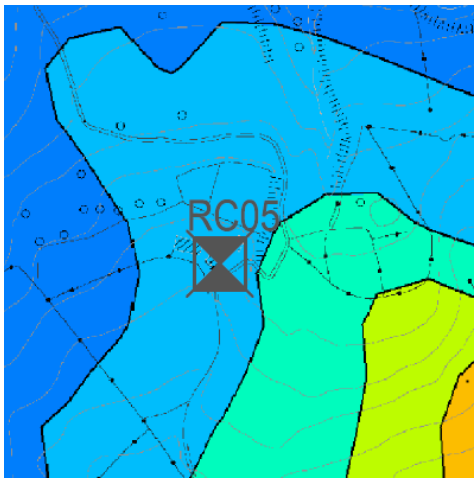
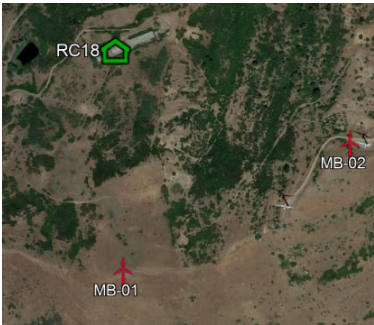
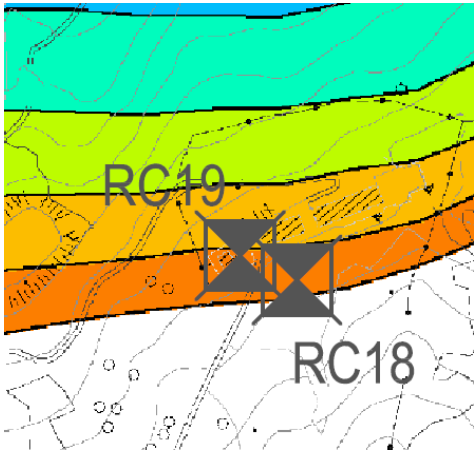
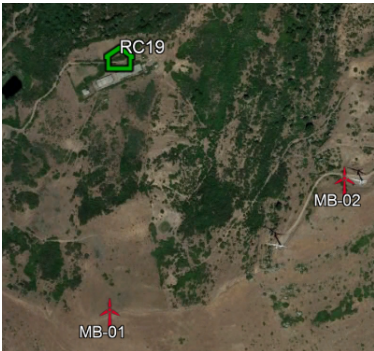
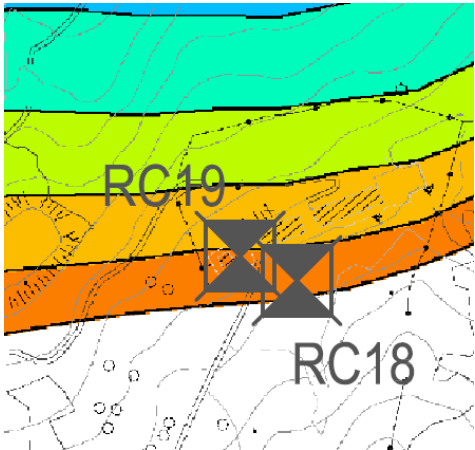
Tabella 4: risultati del calcolo, in rosso i ricettori con più di 30 ore/anno

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"	Caso "realistico"	Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	[min/giorno]	
RC01	0	0	0,0	0	A/4 C/2 C/6
RC05	142	74,4	35,2	14.9	A/4 C/6
RC16	105	55,9	26,5	15.1	A/4
RC18	191	203,2	96,3	30.2	D/10
RC19	183	188,3	89,2	29.2	A/3 D/10
RC24	0	0	0.0	0	A/4 C/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, 3 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 3 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	<p>Inquadramento su carta dello Shadow Flickering</p> <p>Numero di ore all'anno</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 0-30 ore ■ 30-60 ore ■ 60-90 ore ■ 90-120 ore ■ 120-150 ore ■ 150-180 ore ■ 180-210 ore <p>Legenda:</p>
RC05		<p>MB-05 a 850 metri</p>	
RC18		<p>MB-01 a 420 metri; MB-02 a 500 metri</p>	
RC19		<p>MB-01 a 450 metri; MB-02 a 450 metri</p>	

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 60%, dal momento che le direzioni prevalenti del vento risultano essere quella nord/nord ovest (30% circa) e quella sud/sud-est (10% 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:

- RC19: 35,7 ore (11.7 min/giorno);

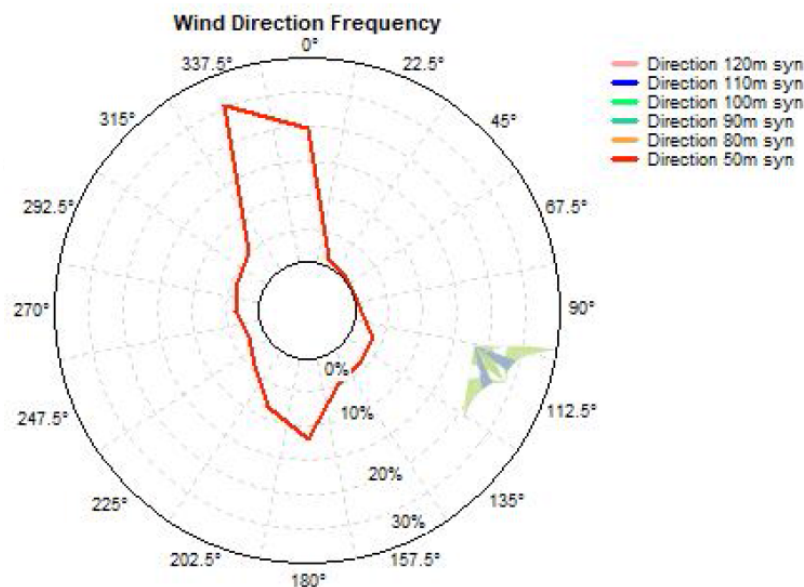


Figura 7-1: frequenza della direzione del vento per la torre anemometrica "Caltavuturo"

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 1 abitazione, incidendo in maniera molto limitata e poco significativa, in quanto il valore atteso massimo è risultato dell'ordine delle 35 ore l'anno.

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 MB-01, MB-02 e MB-05) 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.R.73.IT.W.12420.05.029.00 - Studio evoluzione ombra (Shadow-Flickering) - Allegato 1 è riportata la mappa delle ore di ombreggiamento (shadow flickering) nel worst case così come elaborata dal modello impiegato.

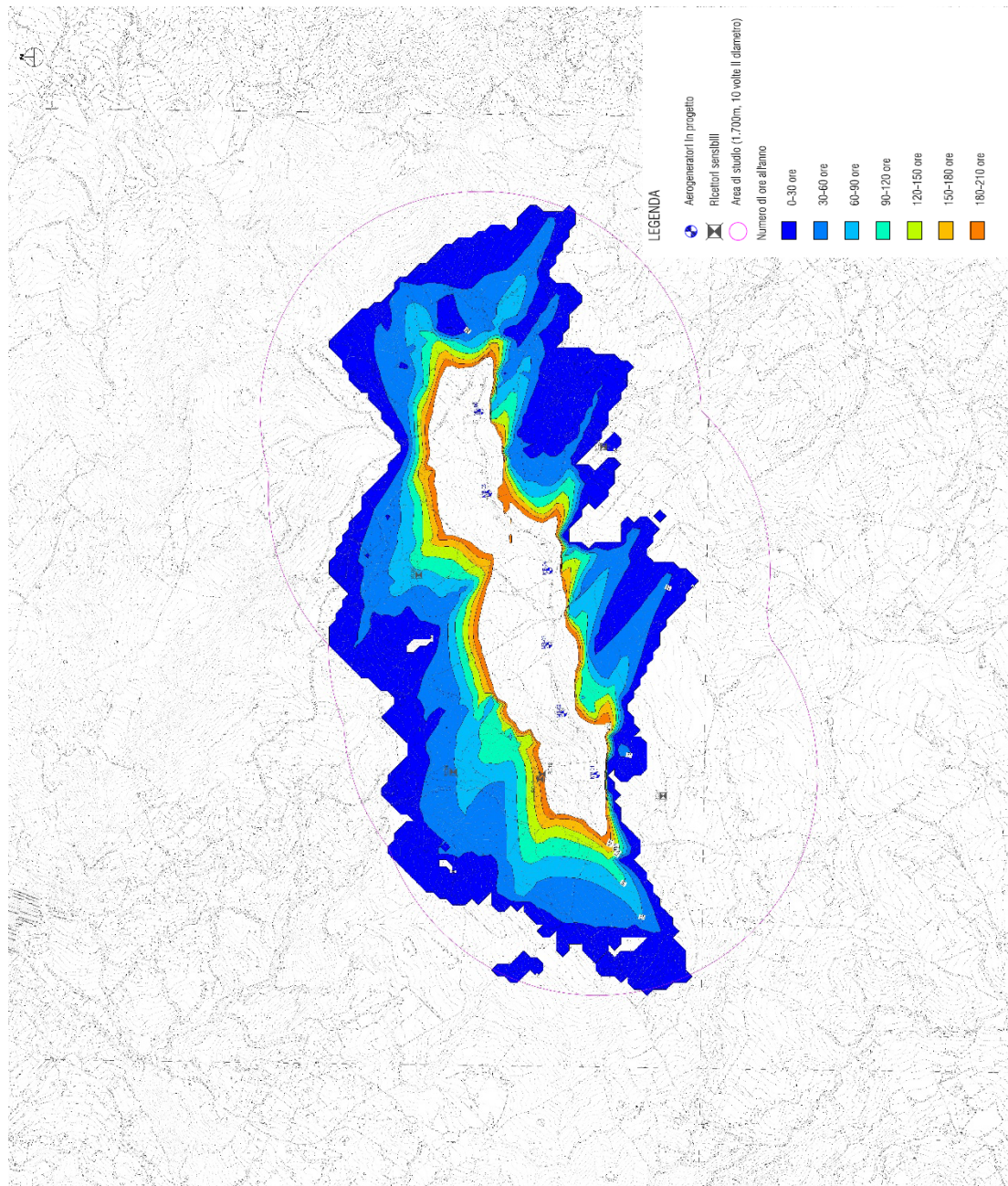
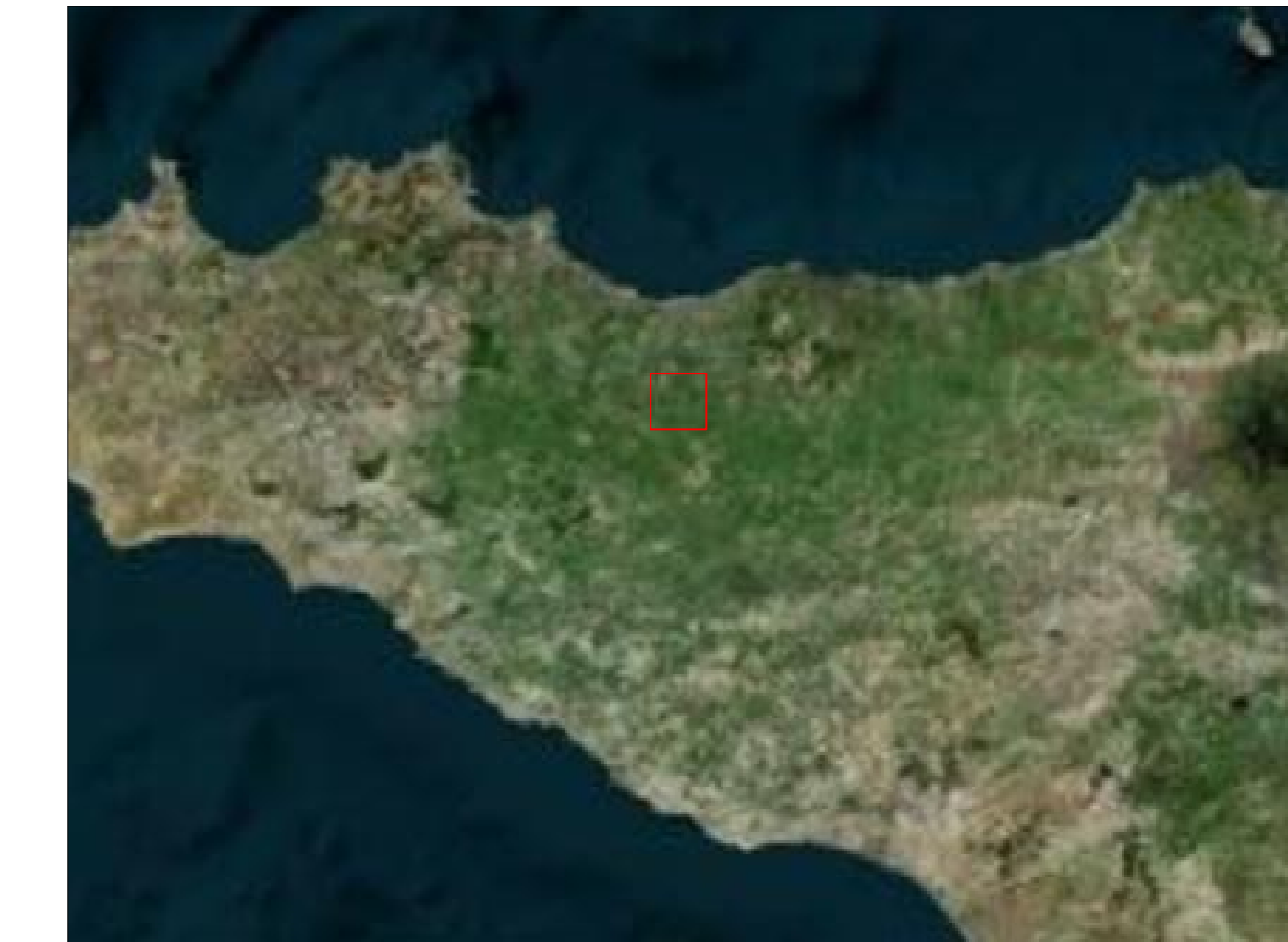
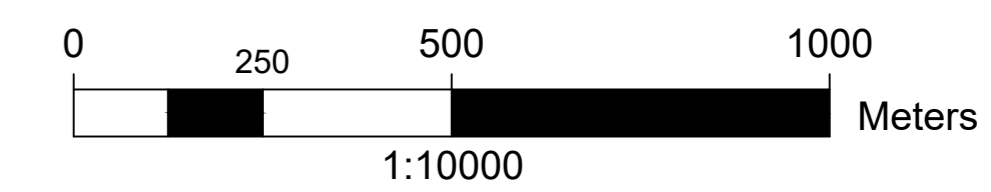
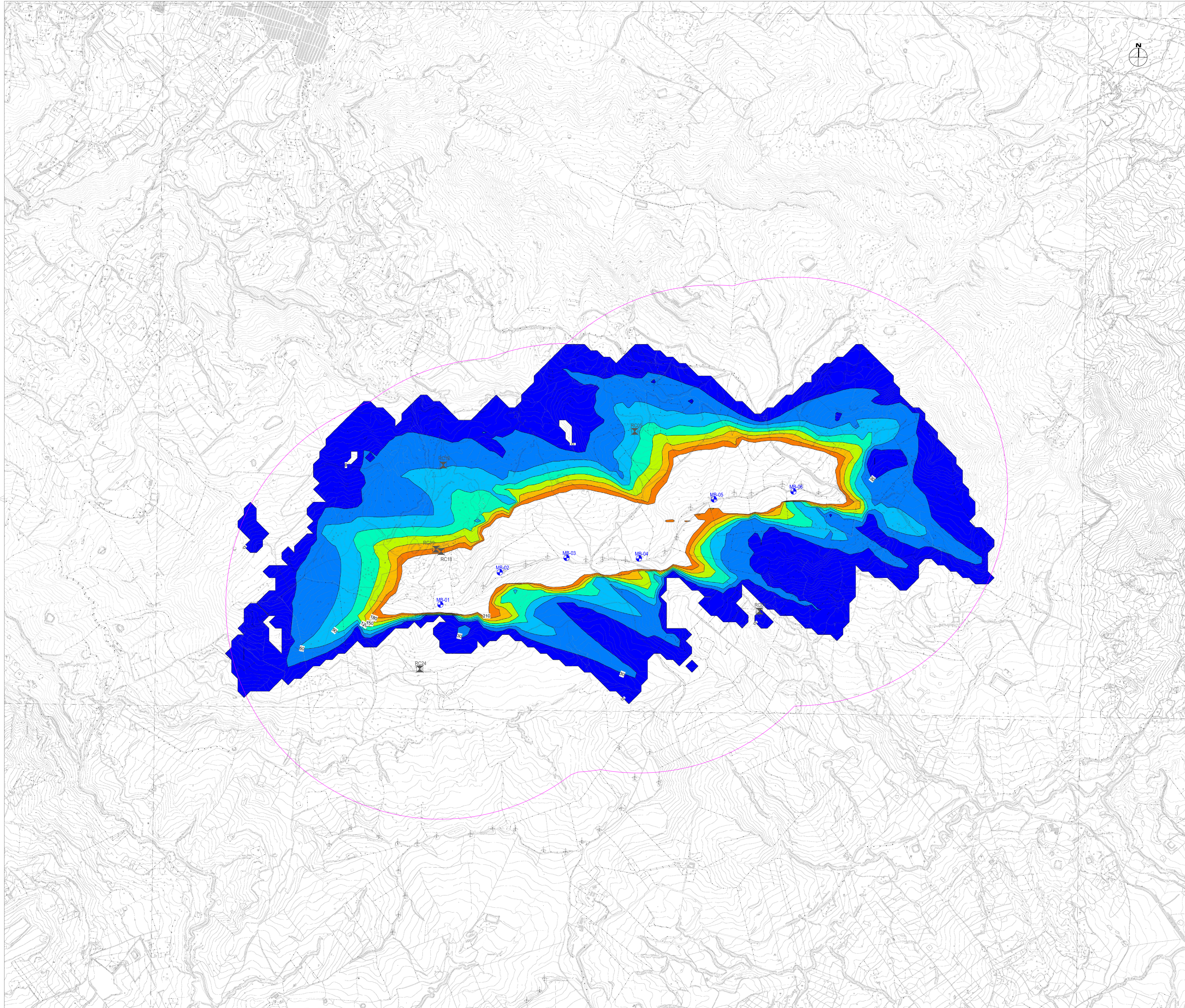


Figura 7-2: Estratto della Carta dello shadow flickering



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



01	2020.08.22	Emissione finale dopo commenti	N. Nuvoli	M. Testi	L. Lanzetta
00	2020.07.10	Prima emissione	N. Nuvoli	M. Testi	L. Lanzetta
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	CHECKED	APPROVED
<p>Stantec PROJECT: INTEGRALE RICOSTRUZIONE DELL'IMPIANTO EOLICO DI MONTEGGIORE BELSITO</p> <p>FILE NAME: GRE.EEC.R73.IT.W.14180.05.029.01 - Studio evoluzione ombra (Shadow Flickering)</p> <p>CLASSIFICATION: PUBLIC FORMAT: A0 SCALE: 1:10.000 PLOT SCALE: 1 di 1</p> <p>UTILIZATION SCOPE: BASIC DESIGN TITLE: Allegato 1 Carta dello shadow flickering</p> <p>EGP VALIDATION</p> <p>VALIDATED BY: Magni</p> <p>VIEWED BY: Lucifero</p> <p>COORDINATIONS: Land</p> <p>EGP CODE: GRE.EEC.R73.IT.W.14180.05.029.01</p>					