



REGIONE BASILICATA  
PROVINCIA DI POTENZA  
COMUNI DI VENOSA E MONTEMILONE



# AUTORIZZAZIONE UNICA ex d.lgs. 387/2003

## Progetto Definitivo per la realizzazione del parco eolico "CARPINIELLO" e relative opere connesse nei comuni di VENOSA e MONTEMILONE (Pz)

Titolo elaborato

### A.8 - Studio sugli effetti dello shadow flickering

Codice elaborato

COMMESSA	FASE	ELABORATO	REV.
F0410	A	R09	A

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Scala

—
---

DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
Maggio 2022	Prima emissione	FTR	GDS	GMA

Proponente

**Renexia S.p.a.**

Viale Abruzzo 410  
66010 Chieti



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)



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





## Sommario

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Il fenomeno dello shadow flickering</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Individuazione dei ricettori</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Modello di calcolo</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Risultati</b>	<b>11</b>



# 1 Introduzione

---

Il parco in oggetto, denominato "Carpiniello", sarà realizzato nei territori comunali di Montemilone e Venosa, in provincia di Potenza e sarà costituito da 9 aerogeneratori di potenza unitaria pari a 6.2 MW, per una potenza complessiva di 55.8 MW. In particolare, il comune di Montemilone sarà interessato anche dalla realizzazione di una nuova Sottostazione Elettrica di Trasformazione (SET) per la connessione del nuovo impianto eolico alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN).

L'area individuata per la realizzazione della presente proposta progettuale interessa i territori comunali di Montemilone e Venosa, tutti appartenenti alla provincia di Potenza. Nello specifico, il primo Comune sarà interessato dalla nuova stazione di trasformazione MT/AT per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) dell'energia prodotta dal parco; il secondo sarà interessato dall'installazione dei 9 aerogeneratori.

L'area individuata per la realizzazione della presente proposta progettuale è quella compresa tra la zona nord orientale del territorio comunale di Venosa e in quella occidentale di Montemilone, nella provincia di Potenza, tra i 300 ed i 400 m circa sul livello del mare.

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.

## 2 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.

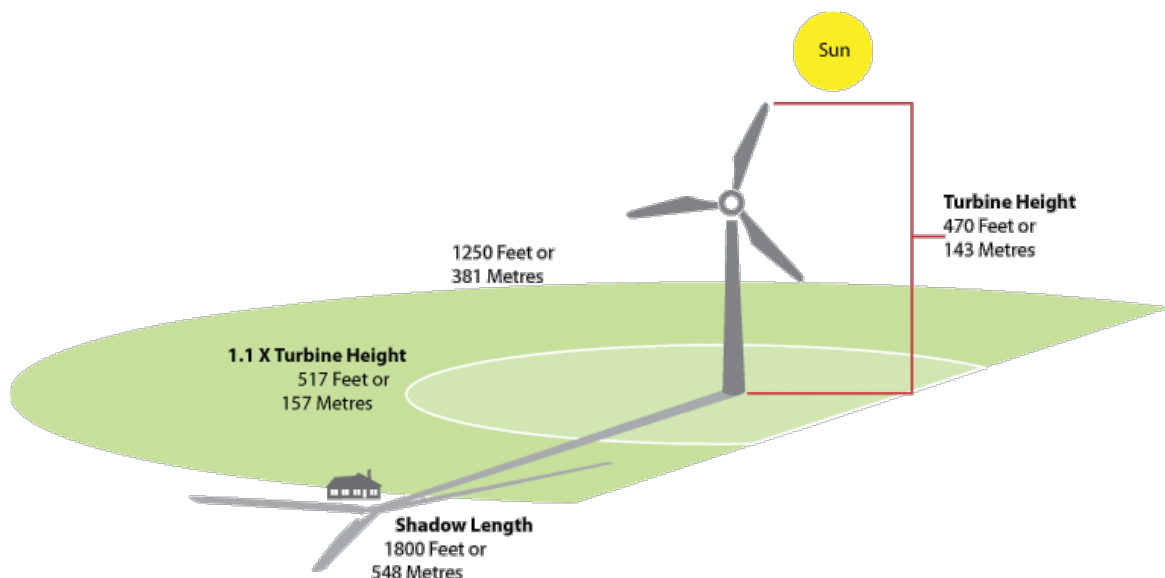


Figura 1: rappresentazione schematica del fenomeno dello shadow flicker

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 gradi;
  - 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.



### 3 Individuazione dei ricettori

Allo scopo di valutare l'impatto indotto sugli edifici da parte dell'impianto eolico in progetto, sono stati individuati i ricettori 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 al massimo), 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 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 ricettori individuati nel buffer sopra specificato.

Tabella 1: ricettori considerati nella presente analisi

Comune	Ricettore	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria Catastale
		Est	Nord	
Venosa	R01	573536	4540492	A3/D10/F05
Venosa	R02	573526	4540505	A3/D10/F05
Venosa	R03	573451	4540554	A3/D10/F05
Venosa	R04	573354	4540530	A3/D10/F05
Venosa	R05	573448	4540479	A3/D10/F05
Venosa	R06	571103	4541504	D10
Venosa	R07	571079	4541475	D10
Venosa	R08	571030	4541458	D10
Venosa	R09	571105	4541539	D10
Venosa	R10	571055	4542535	D10
Venosa	R11	571050	4542523	D10
Venosa	R12	571026	4541454	D10
Venosa	R13	575299	4545546	A2
Venosa	R14	576234	4542007	A7
Venosa	R15	574489	4541187	D10
Venosa	R16	574464	4541162	D10
Venosa	R17	574192	4541353	D10
Venosa	R18	574298	4541482	A3/C2
Venosa	R19	574505	4541514	A3/C2
Venosa	R20	575913	4541736	A3
Venosa	R21	573344	4542004	A03
Venosa	R22	576332	4540670	A03
Venosa	R23	571500	4542974	A02/D10
Venosa	R24	576056	4540400	A04/C02
Venosa	R25	576188	4544590	A3/C2
Venosa	R26	576183	4544572	A2
Lavello	R27	575648	4546537	D10
Lavello	R28	575660	4546542	D10



Montemilone	R29	575649	4546316	A3
Montemilone	R30	575679	4546324	A3/D10
Montemilone	R31	575691	4546311	A3/D10
Montemilone	R32	575660	4546249	A3
Montemilone	R33	575648	4546241	A3
Montemilon	R34	577377	4542771	D10
Montemilon	R35	577391	4542723	D10
Venosa	R36	576115	4541478	A3/C2
Lavello	R37	574206	4545886	D10
Lavello	R38	574143	4545894	D10
Lavello	R39	574037	4545853	D10
Lavello	R40	574047	4545881	D10
Lavello	R41	574072	4545906	A7/D10
Lavello	R42	574066	4545953	D10
Lavello	R43	574028	4545930	D10
Lavello	R44	574021	4545907	D10
Lavello	R45	573992	4545916	D10
Lavello	R46	573998	4545940	D10
Montemilone	R47	577425	4542798	A2/D10
Montemilone	R48	577520	4542874	A3/C6
Venosa	R49	573486	4541087	A02
Venosa	R50	572962	4540743	A04/D10
Venosa	R51	572920	4540731	A04/D10
Venosa	R52	572937	4540775	A04/D10
Venosa	R53	572907	4540782	A04/D10
Venosa	R54	573533	4540552	A07/D10
Venosa	R55	573509	4540557	A07/D10
Venosa	R56	573446	4541093	A04/C02
Venosa	R57	573405	4541038	A04/C02
Venosa	R58	571046	4542530	A03
Venosa	R59	571094	4541529	A02/D10
Venosa	R60	573985	4540538	A03
Venosa	R61	570739	4542019	A04
Venosa	R62	570756	4542052	A04
Venosa	R63	570868	4542216	A03
Venosa	R64	570903	4542322	A03
Venosa	R65	570922	4542319	A03
Venosa	R66	570855	4542225	A03
Venosa	R67	571060	4542518	A03
Venosa	R68	573375	4540495	A3/D10/F05
Venosa	R69	573494	4540554	A3/D10/F05





La seguente tabella riporta le coordinate degli aerogeneratori previsti in progetto (D max 170 m, h Hub 115 m).

**Tabella 2: coordinate aerogeneratori di progetto**

WTG	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		D	hHub
	Est	Nord		
T1	574055	4542009	170	115
T2	575817	4541177	170	115
T3	574385	4543672	170	115
T4	574129	4542958	170	115
T5	575091	4542771	170	115
T6	576197	4544427	170	115
T7	574618	4544427	170	115
T8	575173	4545010	170	115
T9	572008	4542181	170	115

## 4 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 h/a<sup>1, 2</sup>, quindi, i risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere abbattuti del 49.77 %, pari al complemento a 1 del rapporto  $2300/4380 = 52.51$  %.

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 47.49 % 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 77.13%<sup>3</sup> delle ore anno, ovvero 6403 ore; in altri termini, la probabilità che il rotore di un aerogeneratore risulti in rotazione è appunto dell'ordine del 77.13 % (pari appunto al rapporto 6756/8760).

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  $77.13\% \times 47.49\% = 36.63$  %, ovvero **63.37** %, 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.

<sup>1</sup> Pinna M. (1985). L'eliofania in Italia. Mem. Soc. Geogr. It., 39: pag. 23-58.

<sup>2</sup> Lavagnini A., Martorelli S., Coretti C. (1987). Radiazione solare in Italia. Mappe mensili della radiazione globale giornaliera. Roma, CNR, Ist. Fis. Atm., pag. 48.

<sup>3</sup> 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 79.50% di quelle annuali. Tenendo conto dei valori di disponibilità dell'impianto e della rete rispettivamente pari a 98% e 99%, l'assunzione del 77.13% sembra molto ragionevole.

## 5 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.

Tabella 3: risultati del calcolo

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"	Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	
R01	0	0.0	0.0	A2
R02	0	0.0	0.0	A2
R03	38	10.4	1.4	A2
R04	37	10.0	1.4	D10
R05	28	5.4	0.7	D10
R06	32	6.9	1.0	A7
R07	38	10.4	1.4	A4
R08	0	0.0	0.0	D10
R09	77	61.9	8.5	D10
R10	0	0.0	0.0	D10
R11	0	0.0	0.0	D10
R12	0	0.0	0.0	A4
R13	125	47.1	6.5	D10



R14	120	45.7	6.3	D10
R15	0	0.0	0.0	D10
R16	0	0.0	0.0	D10
R17	0	0.0	0.0	D10
R18	0	0.0	0.0	D10
R19	0	0.0	0.0	A3/C2
R20	0	0.0	0.0	A3/C2
R21	0	0.0	0.0	A3/C2
R22	45	14.4	2.0	A3/C2
R23	47	15.0	2.1	A3
R24	132	175.2	24.1	A03
R25	42	14.8	2.0	A03
R26	49	18.6	2.6	A02/D10
R27	71	22.9	3.2	A03
R28	63	21.5	3.0	A03
R29	54	19.5	2.7	A02/D10
R30	45	15.6	2.1	A02/D10
R31	54	18.4	2.5	A02/D10
R32	60	19.8	2.7	A02/D10
R33	62	19.6	2.7	A04/B05
R34	56	18.4	2.5	A02/D10
R35	42	11.9	1.6	A04/C02
R36	38	9.4	1.3	A03
R37	0	0.0	0.0	D10
R38	0	0.0	0.0	A3/C2
R39	0	0.0	0.0	A2
R40	0	0.0	0.0	D10
R41	0	0.0	0.0	D10
R42	0	0.0	0.0	A3
R43	0	0.0	0.0	A3/D10
R44	0	0.0	0.0	A3/D10
R45	0	0.0	0.0	A3
R46	56	22.8	3.1	A3
R47	0	0.0	0.0	D10
R48	0	0.0	0.0	D10
R49	42	11.8	1.6	A3/C2
R50	43	12.3	1.7	D10
R51	45	15.6	2.1	D10
R52	47	16.6	2.3	D10
R53	48	17.4	2.4	D10
R54	45	15.0	2.1	A7/D10
R55	56	23.6	3.3	D10
R56	0	0.0	0.0	D10
R57	0	0.0	0.0	D10
R58	0	0.0	0.0	D10
R59	0	0.0	0.0	D10
R60	0	0.0	0.0	A2/D10
R61	0	0.0	0.0	A3/C6
R62	0	0.0	0.0	A02
R63	0	0.0	0.0	A04/D10
R64	0	0.0	0.0	A04/D10
R65	0	0.0	0.0	A04/D10
R66	0	0.0	0.0	A04/D10
R67	56	23.3	3.2	A07/D10
R68	54	22.9	3.2	A07/D10
R69	0	0.0	0.0	A04/C02

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 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.

Dall'analisi della tabella si evince che, dei ricettori considerati nel buffer di 1700 m dagli aerogeneratori, solo tre fabbricati, classificati come abitazione, risultano essere soggetti al fenomeno per un numero di ore superiore a 30 nel corso dell'anno. Inoltre, **nessuna** abitazione risulta soggetta ad una durata superiore a 30 minuti al giorno.

Il dettaglio dei fabbricati che potrebbero essere soggetti al fenomeno dello shadow flickering è riportato nella tavola grafica allegata alla presente relazione.

**In linea generale, l'effetto si può considerare trascurabile per via della scarsa durata del fenomeno che si riduce, nel caso realistico, a poche ore l'anno.**

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 sopra riportati possono essere ridotti di almeno un ulteriore 67.0 %, dal momento che le direzioni prevalenti del vento risultano essere: SSW-ENE e WNW-ESE, per un totale del 33%. Alla luce di ciò, le ore del fenomeno subiscono un ulteriore abbattimento, che le porta ad essere circa il 13.77 % di quelle calcolate dal modello nell'ipotesi WORST CASE.

**Alla luce di ciò nessun ricettore continua ad essere soggetto al fenomeno dello shadow flickering per più di 30 ore all'anno.**

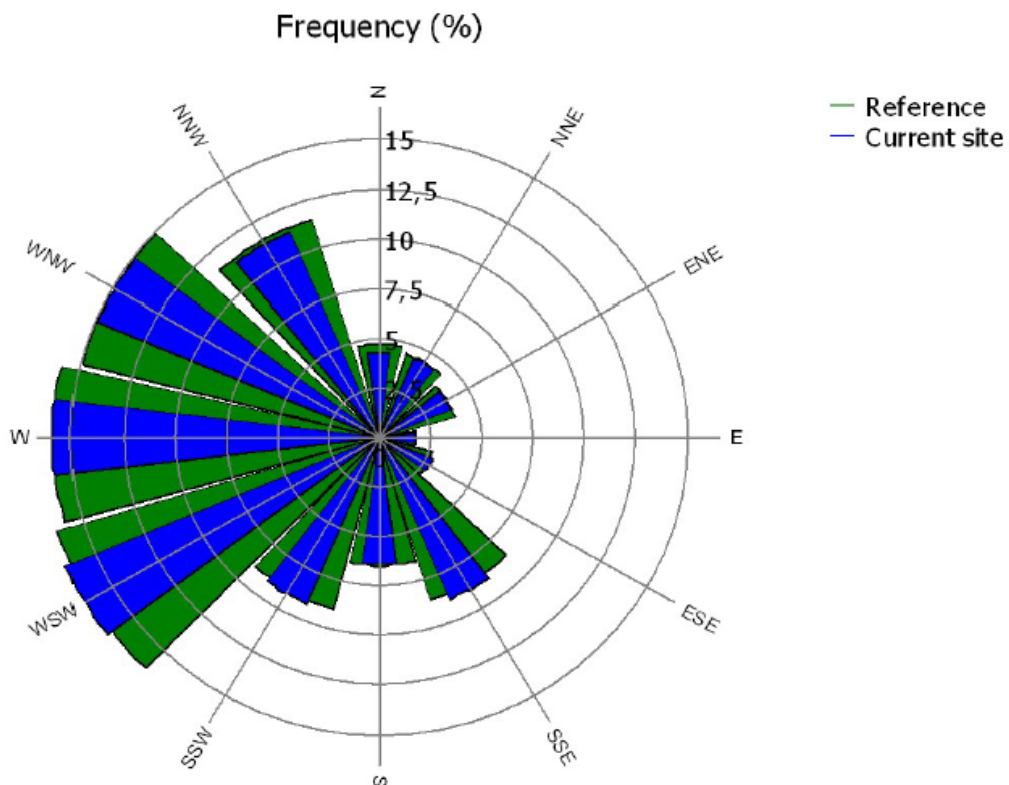


Figura 2: frequenza della direzione di provenienza del vento per la torre anemometrica di riferimento



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 non si verifica per oltre 30 ore all'anno presso nessun ricettore sensibile.

Inoltre si rappresenta che si tratta di fenomeni:

- limitati nello spazio, in quanto relativi solo a tre 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 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;

Alla luce di quanto sopra esposto, al fine di ridurre e/o annullare completamente il fenomeno in oggetto e di eliminare completamente qualunque disturbo indotto sulle abitazioni interessate potrà essere prevista, di concerto con i proprietari dell'immobile, come intervento di mitigazione, la piantumazione di barriere sempreverdi (normali siepi di recinzione).

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 15° 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.

In allegato è riportata la mappa delle ore di ombreggiamento (shadow flickering) nel worst case così come elaborata dal modello impiegato.





Parco eolico 'CARPINIELLO'

-  Layout
-  Ricettori shadow flickering
- Google Satellite

