

REGIONE: PUGLIA

PROVINCIA: FOGGIA

Comune di Biccari

ELABORATO:

**R.6**

OGGETTO:

**PARCO EOLICO DA 9 WTG da 6,2 MW/CAD  
PROGETTO DEFINITIVO  
ANALISI DELLO SHADOW FLICKERING**

PROPONENTE:



**SORGENIA RENEWABLES S.R.L.**

Via Algardi, 4

20148 Milano (MI)

[sorgenia.renewables@legalmail.it](mailto:sorgenia.renewables@legalmail.it)

PROGETTISTI:



**STIM ENGINEERING S.r.l.**

VIA GARRUBA, 3 - 70121 BARI

Tel. 080.5210232 - Fax 080.5234353

[www.stimeng.it](http://www.stimeng.it) - [segreteria@stimeng.it](mailto:segreteria@stimeng.it)

**ing. Massimo CANDEO**

Ordine Ing. Bari n° 3755

Via Cancellotto, 3

70125 Bari

Mobile 328.9569922

[m.candeo@pec.it](mailto:m.candeo@pec.it)

**ing. Gabriele**

**CONVERSANO**

Ordine Ing. Bari n° 8884

Via Garruba, 3

70122 Bari

Mobile 328 6739206

[gabrieleconversano@pec.it](mailto:gabrieleconversano@pec.it)

Collaborazione:

**Ing. Flavia Blasi**

Ordine Ing. Bari n° 11131

Marzo 2024	1	Revisione	Ing. Flavia Blasi ing. Gabriele Conversano	ing. Massimo Candeo
Dicembre 2022	0	Emissione	Ing. Flavia Blasi ing. Gabriele Conversano	ing. Massimo Candeo
<b>DATA</b>	<b>REV</b>	<b>DESCRIZIONE</b>	<b>ELABORATO da:</b>	<b>APPROVATO da:</b>

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

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>SHADOW FLICKERING.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA DI UN AEROGENERATORE. 4</b>	
<b>4</b>	<b>CALCOLO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA PER GLI AEROGENERATORI IN PROGETTO .....</b>	<b>9</b>

## 1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il presente elaborato ha lo scopo di valutare in maniera tecnica l'eventuale impatto generato dall'evoluzione dell'ombra derivante dalla futura installazione di un impianto di produzione di energia da fonte eolica costituita da 9 aerogeneratori tripala (WTG) ad asse orizzontale, ciascuno di potenza nominale pari a **6,2 MW**, per una potenza elettrica complessiva pari a **55,8 MW**, da realizzarsi in agro del Comuni di Biccari (FG).

La società proponente è Sorgenia Renewables s.r.l., con sede in Via Algardi, 4, 20148 Milano (MI).

## 2 SHADOW FLICKERING

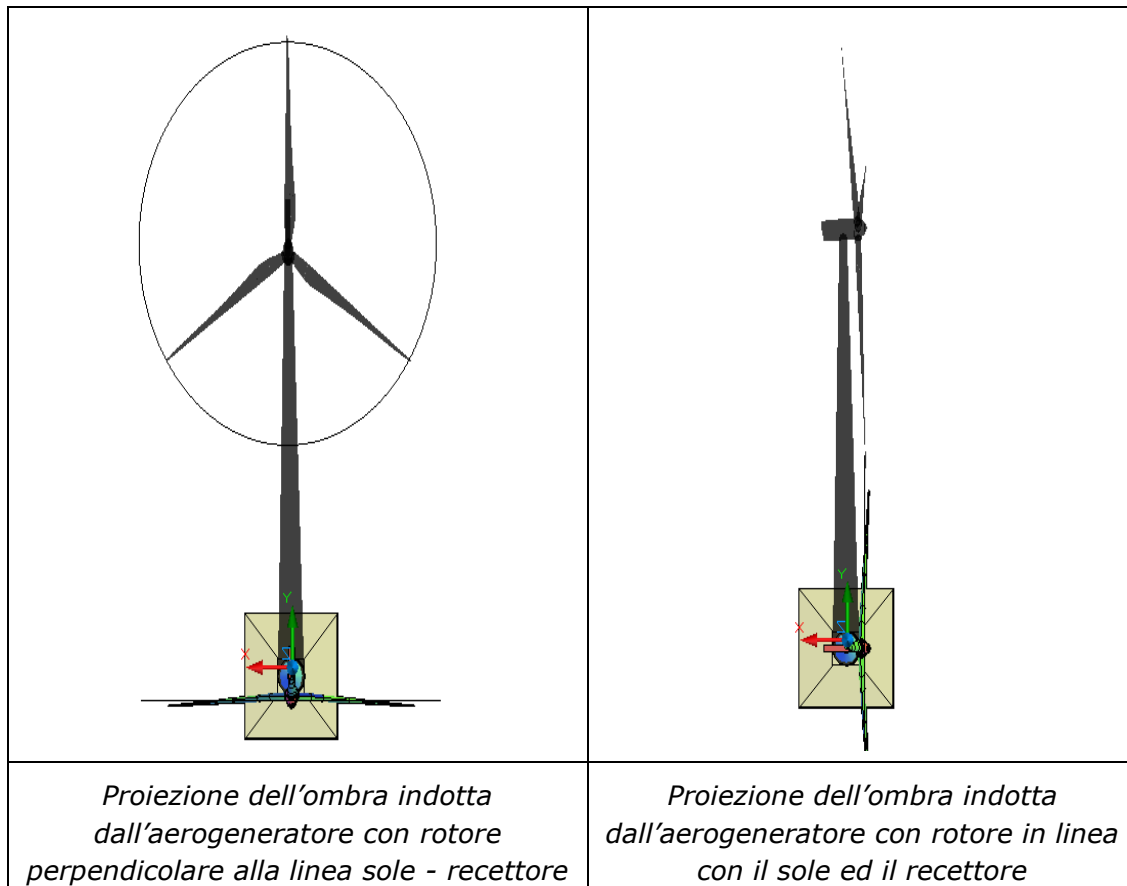
Lo *shadow flickering* consiste in una variazione periodica dell'intensità luminosa solare causata dalla proiezione, su una superficie, dell'ombra indotta da oggetti in movimento.

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 recettore, lo *shadow flickering* si manifesta in una variazione ciclica dell'intensità luminosa: in presenza di luce solare diretta, un recettore 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 recettore per periodi di tempo non trascurabile, può generare un disturbo quando:

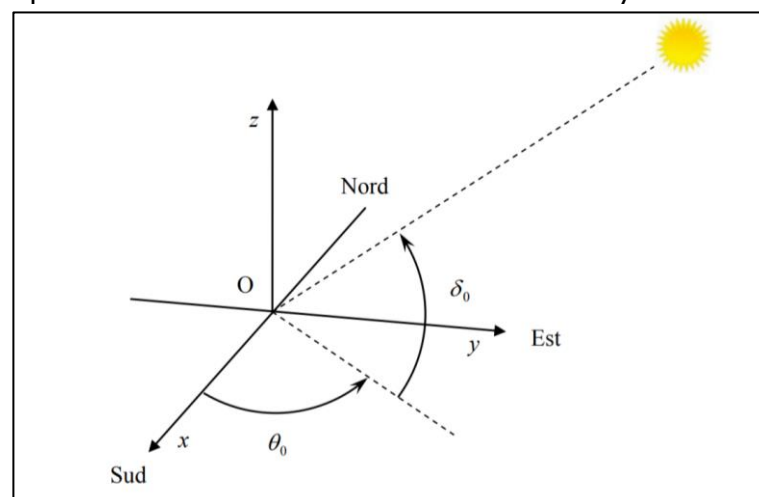
- vi sia in presenza di un livello sufficiente di intensità luminosa, ossia in condizioni di cielo sereno sgombro da nubi ed in assenza di nebbia e con sole alto rispetto all'orizzonte;
- la linea ricettore-aerogeneratore non incontri ostacoli: in presenza di vegetazione o edifici interposti l'ombra generata da quest'ultimi annulla il fenomeno. Pertanto, ad esempio, qualora il recettore sia un'abitazione, perché si generi lo *shadow flickering* le finestre dovrebbero essere orientate perpendicolarmente alla linea recettore-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-recettore, 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 recettore, 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"  $\delta_0$  e  $\theta_0$ , rispetto ad un riferimento cartesiano:

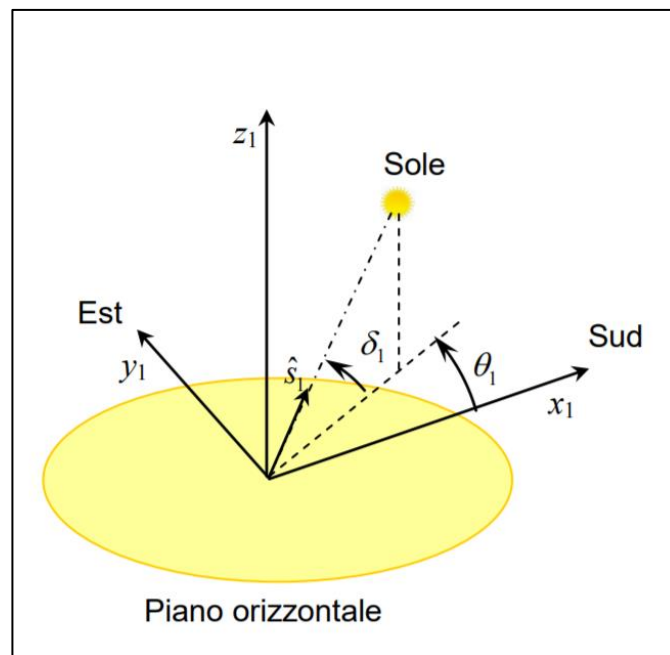
- il cui asse  $z$  è parallelo all'asse terrestre
- il cui piano  $(x,y)$  è parallelo al piano equatoriale;
- la direzione  $x$  punta da Nord verso Sud e la direzione  $y$  da Ovest verso Est.



*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  $\delta_1$  e  $\theta_1$  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  $\delta_1$  e  $\theta_1$  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.

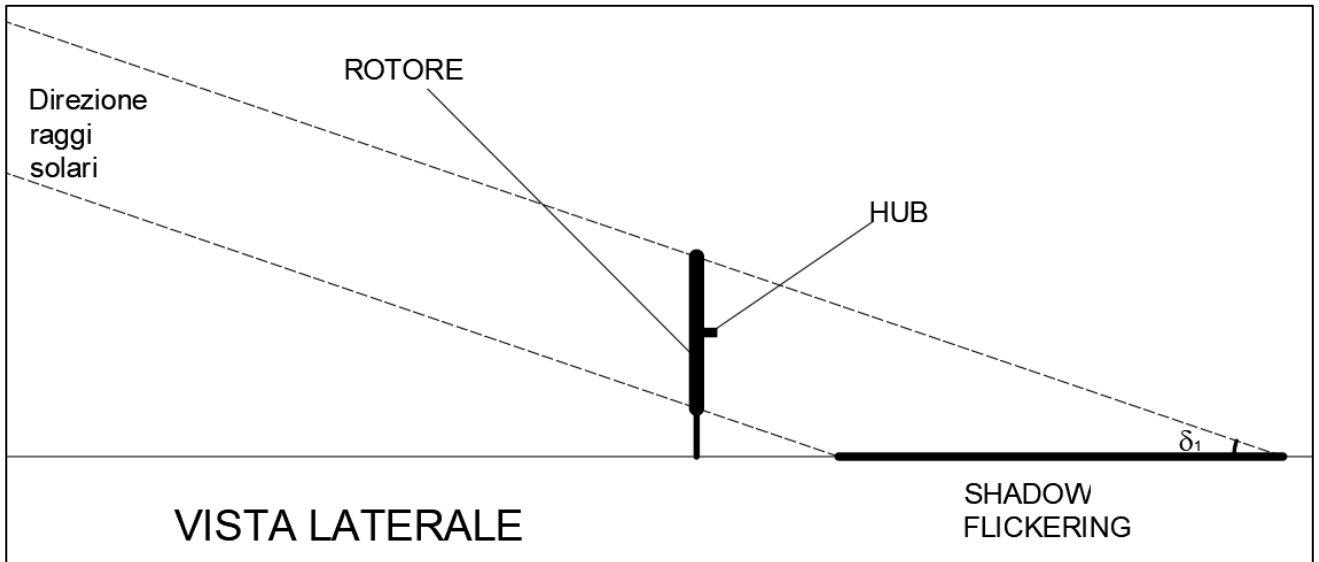
Per comprendere meglio il fenomeno, si consideri che nelle ipotesi di:

- rotore perfettamente perpendicolare alla direzione di provenienza dei raggi solari e
- terreno orizzontale,

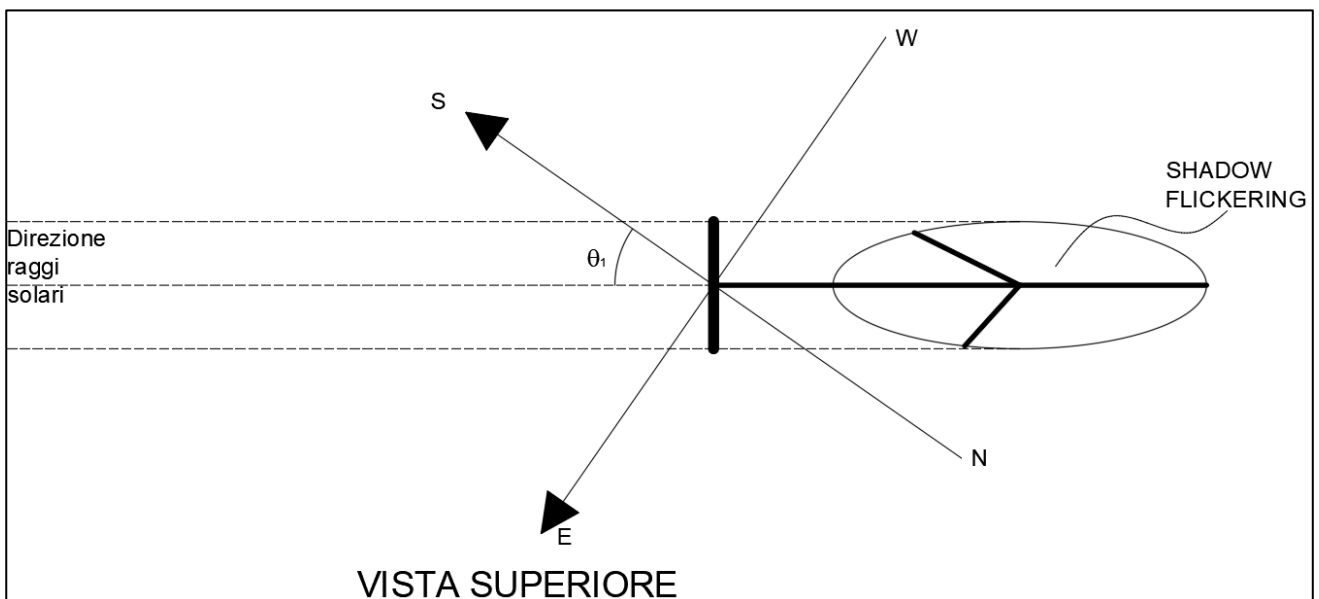
l'area su cui avviene il fenomeno di shadow flickering è data dall'ellisse i cui estremi si ricavano, mediante semplici considerazioni geometriche, dalle immagini seguenti. In particolare, l'ellisse di shadow flickering ha:

- 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  $\delta_1$ .

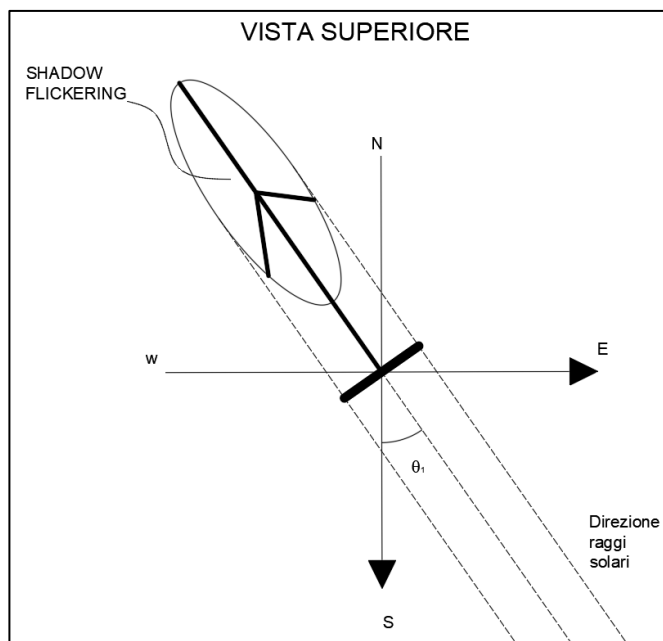


*Vista laterale (rispetto al rotore) del fenomeno di shadow flickering*



*Vista superiore del fenomeno di shadow flickering*

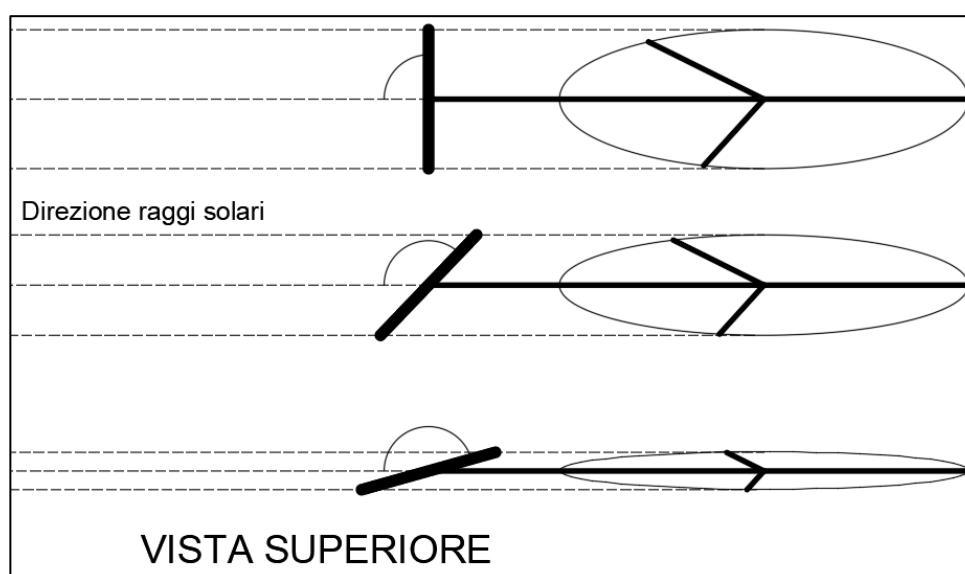
Ovviamente la vista precedente può anche essere resa, per sola chiarezza grafica, con gli assi cartesiani locali orientati secondo le direzioni orizzontale e verticale



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

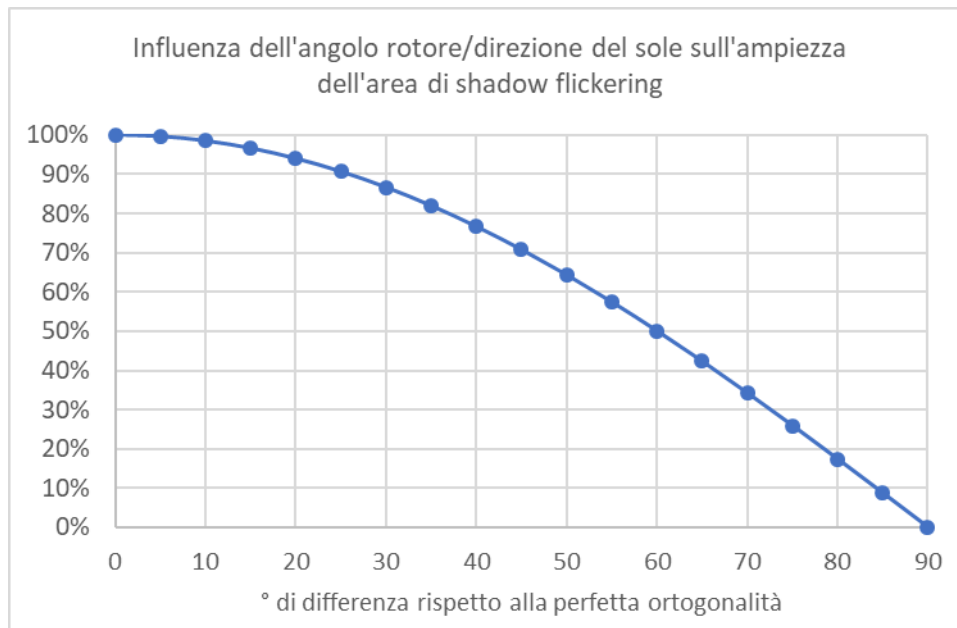
Si consideri adesso che l'ipotesi di perfetta perpendicolarità del rotore con la direzione di provenienza dei raggi solari è una ipotesi fortemente cautelativa, dal momento che, come è noto, il rotore è orientato rispetto alla direzione di provenienza del vento che non coincide, se non casualmente, con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

Facendo riferimento agli schemi nelle figure seguenti, si può osservare che ruotando di  $45^\circ$  il rotore rispetto alla direzione ortogonale ai raggi solari, l'area spazzata dallo Shadow flickering si riduce del  $30\%$ , e ruotandolo di ulteriori  $30^\circ$  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*

Questa dipendenza si può esprimere secondo quanto 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 IN PROGETTO

Alla luce di quanto sopra, si è proceduto ad effettuare 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  $\delta_1$  e  $\theta_1$ ) 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 10 metri nell'intorno della WTG, ottenendo i risultati mostrati nelle figure seguenti.

Le ipotesi di calcolo adottate sono state:

Latitudine: 41,418°

Altezza HUB: 125 m

Diametro rotore: 170 m

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

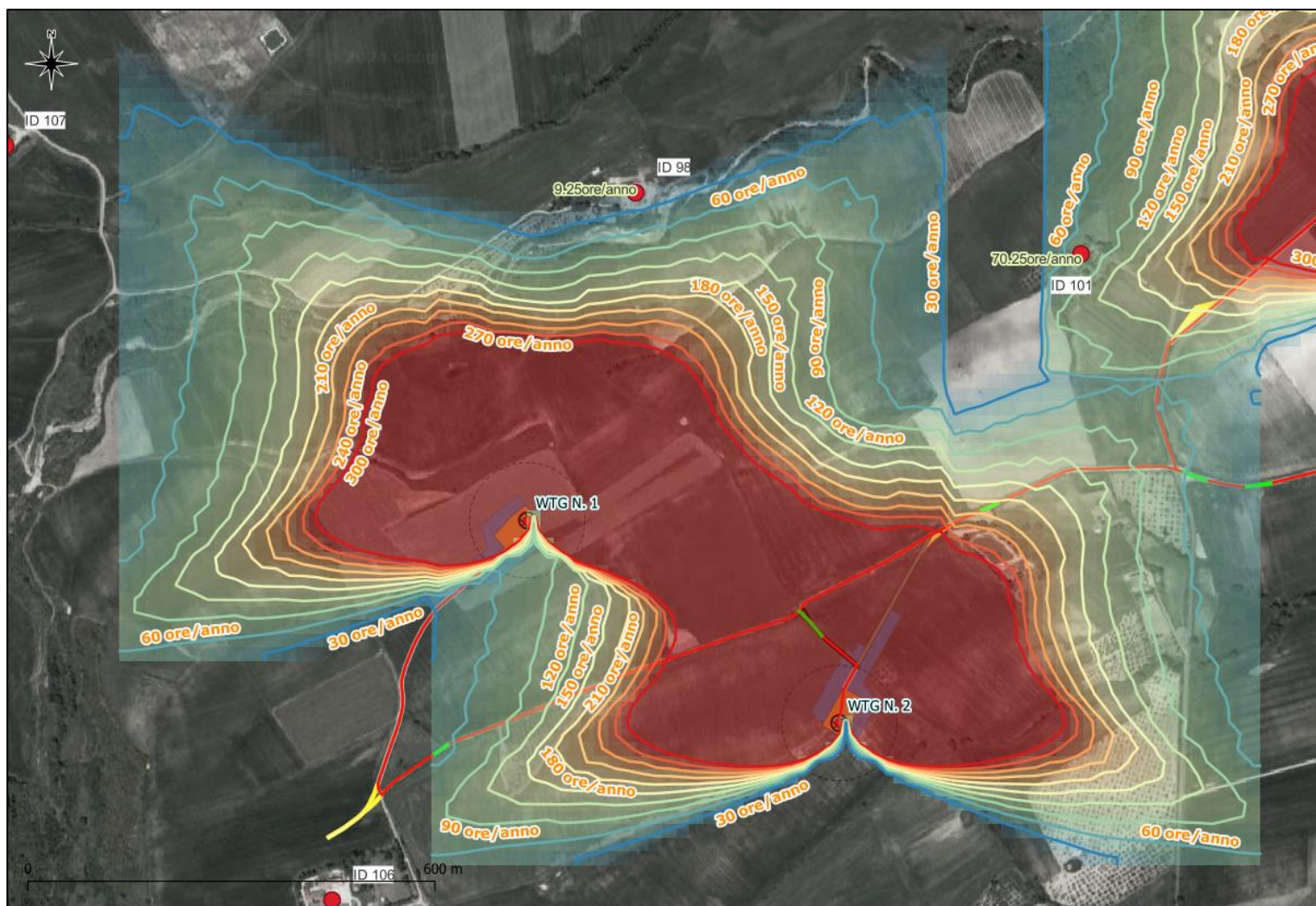
- un anno ha 8760 ore, delle quali circa 4380 ore di luce ed altrettante di buio;
- 120 ore di flickering su un tratto di strada significa circa il 2,7% appena delle ore di luce;
- con riferimento agli edifici poi, 60 ore di flickering equivalgono ad appena l'1,3% delle ore di luce annuali, 30 ore ad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

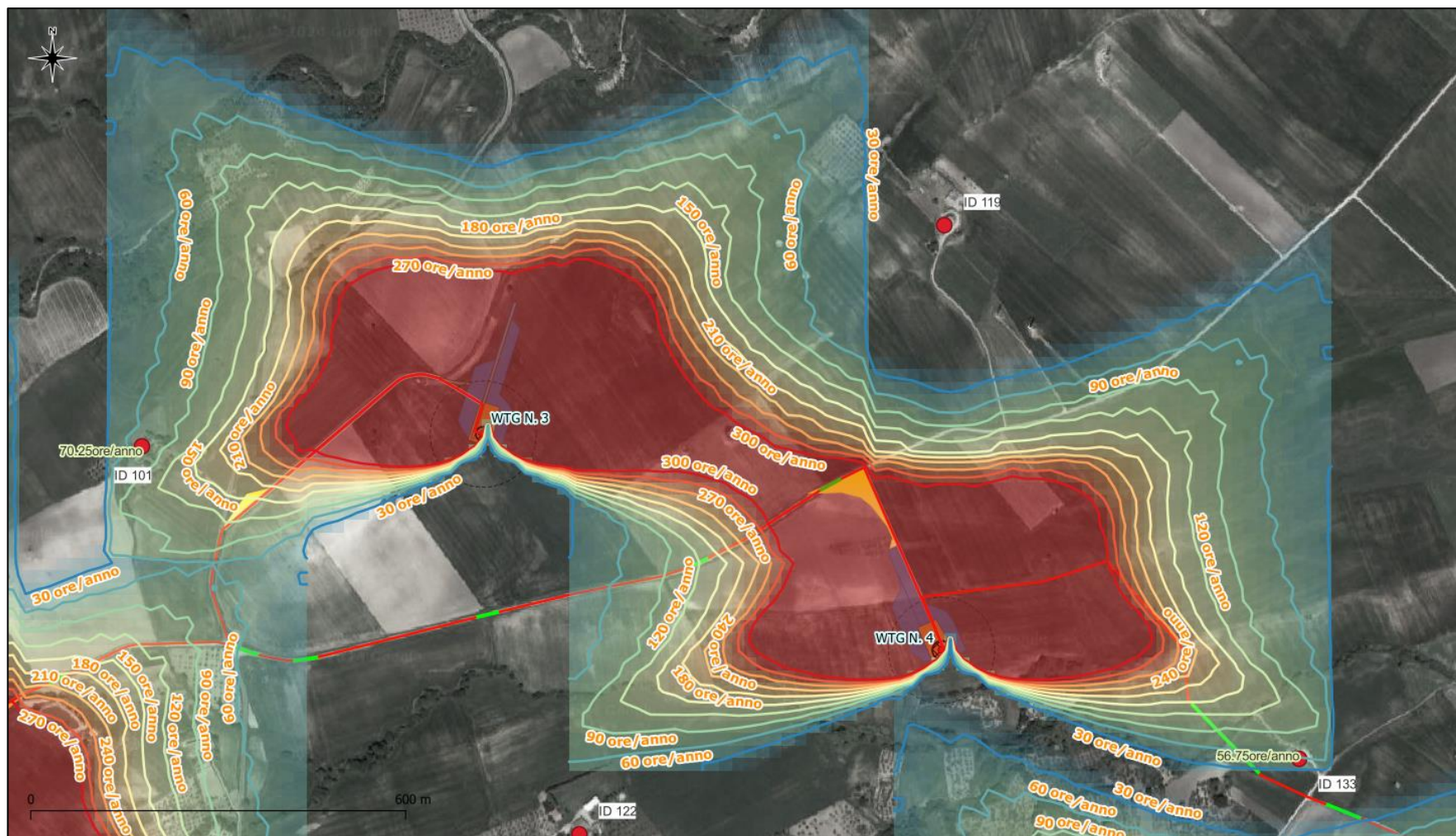
**Per tutti i motivi appena elencati, quindi, si può escludere che le opere in progetto possano apportare un significativo disturbo da shadow flickering sia alla viabilità che agli edifici individuati come ricettori.**

I risultati del calcolo sono mostrati, per ciascuna WTG, negli stralci cartografici su ortofoto nelle pagine seguenti: in particolare sono rappresentate le WTG di colore arancione, le aree di shadow flickering in funzione del numero di ore, gli edifici ricettori di colore rosso e i non ricettori di colore verde o giallo. Per agevolare la lettura dell'analisi per ogni ricettore è stato riportato il numero di ore di ombreggiamento.

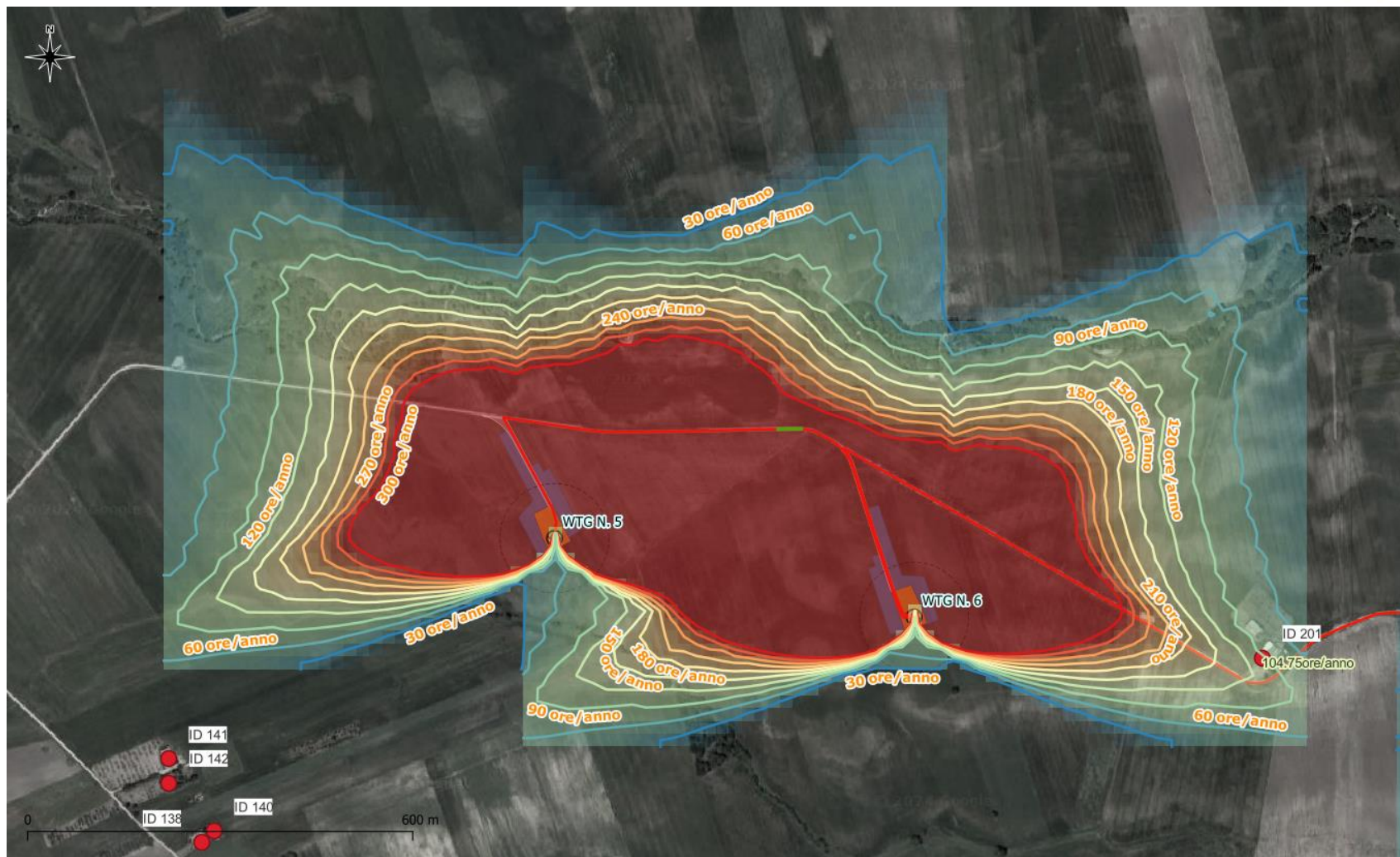


*Nell'area di shadow flickering indotta dalla WTG1 è presente un unico edificio "ID 98", azienda agricola, sul quale graveranno ombre per una durata irrisoria di circa 9 ore/anno. Non ci sono edifici nell'area di shadow flickering indotta dalla WTG2.*





*Nell'area di shadow flickering indotta dalle WTG3 e 4 è presente un unico edificio "ID 101", catastalmente adibito ad uso deposito, sul quale graveranno ombre per una durata di circa 70 ore/anno.*

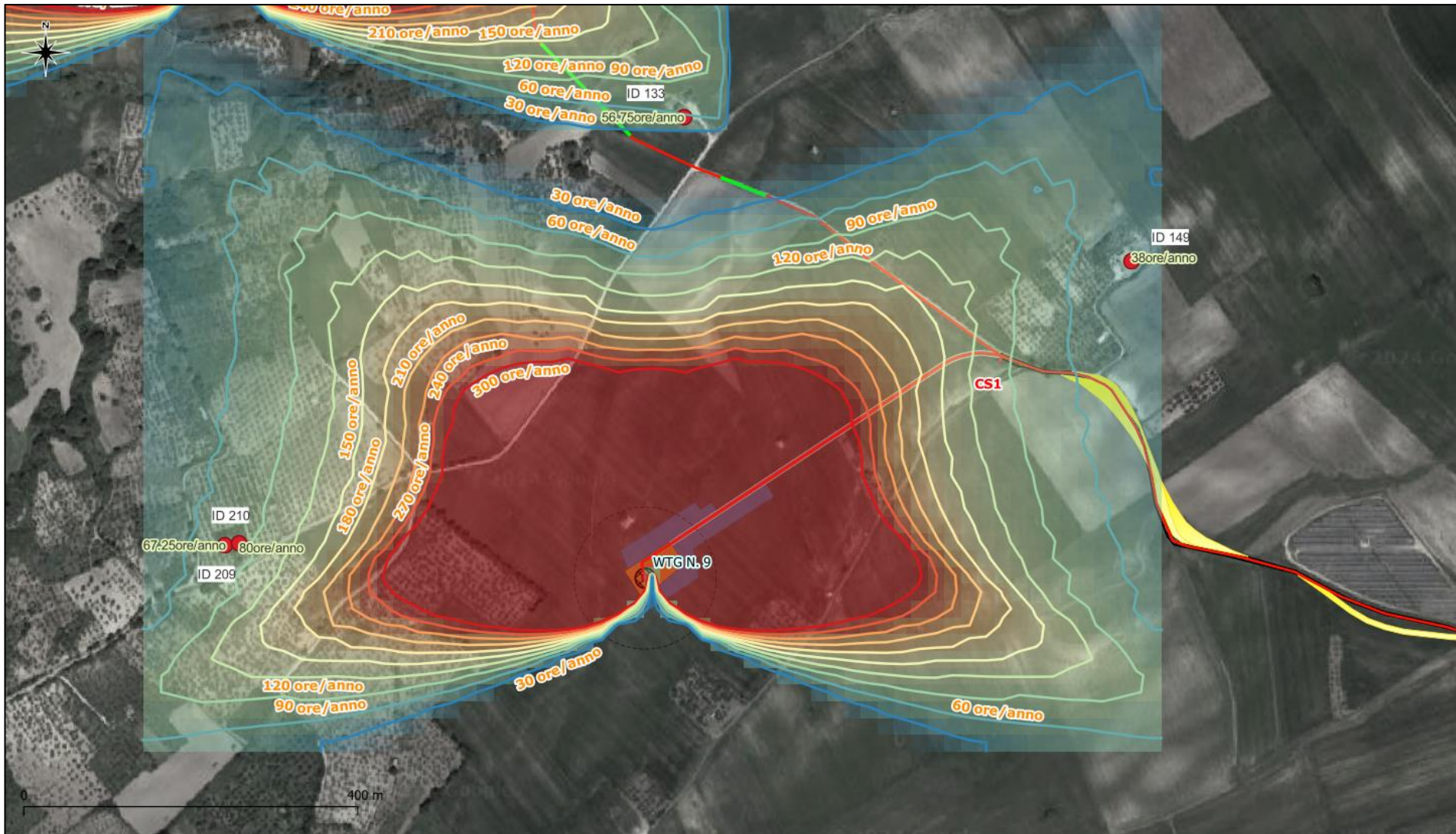


*Nell'area di shadow flickering indotta dalla WTG6 è presente un unico edificio "ID 201", abitazione, sul quale graveranno ombre per una durata di circa 105 ore/anno. Non ci sono edifici nell'area di shadow flickering indotta dalla WTG5.*









*Nell'area di shadow flickering indotta dalla WTG9 sono presenti 3 edifici, "ID 149, ID 210", abitazioni, sul quale graveranno rispettivamente ombre per una durata di circa 38 ore/anno e 67 ore/anno .*

Quanto mostrato graficamente è riassunto di seguito in forma tabellare.

Ricettore	WTG	Ore/anno
98	2	9
10	3 - 4	70
201	6	105
149	9	38
210	9	67

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

Dall'analisi effettuata si evince che:

- sono presenti solo 4 edifici abitabili in corrispondenza delle aree di shadow flickering indotte dalle WTG9 e WTG6;
- un edificio ad uso deposito in corrispondenza dell'area di shadow flickering indotta dalle WTG4;
- un'azienda agricola in corrispondenza dell'area di shadow flickering indotta dalle WTG1.

In conclusione, si può asseverare che i risultati ottenuti evidenziano che, pur considerando le condizioni più sfavorevoli, il fenomeno del flickering incide in maniera limitata sui ricettori considerati in quanto i valori reali attesi presso di essi variano dalle 9 alle 105 ore totali in un anno.