

REGIONE: PUGLIA

PROVINCIA: BARLETTA-ANDRIA-TRANI

Comune di Minervino Murge

ELABORATO:

DS06

OGGETTO:

**Integrale ricostruzione del Parco Eolico
"Minervino" dismissione dei 9 aerogeneratori
esistenti installazione di 5 aerogeneratori da
7,2MW_e**

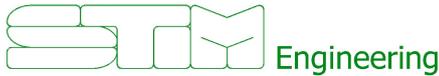
PROGETTO DEFINITIVO

ANALISI DELLO SHADOW FLICKERING

PROPONENTE:

Minervino Wind srl
Via Chiese, n. 72 – 20126 Milano
PI/CF: 06642571001

PROGETTISTI:



STIM ENGINEERING S.r.l.
VIA GARRUBA, 3 - 70121 BARI
Tel. 080.5210232 - Fax 080.5234353
www.stimeng.it - segreteria@stimeng.it

ing. Massimo CANDEO

Ordine Ing. Bari n° 3755
Via Canello Rotto, 3
70125 Bari
Mobile 328.9569922
m.candeo@pec.it

**ing. Gabriele
CONVERSANO**

Ordine Ing. Bari n° 8884
Via Garruba, 3
70122 Bari
Mobile 328 6739206
gabrieleconversano@pec.it

Collaborazione:

Ing. Flavia Blasi
Ordine Ing. Bari n° 11131

DATA	REV	DESCRIZIONE	ELABORATO da:	APPROVATO da:
Aprile 2023	0	Emissione	Ing. Flavia Blasi ing. Gabriele Conversano	ing. Massimo Candeo

PROPRIETÀ ESCLUSIVA DELLE SOCIETÀ SOPRA INDICATE UTILIZZO E DUPLICAZIONE VIETATE
SENZA AUTORIZZAZIONE SCRITTA

SOMMARIO

1	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	3
2	SHADOW FLICKERING	3
3	ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA DI UN AEROGENERATORE	4
4	CALCOLO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA PER GLI AEROGENERATORI ESISTENTI	9
5	CALCOLO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA PER GLI AEROGENERATORI IN PROGETTO.....	11
6	CONCLUSIONI.....	14

1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il presente elaborato costituisce parte integrante dell'intervento di integrale ricostruzione di un parco eolico sito in agro di Minervino Murge (BT), attualmente di proprietà di Minervino Wind srl. Ad oggi l'impianto è composto da 9 aerogeneratori di potenza nominale ciascuno pari a 2 MWe (modello Repower MM82), ed è collegato alla rete elettrica nazionale tramite la sottostazione 380/150kV denominata "Andria Terna", ubicata nel comune di Andria (BT).

La presente relazione ha lo scopo di valutare in maniera tecnica l'eventuale impatto generato dall'evoluzione dell'ombra derivante dalla futura installazione dei 5 aerogeneratori tripala (WTG) ad asse orizzontale, ciascuno di potenza nominale pari a 7,2 MW, per una potenza elettrica complessiva pari a 36 MW, da realizzarsi in agro del Comune di Minervino Murge (BT). Inoltre, verrà effettuato un confronto dell'evoluzione dell'ombra generata dall'impianto attuale (composto da 9 WTG) e da quello in progetto (composto da 5 WTG).

2 SHADOW FLICKERING

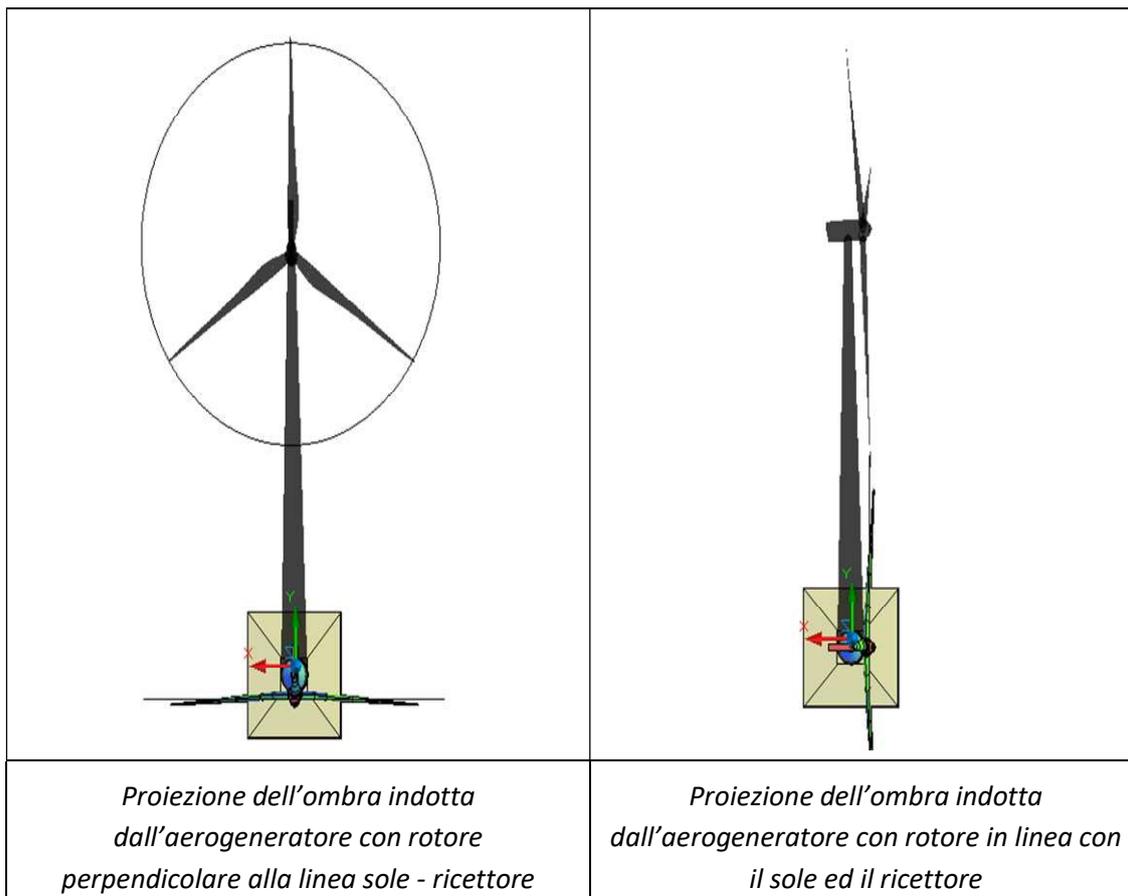
Lo *shadow flickering* consiste in una variazione periodica dell'intensità luminosa solare causata dalla proiezione, su una superficie, dell'ombra indotta da oggetti in movimento.

Per un impianto eolico tale fenomeno è generato dalla proiezione dell'ombra prodotta dalle pale in rotazione degli aerogeneratori.

Dal punto di vista di un ricettore, lo *shadow flickering* si manifesta in una variazione ciclica dell'intensità luminosa: in presenza di luce solare diretta un ricettore localizzato nella zona d'ombra indotta dal rotore sarà investito da un continuo alternarsi di luce diretta ed ombra, causato dalla proiezione delle ombre dalle pale in movimento.

Tale fenomeno, se vissuto dal ricettore per periodi di tempo non trascurabile, può generare un disturbo quando:

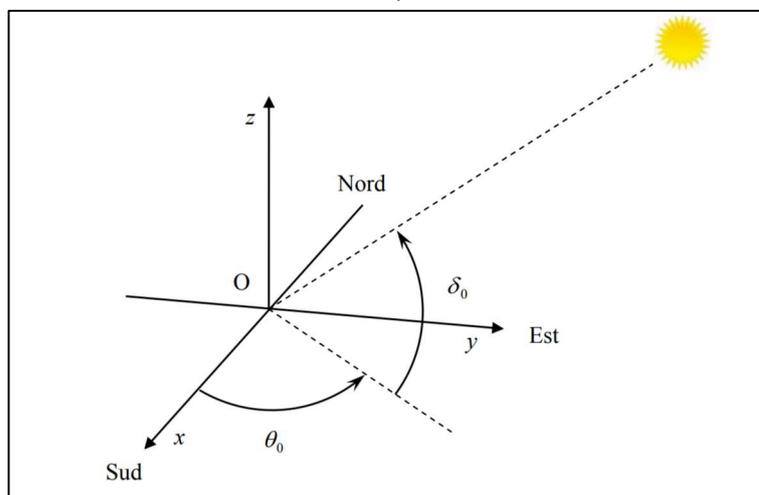
- vi sia in presenza di un livello sufficiente di intensità luminosa, ossia in condizioni di cielo sereno sgombro da nubi ed in assenza di nebbia e con sole alto rispetto all'orizzonte;
- la linea ricettore-aerogeneratore non incontri ostacoli: in presenza di vegetazione o edifici interposti l'ombra generata da quest'ultimi annulla il fenomeno. Pertanto, ad esempio, qualora il ricettore sia un'abitazione, affinché si generi lo *shadow flickering* le finestre dovrebbero essere orientate perpendicolarmente alla linea ricettore-aerogeneratore e non affacciarsi su ostacoli (alberi, altri edifici, ecc.);
- il rotore è orientato verso la provenienza del sole: come mostrato nelle figure seguenti;
- il piano del rotore è perpendicolare alla linea sole-ricettore, l'ombra proiettata dalle pale risulta muoversi all'interno di un "ellisse" (proiezione della circonferenza del rotore) inducendo uno *shadow flickering* non trascurabile;
- il piano del rotore è allineato con il sole ed il ricettore, l'ombra proiettata è sottile, di bassa intensità ed è caratterizzata da un rapido movimento, risultando pertanto lo *shadow flickering* di entità trascurabile.



3 ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA DI UN AEROGENERATORE

Come è noto, la posizione del sole rispetto alla terra può essere definita per mezzo di due angoli, detti anche Coordinate angolari "astronomiche" δ_0 e θ_0 , rispetto ad un riferimento cartesiano:

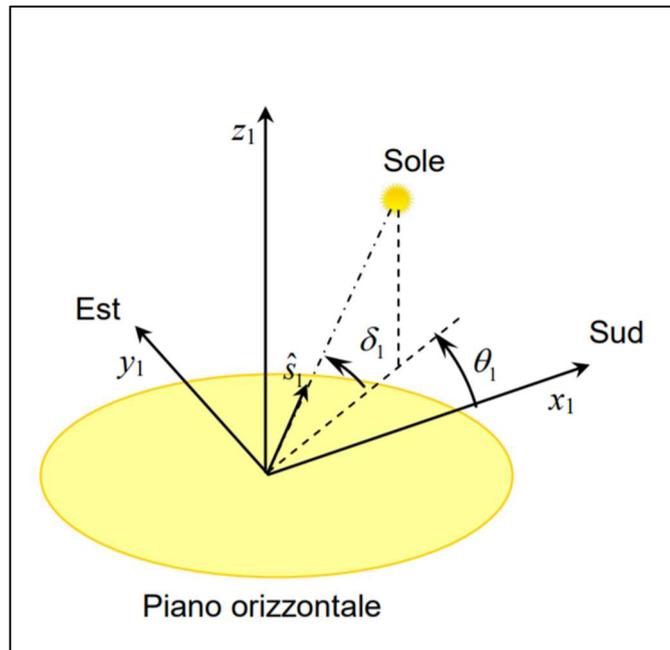
- il cui asse z è parallelo all'asse terrestre;
- il cui piano (x,y) è parallelo al piano equatoriale;
- la direzione x punta da Nord verso Sud e la direzione y da Ovest verso Est.



Coordinate solari astronomiche

Ovviamente, assegnata la latitudine di un sito, la posizione del sole in ciascun istante può anche essere definita (per mezzo dei due angoli δ_1 e θ_1 illustrati in figura seguente) rispetto ad un riferimento cartesiano:

- il cui asse z_1 è perpendicolare al suolo nella località considerata;
- il cui piano (x_1, y_1) è il piano orizzontale della località considerata;
- la direzione x_1 punta da Nord verso Sud e la direzione y_1 da Ovest verso Est.



Coordinate solari locali

Maggiori dettagli sul calcolo analitico della posizione del sole sono disponibili, fra i tanti riferimenti, nella pubblicazione ENEA “CALCOLO ANALITICO DELLA POSIZIONE DEL SOLE PER L’ALLINEAMENTO DI IMPIANTI SOLARI ED ALTRE APPLICAZIONI”, cui si rimanda.

Pertanto, avendo fissato giorno dell’anno, ora (rispetto all’ora solare del luogo considerato) e latitudine, in ogni istante, è possibile calcolare i due angoli δ_1 e θ_1 che definiscono la posizione del sole rispetto al riferimento locale.

Nota la posizione del sole e le caratteristiche geometriche dell’aerogeneratore (altezza all’HUB, diametro del rotore), è possibile definire l’area in cui si osserverà il fenomeno dello shadow flickering, che è coincidente con la proiezione al suolo del rotore secondo la direzione di origine dei raggi solari.

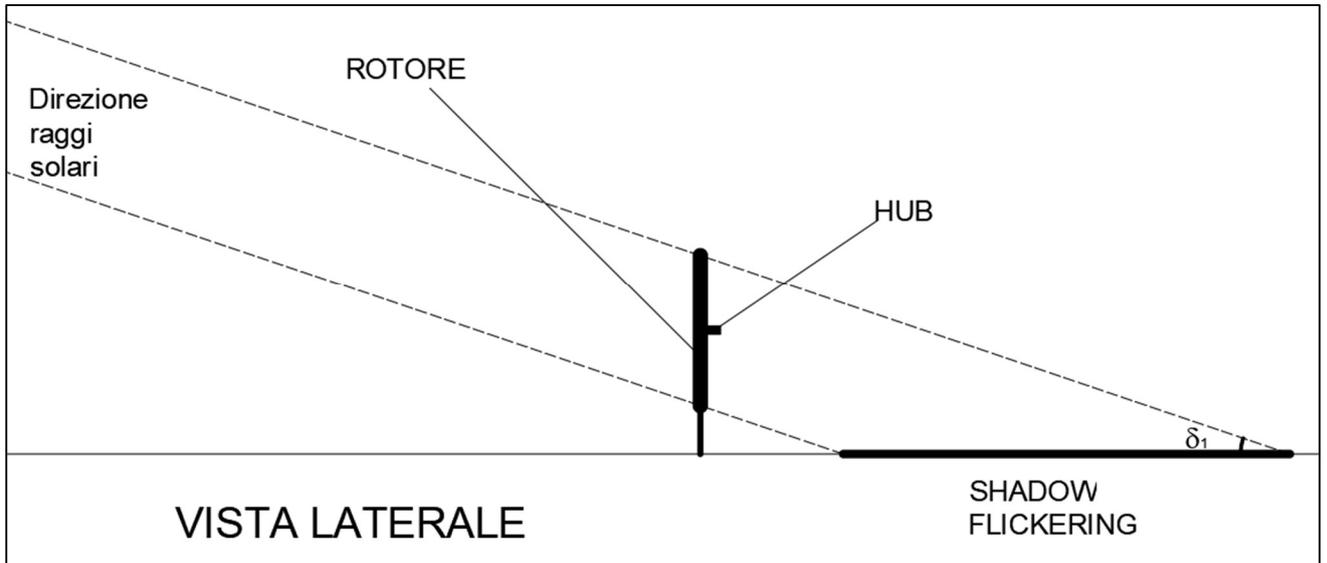
Per comprendere meglio il fenomeno, si consideri che nelle ipotesi di:

- rotore perfettamente perpendicolare alla direzione di provenienza dei raggi solari;
- terreno orizzontale.

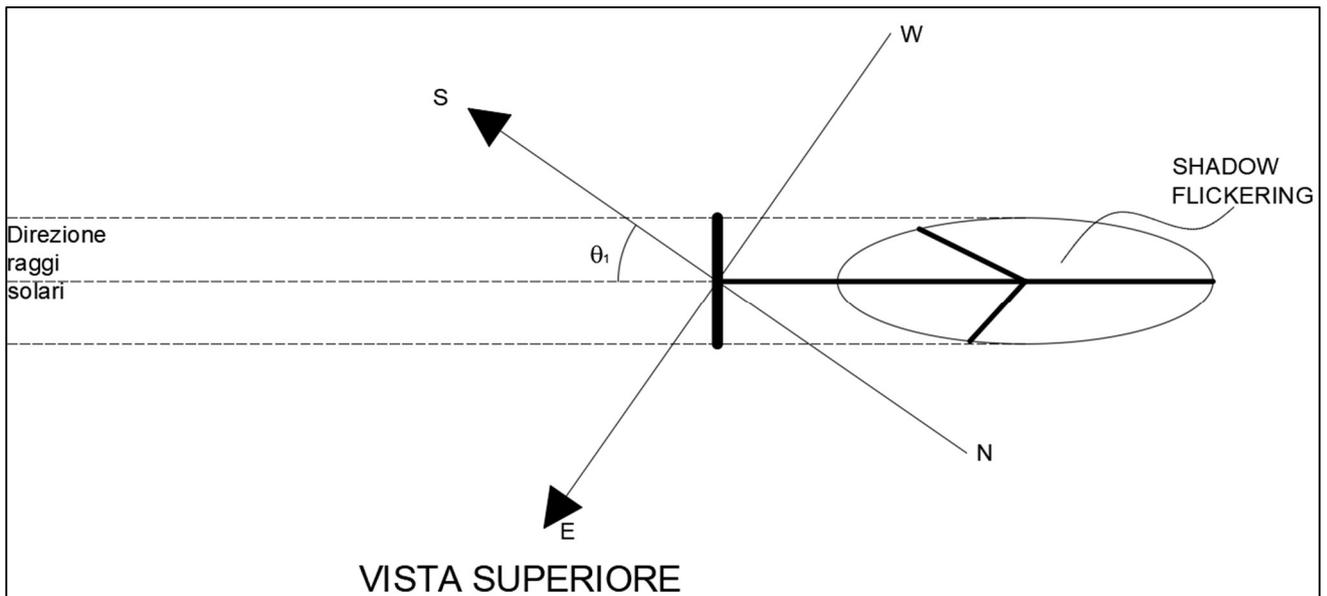
L’area su cui avviene il fenomeno di shadow flickering è data dall’ellisse i cui estremi si ricavano, mediante semplici considerazioni geometriche, dalle immagini seguenti. In particolare, l’ellisse di shadow flickering ha:

- semiasse maggiore pari alla metà della lunghezza indicata con “SHADOW FLICKERING” nella vista laterale seguente;
- semiasse minore pari al raggio del rotore, come evidente dalla vista superiore seguente;

- posizione nel riferimento cartesiano avente assi coincidenti con il SUD dipendente dall'angolo δ_1 .

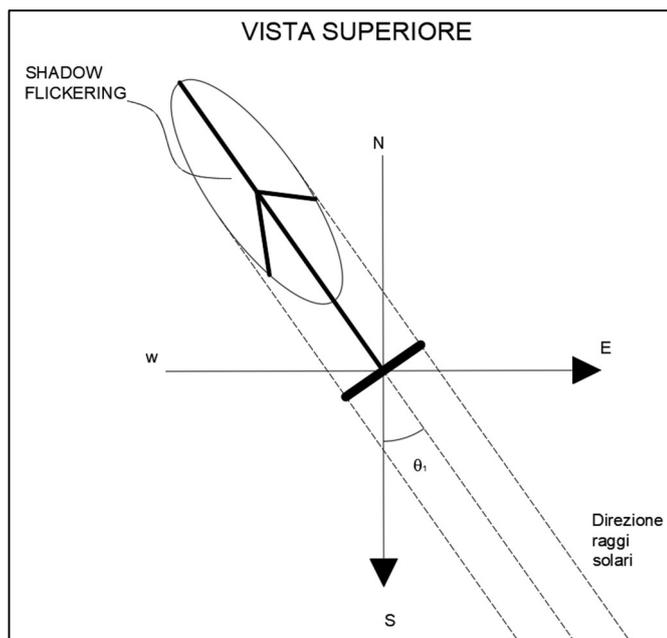


Vista laterale (rispetto al rotore) del fenomeno di shadow flickering



Vista superiore del fenomeno di shadow flickering

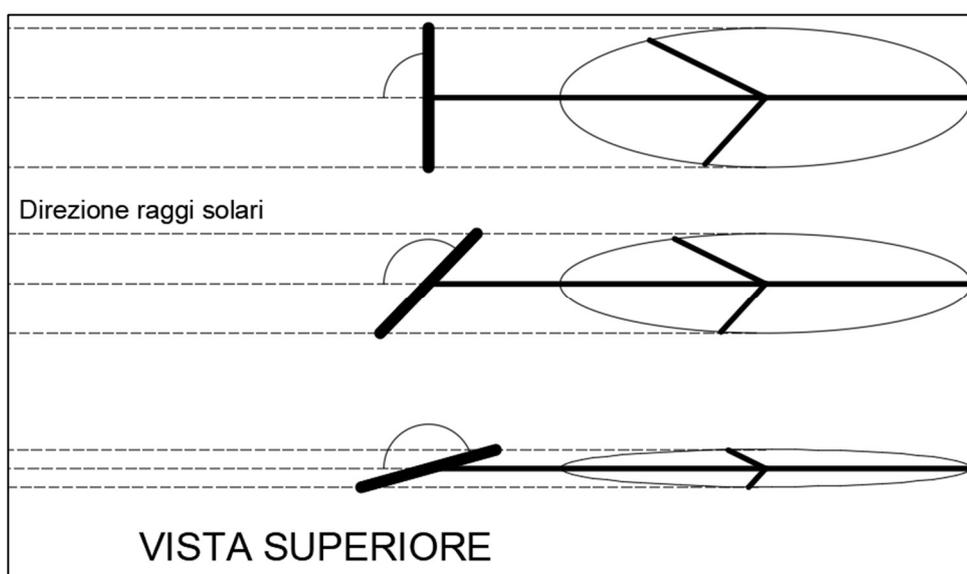
Ovviamente la vista precedente può anche essere resa, per sola chiarezza grafica, con gli assi cartesiani locali orientati secondo le direzioni orizzontale e verticale.



Vista superiore del fenomeno di shadow flickering – rotazione con asse SUD verticale

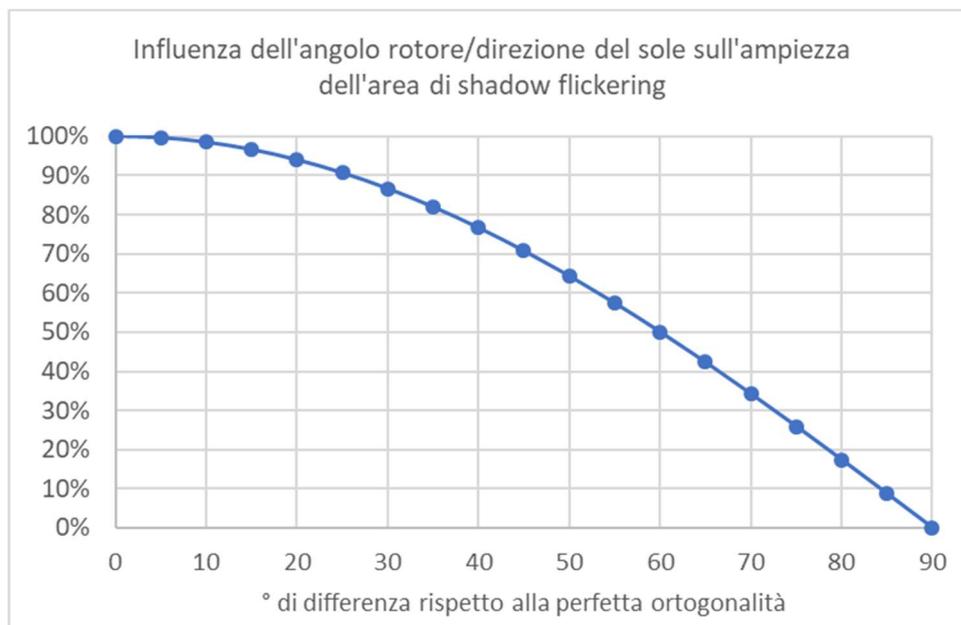
Si consideri adesso che l'ipotesi di perfetta perpendicolarità del rotore con la direzione di provenienza dei raggi solari è una ipotesi fortemente cautelativa, dal momento che, come è noto, il rotore è orientato rispetto alla direzione di provenienza del vento che non coincide, se non casualmente, con la direzione di provenienza dei raggi solari.

Facendo riferimento agli schemi nelle figure seguenti, si può osservare che ruotando di 45° il rotore rispetto alla direzione ortogonale ai raggi solari, l'area spazzata dallo Shadow flickering si riduce del 30%, e ruotandolo di ulteriori 30° l'area spazzata è appena il 25% circa di quella originaria.



Effetto dell'angolo tra direzione dei raggi solari e rotore sull'ampiezza dello shadow flickering

La dipendenza tra l'angolo rotore e l'ampiezza dell'area di Shadow flickering è rappresentata nel grafico seguente.



Assumendo, per semplicità, che la direzione del sole e la direzione del vento siano completamente non correlate, e quindi qualunque angolo tra le due direzioni può osservarsi con uguale frequenza, si ottiene un'area media dell'ellisse di shadow flickering pari al 63% circa dell'area di shadow flickering massima.

Per ottenere stime in vantaggio di sicurezza si utilizzerà comunque sempre, nei calcoli seguenti, l'area massima di shadow flickering.

4 CALCOLO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA PER GLI AEROGENERATORI ESISTENTI

Alla luce di quanto sopra, si è proceduto ad effettuare il calcolo dell'area di shadow flickering delle wtg esistenti in intervalli temporali con passo di ¼ ora di ogni giorno dell'anno, secondo la procedura seguente:

- Determinazione della posizione del sole (angoli δ_1 e θ_1) in funzione della latitudine del luogo, del giorno e dell'ora;
- Calcolo, nel sistema di riferimento locale (N-S; W-E) avente centro nell'asse della WTG:
 - della posizione degli estremi dell'ellisse di shadow flickering;
 - dei fuochi di tale ellisse.
- Verifica, per ciascun punto del dominio di calcolo, dell'appartenenza o meno del punto all'ellisse di flickering. L'appartenenza all'ellisse può essere verificata semplicemente sommando le distanze del punto considerato dai due fuochi dell'ellisse e confrontandola con il doppio del semiasse maggiore dell'ellisse.
- In caso di verifica positiva, si aggiunge di un quarto d'ora al conteggio del tempo annuale di flickering per il punto considerato.

Questa verifica è stata effettuata, per l'intero anno con passo temporale di un quarto d'ora, a passi spaziali di 20 metri nell'intorno della WTG, ottenendo i risultati mostrati nelle figure seguenti.

Le ipotesi di calcolo adottate sono state:

Latitudine: 41,107°

Altezza HUB: 80 m

Diametro rotore: 82 m

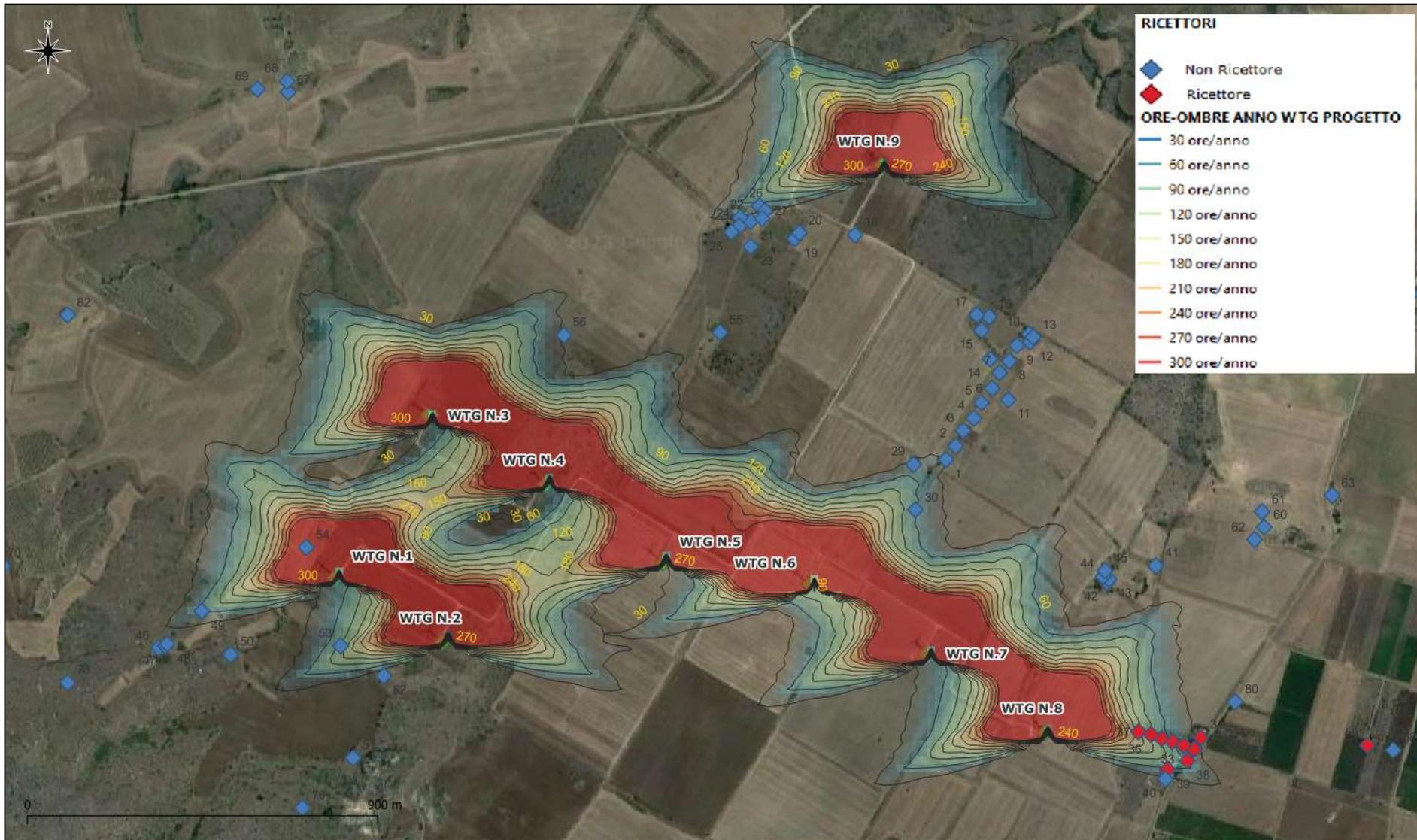
Nel valutare l'entità di questo fenomeno, tuttavia, si deve considerare che:

- un anno ha 8760 ore, delle quali circa 4380 ore di luce ed altrettante di buio;
- 120 ore di flickering su un tratto di strada significa circa il 2,7% appena delle ore di luce;
- con riferimento agli edifici poi, 60 ore di flickering equivalgono ad appena l'1,3% delle ore di luce annuali, 30 ore ad appena lo 0,7% circa delle ore di luce annuali

Dalla stima effettuata tramite i calcoli sono da detrarre:

- Le ore in cui non c'è vento e le macchine sono ferme;
- Le ore in cui non c'è sole, e pertanto non si genera il fenomeno di flickering;
- Le ore in cui il rotore è disallineato rispetto alla perpendicolare alla direzione dei raggi solari e, quindi, l'area di flickering è ridotta.

I risultati del calcolo sono mostrati negli stralci cartografici su ortofoto nella pagina seguente: in particolare sono rappresentate le WTG esistenti con un rombo di colore verde, le aree di shadow flickering in funzione del numero di ore, gli edifici ricettori con un rombo di colore rosso e i non ricettori con un rombo di colore blu.



Nell'area di shadow flickering indotta dall'attuale WTG8 sono presenti edifici, sui quali gravano ombre per una durata compresa tra le 25 e 140 ore/anno.

Quanto mostrato graficamente è riassunto di seguito in forma tabellare.

Ricettore ID	WTG	Ore/anno
37	8	140
36	8	105
35	8	80
34	8	55
33	8	45
38	8	55
31	8	30
39	8	55

Nel presente paragrafo è stato analizzato l'effetto "flickering" indotto dagli aerogeneratori esistenti sui ricettori, ovvero su edifici presenti nelle aree limitrofe alle WTG. Dall'analisi effettuata si evince che sono presenti 8 edifici abitabili in corrispondenza dell'area di shadow flickering indotta dalla WTG8.

5 CALCOLO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA PER GLI AEROGENERATORI IN PROGETTO

Nel presente paragrafo verrà illustrato il calcolo dell'area di shadow flickering in intervalli temporali con passo di ¼ ora di ogni giorno dell'anno, secondo la procedura seguente:

- Determinazione della posizione del sole (angoli δ_1 e θ_1) in funzione della latitudine del luogo, del giorno e dell'ora;
- Calcolo, nel sistema di riferimento locale (N-S; W-E) avente centro nell'asse della WTG:
 - della posizione degli estremi dell'ellisse di shadow flickering;
 - dei fuochi di tale ellisse.
- Verifica, per ciascun punto del dominio di calcolo, dell'appartenenza o meno del punto all'ellisse di flickering. L'appartenenza all'ellisse può essere verificata semplicemente sommando le distanze del punto considerato dai due fuochi dell'ellisse e confrontandola con il doppio del semiasse maggiore dell'ellisse.
- In caso di verifica positiva, si aggiunge di un quarto d'ora al conteggio del tempo annuale di flickering per il punto considerato.

Questa verifica è stata effettuata, per l'intero anno con passo temporale di un quarto d'ora, a passi spaziali di 20 metri nell'intorno della WTG, ottenendo il risultato mostrato nella figura che segue.

Le ipotesi di calcolo adottate sono state:

Latitudine: 41,107°

Altezza HUB: 112m

Diametro rotore: 175 m

Nel valutare l'entità di questo fenomeno, tuttavia, si deve considerare che:

- un anno è composto da 8760 ore, delle quali circa 4380 ore di luce ed altrettante di buio;
- 120 ore di flickering su un tratto di strada significa circa il 2,7% appena delle ore di luce;
- con riferimento agli edifici poi, 60 ore di flickering equivalgono ad appena l'1,3% delle ore di luce annuali, 30 ore ad appena lo 0,7% circa delle ore di luce annuali.

Dalla stima effettuata tramite i calcoli sono da detrarre:

- Le ore in cui non c'è vento e le macchine sono ferme;
- Le ore in cui non c'è sole, e pertanto non si genera il fenomeno di flickering;
- Le ore in cui il rotore è disallineato rispetto alla perpendicolare alla direzione dei raggi solari e, quindi, l'area di flickering è ridotta.

Per tutti i motivi appena elencati, quindi, si può escludere che le opere in progetto possano apportare un significativo disturbo da shadow flickering sia alla viabilità che agli edifici individuati come ricettori.

Il risultato del calcolo è mostrato nello stralcio cartografico su ortofoto nella pagina seguente: in particolare sono rappresentate le WTG di progetto con il colore arancione, le aree di shadow flickering in funzione del numero di ore, gli edifici ricettori identificati da un rombo di colore rosso e i non ricettori identificati da un rombo di colore blu.



Nell'area di shadow flickering indotta dalle WTG di progetto NON sono presenti edifici sui quali graveranno ombre

6 CONCLUSIONI

La presente relazione è stata redatta allo scopo di analizzare l'effetto "flickering" indotto dagli aerogeneratori di progetto sui ricettori, ovvero su edifici presenti nelle aree limitrofe alle WTG. Si precisa che già nella fase di scelta delle aree di ubicazione delle WTG si è cercato di distanziare il più possibile l'impianto da possibili ricettori. Dall'analisi effettuata emerge che:

- non sono presenti edifici classificati come ricettori in corrispondenza delle aree di shadow flickering indotte dalle WTG di progetto sui quali graveranno ombre;
- nell'area limitrofa alla **WTG 8 esistente** sono presenti n. 8 ricettori sui quali gravano ombre per una durata compresa tra le 30 e 140 ore/anno. Questi ricettori non saranno più interessati da shadow flickering nella condizione di progetto;
- il nuovo layout di impianto non interferisce, con alcun ricettore.

Nel definire il nuovo layout di progetto si è posta quindi particolare attenzione al tema dei ricettori: il posizionamento delle nuove WTG fa sì che il fenomeno di flickering incida in maniera poco significativa sui ricettori rispetto all'attuale layout di impianto.

Infatti, si può asseverare che i risultati ottenuti evidenziano che, pur considerando le condizioni più sfavorevoli, il fenomeno del flickering del nuovo progetto è migliorativo rispetto al progetto esistente in quanto il primo non incide su alcun ricettore, il secondo incide su 8 ricettori per un numero di ore anno compreso tra le 30 e 140 ore/anno.