



Regione Basilicata  
Provincia di Matera  
Comuni di Grottole e Miglionico



Proposta di ammodernamento complessivo (“repowering”) del “Parco eolico Grottole” esistente da 54 MW, con dismissione degli attuali 27 aerogeneratori e sostituzione in riduzione degli stessi, con l’installazione di 12 nuovi aerogeneratori, per una potenza totale definitiva di 86,4 MW

Titolo:

RELAZIONE SPECIALISTICA - STUDIO SUGLI EFFETTI DI SHADOW - FLICKERING

Numero documento:

Commissa	Fase	Tipo doc.	Prog. doc.	Rev.
2 3 4 3 0 9	D	R	0 1 1 6	0 0

Proponente:

**FRI-EL GROTTOLE**

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

Piazza del Grano 3 - 39100 Bolzano (BZ)

fri-el\_grottole@legalmail.it

Cod. Fisc. /P. Iva 02471970216

PROGETTO DEFINITIVO

A.8

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	29.01.2024	EMISSIONE PER AUTORIZZAZIONE	R. DI PIETRO	G. LO RUSSO	M. LO RUSSO

**INDICE**

1.	SCOPO .....	3
2.	CENNI SUL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKERING .....	4
3.	CALCOLO DELLO SHADOW FLICKERING .....	5
3.1	CONFIGURAZIONE D’IMPIANTO .....	5
3.2	INDIVIDUAZIONE DEI RICETTORI .....	6
3.3	METODOLOGIA DI CALCOLO .....	9
3.4	RISULTATI.....	10
4.	CONCLUSIONI.....	22
5.	ALLEGATI.....	22

## 1. SCOPO

Scopo del presente documento è la valutazione dell'eventuale impatto generato dallo shadow-flickering (letteralmente ombreggiamento intermittente), finalizzato all'**ammodernamento complessivo dell'impianto eolico esistente (repowering)**, sito nel **Comune di Grottole (MT)**, connesso alla Stazione RTN di Grottole (MT), realizzato con le Concessioni edilizie rilasciate dal Comune di Grottole (MT), n. 18 del 22/08/2002 e n.21 del 04/09/2009 di rettifica, e dai Permessi di costruire rilasciati sempre dal Comune di Grottole (MT), n. 44 del 13/12/2004, n. 31 del 05/08/2005, n. 23 del 25/07/2006, di proprietà della società Fri – El Grottole s.r.l.

L'impianto eolico esistente è costituito da 27 aerogeneratori, ciascuno con potenza di 2MW, per una potenza totale di impianto pari a 54 MW nel Comune di Grottole (MT), in località contrada Verga, Masseria Lagonigro, contrada la Magna e contrada di Giacomo, con opere di connessione ed infrastrutture indispensabili ricadenti nel medesimo comune, collegato alla Rete Elettrica Nazionale in antenna a 150 kV sulla Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV, denominata “Grottole”, ubicata all'interno di tale comune, mediante condivisione dello stallo con altre iniziative. L'impianto eolico appena descritto è definito nel seguito **“Impianto eolico esistente”**.

L'ammodernamento complessivo dell'impianto eolico esistente consta invece nell'installazione di 12 aerogeneratori con potenza unitaria di 7,2 MW, per una potenza totale pari a 86,4 MW, da realizzare nel medesimo sito. Le opere di connessione restano le medesime dell'Impianto eolico esistente, a meno della sostituzione dei cavidotti interrati MT e la sostituzione dei due stalli trasformatori all'interno della Stazione Elettrica d'Utenza. Il Progetto, nella configurazione innanzi descritta, viene definito nel seguito **“Progetto di ammodernamento”**.

Nello specifico, il Progetto di ammodernamento prevede:

- dismissione dei 27 aerogeneratori dell'impianto eolico esistente (potenza in dismissione pari a 54 MW) e delle relative opere accessorie, oltre che nella rimozione dei cavidotti attualmente in esercizio;
- realizzazione nelle stesse aree di un nuovo impianto eolico costituito da 12 aerogeneratori e relative opere accessorie per una potenza complessiva di 86,4 MW. In particolare, l'impianto sarà costituito da aerogeneratori della potenza unitaria di 7,2 MW, diametro del rotore di 163 m ed altezza complessiva di 200 m;
- la costruzione di nuovi cavidotti interrati MT in sostituzione di quelli attualmente in esercizio;
- interventi di adeguamento della stazione elettrica d'utenza attraverso l'ammodernamento delle due aree stallo esistenti, con due nuove aventi trasformatori da 70 MVA, mentre l'impianto di rete per la connessione resterà inalterato;
- futura dismissione dell'impianto ammodernato, al termine della sua vita utile.

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 7,2 MW, avente le caratteristiche principali di seguito riportate:

- rotore tripala a passo variabile, di diametro massimo pari a 163 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: 4,30 m;
- area spazzata massima: 20.867 m<sup>2</sup>.

Le caratteristiche di dettaglio, utilizzate al fine di redigere il presente studio, sono quelle dell'aerogeneratore tipo Nordex N163 7.0 MW - HH 118.0m.

## 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 allorquando il sole si trova alle loro spalle (cfr. figura successiva).

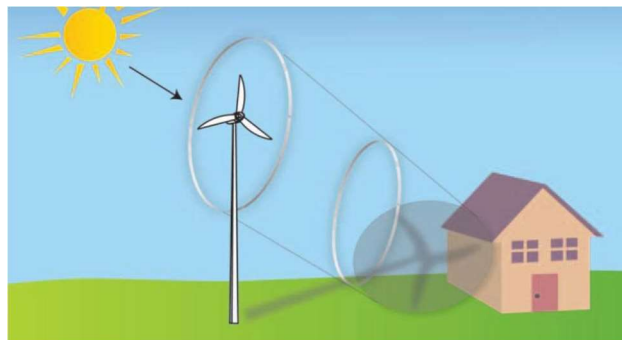


Figura 1 - Rappresentazione schematica del fenomeno dello shadow flicker

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 ricettore, 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. 12 aerogeneratori per una potenza massima di 86,40 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]	
RGT01	612.323	4.497.675	507,20
RGT03	613.861	4.496.503	513,30
RGT04	613.233	4.497.185	510,50
RGT05	614.403	4.497.596	492,90
RGT06	616.247	4.497.307	476,40
RGT07	616.883	4.497.469	467,20
RGT08	617.542	4.497.297	463,70
RGT09	618.210	4.497.058	462,80
RGT11	619.364	4.497.329	462,30

AEROGENERATORE	COORDINATE AEROGENERATORE UTM (WGS84) - FUSO 33		Altitudine [m]
	Long. E [m]	Lat. N [m]	
RGT12	620.149	4.496.120	417,80
RGT13	620.803	4.496.108	456,10
RGT14	621.471	4.495.613	396,90

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

La tabella 2 riporta la scheda riassuntiva delle principali caratteristiche della turbina tipo Nordex N163 7.0 MW - HH 118.0m:

Potenza nominale	7.000 kW
Velocità di accensione	3 m / s
Velocità di spegnimento	25 m / s
<b>ROTORE</b>	
Diametro del rotore	163 m
Area spazzata	20.867 m <sup>2</sup>
Numero pale	3
Speed, Dynamic Operation Range	11,60 rpm
<b>TORRE</b>	
Altezza del mozzo	118,00 m

Tabella 2: Estratto delle specifiche tecniche della turbina Nordex N163 7.0 MW - HH 118.0m

### 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.

Nella presente valutazione si è posto come discriminante di abitabilità dei ricettori la relativa categoria catastale compatibile con la presenza di persone per lunghi periodi e la condizione di edificio finito ovvero non diruto e/o incompleto anche senza viabilità di accesso. Non sono presenti ricettori di classe I, oggetto di particolare tutela dal punto di vista acustico (scuole, ospedali, case di cura e di riposo, ecc.).

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	Grottole (MT)	18	372	C02-A03	611782,17	4498050,32	4	(	61°	,	151°	,	241°	,	331°	)
2	Grottole (MT)	28	199	C02	611932,82	4498105,03	4	(	44°	,	134°	,	224°	,	314°	)
3	Grottole (MT)	28	183	AREA FAB DM	611947,88	4498083,18										
4	Grottole (MT)	18	395	C02-F03	612378,31	4498183,88	4	(	1°	,	91°	,	181°	,	271°	)
5	Grottole (MT)	18	404	A03-C06	612401,58	4498193,78	4	(	8°	,	98°	,	188°	,	278°	)
6	Grottole (MT)	18	402	A03	612429,63	4498190,20	4	(	5°	,	95°	,	185°	,	275°	)
7	Grottole (MT)	18	31	F03-F02	612896,76	4498025,49	4	(	36°	,	126°	,	216°	,	306°	)
8	Grottole (MT)	28	239	C02	612742,20	4497880,49	4	(	18°	,	108°	,	198°	,	288°	)
9	Grottole (MT)	28	59-103-102	FABB DIRUTO - FABB PROMIS	612269,56	4497005,67	4	(	52°	,	142°	,	232°	,	322°	)
10	Grottole (MT)	28	228	D10	612428,19	4496799,61	4	(	3°	,	93°	,	183°	,	273°	)
11	Grottole (MT)	28	255	D10	612471,93	4496695,86	4	(	51°	,	141°	,	231°	,	321°	)

RICETTORI						Numero finestre e orientamento									
Ricettore	Comune	Foglio	Particella	Destinazione d'uso	UTM - WGS84										
					Long. E [m]	Lat. N [m]									
12	Grottole (MT)	28	243-245	D10-A03	612928,48	4496474,61	4 (	53°	,	143°	,	233°	,	323°	)
13	Grottole (MT)	18	398	C02	613051,20	4497560,25	4 (	66°	,	156°	,	246°	,	336°	)
14	Grottole (MT)	18	411	F06	613088,09	4497573,93	4 (	65°	,	155°	,	245°	,	335°	)
14a	Grottole (MT)	18	151-152-153-154	FABB RURALE - FABB DIRUTO	613658,72	4497882,44	4 (	64°	,	154°	,	244°	,	334°	)
15	Grottole (MT)	20	422	FABB DIRUTO	613558,36	4497488,43	4 (	51°	,	141°	,	231°	,	321°	)
16	Grottole (MT)	20	401	F03	613597,74	4497485,79	4 (	54°	,	144°	,	234°	,	324°	)
17	Grottole (MT)	20	400	NON CLASSATO	613590,15	4497457,46	4 (	37°	,	127°	,	217°	,	307°	)
18	Grottole (MT)	20	468	C02	613755,34	4497501,17	4 (	88°	,	178°	,	268°	,	358°	)
19	Grottole (MT)	20	470	C02	613850,07	4497517,33	4 (	90°	,	180°	,	270°	,	360°	)
20	Grottole (MT)	20	474	C02	614034,54	4497574,21	4 (	10°	,	100°	,	190°	,	280°	)
21	Grottole (MT)	30	151	A02	613930,97	4497247,37	4 (	29°	,	119°	,	209°	,	299°	)
22	Grottole (MT)	30	152	A10	613978,12	4497222,51	4 (	29°	,	119°	,	209°	,	299°	)
23	Grottole (MT)	30	153	D10	614012,30	4497200,50	4 (	30°	,	120°	,	210°	,	300°	)
24	Grottole (MT)	30	157	C02	614242,58	4497156,49	4 (	25°	,	115°	,	205°	,	295°	)
25	Grottole (MT)	29	107	A02-C06-C02	613965,15	4497017,39	4 (	18°	,	108°	,	198°	,	288°	)
26	Grottole (MT)	29	8	FABB DIRUTO	613741,07	4496531,36	4 (	28°	,	118°	,	208°	,	298°	)
27	Grottole (MT)	29	125	F02	613782,99	4496457,99	4 (	16°	,	106°	,	196°	,	286°	)
28	Grottole (MT)	37	310	D10-A02	613500,10	4495807,94	4 (	82°	,	172°	,	262°	,	352°	)
29	Grottole (MT)	38	313	A03	613910,20	4495876,92	4 (	4°	,	94°	,	184°	,	274°	)
30	Grottole (MT)	38	293-294-314-295-297	C02-D10	613960,60	4495891,28	4 (	87°	,	177°	,	267°	,	357°	)
31	Grottole (MT)	29	91	A02-C02	614104,79	4495974,88	4 (	79°	,	169°	,	259°	,	349°	)
32	Grottole (MT)	38	224	A04	614483,96	4496698,49	4 (	15°	,	105°	,	195°	,	285°	)
32a	Grottole (MT)	38	257	F02	614447,91	4496703,83	4 (	23°	,	113°	,	203°	,	293°	)
33	Grottole (MT)	31	350	C02	614574,71	4497189,62	4 (	46°	,	136°	,	226°	,	316°	)
34	Grottole (MT)	31	249	C02	614747,81	4497268,13	4 (	27°	,	117°	,	207°	,	297°	)
35	Grottole (MT)	31	264	A03	614791,60	4497261,31	4 (	34°	,	124°	,	214°	,	304°	)
36	Grottole (MT)	31	366	A02	614863,03	4497247,85	4 (	7°	,	97°	,	187°	,	277°	)
37	Grottole (MT)	31	366	D10	614921,43	4497200,19	4 (	16°	,	106°	,	196°	,	286°	)
38	Grottole (MT)	31	348	C02	614968,67	4497312,77	4 (	49°	,	139°	,	229°	,	319°	)
39	Grottole (MT)	31	376	C02	614850,80	4497325,32	4 (	10°	,	100°	,	190°	,	280°	)
40	Grottole (MT)	31	251	C02	614724,75	4497416,22	4 (	31°	,	121°	,	211°	,	301°	)
41	Grottole (MT)	20	466	C02	614525,50	4497464,39	4 (	33°	,	123°	,	213°	,	303°	)
42	Grottole (MT)	20	88	AREA FAB DM	614397,91	4497830,48									
43	Grottole (MT)	20	402	C02	614782,33	4498112,11	4 (	67°	,	157°	,	247°	,	337°	)
44	Grottole (MT)	20	155	AREA FAB DM	614943,11	4497777,16									
45	Grottole (MT)	20	203	AREA FAB DM	614768,86	4497653,09									
46	Grottole (MT)	20	214	NON CLASSATA	614867,75	4497642,79	4 (	30°	,	120°	,	210°	,	300°	)
47	Grottole (MT)	31	379	C02	615149,23	4497591,97	4 (	66°	,	156°	,	246°	,	336°	)
48	Grottole (MT)	32	331	F02	615641,12	4497682,16	4 (	5°	,	95°	,	185°	,	275°	)
49	Grottole (MT)	32	324	C02	615609,23	4497575,14	4 (	27°	,	117°	,	207°	,	297°	)
50	Grottole (MT)	32	197	FABB DIRUTO	615663,78	4497442,00	4 (	30°	,	120°	,	210°	,	300°	)
51	Grottole (MT)	32	329	C02	615614,10	4497396,35	4 (	28°	,	118°	,	208°	,	298°	)
51a	Grottole (MT)	32	327	F03	615488,91	4497189,09	4 (	17°	,	107°	,	197°	,	287°	)
52	Grottole (MT)	32	326	F03-C02	615530,61	4497067,02	4 (	88°	,	178°	,	268°	,	358°	)
53	Grottole (MT)	32	338	A04	615795,96	4497075,32	4 (	8°	,	98°	,	188°	,	278°	)
54	Grottole (MT)	32	342	C02-C06	615827,19	4497086,69	4 (	5°	,	95°	,	185°	,	275°	)
55	Grottole (MT)	32	344	C02-A03	615697,99	4496731,93	4 (	10°	,	100°	,	190°	,	280°	)
56	Grottole (MT)	34	164	FABB DIRUTO	616026,39	4496779,23	4 (	88°	,	178°	,	268°	,	358°	)

RICETTORI						Numero finestre e orientamento			
Ricettore	Comune	Foglio	Particella	Destinazione d'uso	UTM - WGS84				
					Long. E [m]	Lat. N [m]			
57	Grottole (MT)	34	309	C02	616041,70	4496936,89	4 ( 80° , 170° , 260° , 350° )		
58	Grottole (MT)	34	311	C02	615988,47	4496978,58	4 ( 82° , 172° , 262° , 352° )		
*59	Grottole (MT)	34	329	A02	616202,02	4497023,46	4 ( 88° , 178° , 268° , 358° )		
60	Grottole (MT)	33	104	C02	615987,59	4497511,31	4 ( 9° , 99° , 189° , 279° )		
61	Grottole (MT)	33	46	NON CLASSATA	616291,69	4497317,70	-		
62	Grottole (MT)	33	95	A03	616590,95	4497894,17	4 ( 71° , 161° , 251° , 341° )		
63	Grottole (MT)	33	93	C02	616600,93	4497378,51	4 ( 85° , 175° , 265° , 355° )		
63a	Grottole (MT)	34	316	C02	616130,01	4496591,13	4 ( 84° , 174° , 264° , 354° )		
64	Grottole (MT)	34	312	C06	616306,87	4496635,14	4 ( 25° , 115° , 205° , 295° )		
65	Grottole (MT)	34	303	A04	616489,64	4496767,87	4 ( 13° , 103° , 193° , 283° )		
66	Grottole (MT)	34	296	C02	616632,02	4496816,87	4 ( 74° , 164° , 254° , 344° )		
67	Grottole (MT)	34	296	A03	616662,95	4496823,99	4 ( 87° , 177° , 267° , 357° )		
68	Grottole (MT)	34	320	A04	617314,30	4496843,69	4 ( 9° , 99° , 189° , 279° )		
69	Grottole (MT)	34	320	D10	617333,10	4496838,32	4 ( 6° , 96° , 186° , 276° )		
70	Grottole (MT)	35	12	FABB DIRUTO	617309,82	4497393,31	-		
71	Grottole (MT)	24	140	F02	617345,41	4497832,71	4 ( 67° , 157° , 247° , 337° )		
72	Grottole (MT)	24	141	F02	617365,41	4497785,86	4 ( 67° , 157° , 247° , 337° )		
73	Grottole (MT)	35	97	C02	617579,72	4496582,00	4 ( 27° , 117° , 207° , 297° )		
74	Grottole (MT)	35	108	F03-C02-F02	617677,32	4496760,69	4 ( 68° , 158° , 248° , 338° )		
75	Grottole (MT)	35	105	C02	617784,47	4496617,48	4 ( 67° , 157° , 247° , 337° )		
76	Grottole (MT)	40	76	FABB DIRUTO	618241,03	4496621,11	4 ( 72° , 162° , 252° , 342° )		
77	Grottole (MT)	41	340	A03	618655,06	4496349,97	4 ( 34° , 124° , 214° , 304° )		
*78	Grottole (MT)	41	355	A03	618802,98	4496537,41	4 ( 26° , 116° , 206° , 296° )		
79	Grottole (MT)	36	155	C02	618721,73	4496636,36	4 ( 6° , 96° , 186° , 276° )		
*80	Grottole (MT)	36	145	A04-C02	618733,69	4497004,72	4 ( 10° , 100° , 190° , 280° )		
81	Grottole (MT)	36	4	AREA FAB DM	618671,73	4497210,68	-		
82	Grottole (MT)	25	172	C01	619343,09	4497636,65	4 ( 40° , 130° , 220° , 310° )		
83	Grottole (MT)	25	213	C06	619500,15	4497694,91	4 ( 37° , 127° , 217° , 307° )		
84	Grottole (MT)	42	11	C02-A04-F04	619405,38	4496374,31	4 ( 31° , 121° , 211° , 301° )		
85	Grottole (MT)	43	11	C02-C06	620905,20	4496516,59	4 ( 64° , 154° , 244° , 334° )		
86	Grottole (MT)	52	159	F02	620987,21	4495848,41	4 ( 21° , 111° , 201° , 291° )		
87	Grottole (MT)	52	157	F02	620889,16	4495802,10	4 ( 15° , 105° , 195° , 285° )		
88	Grottole (MT)	52	158	F02	620992,81	4495692,91	4 ( 16° , 106° , 196° , 286° )		
89	Grottole (MT)	52	147	F02	620976,27	4495663,47	4 ( 18° , 108° , 198° , 288° )		
90	Grottole (MT)	52	149	D10-A03	620811,92	4495443,03	4 ( 18° , 108° , 198° , 288° )		
91	Miglionico (MT)	2	37-338	F02	621597,70	4495155,72	4 ( 78° , 168° , 258° , 348° )		
92	Miglionico (MT)	2	331	A04-D10	621615,21	4495104,58	4 ( 71° , 161° , 251° , 341° )		
93	Miglionico (MT)	2	335	F02	622001,60	4495202,62	4 ( 23° , 113° , 203° , 293° )		
94	Miglionico (MT)	2	334	F02	622032,15	4495346,15	4 ( 86° , 176° , 266° , 356° )		

\*In corso di acquisizione da parte del proponente

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 4 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): 616897 E, 4496644 N
- 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: 800 m dal punto di installazione dell'aerogeneratore
- altezza del punto di vista dell'osservatore: 2 m
- parametri turbina tipo Nordex N163 7.0 MW - HH 118.0m
  - diametro rotore: 163m,
  - altezza massima torre: 200 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 4454h/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 2480 h/a come riscontrato presso la *Stazione meteorologica di GENZANO DI LUCANIA (PZ)*, 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 44,3%, pari al complemento a 1 del rapporto  $2480/4454 = 55,7\%$ .

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 55,7 % 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 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  $85\% \times 55,7\% = 47,3\%$ , ovvero del 52,7%, 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÷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):

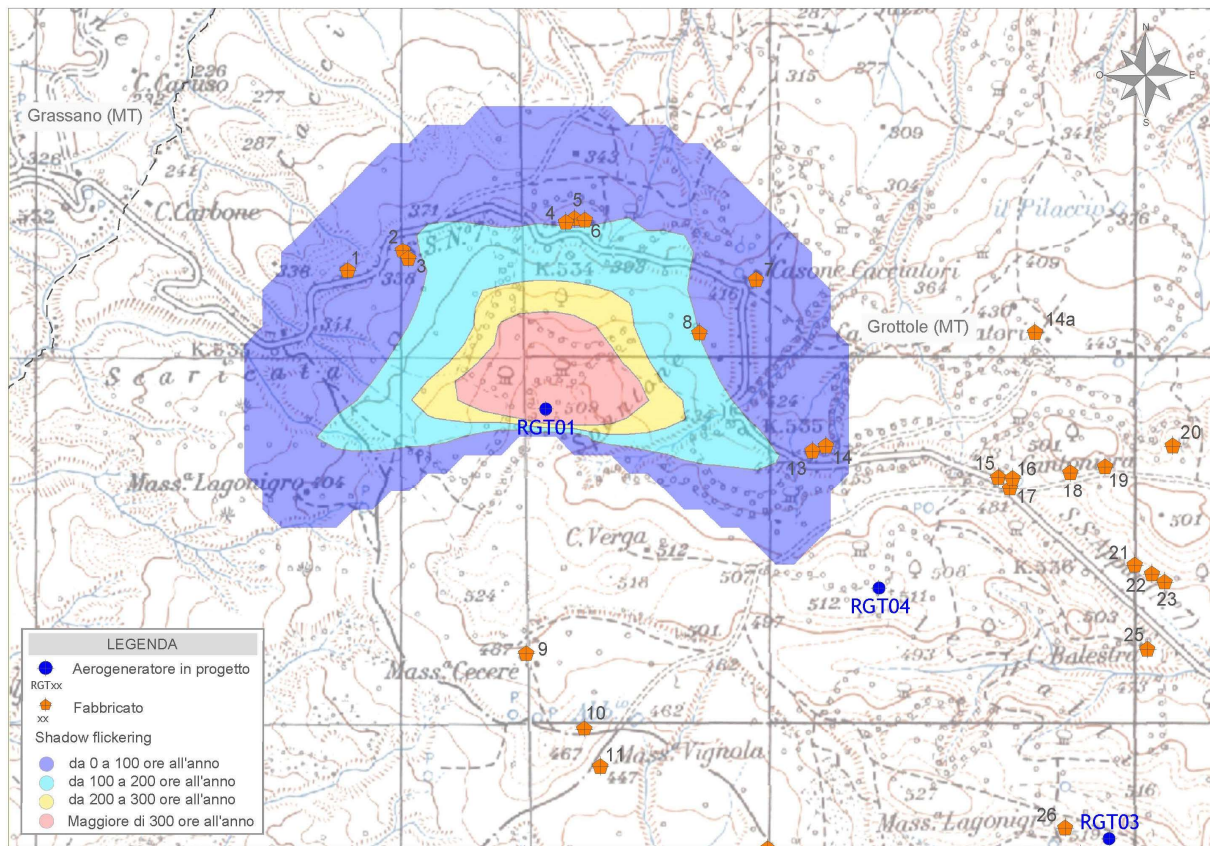


Figura 2 - Mappa di impatto potenziale per l’aerogeneratore RGT01

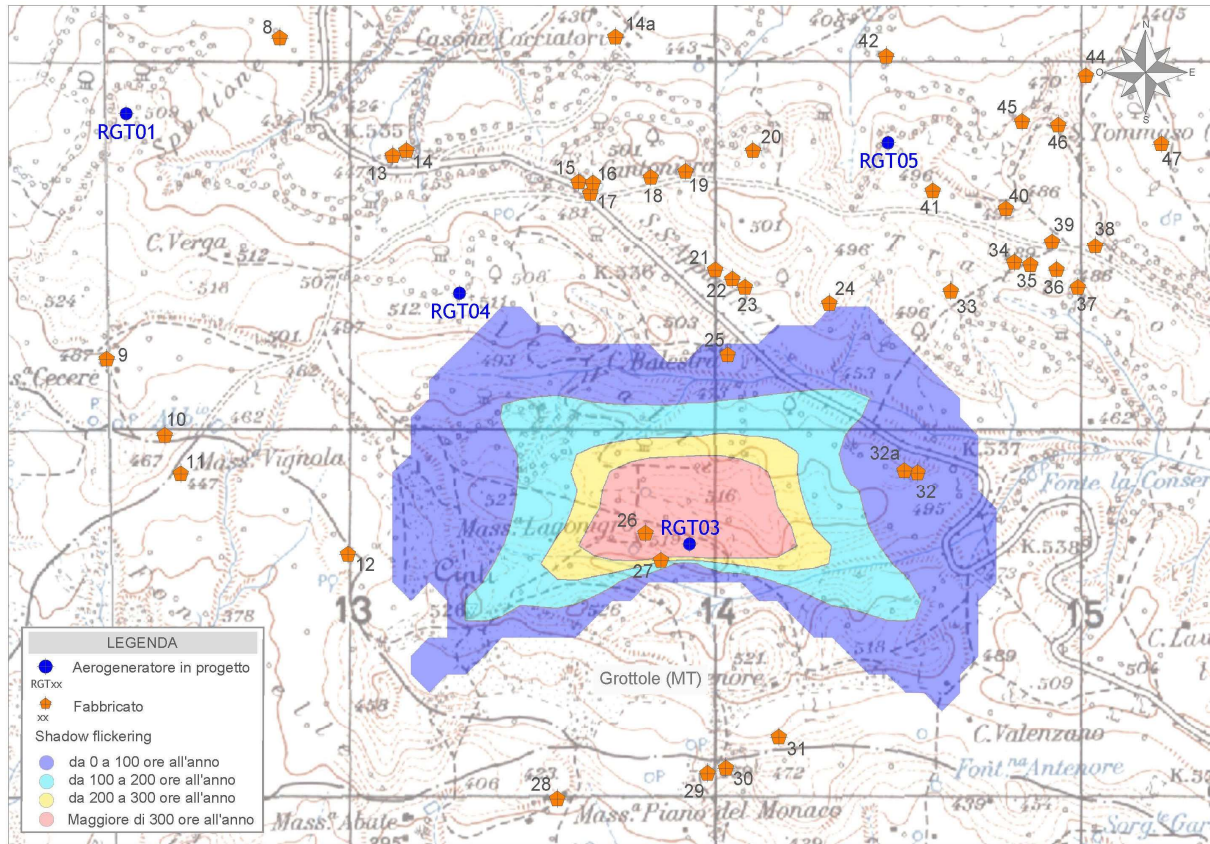


Figura 3 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore RGT03

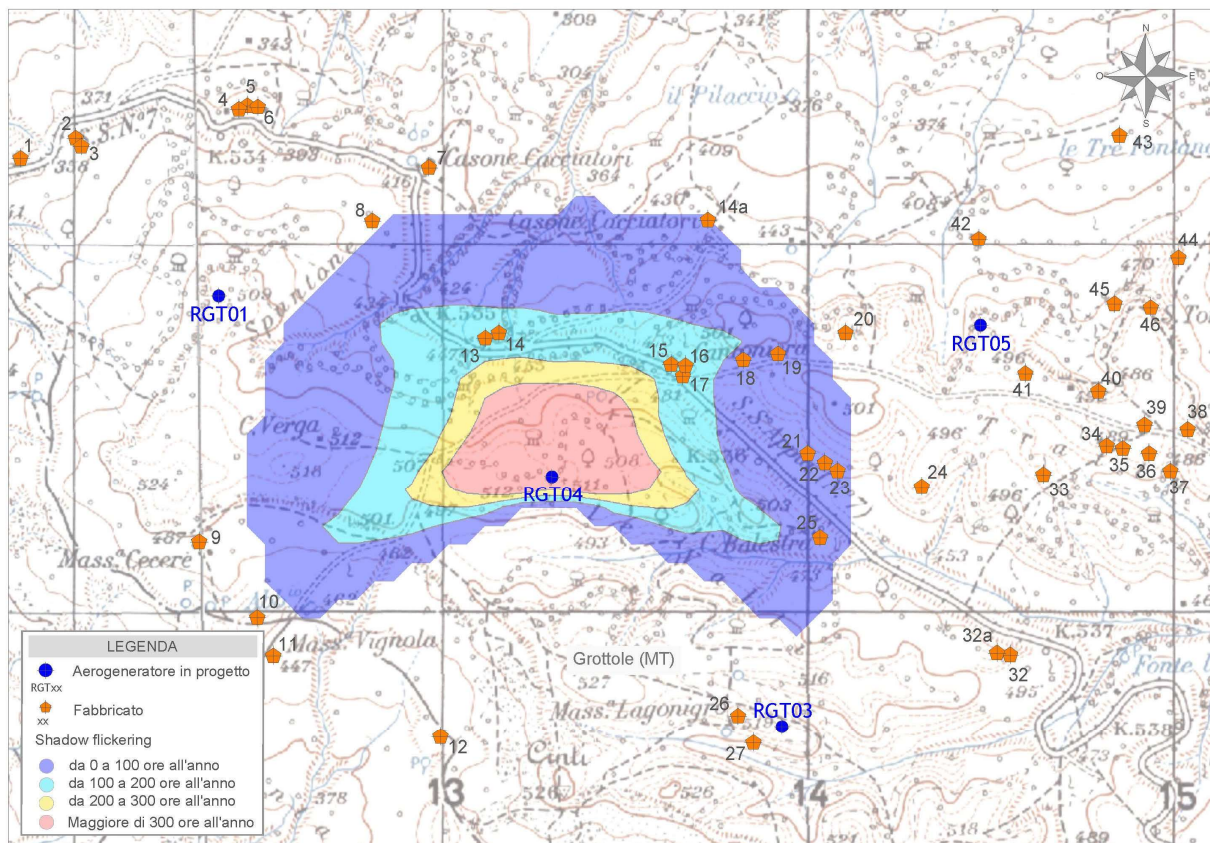


Figura 4 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore RGT04

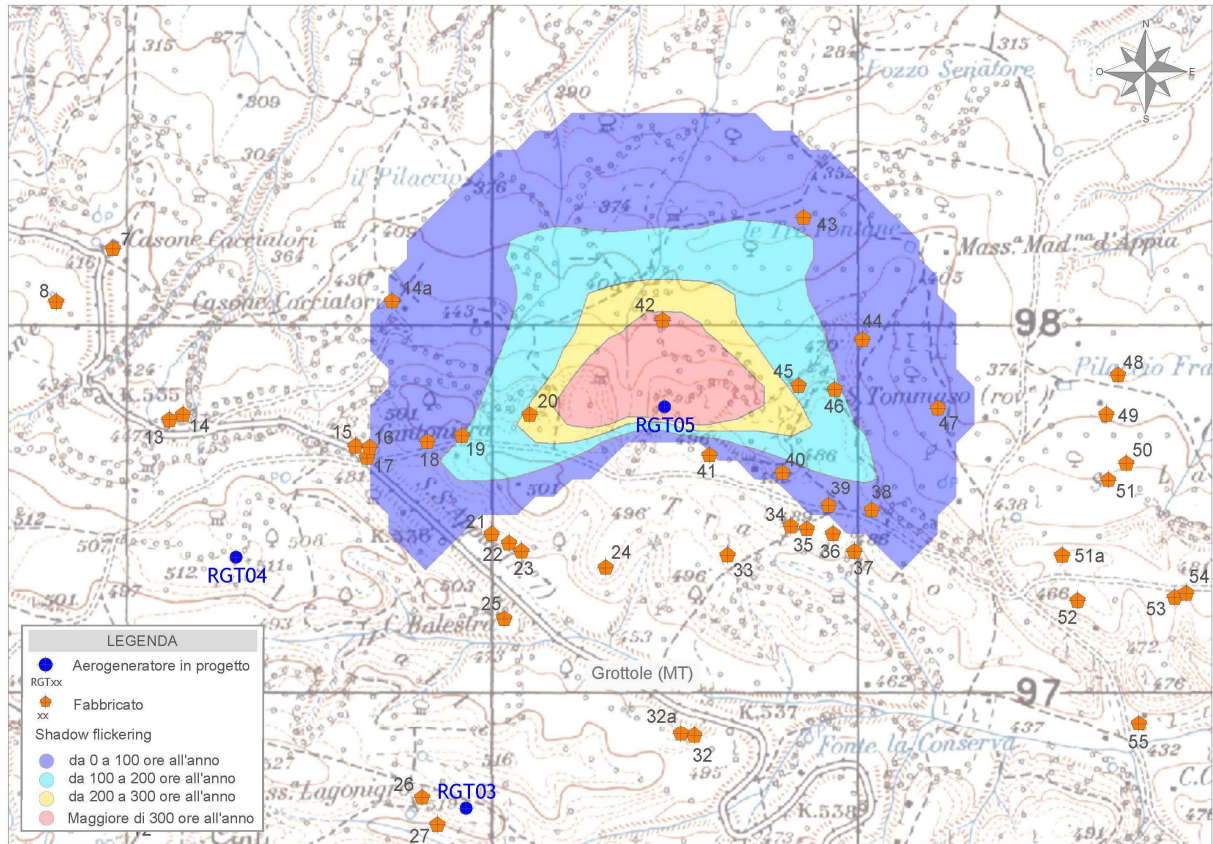


Figura 5 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore RGT05

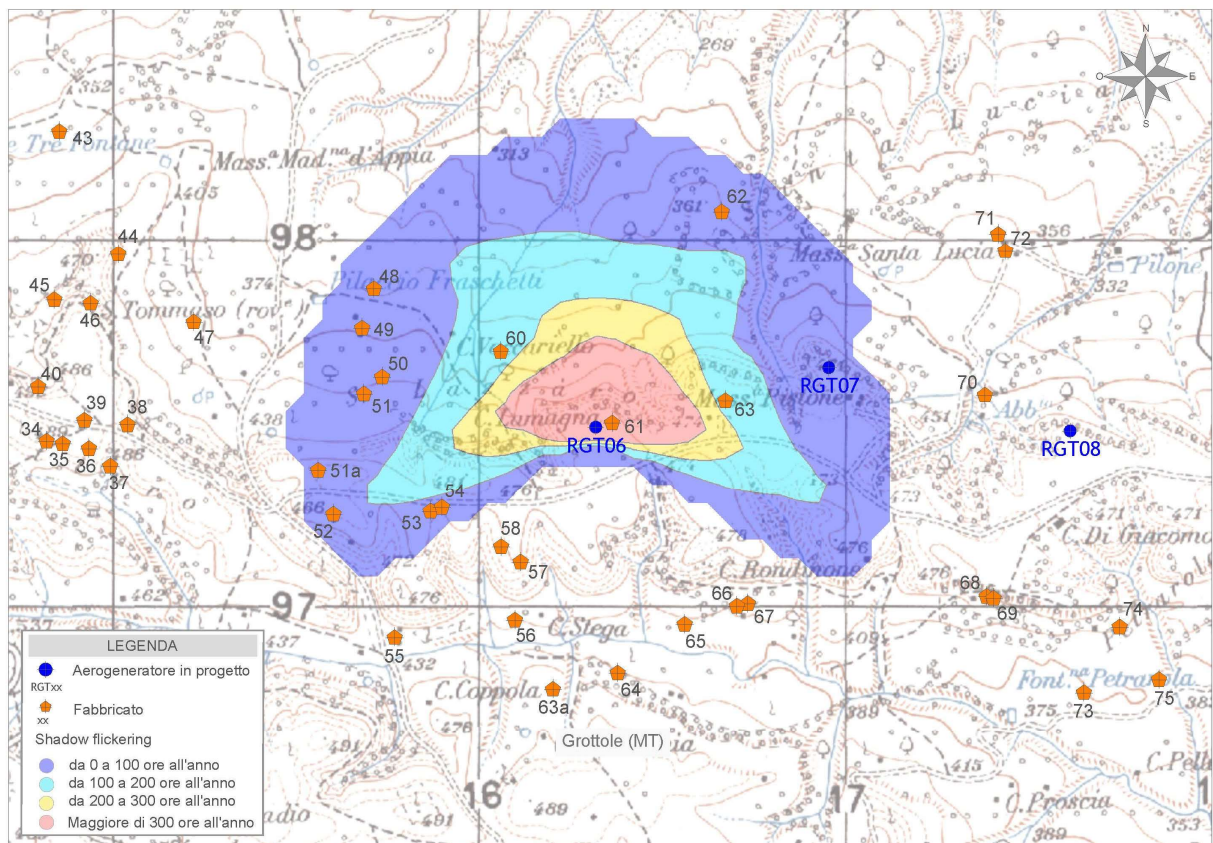


Figura 6 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore RGT06

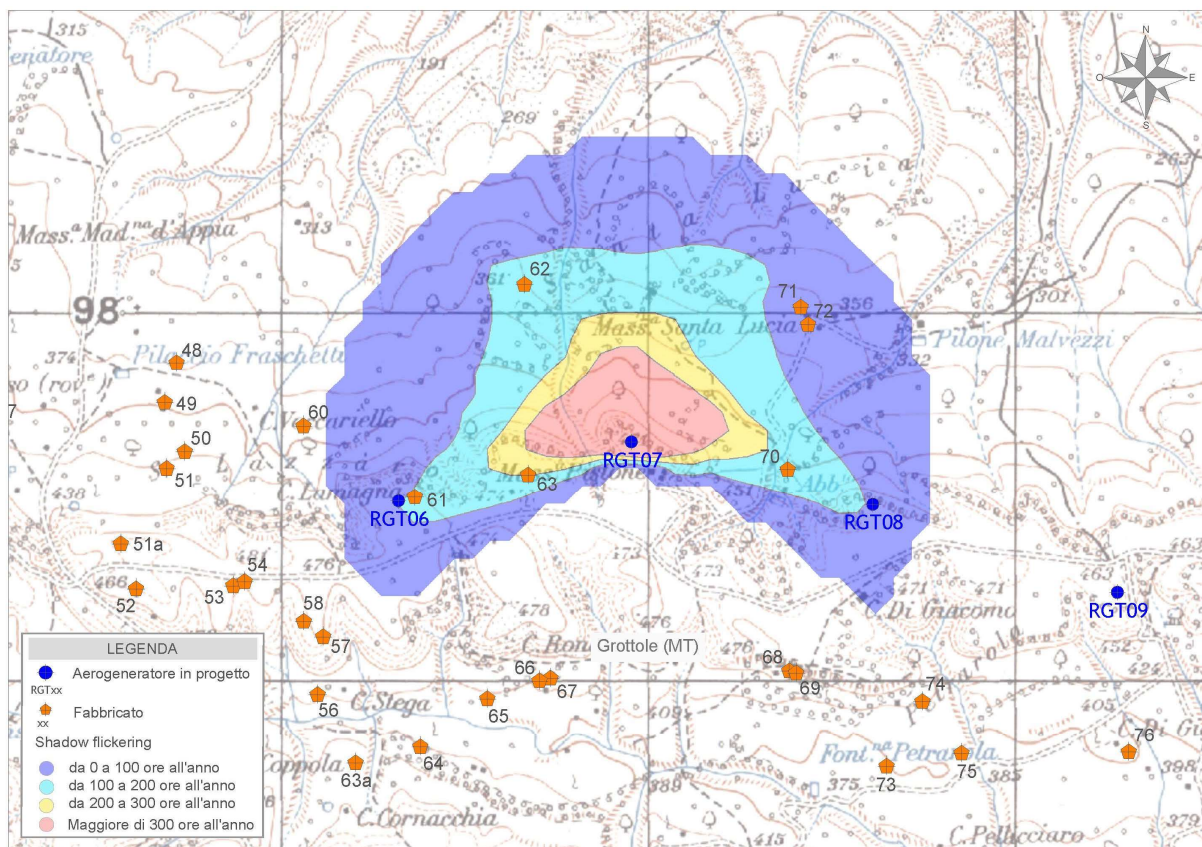


Figura 7 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore RGT07

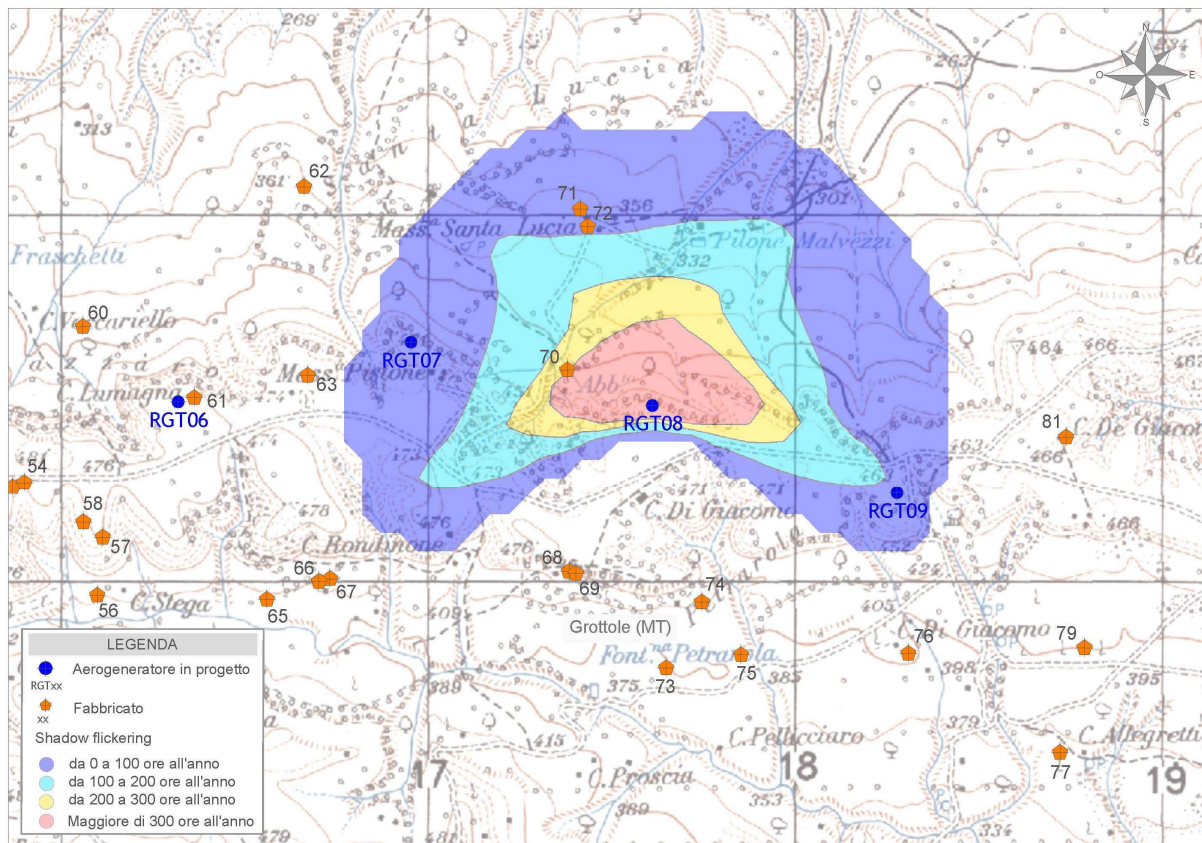


Figura 8 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore RGT08

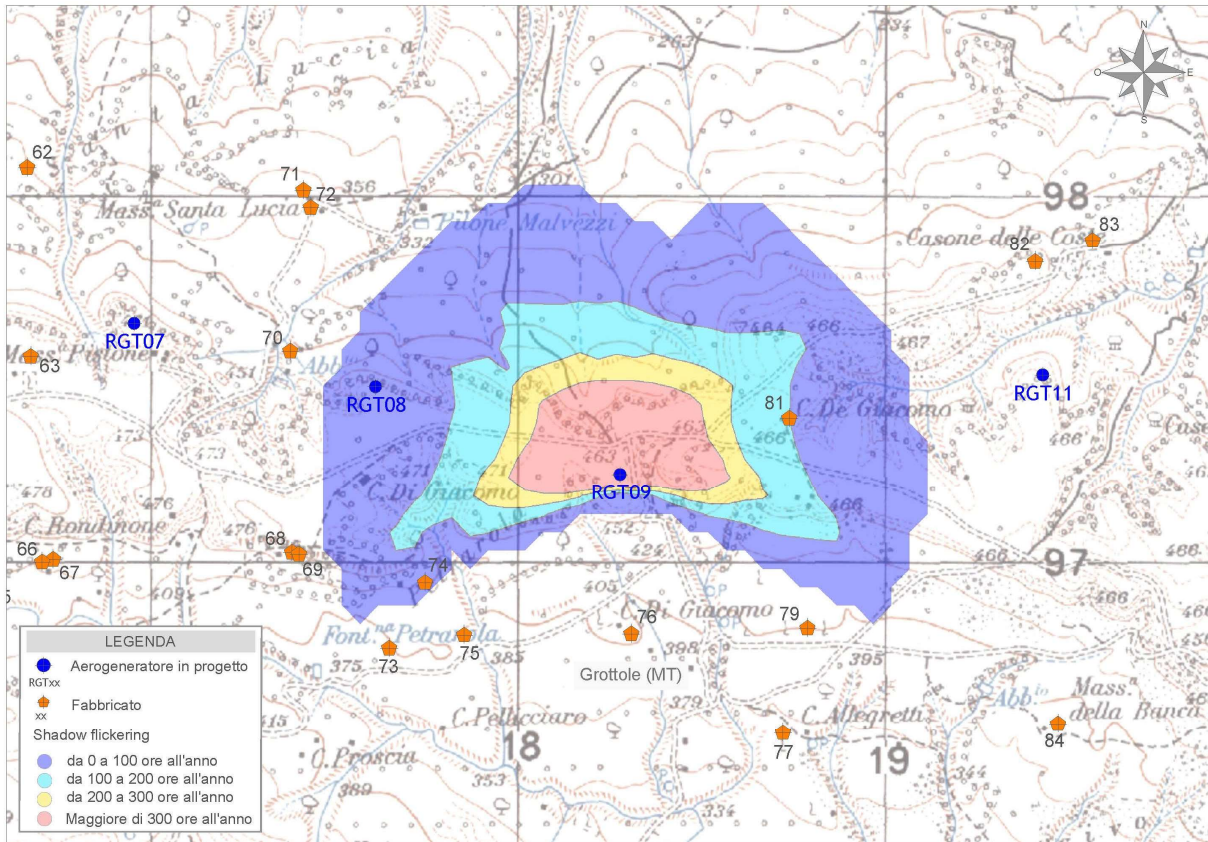


Figura 9- Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore RGT09

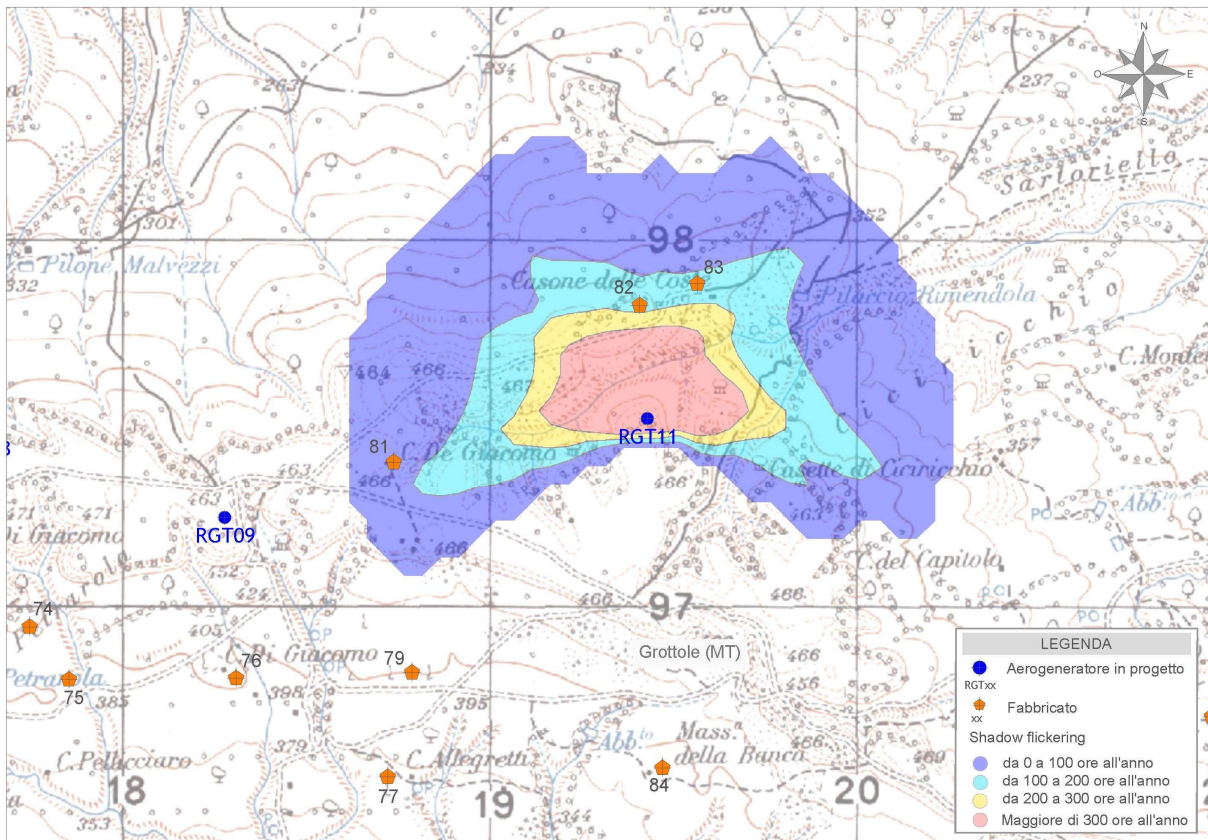


Figura 10 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore RGT11

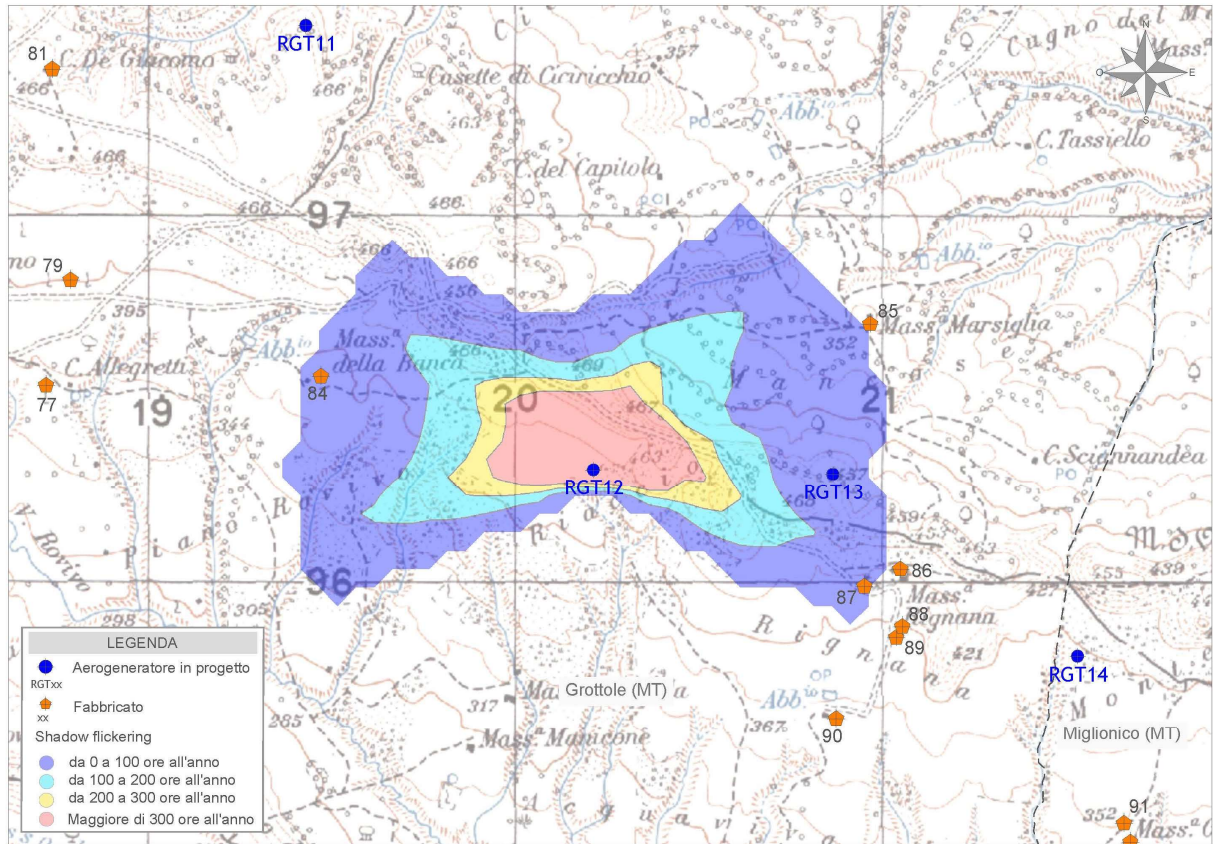


Figura 11 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore RGT12

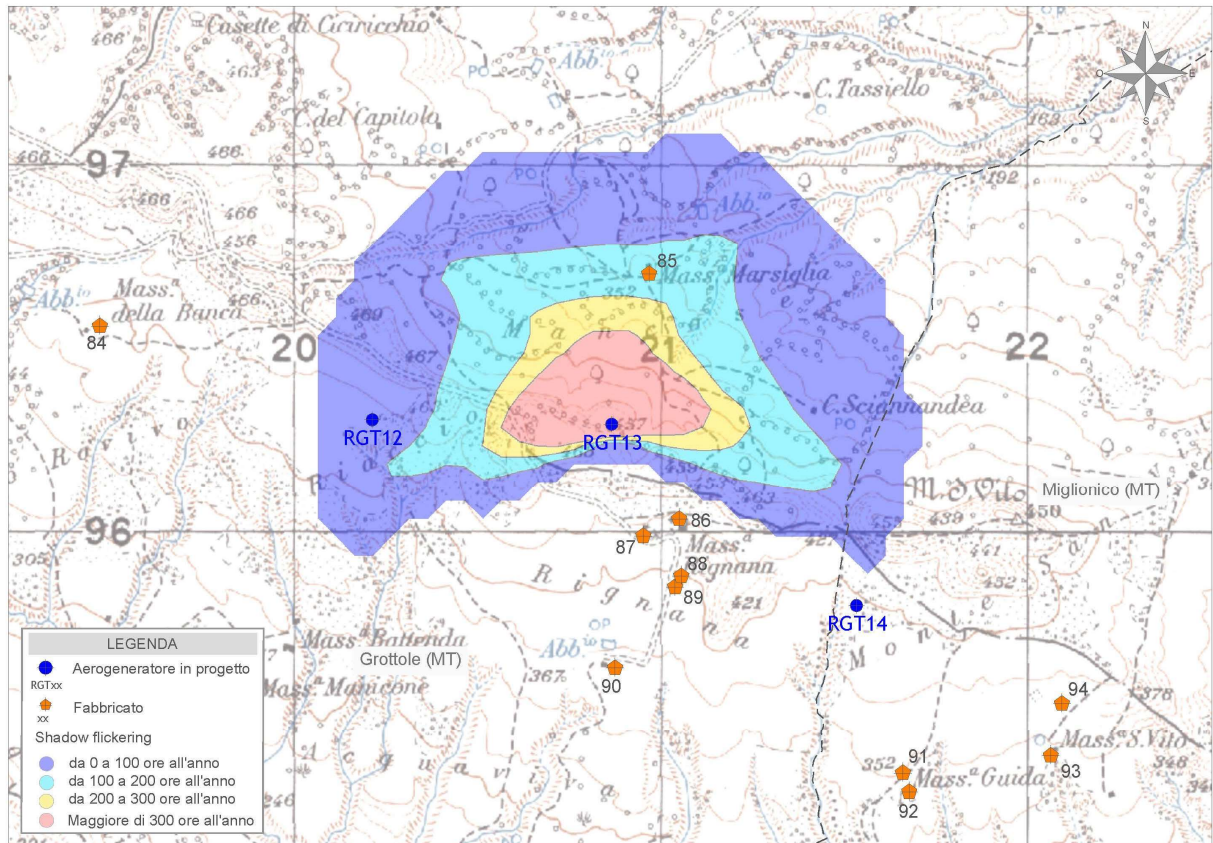


Figura 12 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore RGT13



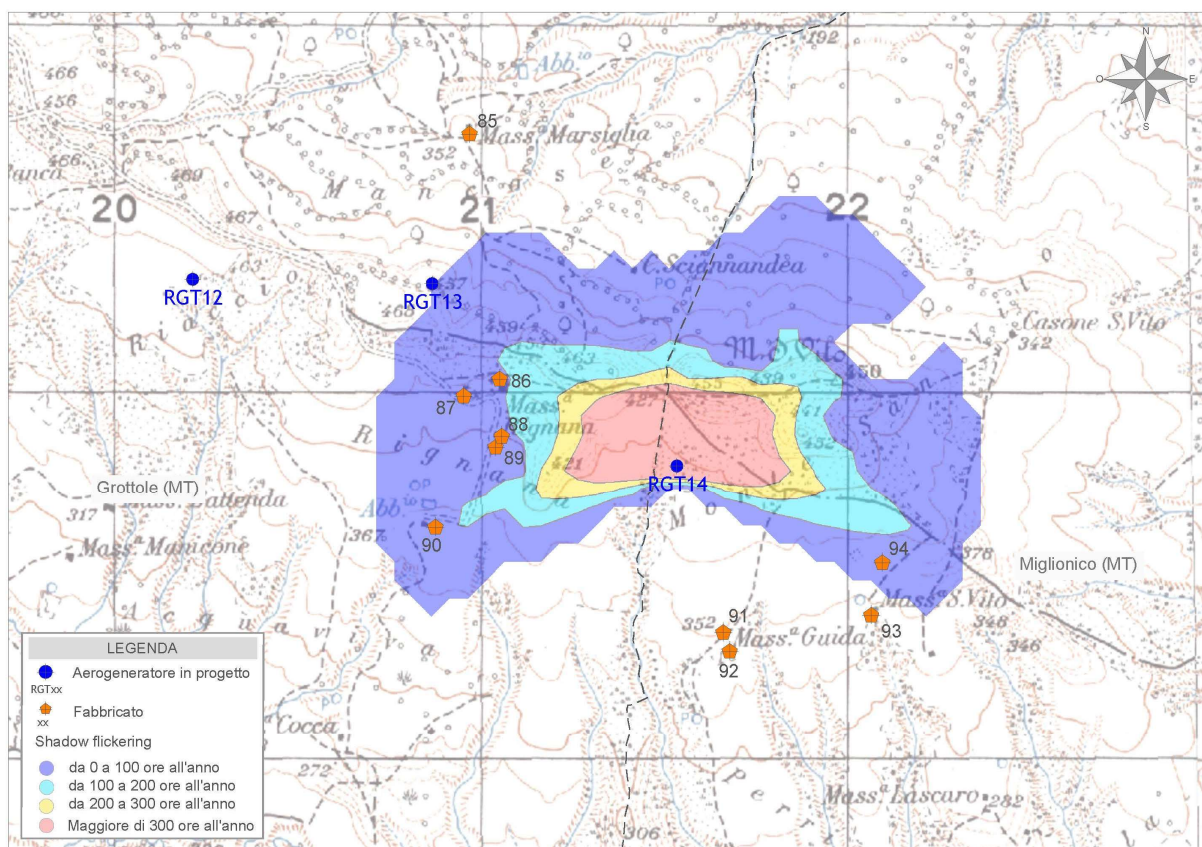


Figura 13 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore RGT14

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	611782	4498050	75	54	26
4	612378	4498184	96	95	45
5	612402	4498194	92	89	42
6	612430	4498190	95	93	44
7	612897	4498025	79	58	27
12	612928	4496475	0	0	0
16	613598	4497486	150	153	72
21	613931	4497247	71	51	24
22	613978	4497223	69	46	22
25	613965	4497017	115	71	33
28	613500	4495808	0	0	0
29	613910	4495877	0	0	0
31	614105	4495975	0	0	0
32	614484	4496698	71	54	26

Fabbricato	WGS84 - UTM fuso 33		Caso peggiore		Caso reale
	Est	Nord	Giorni Anno	Ore Anno	Ore Anno
35	614792	4497261	0	0	0
36	614863	4497248	0	0	0
51a	615489	4497189	78	52	25
53	615796	4497075	72	63	30
55	615698	4496732	0	0	0
59	616202	4497023	0	0	0
62	616591	4497894	130	194	92
65	616490	4496768	0	0	0
67	616663	4496824	0	0	0
68	617314	4496844	0	0	0
77	618655	4496350	0	0	0
78	618803	4496537	0	0	0
84	619405	4496374	65	42	20
90	620812	4495443	120	93	44
92	621615	4495105	0	0	0

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 15 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 40 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.

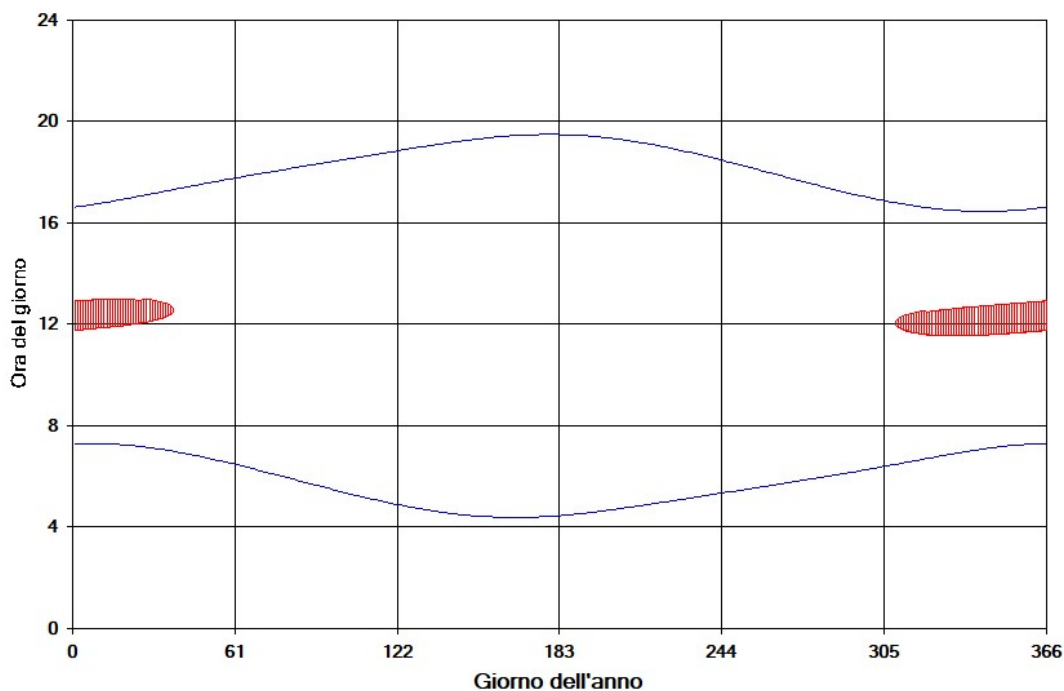


Figura 14 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 4

Dalla lettura del calendario in figura 14, si legge facilmente che, presso il fabbricato 4, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa dall'aerogeneratore:

- RGT01 dal 1° gennaio al 7 febbraio e dal 4 novembre al 31 dicembre tra le ore 11:30 e le 13:00 (macchia rossa).

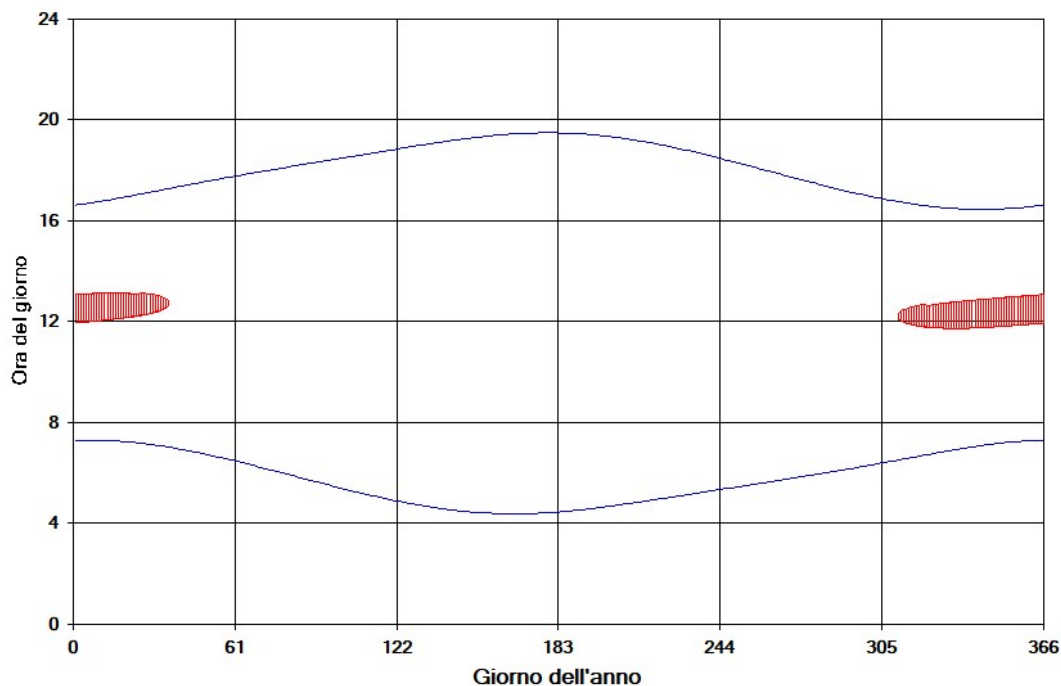


Figura 15 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 5

Dalla lettura del calendario in figura 15, si legge facilmente che, presso il fabbricato 5, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa dall'aerogeneratore:

- RGT01 dal 1° gennaio al 5 febbraio e dal 6 novembre al 31 dicembre tra le ore 11:40 e le 13:10 (macchia rossa).

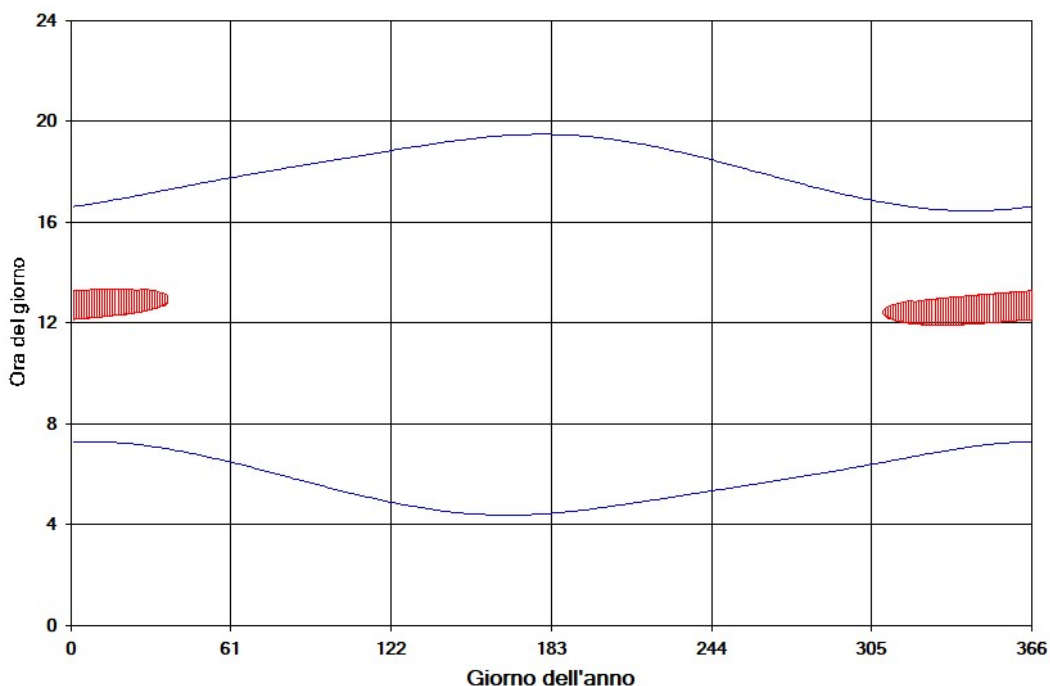


Figura 16 - Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 6

Dalla lettura del calendario in figura 16, si legge facilmente che, presso il fabbricato 6, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa dell'aerogeneratore:

- RGT01 dal 1° gennaio al 6 febbraio e dal 4 novembre al 31 dicembre tra le ore 11:50 e le 13:25 (macchia rossa).

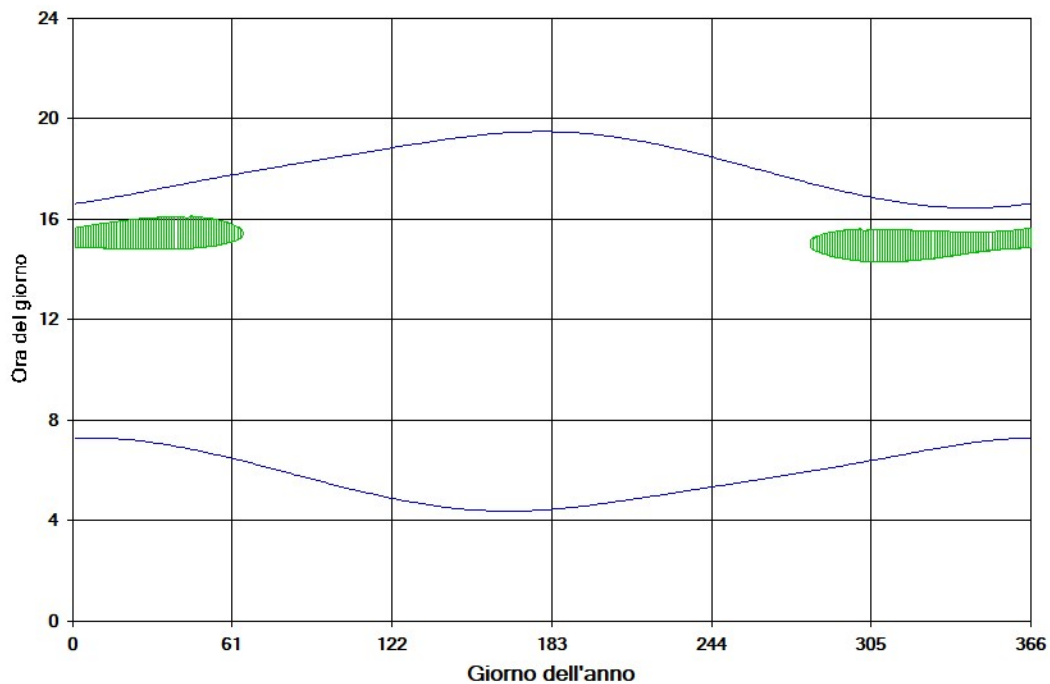


Figura 17 - Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 16

Dalla lettura del calendario in figura 17, si legge facilmente che, presso il fabbricato 16, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa dell'aerogeneratore:

- RGT04 dal 1° gennaio al 5 marzo e dal 8 ottobre al 31 dicembre tra le ore 14:15 e le 16:10 (macchia verde).

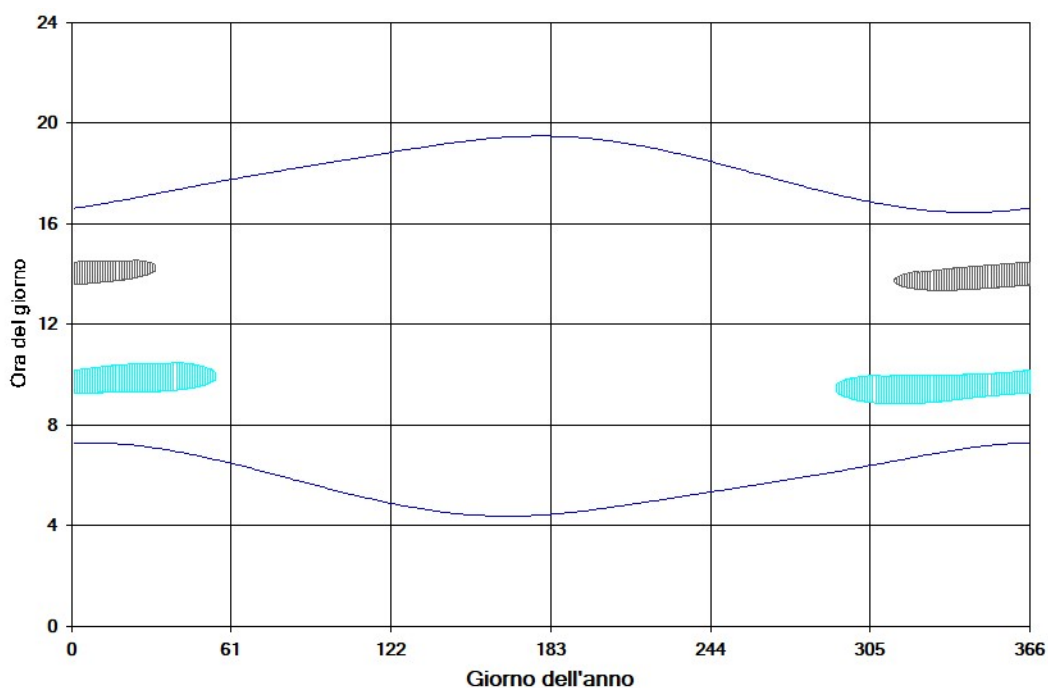


Figura 18 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 62

Dalla lettura del calendario in figura 18, si legge facilmente che, presso il fabbricato 62, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa degli aerogeneratori:

- RGT06 dal 1° gennaio al 1° febbraio e dal 9 novembre al 31 dicembre tra le ore 13:20 e le 14:35 (macchia grigia);
- RGT07 dal 1° gennaio al 24 febbraio e dal 18 ottobre al 31 dicembre tra le ore 08:50 e le 10:35 (macchia ciano).

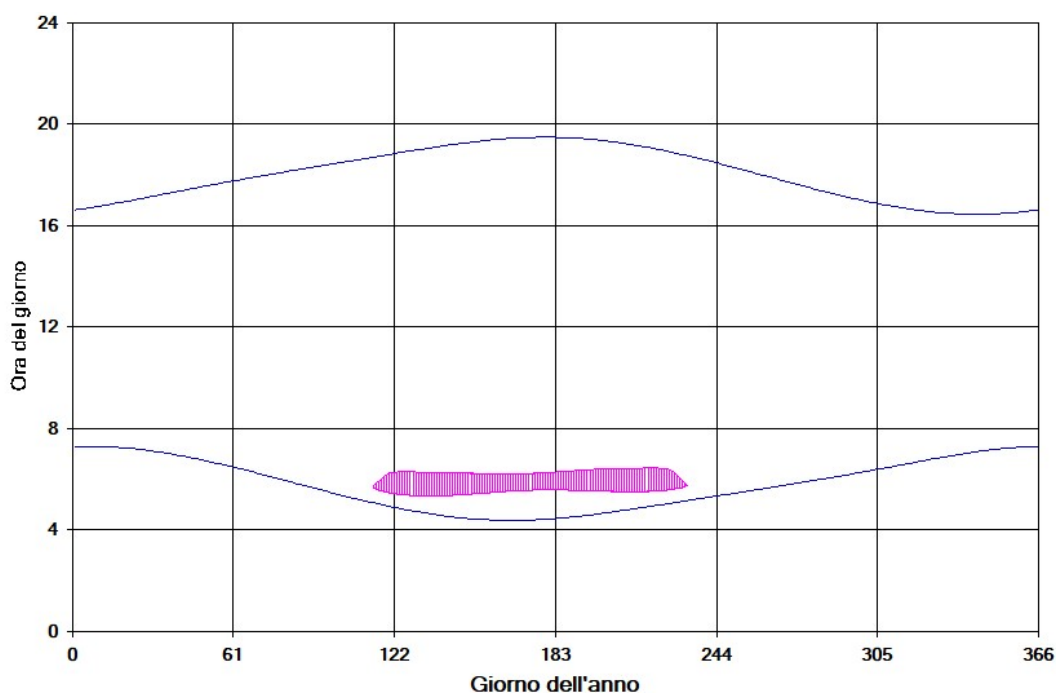


Figura 19 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 90

Dalla lettura del calendario in figura 19, si legge facilmente che, presso il fabbricato 90, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa dell'aerogeneratore:

- RGT14 dal 23 aprile al 20 agosto tra le ore 05:20 e le 06:30 (macchia magenta).

#### 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 15 abitazioni (si veda tabella 4), incidendo in maniera trascurabile, in quanto il valore atteso è per tutti i ricettori uguale o inferiore a 92 ore l'anno, e per la maggior parte di essi uguale o inferiore a 33 ore l'anno.

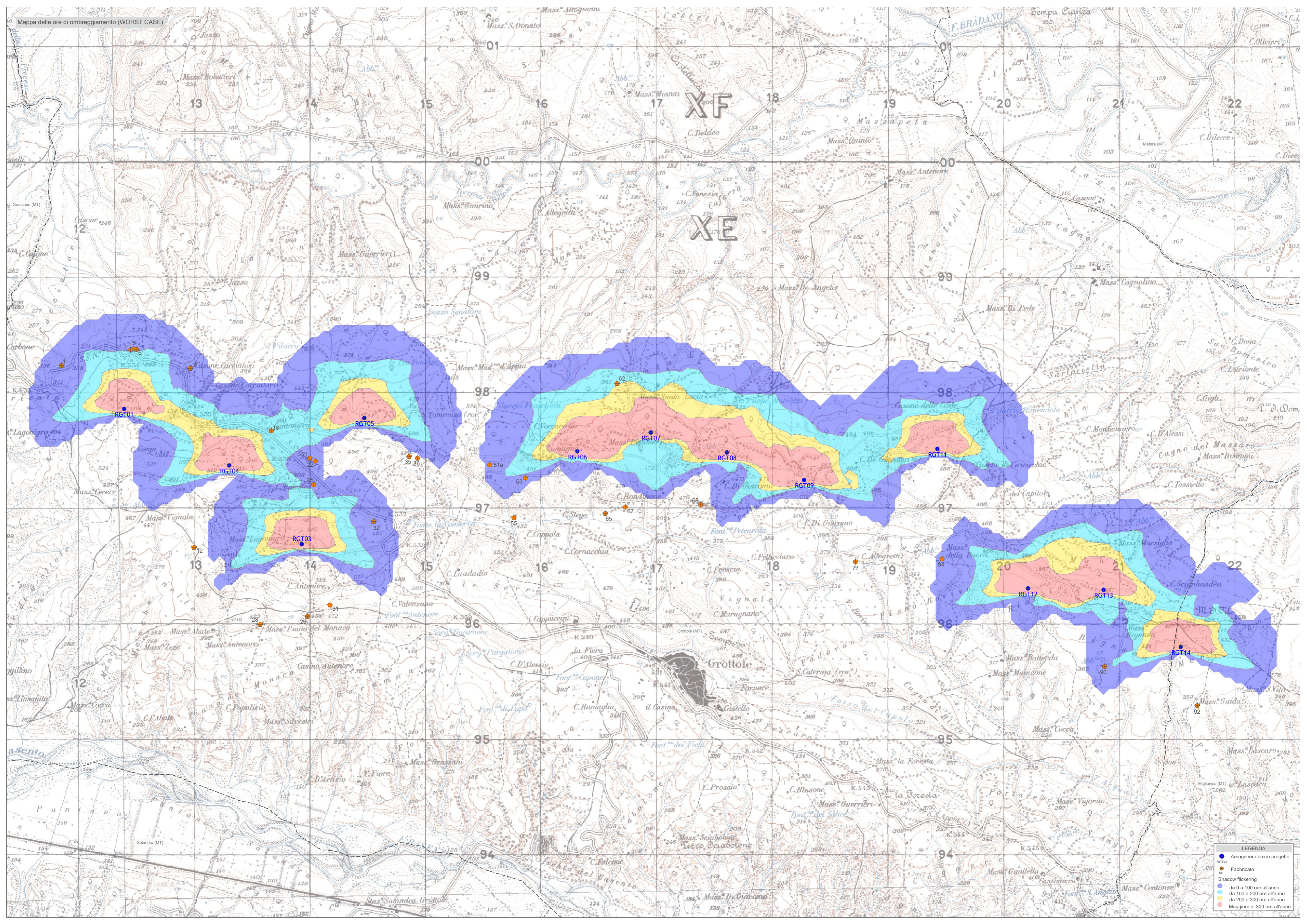
Va altresì sottolineato che:

- la velocità di rotazione delle turbine previste in progetto, del tipo Nordex N163 7.0 MW - HH 118.0m, 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
- Fabbricato
- 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