



REGIONE
BASILICATA



COMUNE DI
MASCHITO



COMUNE DI
VENOSA



COMUNE DI
MONTEMILONE



PROVINCIA DI
POTENZA

PROGETTO DEFINITIVO

Costruzione ed esercizio di impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Venosa" di potenza in massima immissione pari a 39,6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Venosa, Maschito e Montemilone (Pz).

Titolo elaborato

A.8 - Studio sugli effetti dello shadow flickering

Codice elaborato

F0624AR07A

Scala

-

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

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. Gerardo Giuseppe SCAVONE
Ing. Federica COLANGELO
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

Venosa S.r.l.

Via Dante 7, 20123 Milano



| Data | Descrizione | Redatto | Verificato | Approvato |
|--------------|-----------------|---------|------------|-----------|
| Gennaio 2024 | Prima emissione | GDS | PFZ | MMA |
| | | | | |
| | | | | |

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 | 11 |
| 6 | Risultati | 13 |

Costruzione ed esercizio di impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Venosa" di potenza in massima immissione pari a 39,6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Venosa, Maschito e Montemilone (Pz).

A.8 - Studio sugli effetti dello shadow flickering

1 Informazioni essenziali impianto

| | |
|---|---------------|
| Proponente | Venosa S.r.l. |
| Potenza complessiva massima in immissione | 39.6 MW |
| Potenza complessiva impianto | 39.6 MW |
| Potenza singolo WTG | 6.6 MW |
| Numero aerogeneratori | 6 |
| Altezza hub max | 135 m |
| Diametro rotore max | 170 m |
| Altezza complessiva max | 220 m |

2 Premessa

La presente relazione ha l'obiettivo di illustrare il fenomeno dello 'shadow flickering' ed è redatta a seguito della presentazione, da parte della **Venosa Srl**, con sede legale in Via Dante 7, 20123 Milano, in qualità di proponente, di un progetto di realizzazione di **impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica, di potenza in massima immissione pari a 39,6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Venosa, Maschito e Montemilone (PZ)**.

L'impianto sarà composto da n. 6 aerogeneratori della potenza nominale di 6.6 MW, Siemens Gamesa SG170-HH135 m o altro modello simile.

Il progetto ricade al punto 2 dell'elenco di cui all'allegato II alla Parte Seconda del D. lgs. 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 della Sicurezza Energetica, di concerto con il Ministero della Cultura, 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.

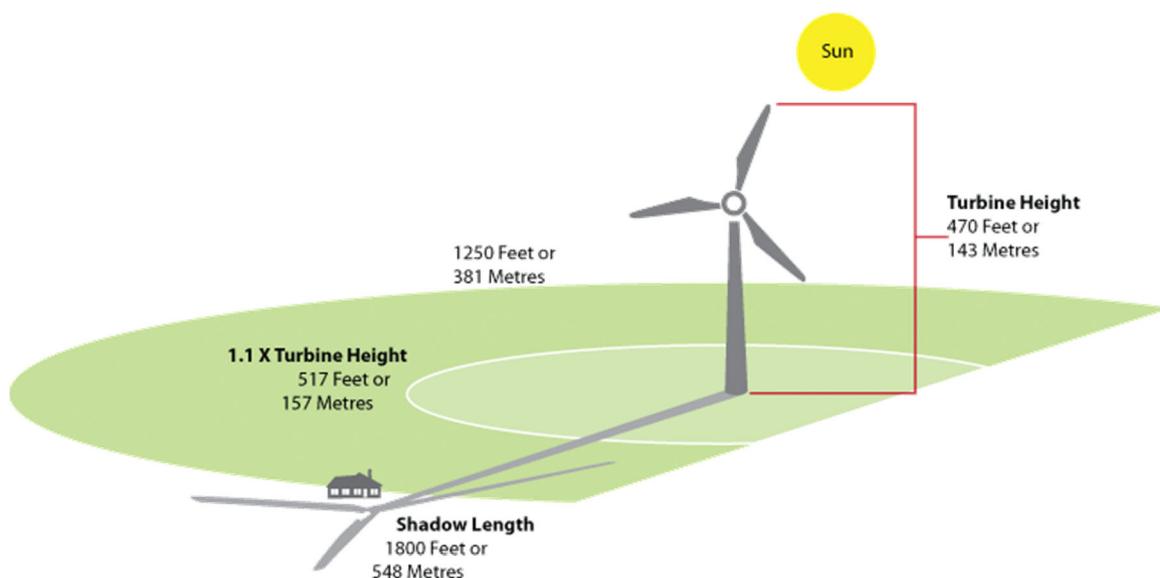


Figura 1: Rappresentazione schematica del fenomeno dello shadow flickering

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 ricettori potenzialmente sensibili presenti in un'area corrispondente all'inviluppo 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 ricettori individuati nel buffer sopra specificato.

Tabella 1: Riepilogo dei ricettori in esame

| Ricettori | Coordinate UTM-WGS 84 fuso 32 | | Categoria Catastale | Comune |
|-----------|-------------------------------|-------------|---------------------|----------|
| | Est | Nord | | |
| R01 | 571245,923 | 4532690,432 | A4 | Venosa |
| R02 | 570956,336 | 4532767,561 | D10 | Venosa |
| R03 | 571772,957 | 4532317,462 | A3 | Venosa |
| R04 | 571160,589 | 4532434,979 | A3-C2 | Venosa |
| R05 | 571484,898 | 4532566,889 | A4 | Venosa |
| R06 | 571612,873 | 4532341,976 | A4-C2 | Venosa |
| R07 | 571188,753 | 4532647,304 | D10 | Venosa |
| R08 | 571183,889 | 4532641,777 | D10 | Venosa |
| R09 | 571060,127 | 4532677,713 | A2-F3 | Venosa |
| R10 | 571819,4 | 4530009,523 | A4 | Maschito |
| R11 | 571405,977 | 4532613,476 | A4 | Venosa |
| R12 | 569334,221 | 4533421,188 | A3 | Venosa |
| R13 | 569816,258 | 4533296,366 | A4-C2 | Venosa |
| R14 | 569723,381 | 4533228,775 | D10 | Venosa |
| R15 | 569674,359 | 4533109,075 | D10 | Venosa |
| R16 | 571212,499 | 4532472,894 | A4 | Venosa |
| R17 | 571198,566 | 4532653,797 | D10 | Venosa |
| R18 | 571329,985 | 4530856,452 | A4 | Maschito |
| R19 | 569001,376 | 4534008,885 | A7-C6 | Venosa |

Costruzione ed esercizio di impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Venosa" di potenza in massima immissione pari a 39,6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Venosa, Maschito e Montemilone (Pz).

A.8 - Studio sugli effetti dello shadow flickering

| Ricettori | Coordinate UTM-WGS 84 fuso 32 | | Categoria Catastale | Comune |
|-----------|-------------------------------|-------------|---------------------|----------|
| | Est | Nord | | |
| R20 | 571433,027 | 4530414,578 | A3 | Maschito |
| R21 | 569369,079 | 4530374,831 | A2 | Maschito |
| R22 | 569176,756 | 4530360,469 | A2 | Maschito |
| R23 | 569068,638 | 4530371,456 | A3 | Maschito |
| R24 | 569018,723 | 4530368,3 | A3 | Maschito |
| R25 | 568533,118 | 4533292,149 | A2 | Venosa |
| R26 | 568565,015 | 4532500,659 | A4-C2 | Venosa |
| R27 | 568535,095 | 4533283,92 | A2-C2 | Venosa |
| R28 | 568527,142 | 4533299,02 | A2 | Venosa |
| R29 | 568536,91 | 4533290,361 | A2 | Venosa |
| R30 | 569868,089 | 4529134,682 | A2-A3-C1-C2 | Maschito |
| R31 | 569758,093 | 4533183,837 | D10 | Venosa |
| R32 | 571085,327 | 4533548,409 | A2-A10-C2-D8 | Venosa |
| R33 | 571189,738 | 4533536,189 | A2-A10-C2-D8 | Venosa |
| R34 | 571237,693 | 4533572,963 | A2-A10-C2-D8 | Venosa |
| R35 | 570034,917 | 4534605,406 | D10 | Venosa |
| R36 | 568199,565 | 4532673,923 | A4 | Venosa |
| R37 | 569560,558 | 4534163,025 | A4-C2-D1-D7 | Venosa |
| R38 | 570926,584 | 4533715,613 | A2-D10 | Venosa |
| R39 | 570011,324 | 4533966,845 | D10 | Venosa |
| R40 | 568742,013 | 4530087,767 | A2 | Maschito |
| R41 | 571052,992 | 4533019,938 | A4-C2-C6 | Venosa |
| R42 | 568715,256 | 4530051,943 | A2 | Maschito |
| R43 | 571035,777 | 4533028,238 | A4-C2-C6 | Venosa |
| R44 | 569235,511 | 4530337,702 | A3 | Maschito |
| R45 | 569192,504 | 4530318,794 | D10 | Maschito |
| R46 | 569276,191 | 4534259,539 | A2 | Venosa |
| R47 | 569236,165 | 4530314,103 | D10 | Maschito |
| R48 | 570947,342 | 4533739,967 | A2-D10 | Venosa |
| R49 | 571419,597 | 4533509,947 | D10 | Venosa |
| R50 | 571224,725 | 4533014,996 | A4 | Venosa |
| R51 | 571472,139 | 4533299,111 | A4 | Venosa |
| R52 | 571506,702 | 4533375,005 | A3 | Venosa |
| R53 | 571727,138 | 4533488,334 | A3-A4-D10 | Venosa |
| R54 | 568869,492 | 4533895,504 | A2 | Venosa |
| R55 | 569709,727 | 4533123,87 | D10 | Venosa |
| R56 | 571934,479 | 4532210,129 | A3 | Venosa |
| R57 | 571915,31 | 4532325,183 | A4 | Venosa |
| R58 | 571229,599 | 4529589,714 | A4 | Maschito |

Costruzione ed esercizio di impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Venosa" di potenza in massima immissione pari a 39,6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Venosa, Maschito e Montemilone (Pz).

A.8 - Studio sugli effetti dello shadow flickering

| Ricettori | Coordinate UTM-WGS 84 fuso 32 | | Categoria Catastale | Comune |
|-----------|-------------------------------|-------------|---------------------|----------|
| | Est | Nord | | |
| R59 | 570117,167 | 4529751,938 | A3-C2-F3 | Maschito |
| R60 | 570998,237 | 4529511,236 | A3 | Maschito |
| R61 | 569886,647 | 4529190,503 | A02-C06 | Maschito |
| R62 | 569783,712 | 4529157,03 | A02-C06 | Maschito |
| R63 | 569682,287 | 4529198,053 | N.C | Maschito |
| R64 | 569747,722 | 4529192,013 | C02 | Maschito |
| R65 | 570195,704 | 4529180,436 | A02- C06 | Maschito |
| R66 | 570149,144 | 4529179,177 | A03 | Maschito |
| R67 | 570129,514 | 4529170,117 | A04-A02-C02 | Maschito |
| R68 | 570094,531 | 4529192,768 | N.C | Maschito |
| R69 | 570044,705 | 4529182,786 | A02-C01-C02 | Maschito |
| R70 | 570058,919 | 4529185,469 | C02-A02 | Maschito |
| R71 | 570079,43 | 4529192,013 | A02-C02-C06 | Maschito |
| R72 | 570103,569 | 4529199,967 | A02-C02 | Maschito |
| R73 | 570173,305 | 4529223,724 | A02-C06 | Maschito |
| R74 | 570172,298 | 4529259,839 | A02-C03-C06 | Maschito |
| R75 | 570112,016 | 4529257,176 | A02-C02 | Maschito |
| R76 | 569637,866 | 4529182,952 | A02-C02 | Maschito |
| R77 | 568804,695 | 4533392,22 | N.C. | Venosa |
| R78 | 571150,104 | 4529341,426 | A04 | Maschito |
| R79 | 570156,843 | 4529180,098 | A04-A03-C06 | Maschito |
| R80 | 570134,176 | 4529237,494 | A04 | Maschito |
| R81 | 570136,834 | 4529231,929 | A04 | Maschito |
| R82 | 570139,334 | 4529237,295 | A04 | Maschito |
| R83 | 570134,804 | 4529240,8 | A04 | Maschito |

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

Tabella 2: Riepilogo aerogeneratori di progetto

| Nome | Diam (m) | Hub(m) | Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33 | |
|------|----------|--------|-------------------------------|---------|
| | | | E(m) | N(m) |
| WTG1 | 135 | 220 | 569351 | 4531963 |
| WTG2 | 135 | 220 | 569980 | 4532286 |
| WTG3 | 135 | 220 | 570098 | 4532963 |
| WTG4 | 135 | 220 | 569851 | 4530817 |
| WTG5 | 135 | 220 | 570556 | 4530802 |
| WTG6 | 135 | 220 | 570513 | 4531634 |

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 h/a^{1 2}, quindi, i risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere abbattuti del 49.7%, pari al complemento a 1 del rapporto $2200/4380 = 50.23\%$.

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 49.7% 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

Costruzione ed esercizio di impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Venosa" di potenza in massima immissione pari a 39,6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Venosa, Maschito e Montemilone (Pz).

A.8 - Studio sugli effetti dello shadow flickering

possono essere ridotti di almeno un ulteriore 81.50%, dal momento che la direzione prevalenti del vento risulta essere la congiungente NNW-SSE e WNW-ESE. 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.

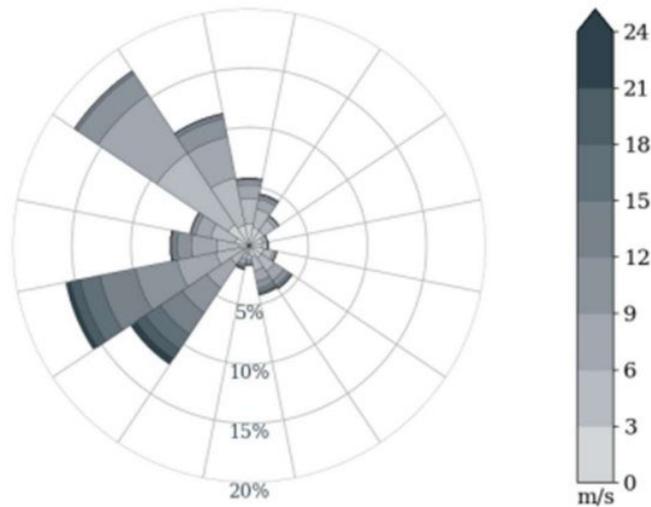


Figura 2: Rosa dei venti

Tabella 3: Risultati della simulazione

| Ricettore | Worst case (caso peggiore) | | Caso "realistico" | | Categoria catastale |
|-----------|----------------------------|----------|-------------------|-----------------|---------------------|
| | giorni/anno | ore/anno | [ore/anno] | [minuti/giorno] | |
| R01 | 98 | 42,45 | 10,3 | 6,3 | A4 |
| R02 | 138 | 77,36 | 18,7 | 8,1 | D10 |
| R03 | 69 | 26,97 | 6,5 | 5,7 | A3 |
| R04 | 139 | 69,03 | 16,7 | 7,2 | A3-C2 |
| R05 | 82 | 29,48 | 7,1 | 5,2 | A4 |
| R06 | 163 | 62,86 | 15,2 | 5,6 | A4-C2 |
| R07 | 103 | 47,53 | 11,5 | 6,7 | D10 |
| R08 | 106 | 48,24 | 11,7 | 6,6 | D10 |
| R09 | 120 | 61,99 | 15,0 | 7,5 | A2-F3 |
| R10 | 55 | 20,31 | 4,9 | 5,4 | A4 |
| R11 | 86 | 32,81 | 7,9 | 5,5 | A4 |
| R12 | 72 | 43,87 | 10,6 | 8,9 | A3 |
| R13 | 135 | 173,14 | 41,9 | 18,6 | A4-C2 |
| R14 | 137 | 141,66 | 34,3 | 15,0 | D10 |
| R15 | 111 | 122,4 | 29,7 | 16,0 | D10 |

Costruzione ed esercizio di impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Venosa" di potenza in massima immissione pari a 39,6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Venosa, Maschito e Montemilone (Pz).

A.8 - Studio sugli effetti dello shadow flickering

| Ricettore | Worst case (caso peggiore) | | Caso "realistico" | | Categoria catastale |
|-----------|----------------------------|----------|-------------------|-----------------|---------------------|
| | giorni/anno | ore/anno | [ore/anno] | [minuti/giorno] | |
| R16 | 126 | 54,4 | 13,2 | 6,3 | A4 |
| R17 | 103 | 46,52 | 11,3 | 6,6 | D10 |
| R18 | 66 | 45,86 | 11,1 | 10,1 | A4 |
| R19 | 50 | 18,17 | 4,4 | 5,3 | A7-C6 |
| R20 | 144 | 76,05 | 18,4 | 7,7 | A3 |
| R21 | 69 | 17,06 | 4,1 | 3,6 | A2 |
| R22 | 45 | 8,45 | 2,0 | 2,7 | A2 |
| R23 | 68 | 9,99 | 2,4 | 2,1 | A3 |
| R24 | 80 | 14,37 | 3,5 | 2,6 | A3 |
| R25 | 33 | 10,18 | 2,5 | 4,5 | A2 |
| R26 | 164 | 71,17 | 17,2 | 6,3 | A4-C2 |
| R27 | 34 | 10,27 | 2,5 | 4,4 | A2-C2 |
| R28 | 34 | 10,22 | 2,5 | 4,4 | A2 |
| R29 | 34 | 10,26 | 2,5 | 4,4 | A2 |
| R30 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A2-A3-C1-C2 |
| R31 | 133 | 156,58 | 37,9 | 17,1 | D10 |
| R32 | 99 | 43,61 | 10,6 | 6,4 | A2-A10-C2-D8 |
| R33 | 68 | 30,6 | 7,4 | 6,5 | A2-A10-C2-D8 |
| R34 | 68 | 29,35 | 7,1 | 6,3 | A2-A10-C2-D8 |
| R35 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | D10 |
| R36 | 53 | 21,69 | 5,3 | 5,9 | A4 |
| R37 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A4-C2-D1-D7 |
| R38 | 43 | 16,68 | 4,0 | 5,6 | A2-D10 |
| R39 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | D10 |
| R40 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A2 |
| R41 | 127 | 64,72 | 15,7 | 7,4 | A4-C2-C6 |
| R42 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A2 |
| R43 | 128 | 64,25 | 15,6 | 7,3 | A4-C2-C6 |
| R44 | 54 | 10,94 | 2,7 | 2,9 | A3 |
| R45 | 54 | 10,81 | 2,6 | 2,9 | D10 |
| R46 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A2 |
| R47 | 62 | 12,96 | 3,1 | 3,0 | D10 |
| R48 | 38 | 13,11 | 3,2 | 5,0 | A2-D10 |
| R49 | 48 | 18,74 | 4,5 | 5,7 | D10 |
| R50 | 134 | 56,1 | 13,6 | 6,1 | A4 |
| R51 | 41 | 15,64 | 3,8 | 5,5 | A4 |
| R52 | 39 | 11,69 | 2,8 | 4,4 | A3 |
| R53 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A3-A4-D10 |
| R54 | 84 | 31,02 | 7,5 | 5,4 | A2 |

Costruzione ed esercizio di impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Venosa" di potenza in massima immissione pari a 39,6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Venosa, Maschito e Montemilone (Pz).

A.8 - Studio sugli effetti dello shadow flickering

| Ricettore | Worst case (caso peggiore) | | Caso "realistico" | | Categoria catastale |
|-----------|----------------------------|----------|-------------------|-----------------|---------------------|
| | giorni/anno | ore/anno | [ore/anno] | [minuti/giorno] | |
| R55 | 118 | 137,08 | 33,2 | 16,9 | D10 |
| R56 | 46 | 16,64 | 4,0 | 5,3 | A3 |
| R57 | 52 | 19,31 | 4,7 | 5,4 | A4 |
| R58 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A4 |
| R59 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A3-C2-F3 |
| R60 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A3 |
| R61 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A02-C06 |
| R62 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A02-C06 |
| R63 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | N.C |
| R64 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | C02 |
| R65 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A02- C06 |
| R66 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A03 |
| R67 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A04-A02-C02 |
| R68 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | N.C |
| R69 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A02-C01-C02 |
| R70 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | C02-A02 |
| R71 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A02-C02-C06 |
| R72 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A02-C02 |
| R73 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A02-C06 |
| R74 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A02-C03-C06 |
| R75 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A02-C02 |
| R76 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A02-C02 |
| R77 | 91 | 33,66 | 8,2 | 5,4 | N.C. |
| R78 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A04 |
| R79 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A04-A03-C06 |
| R80 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A04 |
| R81 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A04 |
| R82 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A04 |
| R83 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | A04 |

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 i ricettori soggetti per più ore all'anno al fenomeno (Caso "realistico") sono quelli indicati con i codici R13, R14, R31, R55; è necessario evidenziare che solo il ricettori R13 corrisponde a categoria catastale A04 e supera lievemente la soglia di esposizione superiore a 30 ore/anno, rispettivamente 41.9; 34.3; 37.9 e 33.2 ore/anno (Cfr. figure seguenti). Inoltre tutti i ricettori individuati, nel buffer 1700m, rispettano il limite imposto di 30 minuti/giorno.

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

Tuttavia 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 ricettori 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 recettori sensibili e le caratteristiche stesse degli edifici, si sottolinea come alcuni dei ricettori 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.

Costruzione ed esercizio di impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Venosa" di potenza in massima immissione pari a 39,6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Venosa, Maschito e Montemilone (Pz).

A.8 - Studio sugli effetti dello shadow flickering



Figura 3: Inquadramento del Ricettore R13; R14; R31; R55 Su ortofoto

Figura 4: Mappa di impatto potenziale (Worst Case) da shadow flickering per il campo eolico in esame

Legenda

- layout
- Buffer 1500m
- buffer 1700 m
- Nome Ricettori - Categoria catastale
 - ▲ esposizione < 30 ore/anno
 - ▲ esposizione >30 ore/anno

| LEGENDA | | | |
|---------|----------------|--|------------------|
| | 0-30 ore/anno | | 90-120 ore/anno |
| | 30-60 ore/anno | | 120-150 ore/anno |
| | 60-90 ore/anno | | 150-180 ore/anno |

