



Regione Puglia  
 Provincia di Foggia  
 Provincia di Barletta-Andria-Trani



Impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica composto da n.7 aerogeneratori con potenza totale installata pari a 49 MW e relative opere connesse denominato "Ofanto" sito nei Comuni di Cerignola (FG) e Trinitapoli (BT)

Titolo:

DIV4NO6\_DocumentazioneSpecialistica\_03  
 RELAZIONE DI SHADOW FLICKERING

Numero documento:

Commessa					Fase	Tipo doc.	Prog. doc.	Rev.
2	3	4	3	0 5	D	R	0 1 1 7	0 0

Proponente:

**FRI-ELOFANTO**

**FRI-EL OFANTO S.r.l.**

Piazza del Grano 3, I-39100 Bolzano (BZ)

fri-el.ofanto@legalmail.it

Cod. Fisc./Part. Iva 03076540214

PROGETTO DEFINITIVO

Progettazione:



**PROGETTO ENERGIA S.R.L.**

Via Cardito, 202 | 83031 | Ariano Irpino (AV)  
 Tel. +39 0825 891313  
 www.progettoenergia.biz | info@progettoenergia.biz

SERVIZI DI INGEGNERIA INTEGRATI  
 INTEGRATED ENGINEERING SERVICES



Progettista:

Ing. Massimo Lo Russo



Sul presente documento sussiste il DIRITTO di PROPRIETA'. Qualsiasi utilizzo non preventivamente autorizzato sarà perseguito ai sensi della normativa vigente

REVISIONI	N.	Data	Descrizione revisione	Redatto	Controllato	Approvato
	00	13.07.2023	EMISSIONE PER AUTORIZZAZIONE	R. DI PIETRO	G. LO RUSSO	M. LO RUSSO

**INDICE**

1.	SCOPO .....	3
2.	CENNI SUL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKERING .....	3
3.	CALCOLO DELLO SHADOW FLICKERING .....	5
3.1	CONFIGURAZIONE D'IMPIANTO .....	5
3.2	INDIVIDUAZIONE DEI RICETTORI .....	5
3.3	METODOLOGIA DI CALCOLO .....	8
3.4	RISULTATI.....	10
4.	CONCLUSIONI.....	19
5.	ALLEGATI.....	19

## 1. SCOPO

Scopo del presente documento è la valutazione dell'eventuale impatto generato dallo shadow-flickering (letteralmente ombreggiamento intermittente), finalizzata all'ottenimento dei permessi necessari per la costruzione e per l'esercizio dell'impianto di produzione di energia rinnovabile da fonte eolica denominato "Ofanto", costituito da n° 7 aerogeneratori, per una potenza massima complessiva di 49 MW, nei comuni di Cerignola (FG) e Trinitapoli (BT) con relative opere connesse ed infrastrutture indispensabili nei comuni di Cerignola (FG) e Trinitapoli (BT), collegato alla Rete Elettrica Nazionale mediante connessione con uno stallo a 150 kV in antenna su una futura Stazione Elettrica a 380/150 kV della RTN da collegare in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Foggia – Palo del Colle", ubicata nel comune Cerignola (FG), nel seguito definito il "Progetto".

In particolare, con il termine "Progetto" si fa riferimento all'insieme di: Impianto Eolico, costituito da n° 7 aerogeneratori, Cavidotto 30 kV, Stazione Elettrica d'Utenza, Impianto di Utenza per la Connessione e Impianto di Rete per la connessione.

Il tipo di aerogeneratore previsto per l'impianto in oggetto (aerogeneratore di progetto) è ad asse orizzontale con rotore tripala e una potenza massima di 7 MW, avente le caratteristiche principali di seguito riportate:

- rotore tripala a passo variabile, di diametro massimo pari a 170 m, posto sopravvento alla torre di sostegno, costituito da 3 pale generalmente in resina epossidica rinforzata con fibra di vetro e da mozzo rigido in acciaio;
- navicella in carpenteria metallica con carenatura in vetroresina e lamiera, in cui sono collocati il generatore elettrico, il moltiplicatore di giri, il convertitore elettronico di potenza, il trasformatore BT/MT e le apparecchiature idrauliche ed elettriche di comando e controllo;
- torre di sostegno tubolare troncoconica in acciaio;
- altezza complessiva massima fuori terra dell'aerogeneratore pari a 200,00 m;
- diametro massimo alla base del sostegno tubolare: 4,70 m;
- area spazzata massima: 22.697 m<sup>2</sup>.

Nello specifico, il modello di aerogeneratore considerato è il seguente:

- Siemens Gamesa SG170 - HH 115m – 7 MW.

## 2. CENNI SUL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKERING

Lo shadow-flickering (letteralmente ombreggiamento intermittente) è l'espressione comunemente impiegata per descrivere una variazione 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 tale fenomeno è generato dalla proiezione, al suolo o su un ricettore (abitazione), dell'ombra prodotta dalle pale in rotazione degli aerogeneratori allorché il sole si trova alle loro spalle (cfr. figura successiva).

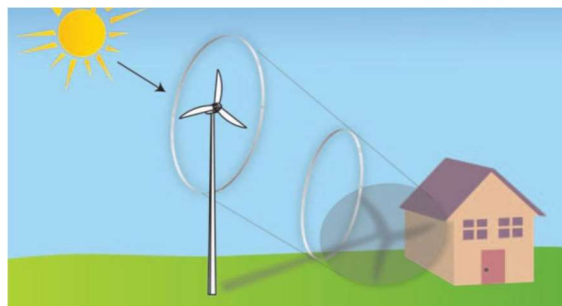


Figura 1 - Rappresentazione schematica del fenomeno dello shadow flicker

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 Westra1984), 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 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. Inoltre, i generatori di grande potenza (dal MW in su) raramente superano la velocità di rotazione di 20 giri al minuto, corrispondente a frequenze di passaggio delle pale ampiamente minori di quelle ritenute fastidiose per la maggioranza degli individui.

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 l'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 ed il, 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÷15 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 300-400 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 risulta 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 m dall'aerogeneratore e le zone a maggiore impatto ricadono entro i 300 - 400 m di distanza dalle macchine; 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.



### 3. CALCOLO DELLO SHADOW FLICKERING

#### 3.1 CONFIGURAZIONE D'IMPIANTO

Il Progetto prevede l'installazione di n. 7 aerogeneratori per una potenza massima di 49 MW. La disposizione prevista per le turbine è riportata nella tabella 1.

AEROGENERATORE	COORDINATE AEROGENERATORE UTM (WGS84) - FUSO 33		Altitudine [m]
	Long. E [m]	Lat. N [m]	
WTG 01	573.377	4.580.616	25,20
WTG 02	574.629	4.580.919	16,90
WTG 03	577.530	4.581.686	6,50
WTG 04	578.533	4.579.117	22,40
WTG 05	577.558	4.577.593	34,10
WTG 06	579.448	4.575.524	54,80
WTG 07	582.170	4.576.762	33,80

Tabella 1: Coordinate UTM - WGS84 – fuso 33 degli aerogeneratori

La tabella 2 riporta la scheda riassuntiva delle principali caratteristiche della turbina tipo Siemens Gamesa SG170 - HH 115m – 7 MW.

Potenza nominale	7.000 kW
Velocità di accensione:	3 m / s
Velocità di spegnimento:	25 m / s
<b>ROTORE</b>	
Diametro del rotore	170 m
Area spazzata	22.697 m <sup>2</sup>
Numero pale	3
Speed, Dynamic Operation Range	8,83 rpm
<b>TORRE</b>	
Altezza del mozzo	115 m

Tabella 2: Estratto delle specifiche tecniche della turbina Siemens Gamesa SG170 - HH 115m – 7 MW

#### 3.2 INDIVIDUAZIONE DEI RICETTORI

Ai fini della previsione degli impatti indotti sulle abitazioni dall'impianto eolico in progetto sono stati individuati i ricettori presenti nei pressi degli aerogeneratori.

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno, esso risulta evidente e fastidioso in quegli ambienti con finestrate che si trovano sul prolungamento della direttrice sole-turbina, per questo motivo, si è considerato nella simulazione la presenza di finestre di altezza 1 metro e larghezza 1 metro posizionate ad altezza dal suolo di 2 metri e disposte su tutte le facciate degli edifici. La tabella 3 riporta i riferimenti geografici dei fabbricati riscontrati e l'orientamento delle finestre ipotizzate.

RICETTORI							Numero finestre e orientamento
Ricettore	Comune	Foglio	Particella	Destinazione d'uso	UTM - WGS84		
					Long. E [m]	Lat. N [m]	
1	Cerignola (FG)	78	430	A03	572719,9	4580349,6	4 ( 20° , 110° , 200° , 290° )
2	Cerignola (FG)	77	202 sub 7 e 8	C02-A07	572896,9	4580293,3	4 ( 67° , 157° , 247° , 337° )
3	Cerignola (FG)	78	202 sub 1 e 9	F02	572900,9	4580339,9	4 ( 69° , 159° , 249° , 339° )
4	Cerignola (FG)	79	202 sub 6	A07	572962,8	4580338,2	4 ( 13° , 103° , 193° , 283° )
5	Cerignola (FG)	77	177	A03	572887,6	4580816,1	4 ( 58° , 148° , 238° , 328° )
6	Cerignola (FG)	77	154	A07	572865,5	4580916,1	4 ( 81° , 171° , 261° , 351° )
7	Cerignola (FG)	77	160	C02-A04	572821,3	4580895,7	4 ( 78° , 168° , 258° , 348° )

RICETTORI							Numero finestre e orientamento
Ricettore	Comune	Foglio	Particella	Destinazione d'uso	UTM - WGS84		
					Long. E [m]	Lat. N [m]	
8	Cerignola (FG)	77	158	A04	572823,6	4580931,6	4 ( 80° , 170° , 260° , 350° )
9	Cerignola (FG)	77	194	C02	572775,6	4581200,8	4 ( 80° , 170° , 260° , 350° )
10	Cerignola (FG)	77	169	D10-A03	572768,7	4581247,3	4 ( 81° , 171° , 261° , 351° )
11	Cerignola (FG)	77	197 sub 1	A03	572807,3	4581278,1	4 ( 82° , 172° , 262° , 352° )
12	Cerignola (FG)	77	197 sub 2	D10	572816,0	4581233,5	4 ( 82° , 172° , 262° , 352° )
13	Cerignola (FG)	77	142 sub1	D10	573270,0	4581248,9	4 ( 1° , 91° , 181° , 271° )
14	Cerignola (FG)	77	142 sub 3 e 4 -134	A04-C02-A03-C06	573307,5	4581243,9	4 ( 2° , 92° , 182° , 272° )
15	Cerignola (FG)	77	146	A04-C02	573515,7	4581216,7	4 ( 82° , 172° , 262° , 352° )
16	Cerignola (FG)	77	152	A04-C02	573583,0	4581127,2	4 ( 65° , 155° , 245° , 335° )
17	Cerignola (FG)	77	156	A07	573551,9	4581111,9	4 ( 67° , 157° , 247° , 337° )
18	Cerignola (FG)	88	288	F02	573271,5	4580009,0	4 ( 65° , 155° , 245° , 335° )
19	Cerignola (FG)	88	284	A03	573429,2	4579561,5	4 ( 63° , 153° , 243° , 333° )
20	Cerignola (FG)	88	354 sub1	D10	573436,2	4579581,9	4 ( 62° , 152° , 242° , 332° )
21	Cerignola (FG)	88	354 sub2	A04	573460,3	4579567,8	4 ( 62° , 152° , 242° , 332° )
22	Cerignola (FG)	89	42	F02	573439,1	4579860,2	4 ( 35° , 125° , 215° , 305° )
23	Cerignola (FG)	90	79	C02	573964,1	4579994,4	4 ( 2° , 92° , 182° , 272° )
24	Cerignola (FG)	90	78	C02	574640,9	4580338,9	4 ( 20° , 110° , 200° , 290° )
25	Cerignola (FG)	77	11	FABB DIRUTO	574101,9	4580575,8	4 ( 51° , 141° , 231° , 321° )
26	Cerignola (FG)	77	212	D10 (censito catastalmente ma non esistente)	573995,7	4581214,0	-
27	Cerignola (FG)	77	148	A04-C02	574028,7	4581310,0	4 ( 57° , 147° , 237° , 327° )
28	Cerignola (FG)	77	117	COSTR NO AB	574040,5	4581375,1	4 ( 88° , 178° , 268° , 358° )
29	Cerignola (FG)	77	162	A03- C06	573926,1	4581650,1	4 ( 28° , 118° , 208° , 298° )
30	Cerignola (FG)	77	180	F02	574080,7	4581416,7	4 ( 88° , 178° , 268° , 358° )
31	Cerignola (FG)	77	118	F02	574115,5	4581406,2	4 ( 89° , 179° , 269° , 359° )
32	Cerignola (FG)	77	120	COSTR NO AB	574087,8	4581565,5	4 ( 89° , 179° , 269° , 359° )
33	Cerignola (FG)	77	187	A04	574156,1	4581536,3	4 ( 0° , 90° , 180° , 270° )
34	Cerignola (FG)	77	109	FU D ACCERT	574766,1	4581642,3	4 ( 78° , 168° , 258° , 348° )
35	Cerignola (FG)	12	543	A04	574599,3	4581806,7	4 ( 20° , 110° , 200° , 290° )
36	Cerignola (FG)	13	85	C02-A02	574922,9	4581800,5	4 ( 1° , 91° , 181° , 271° )
37	Cerignola (FG)	76	650	C02	574959,7	4581205,2	4 ( 5° , 95° , 185° , 275° )
38	Cerignola (FG)	76	533	A03-C02	575433,9	4581188,9	4 ( 2° , 92° , 182° , 272° )
39	Cerignola (FG)	20	131-150	FABB RURALE - C02	576884,6	4581474,2	4 ( 90° , 180° , 270° , 360° )
40	Cerignola (FG)	20	143	C02	577144,7	4581540,2	4 ( 1° , 91° , 181° , 271° )
41	Cerignola (FG)	20	155	C02	576979,7	4581655,4	4 ( 3° , 93° , 183° , 273° )
42	Cerignola (FG)	20	15	FABB DIRUTO (censito catastalmente ma non esistente)	576895,0	4582241,4	-
43	Cerignola (FG)	32	97	C06	577771,2	4582007,2	4 ( 12° , 102° , 192° , 282° )
44	Cerignola (FG)	32	83	FABB RURALE	577964,9	4581715,3	4 ( 4° , 94° , 184° , 274° )
45	Cerignola (FG)	32	89	AREA RURALE	578001,9	4581719,2	-
46	Cerignola (FG)	32	5	COSTR NO AB	578252,9	4581566,9	4 ( 77° , 167° , 257° , 347° )
47	Cerignola (FG)	75	473 sub2	A03	577594,2	4581066,8	4 ( 20° , 110° , 200° , 290° )
48	Cerignola (FG)	75	473 sub3	D10	577604,3	4581033,0	4 ( 21° , 111° , 201° , 291° )
49	Cerignola (FG)	70	80	ENTE URBANO	577753,2	4581114,3	4 ( 59° , 149° , 239° , 329° )
50	Cerignola (FG)	70	78	FABB RURALE	577820,5	4581097,4	4 ( 58° , 148° , 238° , 328° )
51	Cerignola (FG)	70	93	ENTE URBANO	577895,4	4581078,4	4 ( 56° , 146° , 236° , 326° )
52	Cerignola (FG)	71	259-261 sub4	C02-D01	577647,8	4579404,9	4 ( 23° , 113° , 203° , 293° )
53	Cerignola (FG)	71	261 sub 5	A03	577664,9	4579385,4	4 ( 16° , 106° , 196° , 286° )
54	Cerignola (FG)	71	3-176-177-173-174-262	FABB RURALE - C06-C02	577632,3	4579369,0	4 ( 24° , 114° , 204° , 294° )
55	Cerignola (FG)	69	427-114-420-205-116-63	COSTR NO AB - AREA RURALE- F02- FABB DIRUTO	577890,4	4579699,2	4 ( 8° , 98° , 188° , 278° )

RICETTORI							Numero finestre e orientamento
Ricettore	Comune	Foglio	Particella	Destinazione d'uso	UTM - WGS84		
					Long. E [m]	Lat. N [m]	
56	Cerignola (FG)	69	425-53	D10- FABB RURALE	578221,4	4579399,4	4 ( 64° , 154° , 244° , 334° )
57	Cerignola (FG)	66	75-83-77-82	C02-F02-D10	578593,8	4579517,6	4 ( 11° , 101° , 191° , 281° )
58	Cerignola (FG)	66	84-76	C02	578749,6	4578708,5	4 ( 25° , 115° , 205° , 295° )
59	Cerignola (FG)	66	74	C02	578898,0	4579428,1	4 ( 39° , 129° , 219° , 309° )
60	Cerignola (FG)	63	302	F02	578693,3	4580113,2	4 ( 15° , 105° , 195° , 285° )
61	Cerignola (FG)	64	61-6	FR DIV SUB - D10-F02	578652,5	4579678,4	4 ( 3° , 93° , 183° , 273° )
62	Cerignola (FG)	65	86	C02	579435,6	4579661,1	4 ( 89° , 179° , 269° , 359° )
63	Cerignola (FG)	65	81	C02	579338,3	4579145,6	4 ( 12° , 102° , 192° , 282° )
64	Cerignola (FG)	65	83	C02	579276,2	4579073,1	4 ( 32° , 122° , 212° , 302° )
65	Cerignola (FG)	65	78-79	F02-D10	579138,0	4578769,6	4 ( 87° , 177° , 267° , 357° )
66	Cerignola (FG)	65	92	C02	579050,8	4578281,8	4 ( 88° , 178° , 268° , 358° )
67	Cerignola (FG)	65	84	C02-A04	579007,5	4578279,6	4 ( 86° , 176° , 266° , 356° )
68	Cerignola (FG)	67	7-5	COSTR NO AB	578275,2	4578673,7	4 ( 48° , 138° , 228° , 318° )
69	Cerignola (FG)	118	380-381	C02-COSTR NO AB	576827,1	4577815,9	4 ( 2° , 92° , 182° , 272° )
70	Cerignola (FG)	118	29-51-376	COSTR NO AB - F02	576861,5	4577160,8	4 ( 50° , 140° , 230° , 320° )
71	Cerignola (FG)	118	32-54-55-377	FABB DIRUTO - F02	576894,1	4577121,6	4 ( 57° , 147° , 237° , 327° )
72	Cerignola (FG)	118	49-292-58	COSTR NO AB-AREA FAB DM	576932,9	4577146,1	4 ( 55° , 145° , 235° , 325° )
73	Cerignola (FG)	119	47	FABB DIRUTO	576958,9	4577172,5	4 ( 48° , 138° , 228° , 318° )
74	Cerignola (FG)	118	46	AREA FAB DM (censito catastalmente ma non esistente)	576927,2	4577216,1	-
75	Cerignola (FG)	118	42-40-38	COSTR NO AB-AREA FAB DM	577021,9	4577219,0	4 ( 40° , 130° , 220° , 310° )
76	Cerignola (FG)	118	34	AREA FAB DM (censito catastalmente ma non esistente)	577045,4	4577259,5	-
77	Cerignola (FG)	120	16	COSTR NO AB	577047,3	4577305,3	4 ( 30° , 120° , 210° , 300° )
78	Cerignola (FG)	120	43-53-54-224-55-144-147-141-145-148-142-143-46-47-48-45-4	COSTR NO AB-AREA RURALE	577154,1	4578082,1	4 ( 16° , 106° , 196° , 286° )
79	Cerignola (FG)	122	340	F02	578522,4	4577792,5	4 ( 66° , 156° , 246° , 336° )
80	Cerignola (FG)	119	125	F02	577845,3	4577299,3	4 ( 2° , 92° , 182° , 272° )
81	Cerignola (FG)	119	133	C02	577509,9	4577179,8	4 ( 4° , 94° , 184° , 274° )
82	Cerignola (FG)	119	123	C02	577369,6	4576889,1	4 ( 29° , 119° , 209° , 299° )
83	Cerignola (FG)	133	132	C02	577699,3	4576751,3	4 ( 25° , 115° , 205° , 295° )
84	Cerignola (FG)	132	-	non censita catastalmente	578556,2	4576117,0	4 ( 73° , 163° , 253° , 343° )
85	Cerignola (FG)	132	824	F02	578625,2	4575837,6	4 ( 73° , 163° , 253° , 343° )
86	Cerignola (FG)	132	855	C02	578605,4	4575585,4	4 ( 72° , 162° , 252° , 342° )
87	Cerignola (FG)	132	816	C02	578806,2	4575240,6	4 ( 74° , 164° , 254° , 344° )
88	Cerignola (FG)	127	309-305-297-281-298-304-83-267-270	C02-D10-AREA RURALE -A04	580056,9	4576285,0	4 ( 30° , 120° , 210° , 300° )
89	Cerignola (FG)	127	251-299	C02-A04	580117,1	4576252,1	4 ( 41° , 131° , 221° , 311° )
90	Cerignola (FG)	127	74-75-7	COSTR NO AB	579968,5	4576185,0	4 ( 8° , 98° , 188° , 278° )
91	Cerignola (FG)	127	217	COSTR NO AB	579989,1	4576088,4	4 ( 6° , 96° , 186° , 276° )
92	Cerignola (FG)	131b	863	F02	579757,2	4575267,7	4 ( 36° , 126° , 216° , 306° )
93	Cerignola (FG)	131b	-	non censita catastalmente	579638,6	4574827,4	4 ( 42° , 132° , 222° , 312° )
94	Cerignola (FG)	131b	109	FABB DIRUTO	579765,2	4574611,6	4 ( 51° , 141° , 231° , 321° )
95	Cerignola (FG)	128	1	FABB DIRUTO	582162,7	4576079,5	4 ( 88° , 178° , 268° , 358° )
96	Cerignola (FG)	125	143	D10	581194,6	4576992,0	4 ( 67° , 157° , 247° , 337° )

RICETTORI							Numero finestre e orientamento
Ricettore	Comune	Foglio	Particella	Destinazione d'uso	UTM - WGS84		
					Long. E [m]	Lat. N [m]	
97	Cerignola (FG)	125	110-141-94	C02-D10-A04	581145,2	4577014,9	4 ( 4° , 94° , 184° , 274° )
98	Cerignola (FG)	125	3	A02	581155,9	4577085,5	4 ( 6° , 96° , 186° , 276° )
99	Cerignola (FG)	125	137	C02-A03	581253,2	4577075,6	4 ( 48° , 138° , 228° , 318° )
100	Trinitapoli (FG)	3	1151	C02	582243,4	4577185,8	4 ( 86° , 176° , 266° , 356° )
101	Trinitapoli (FG)	3	-	non censita catastalmente	583194,9	4576741,9	4 ( 70° , 160° , 250° , 340° )
102	Trinitapoli (FG)	3	-	non censita catastalmente	582268,0	4576297,1	4 ( 84° , 174° , 264° , 354° )

Tabella 3: Coordinate UTM - WGS84 – fuso 33 puntuali dei ricettori

Alcuni fabbricati individuati nell'area sono edifici abbandonati in pessime condizioni, per lo più diruti o semidiruti, altri sono depositi connessi ad attività agricole utilizzati come ricovero per mezzi e materiali. Questi fabbricati sebbene ivi riportati solo per completezza di analisi non verranno considerati nello studio che segue, in quanto la presenza di persone è solo saltuaria e per brevi periodi. Nelle elaborazioni che seguono verranno considerati solo i fabbricati potenzialmente abitabili, evidenziati in grigio in tabella 3.

### 3.3 METODOLOGIA 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 per la progettazione di impianti eolici contengono moduli specifici per il calcolo e l'analisi del fenomeno di flickering.

L'analisi si basa 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.

Nello specifico è stato impiegato il modulo shadow flickering del software WindFarm (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 della turbina o dell'altezza complessiva del generatore eolico.

Nello specifico, nel caso in esame, per quanto concerne le simulazioni effettuate, si è assunta una distanza massima di influenza del fenomeno in esame pari a circa 8 volte l'altezza dell'aerogeneratore di progetto ed un angolo minimo di altezza del sole sull'orizzonte pari a 2°. 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.

Il software utilizza una serie di dati di input caratterizzanti quali:

- l'altimetria della zona simulata;
- la disposizione geografica delle turbine e dimensione geometrica dei loro componenti (torre e pale);
- la disposizione geografica dei "ricettori sensibili" (abitazioni e relative finestre);

- la latitudine e longitudine dell'area interessata.

Sulla base di questi dati il software calcola il numero di ore annue di esposizione allo shadow flickering per ciascun nodo del grigliato che copre l'intera area, nonché il numero di ore di esposizione per gli ambienti abitativi attraverso le finestre.

Per l'esecuzione della simulazione sono stati fissati i seguenti parametri:

- coordinate baricentriche (UTM-WGS84-FUSO 33): 577773E, 4578605N
- coordinate UTM-WGS84-FUSO 33 delle turbine considerate (vedi tabella 1)
- coordinate UTM-WGS84-FUSO 33 dei ricettori considerati e disposizione delle finestre (vedi tabella 3)
- raggio d'influenza massimo: 1,5 km dal punto di installazione dell'aerogeneratore
- altezza del punto di vista dell'osservatore: 2 m
- parametri turbina tipo Siemens Gamesa SG170 - HH 115m - 7 MW:
  - diametro rotore: 170 m,
  - altezza torre: 200 m,
  - altezza mozzo: 115 m,
  - larghezza media della pala: 3 m.

Il calcolo viene effettuato dal software nella condizione più sfavorevole possibile (caso peggiore), in quanto si considera che:

- il sole splenda per tutta la giornata, dall'alba al tramonto (cioè si è sempre in assenza di copertura nuvolosa);
- il piano di rotazione delle pale sia sempre perpendicolare alla direttrice sole-aerogeneratore (l'aerogeneratore "insegue" il sole);
- gli aerogeneratori siano sempre operativi;
- non siano presenti alberi o altri ostacoli che, intercettando l'ombra degli aerogeneratori, riducano o annullino il fastidio del 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 (WORST CASE), corrispondente alle ore in cui il sole permane al di sopra dell'orizzonte nell'arco dell'anno (ore di luce, circa 4465h/a), indipendentemente dalla presenza o meno di nubi, le quali inficerebbero il fenomeno stesso dello shadow flickering per l'impossibilità che si generino ombre.

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. Per l'area in esame tale valore corrisponde a circa 2460h/a come riscontrato presso la Stazione meteorologica di Foggia Amendola, e verificato (Riferimento Pinna M. (1985). L'eliofania in Italia. Mem. Soc. Geogr. It., e Lavagnini A., Martorelli S., Coretti C. (1987). Radiazione solare in Italia. Mappe mensili della radiazione globale giornaliera. Roma, CNR, Ist. Fis. Atm.), quindi, i risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere abbattuti del 44,9%, pari al complemento a 1 del rapporto  $2460/4465 = 55,1\%$ .

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 55,1% 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 l'impianto in esame le ore macchina si stimano all'incirca pari all'85% delle ore anno, ovvero 7446 ore, quindi la probabilità che il rotore di un aerogeneratore risulti in movimento è appunto dell'ordine dell'85% (pari al rapporto  $7446/8760$ ).

In definitiva, i valori calcolati dal modello numerico (ore di ombreggiamento intermittente all'anno) possono, realisticamente, essere ridotti di un fattore pari al complemento a 1 del prodotto  $85\% \times 55,1\% = 46,8\%$ , ovvero del 53,2%, corrispondente alla probabilità composta di avere contemporaneamente l'occorrenza di rotore in moto (vento) e sole libero da nubi (ombre), fenomeni, questi ultimi, stocasticamente indipendenti per cui la probabilità composta risulta pari al prodotto delle singole probabilità.



### 3.4 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 tiene 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 ricettori;
- dell'orografia locale, tramite un modello digitale del terreno (DTM);
- 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 nelle seguenti figure.

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  $0,7 \div 1,5$  Hz (circa un passaggio al secondo). 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.

Le distanze reciproche tra generatori eolici e ricettori, le condizioni orografiche del sito considerato, determinano la pressoché totale assenza del fenomeno in esame. 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 ecc.

Si riporta di seguito Mappa d'impatto potenziale shadow flickering per singolo aerogeneratore, nel caso più penalizzante (WORST CASE):



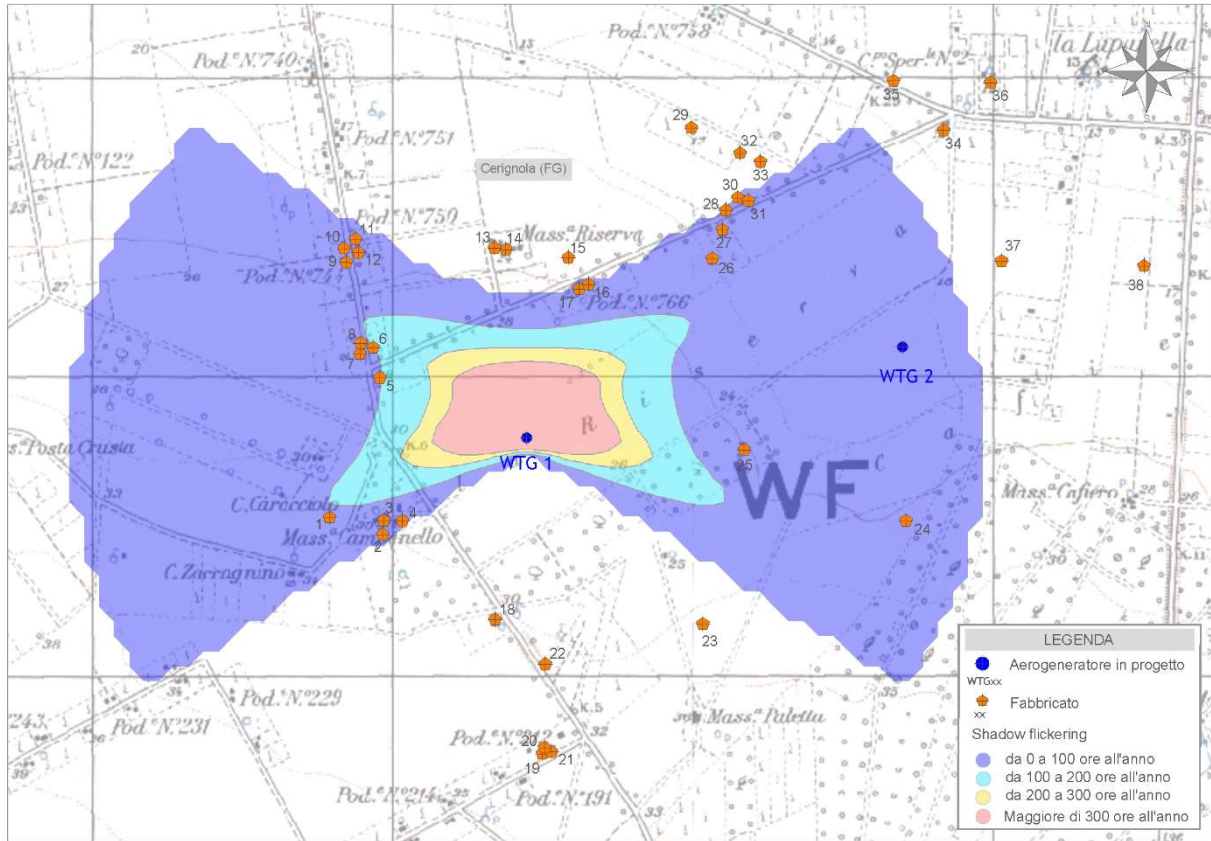


Figura 2 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG 1

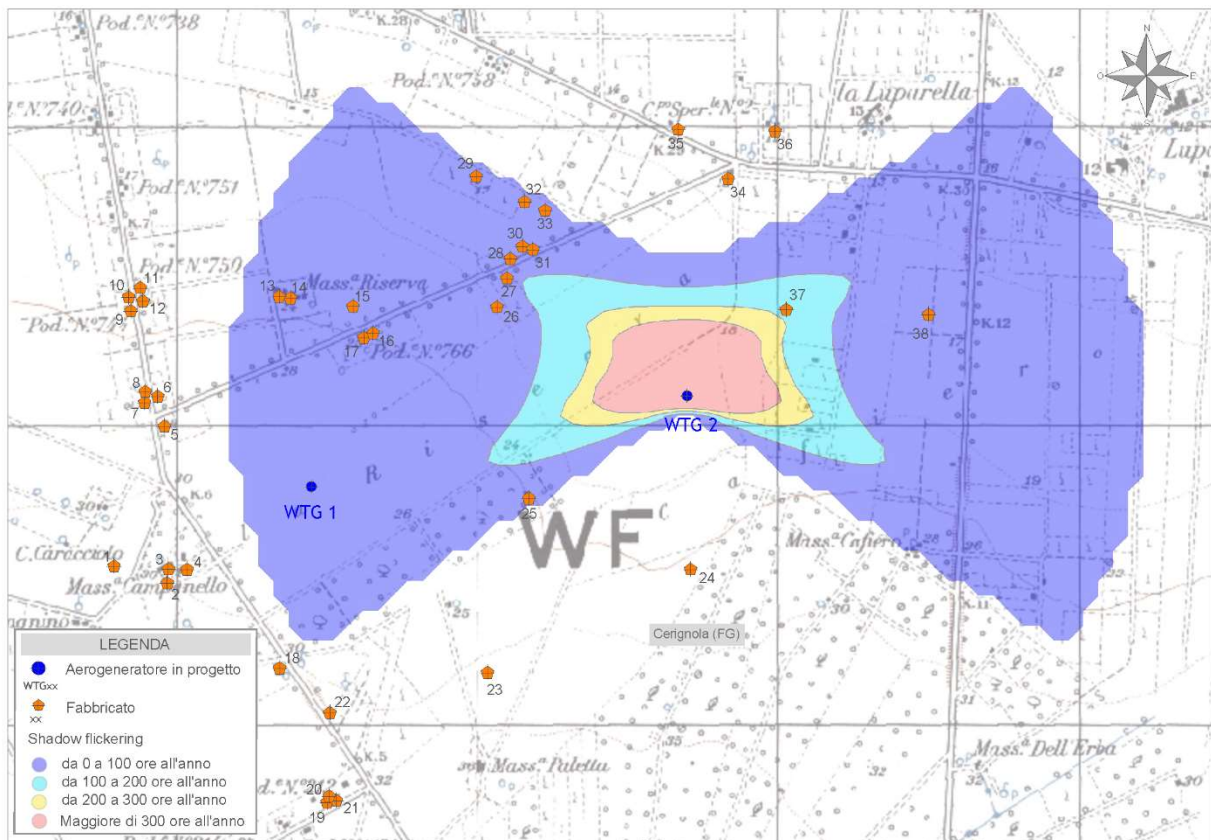


Figura 3 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG 2

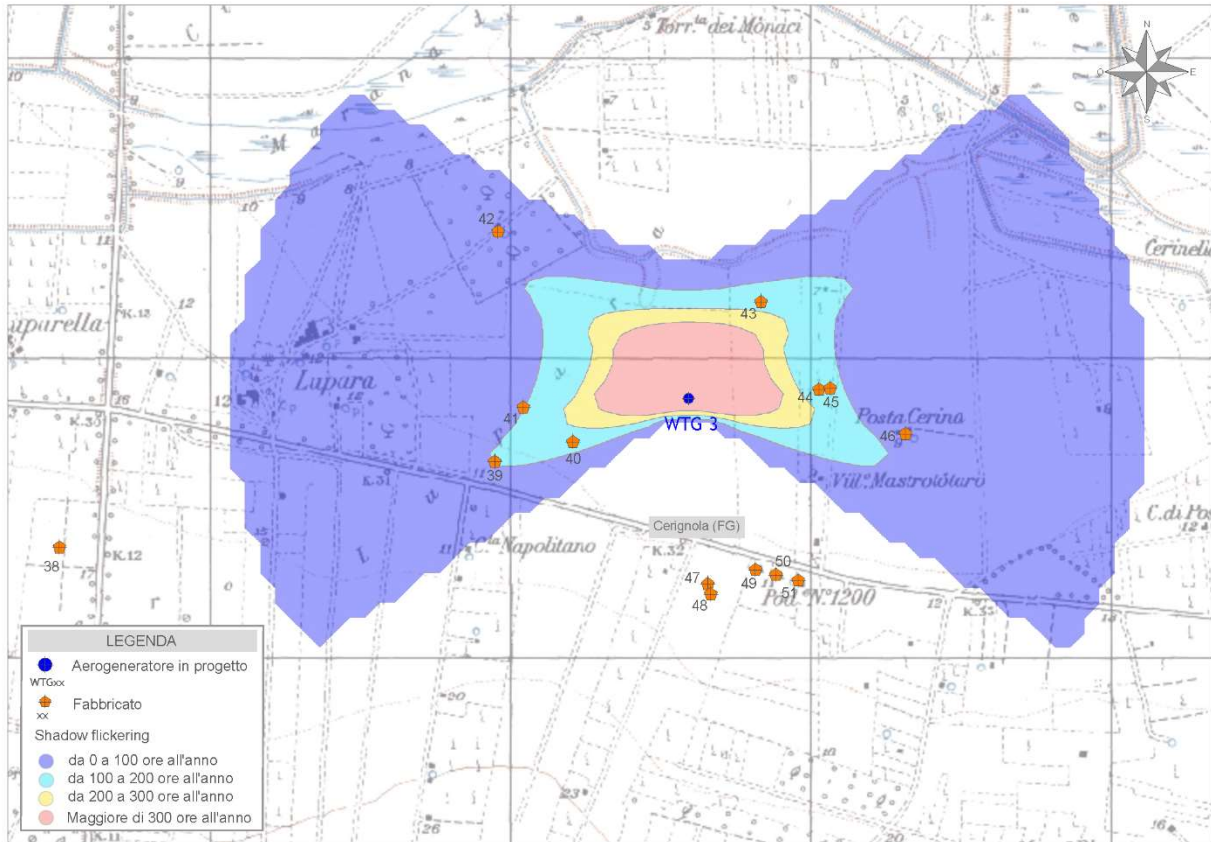


Figura 4 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG 3

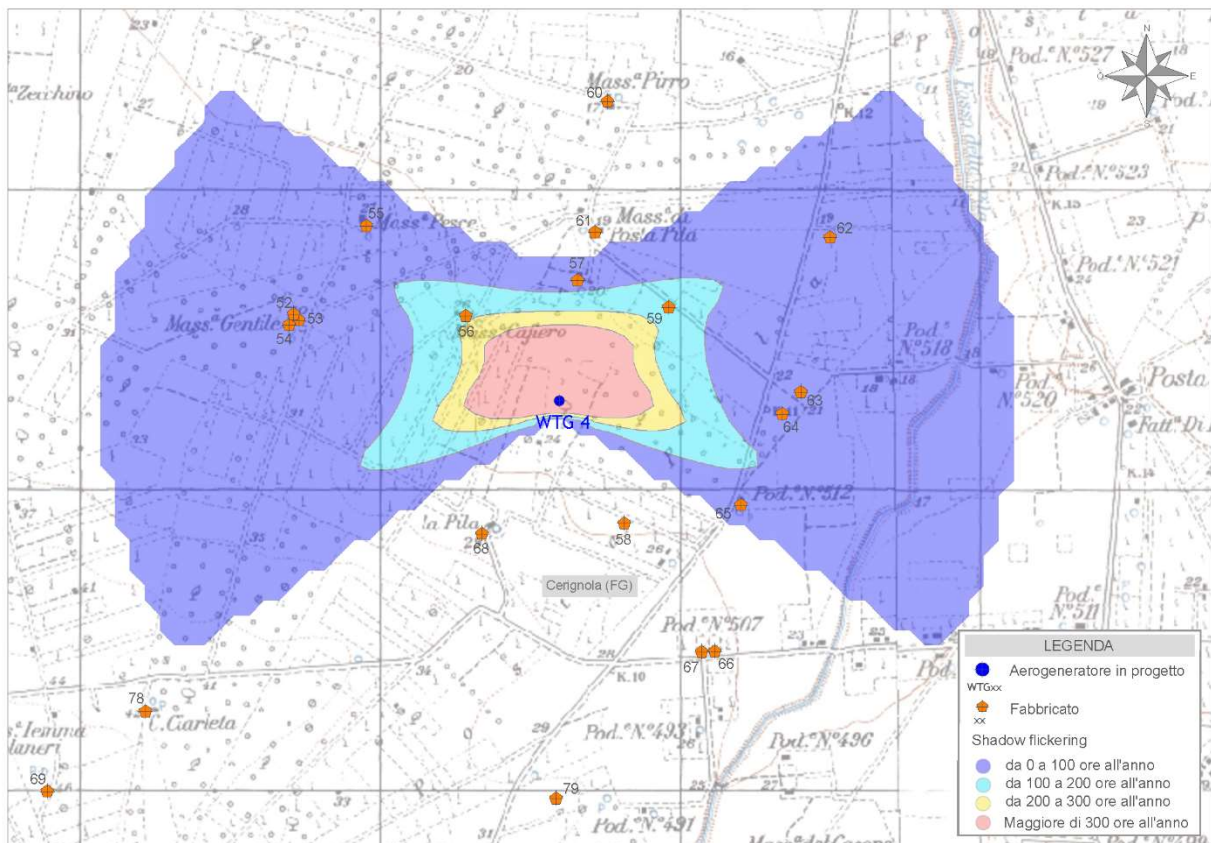


Figura 5 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG 4



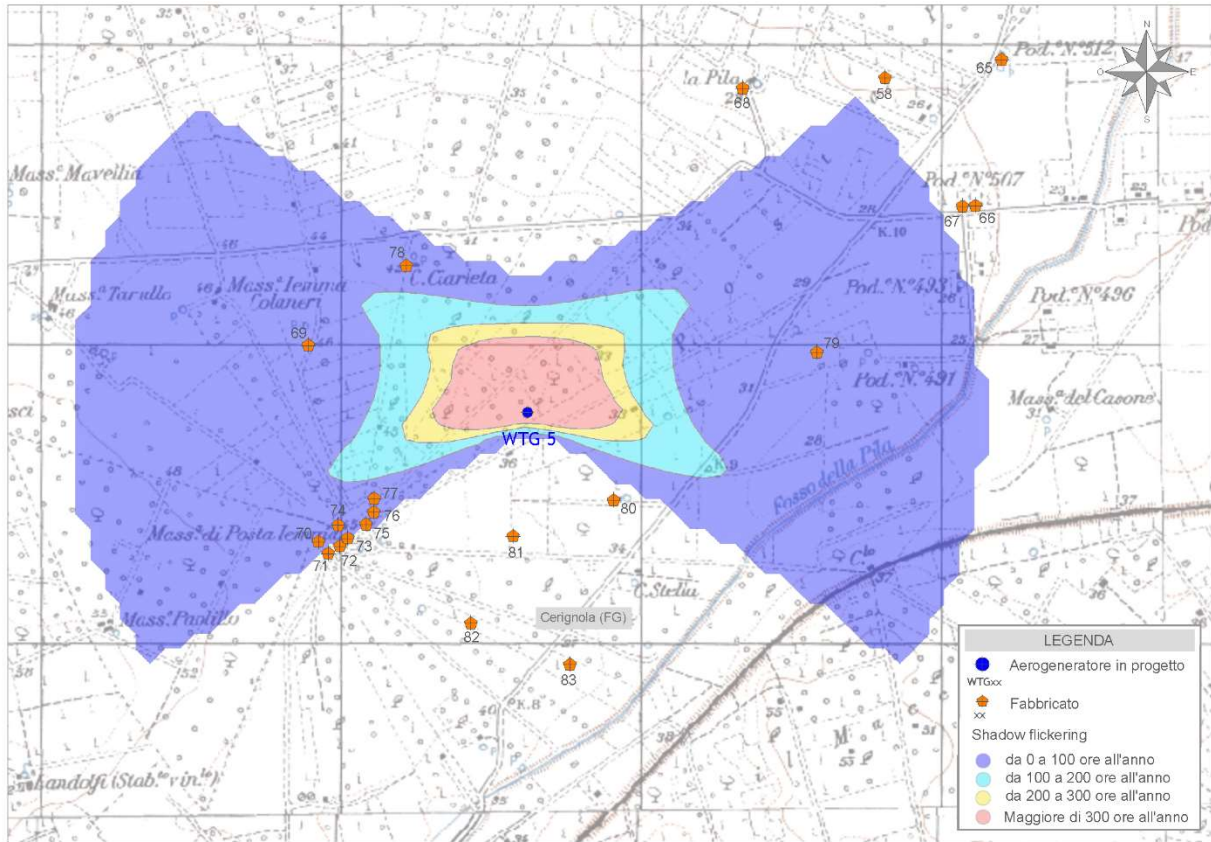


Figura 6 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG 5

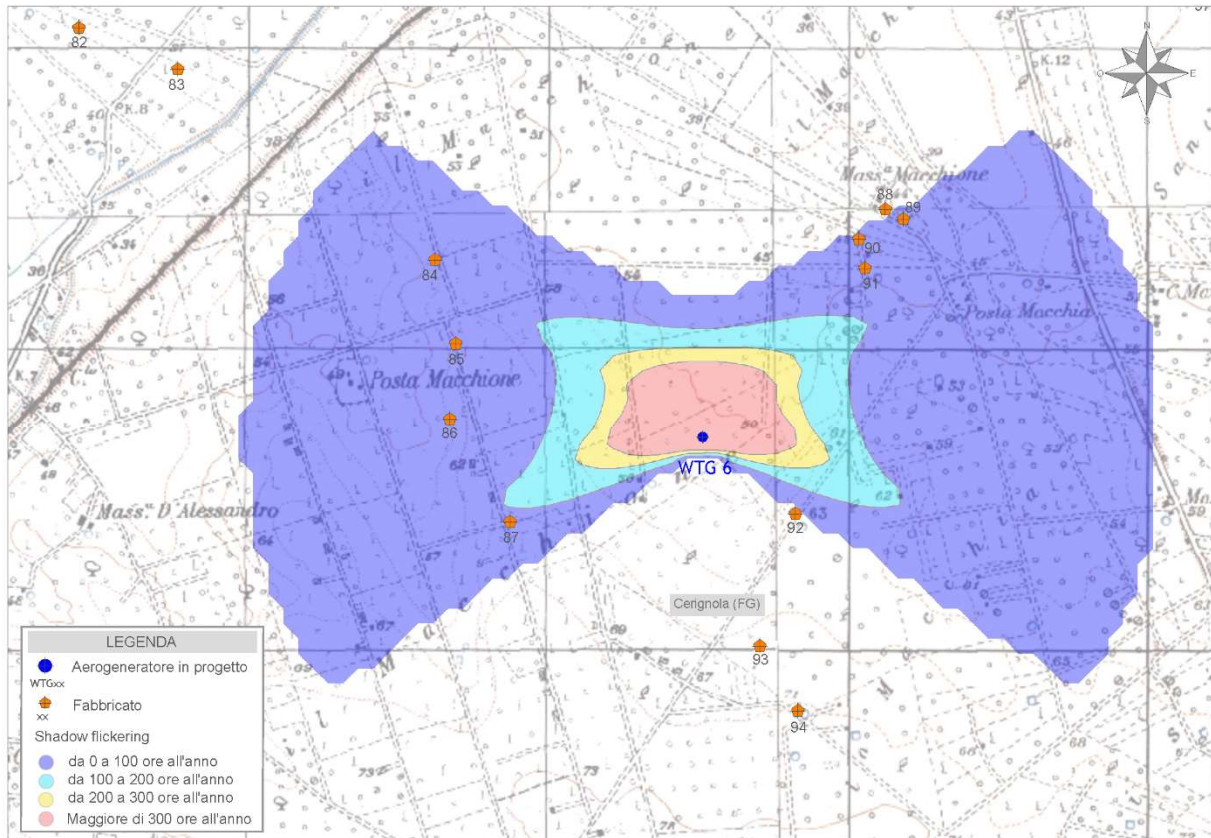


Figura 7 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG 6

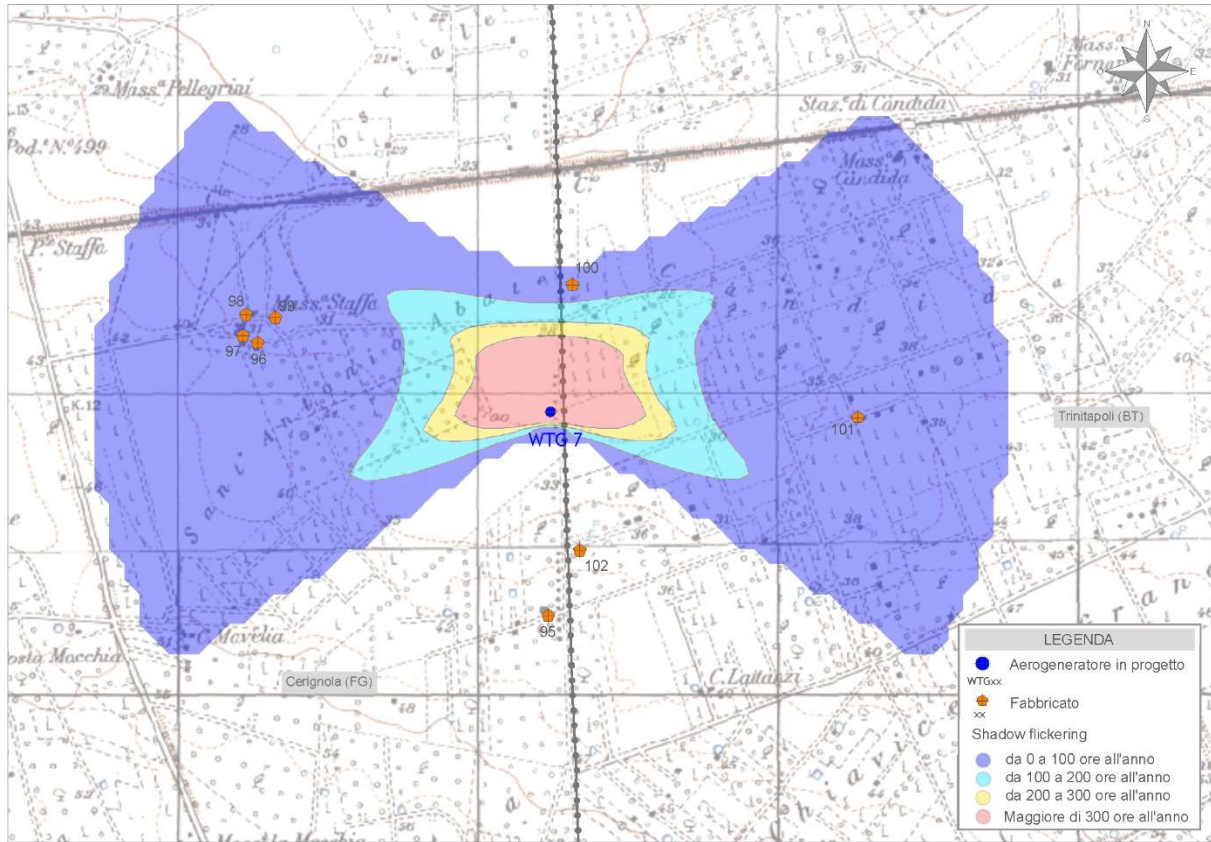


Figura 8 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG 7

La tabella seguente riassume i risultati dell'analisi eseguita secondo la metodologia di calcolo innanzi descritta, e per quanto precisato al punto 3.2 la stessa si riferisce ai soli fabbricati potenzialmente abitabili, per come riscontrati dal sopralluogo in sito, di seguito riportato:

Fabbricato	WGS84 – UTM fuso 33		Caso peggiore		Caso reale
	Est	Nord	Giorni Anno	Ore Anno	Ore Anno
1	572720	4580350	103	88	41
2	572897	4580293	0	0	0
4	572963	4580338	11	2	1
5	572888	4580816	103	100	47
6	572865	4580916	119	98	46
7	572821	4580896	98	81	38
8	572824	4580932	109	85	40
10	572769	4581247	54	29	14
11	572807	4581278	33	12	5
14	573307	4581244	41	16	8
15	573516	4581217	48	23	11
16	573583	4581127	51	25	12
17	573552	4581112	49	24	11
19	573429	4579561	0	0	0
21	573460	4579568	0	0	0
27	574029	4581310	124	106	50

Fabbricato	WGS84 – UTM fuso 33		Caso peggiore		Caso reale
	Est	Nord	Giorni Anno	Ore Anno	Ore Anno
29	573926	4581650	32	11	5
33	574156	4581536	24	7	3
35	574599	4581807	0	0	0
36	574923	4581801	0	0	0
38	575434	4581189	65	41	19
47	577594	4581067	0	0	0
53	577665	4579385	61	36	17
67	579008	4578280	0	0	0
88	580057	4576285	0	0	0
89	580117	4576252	28	9	4
97	581145	4577015	52	26	12
98	581156	4577085	54	27	13
99	581253	4577076	59	33	15

Tabella 4: Risultati di calcolo

In particolare, in tabella 4 vengono riportati il numero di giorni e di ore in cui è fisicamente possibile che il fenomeno si presenti (caso peggiore) e il valore reale atteso di ore all'anno in cui il fenomeno potrebbe presentarsi (caso reale). A tal proposito è importante sottolineare che anche il caso reale, calcolato tenendo conto dell'eliofania locale e delle ore di funzionamento dell'impianto, è comunque un valore cautelativo in quanto nella stima non si è tenuto conto degli effetti mitigativi dovuti al piano di rotazione delle pale non sempre ortogonale alla direttrice sole-finestra e all'eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole e la finestra.

Dalla tabella 4 si evince che presso 21 potenziali ricettori potrebbe verificarsi l'effetto di shadow flickering, tuttavia tale effetto si può considerare trascurabile per via della scarsa durata del fenomeno che si riduce, nel caso reale, a poche ore l'anno. Per i fabbricati evidenziati, presso i quali l'effetto di shadow flickering potrebbe essere superiore a 35 ore l'anno, è stato elaborato un calendario dell'ombra che riporta in maniera grafica i periodi dell'anno in cui è possibile il verificarsi del fenomeno (condizioni del caso peggiore). Le curve di colore blu indicano l'ora dell'alba e del tramonto e le macchie colorate indicano il periodo in cui è possibile il verificarsi del fenomeno. Sull'asse delle ordinate sono riportati i giorni dell'anno e sull'asse delle ascisse l'ora del giorno.



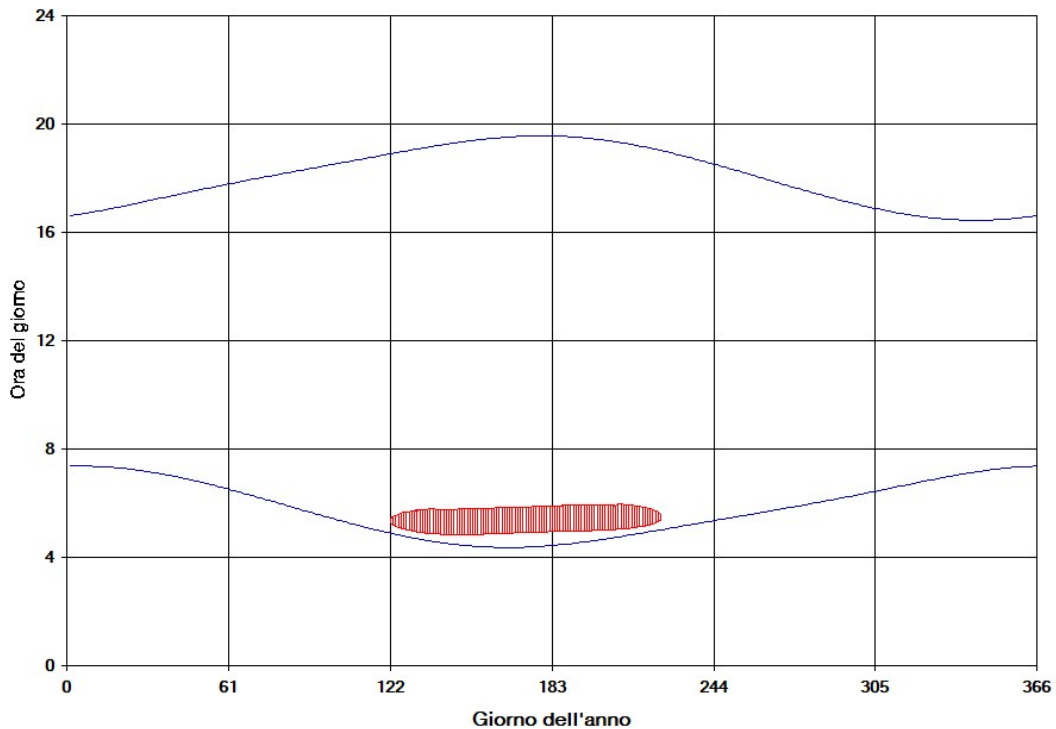


Figura 9 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 1

Dalla lettura del calendario in figura 9, si legge facilmente che, presso il fabbricato 1, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa dell'aerogeneratore:

- WTG 1 dal 1° maggio al 11 agosto tra le ore 4:50 e le 6:00 (macchia rossa).

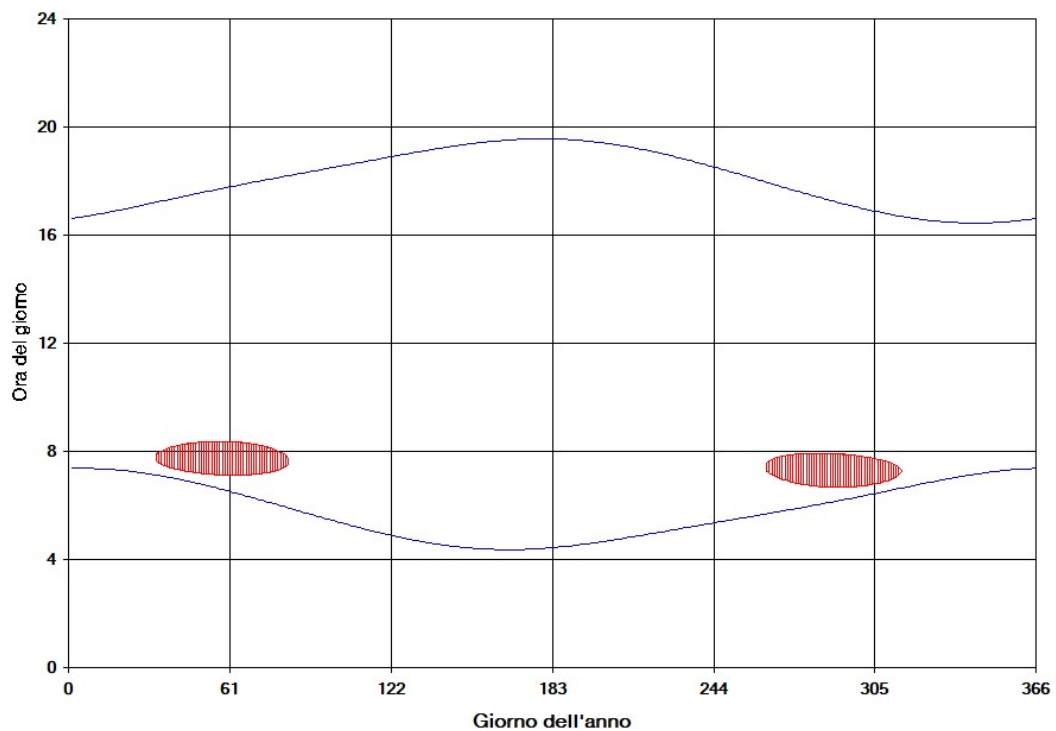


Figura 10 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 5

Dalla lettura del calendario in figura 10, si legge facilmente che, presso il fabbricato 5, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa dell'aerogeneratore:

- WTG 1 dal 2 febbraio al 23 marzo e dal 20 settembre al 10 novembre tra le ore 6:40 e le 8:25 (macchia rossa).



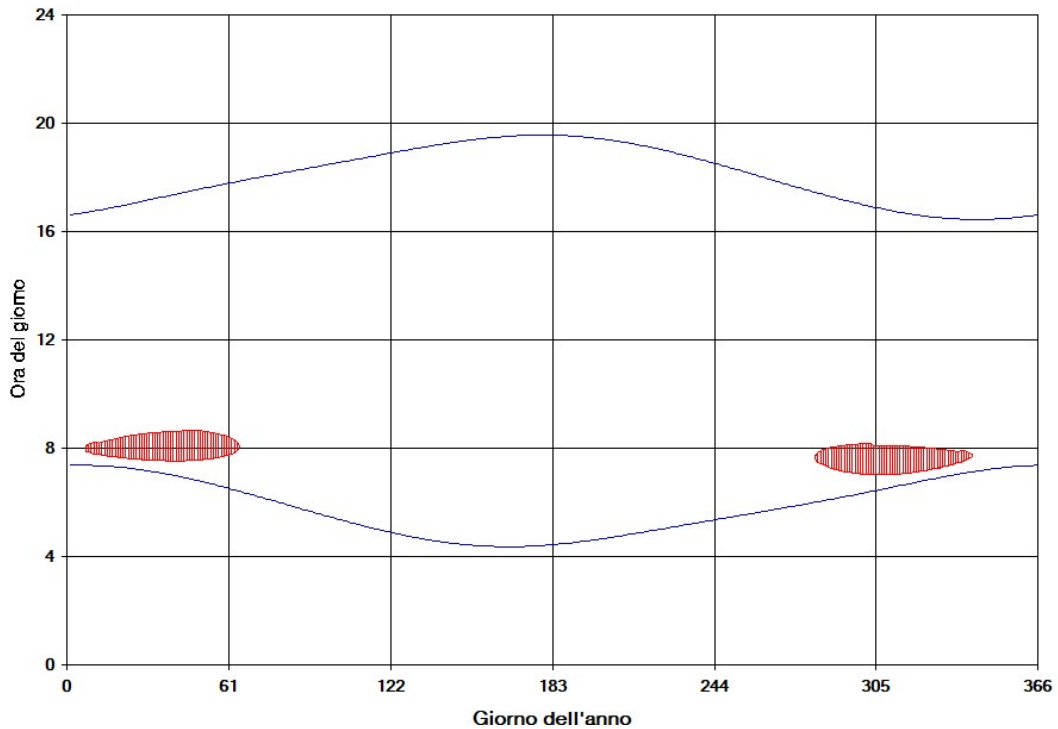


Figura 11 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 6

Dalla lettura del calendario in figura 11, si legge facilmente che, presso il fabbricato 6, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa dell'aerogeneratore:

- WTG 1 dal 7 gennaio al 5 marzo e dal 8 ottobre al 6 dicembre tra le ore 7:00 e le 8:45 (macchia rossa).

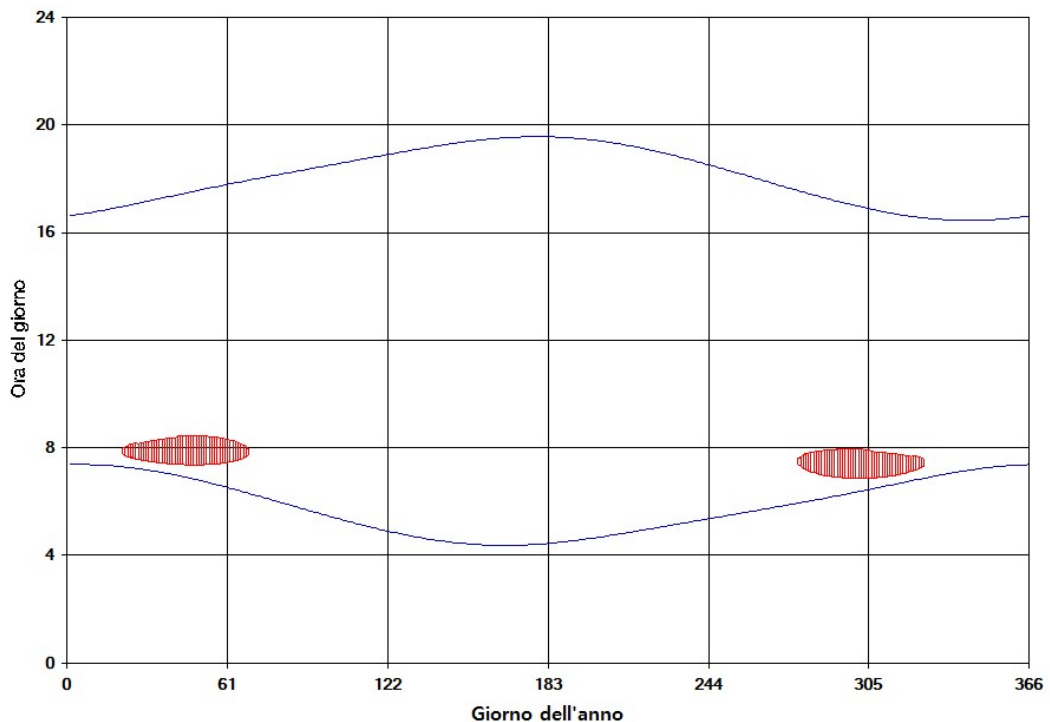


Figura 12 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 7

Dalla lettura del calendario in figura 12, si legge facilmente che, presso il fabbricato 7, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa dell'aerogeneratore:

- WTG 1 dal 21 gennaio al 9 marzo e dal 4 ottobre al 21 novembre tra le ore 6:50 e le 8:30 (macchia rossa).

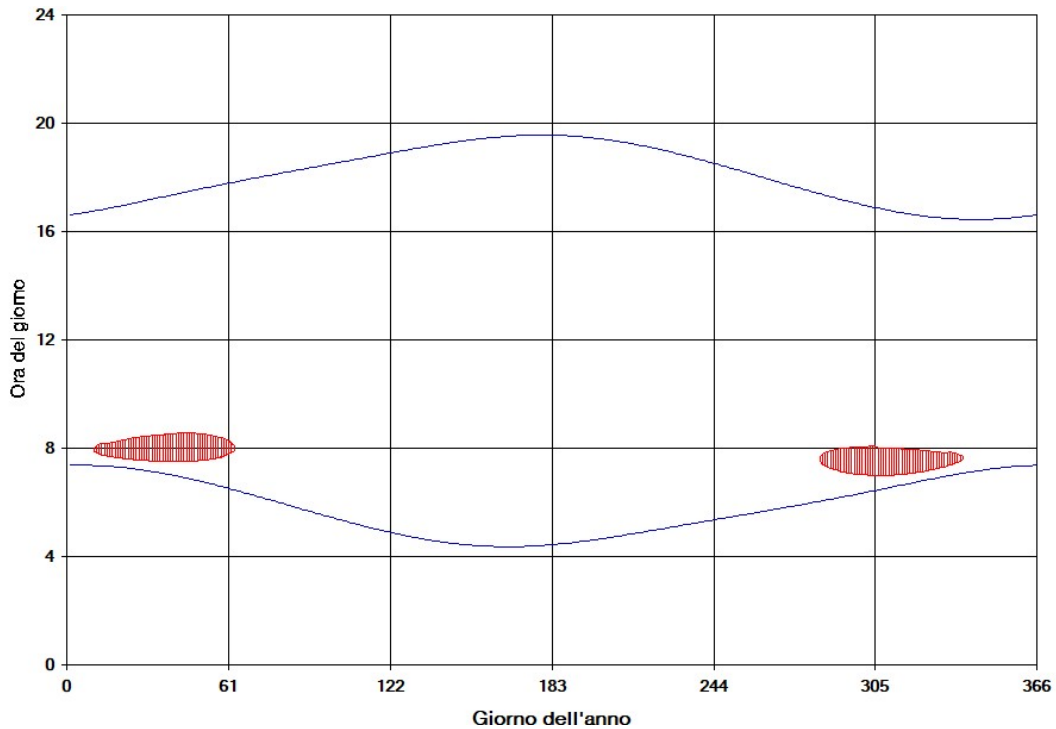


Figura 13 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 8

Dalla lettura del calendario in figura 13, si legge facilmente che, presso il fabbricato 8, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa dell'aerogeneratore:

- WTG 1 dal 10 gennaio al 3 marzo e dal 10 ottobre al 3 dicembre tra le ore 6:55 e le 8:40 (macchia rossa).

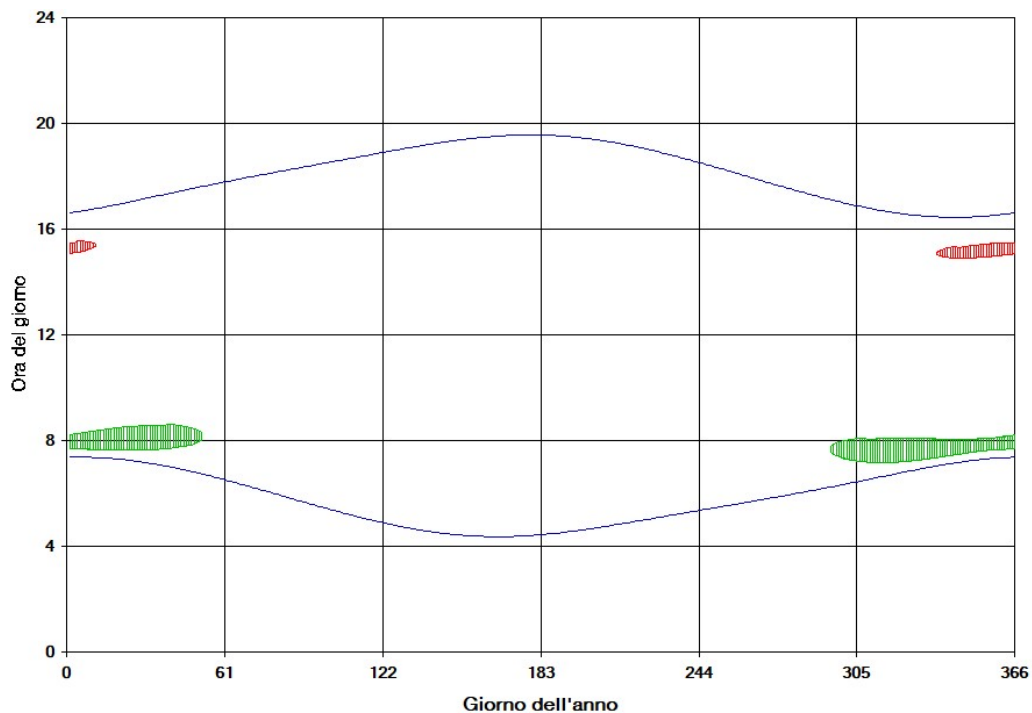


Figura 14 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 27

Dalla lettura del calendario in figura 14, si legge facilmente che, presso il fabbricato 27, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa degli aerogeneratori:

- WTG 1 dal 1° gennaio al 11 gennaio e dal 1° dicembre al 31 dicembre tra le ore 14:50 e le 15:35 (macchia rossa);
- WTG 2 dal 1° gennaio al 21 febbraio e dal 21 ottobre al 31 dicembre tra le ore 7:05 e le 8:40 (macchia verde).

#### 4. CONCLUSIONI

A seguito di quanto descritto nei paragrafi precedenti si può concludere che, pur considerando una stima cautelativa in quanto non si è tenuto conto degli effetti mitigativi dovuti al piano di rotazione delle pale non sempre ortogonale alla direttrice sole-finestra e all'eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole e la finestra, il fenomeno dello shadow flickering si potrebbe verificare esclusivamente su 6 abitazioni (si veda tabella 4), incidendo in maniera trascurabile, in quanto il valore atteso è per tutti i ricettori inferiore a 50 ore l'anno, e per la maggior parte di essi uguale o inferiore a 19 ore l'anno.

Va altresì sottolineato che:

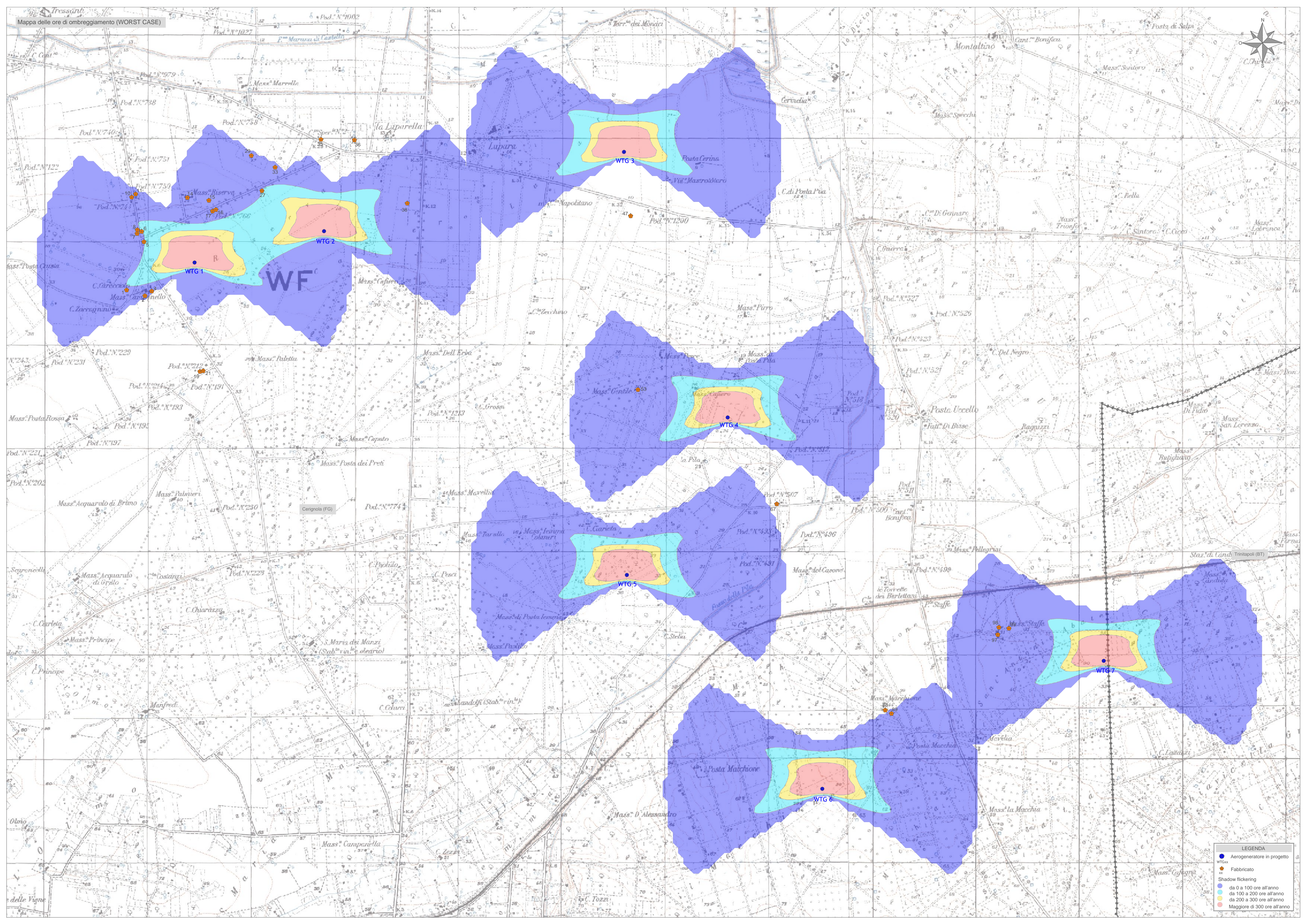
- la velocità di rotazione delle turbine previste in progetto, del tipo Siemens Gamesa SG170 - HH 115m – 7 MW, è nettamente inferiore a 60 rpm, frequenza massima raccomandata al fine di ridurre al minimo i fastidi e soddisfare le condizioni di benessere;
- le turbine in progetto che causano il fenomeno dell'ombreggiamento sono molto distanti dai ricettori. In tali circostanze l'effetto dell'ombra è trascurabile poiché il rapporto tra lo spessore della pala e la distanza dal fabbricato è molto ridotto;
- una stima più approfondita del fenomeno, formulata tenendo conto della posizione del piano di rotazione delle pale in relazione alle direzioni dei venti attese, porterebbe ad un ulteriore abbattimento dei valori di shadow flickering sopra esposti.

#### 5. ALLEGATI

- Mappa delle ore di ombreggiamento (WORST CASE)







**LEGENDA**

- Aerogeneratore in progetto
- Fabbriato
- Shadow flickering
  - da 0 a 100 ore all'anno
  - da 100 a 200 ore all'anno
  - da 200 a 300 ore all'anno
  - Maggiore di 300 ore all'anno