



REGIONE
BASILICATA



COMUNE DI
FORENZA



COMUNE DI
MASCHITO



COM. DI PALAZZO
S. GERVASIO



PROVINCIA DI
POTENZA

PROGETTO DEFINITIVO

Costruzione ed esercizio di impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Forenza-Maschito" di potenza in massima immissione pari a 33MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Forenza, Maschito e Palazzo San Gervasio (Pz)

Titolo elaborato

Codice elaborato

F0626AR07A

Scala

-

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

A.8 - Studio sugli effetti dello shadow flickering

Progettazione



F4 ingegneria srl

Via Di Giura - Centro direzionale, 85100 Potenza
Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico
(ing. Giovanni DI SANTO)



Gruppo di lavoro

Dott. for. Luigi ZUCCARO
Ing. Giuseppe MANZI
Ing. Angelo CORRADO
Ing. Mariagrazia PIETRAFESA
Geom. Nicola DEMA
Ing. Federica COLANGELO
Ing. Mariagrazia LOVALLO
Arch. Gaia TELESCA
Ing. Jr. Maria CARLEO
Sig. Vito PIERRI



Società certificata secondo le norme UNI-EN ISO 9001:2015 e UNI-EN ISO 14001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).

Consulenze specialistiche

Committente



Forenza S.r.l.

Via Dante 7 20123 - Milano

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Febbraio 2024	Prima emissione	MGL	MMA	GMA

Sommario

1	Informazioni essenziali impianto	3
2	Premessa	4
3	Il fenomeno dello shadow flickering	5
4	Individuazione dei ricettori	8
5	Modello di calcolo	10
6	Risultati	12

1 Informazioni essenziali impianto

Proponente	Forenza S.r.l.
Potenza complessiva massima in immissione	33 MW
Potenza complessiva impianto	33 MW
Potenza singolo WTG	6.6 MW
Numero aerogeneratori	5
Altezza hub max	135m
Diametro rotore max	170 m
Altezza complessiva max	220 m
Area poligono impianto	8.7 kmq
Lunghezza elettrodotto AT area parco	2324 m
Lunghezza elettrodotto AT esterno	9486 m
RTN autorizzata (si/no)	no
RTN esistente (si/no)	no
Tipo di connessione alla RTN (cavo/aereo)	Collegamento in antenna a 36 kV ad una nuova Stazione Elettrica di trasformazione RTN 150 kV da inserire in entra - esce alla linea RTN a 150 kV "Genzano - Palazzo San Gervasio - Forenza"
Piazzola di montaggio (max)	9781 m ²
Piazzola definitiva (max)	2079 m ²

2 Premessa

La presente relazione ha l'obiettivo di illustrare il fenomeno dello 'shadow flickering' e di valutare il suo effetto nell'area circostante determinato dalla realizzazione del parco eolico denominato "**Forenza – Maschito**", localizzato nel territorio comunale di Forenza, Montemilone e Palazzo San Gervasio (PZ).

Il parco eolico è costituito da 5 aerogeneratori di potenza unitaria pari a 6.6 MW, in accordo con la potenza di immissione da STMG. L'impianto verrà collegato in antenna 36kV, mediante elettrodotto interrato 36 kV ad una nuova Stazione Elettrica di trasformazione RTN 150 kV da inserire in entra - esce alla linea RTN a 150 kV "Genzano - Palazzo San Gervasio - Forenza" (STMG Terna Codice pratica: 202301814).

Il progetto ricade al punto 2 dell'elenco di cui all'allegato II alla Parte Seconda del d.lgs. n.152/2006 e s.m.i., come modificato dalla legge 208/2021, "impianti eolici per la produzione di energia elettrica sulla terraferma con potenza complessiva superiore a 30 MW", pertanto risulta soggetto al procedimento di Valutazione di Impatto Ambientale per il quale il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, di concerto con il Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo, svolge il ruolo di autorità competente in materia.

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.

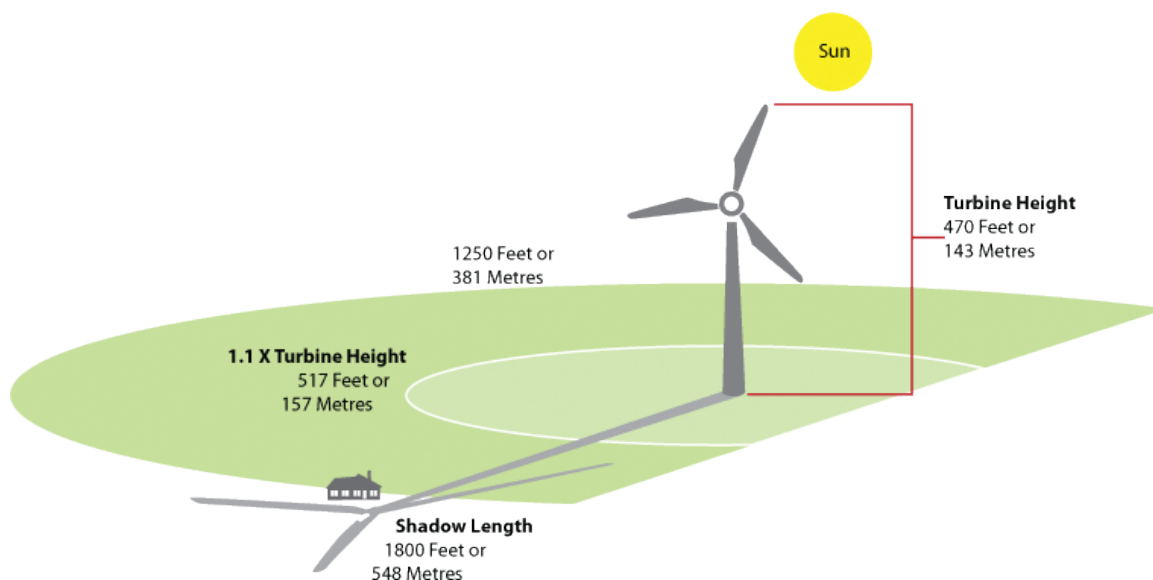


Figura 1: Rappresentazione schematica del fenomeno dello shadow flickering

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:

- 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.

In Italia, dove questo fenomeno è meno importante rispetto alle latitudini più settentrionali (come ad esempio Danimarca, Germania, Olanda e Svezia), non esiste alcuna normativa regolamentare che regoli questo aspetto a livello nazionale.

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

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

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

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

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

4 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 (Siemens Gamesa SG 170 m - 6.6 MW), 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. 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 2,0 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 1: Riepilogo dei ricettori in esame

Ricettori	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria Catastale	Comune
	Est	Nord		
R01	572923	4530136	A04	Maschito
R02	573752	4529900	D10	Maschito
R03	573839	4529928	D10	Maschito
R04	574636	4529912	A03, A04, D10	Maschito
R05	571549	4527318	A03	Forenza
R06	571855	4527487	D10	Forenza
R07	571931	4527574	D10	Forenza
R08	571992	4527560	A03	Forenza
R09	572023	4527543	D10	Forenza
R10	572238	4527454	A03	Forenza
R11	572426	4527447	A03	Forenza
R12	572528	4527501	A04	Forenza
R13	572666	4527677	D10	Forenza
R14	572771	4527507	A04	Forenza
R15	572810	4527875	A03	Forenza
R16	572282	4527168	D10	Forenza
R17	572065	4526729	A02	Forenza
R18	572412	4526676	A03,D10	Forenza
R19	573311	4527002	D10	Forenza
R20	573269	4526966	A03,D10	Forenza

Costruzione ed esercizio di impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Forenza-Maschito"
 di potenza in massima immissione pari a 33MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di
 Forenza, Maschito e Palazzo San Gervasio (Pz)

A.8 - Studio sugli effetti dello shadow flickering

Ricettori	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria Catastale	Comune
	Est	Nord		
R21	573297	4526909	D10	Forenza
R22	573802	4526957	A03	Forenza
R23	575173	4527908	A04	Forenza
R24	571844	4529430	D10	Maschito
R25	572177	4526495	A03	Forenza
R26	572244	4526443	A03,D10	Forenza
R27	572307	4526435	A07-C02, A04	Forenza
R28	572321	4526393	C02,	Forenza
R29	572322	4526424	C02	Forenza
R30	572558	4526523	C06	Forenza
R31	572648	4526491	C06	Forenza
R32	571419	4529399	C02	Maschito
R33	571307	4529359	C02	Maschito
R34	571323	4529376	C02	Maschito
R35	571649	4529483	C02	Maschito
R36	571926	4529597	C02	Maschito
R37	572968	4530789	C02	Maschito
R38	575495	4528356	C02	Forenza
R39	574383	4526751	C02	Forenza
R40	573276	4526601	C02-F03	Forenza
R41	572603	4526480	D10-A02	Forenza

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

Tabella 2: Riepilogo aerogeneratori di progetto

WTG	Coordinate UTM-WGS84 fuso 33		Coordinate Gauss Boaga fuso est	
	E	N	x	y
MA01	572313	4528009	2592322	4528016
MA02	573116	4528390	2593125	4528397
MA03	573615	4528872	2593624	4528879
MA04	573781	4529392	2593790	4529399
MA05	573883	4528202	2593892	4528210

5 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 $2200 \text{ h/a}^{1,2}$, quindi, i risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere abbattuti del 49.77%, pari al complemento a 1 del rapporto $2200/4380 = 49.77\%$.

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 49.77% 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 state stimate pari al 79.07³%, delle ore anno, ovvero 6927 ore; in altri termini, la probabilità che il rotore di un aerogeneratore risulti in rotazione è appunto dell'ordine del 79.07% (pari appunto al rapporto $6927/8760$).

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 $50.23\% \times 79.07\% = 39.72\%$, ovvero 60.28%, 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.

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.

³ Considerando il report anemologico disponibile ed il fatto che la wtg prevista in progetto è caratterizzata da una velocità di cut-in dell'ordine di 3 m/s, le ore macchina dovrebbero essere dell'ordine del 81.50% di quelle annuali. Tenendo conto dei valori di disponibilità dell'impianto e della rete rispettivamente pari a 98% e 99%, l'assunzione del 79.07% sembra molto ragionevole.

6 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 recettori;
- dell'orografia locale, tramite un modello digitale del terreno (DTM) dell'area di installazione del parco;
- della posizione dei possibili ricettori (abitazioni), nonché degli aerogeneratori (layout di progetto).

Come sopra accennato, le simulazioni effettuate sono state condotte in condizioni conservative, assumendo il cielo completamente sgombro da nubi, foschia, ecc. e nessun ostacolo interposto tra i ricettori individuati e gli aerogeneratori previsti in progetto.

Il programma effettua il calcolo delle ore del giorno in cui si potrebbe avere l'effetto del flickering sul ricettore considerato, facendo la somma dei minuti in cui il fenomeno risulta presente. Effettua poi la somma teorica dei minuti di ciascun mese (worst case) che poi può essere ridotta in considerazione delle giornate soleggiate, dell'operatività effettiva dell'impianto eolico, della direzione del vento ecc... Inoltre, avendo calcolato geometricamente l'evoluzione delle ombre durante la giornata, è possibile identificare l'area in cui avviene il fenomeno dello shadow flickering per ciascun aerogeneratore. Si ottengono così i dati sinteticamente riportati nella seguente tabella.

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 0,55-0,75 Hz (corrispondenti a 11 - 15 rpm, circa un passaggio ogni 1,8-1,3 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. Nello specifico, la tabella seguente 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 nell'arco dell'anno in cui il fenomeno potrebbe presentarsi. A tal proposito è importante sottolineare che anche il caso realistico, valutato tenendo conto dell'eliofania locale nonché delle ore di funzionamento dell'impianto (rotore in rotazione), rappresenta 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 analizzato. In aggiunta, sempre per un'ipotesi a vantaggio di sicurezza, non si è tenuto conto della stagionalità del fenomeno.

Infatti, 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 possono essere ridotti di almeno un ulteriore 81.50%, dal momento che la direzione prevalenti del vento risulta

essere la congiungente NNW-SSE e WSW-NNE. Alla luce di ciò, le ore del fenomeno subiscono un ulteriore abbattimento, che le porta ad essere circa il 24.23% di quelle calcolate dal modello nell'ipotesi WORST CASE.

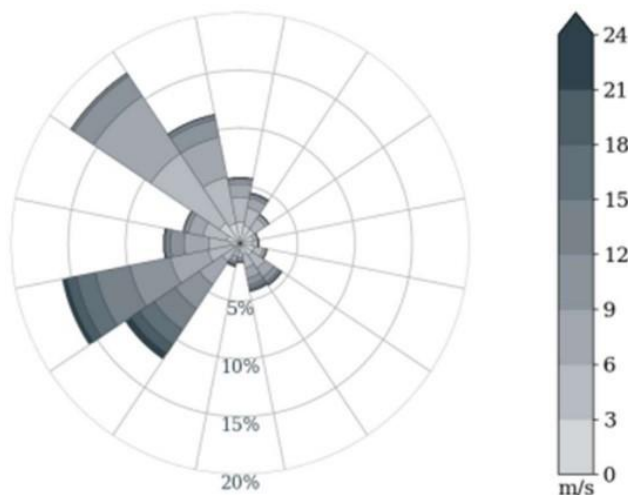


Figura 2: Rosa dei venti

Tabella 3: Risultati della simulazione

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"		Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	[minuti/giorno]	
R01	77,00	40,98	9,9	7,7	A04
R02	27,00	10,86	2,6	5,8	D10
R03	0,00	0,00	0,0	0,0	D10
R04	101,00	55,29	13,4	8,0	A03, A04, D10
R05	0,00	0,00	0,0	0,0	A03
R06	0,00	0,00	0,0	0,0	D10
R07	0,00	0,00	0,0	0,0	D10
R08	0,00	0,00	0,0	0,0	A03
R09	0,00	0,00	0,0	0,0	D10
R10	0,00	0,00	0,0	0,0	A03
R11	11,00	0,10	0,0	0,1	A03
R12	40,00	4,93	1,2	1,8	A04
R13	73,00	26,84	6,5	5,3	D10
R14	0,00	0,00	0,0	0,0	A04
R15	146,00	197,53	47,9	19,7	A03
R16	0,00	0,00	0,0	0,0	D10
R17	0,00	0,00	0,0	0,0	A02

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"		Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	[minuti/giorno]	
R18	0,00	0,00	0,0	0,0	A03, D10
R19	0,00	0,00	0,0	0,0	D10
R20	0,00	0,00	0,0	0,0	A03, D10
R21	0,00	0,00	0,0	0,0	D10
R22	0,00	0,00	0,0	0,0	A03
R23	47,00	19,27	4,7	6,0	A04
R24	65,00	23,47	5,7	5,2	D10
R25	0,00	0,00	0,0	0,0	A03
R26	0,00	0,00	0,0	0,0	A03, D10
R27	0,00	0,00	0,0	0,0	A07-C02, A04
R28	0,00	0,00	0,0	0,0	C02,
R29	0,00	0,00	0,0	0,0	C02
R30	0,00	0,00	0,0	0,0	C06
R31	0,00	0,00	0,0	0,0	C06
R32	0,00	0,00	0,0	0,0	C02
R33	0,00	0,00	0,0	0,0	C02
R34	0,00	0,00	0,0	0,0	C02
R35	0,00	0,00	0,0	0,0	C02
R36	0,00	0,00	0,0	0,0	C02
R37	0,00	0,00	0,0	0,0	C02
R38	34,00	11,50	2,8	4,9	C02
R39	0,00	0,00	0,0	0,0	C02
R40	0,00	0,00	0,0	0,0	C02-F03
R41	0,00	0,00	0,0	0,0	D10-A02

Inoltre, alla luce di quanto descritto nei paragrafi precedenti, nel caso in esame non è presente nessun impatto significativo da shadow flickering sui ricettori individuati, infatti un solo ricettore risulta soggetto per più ore all'anno al fenomeno (Caso "realistico") indicato con il codice **R15**, corrispondente a categoria catastale **A03** e supera lievemente la soglia di esposizione superiore a 30 ore/anno, pari 47.9 ore/anno (Cfr. figure seguenti). Inoltre tutti i ricettori individuati, nel buffer 1700m, rispettano il limite imposto di 30 minuti/giorno.

Alla luce di quanto sopra esposto, in corrispondenza del ricettore **R15**, potranno essere previsti, in accordo con i proprietari dell'immobile, degli interventi di mitigazione al fine di ridurre e/o annullare completamente il fenomeno in oggetto e di eliminare completamente qualunque disturbo indotto.

Inoltre si rappresenta che si tratta di fenomeni:

- limitati nello spazio;
- 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 11 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;

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 ricevitore potenzialmente soggetto a shadow flickering, ovvero in concomitanza dei seguenti fattori: assenza di nuvole o nebbia, rotore frontale ai ricevitori, rotore in movimento continuo, assenza di ostacoli, luce diretta.

Tutta via si evidenzia come l'analisi condotta non ha tenuto conto della presenza di "zone di esclusione" naturali o artificiali che hanno la facoltà di inibire (parzialmente o totalmente) il fenomeno di Shadow Flicker sui ricevitori individuati (es.: presenza di alberatura, tendaggi, infissi, ecc.), poiché il calcolo si è basato esclusivamente sui dati orografici e geografici de sito in esame.

Sulla base dei primi esiti della indagine, effettuata in sito e dalle valutazioni condotte tramite ortofoto, per comprendere la configurazione del territorio in cui si collocano i ricevitori sensibili e le caratteristiche stesse degli edifici, si sottolinea come alcuni dei ricevitori individuati non siano abitati oppure siano già caratterizzati dalla presenza di barriere fisiche (i.e. alberature, portici, tende da sole) che riducono l'esposizione al fenomeno dell'ombreggiamento intermittente.

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.



Figura 3: Inquadramento del Ricettore R15 Su Google Earth

Di seguito è riportata la Mappa di impatto potenziale (Worst Case) da shadow flickering per il campo eolico in esame.

⊙ Layout di progetto

⊞ Buffer 1700km

Ricettori

△ esposizione <30 ore/anno

▲ esposizione >30 ore/anno

LEGENDA			
■	0-30 ore/anno	■	120-150 ore/anno
■	30-60 ore/anno	■	150-180 ore/anno
■	60-90 ore/anno	■	180-210 ore/anno
■	90-120 ore/anno	■	210-240 ore/anno

