



Regione Puglia
 Provincia di Foggia
 Comuni di Troia e Lucera



Potenziamento Parco Eolico di Troia San Vincenzo

Codifica proponente:

IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.
TSV	ENG	REL	00118	00

Titolo:

RELAZIONE DI SHADOW FLICKERING

Numero documento:

Commissa						Fase	Tipo doc.	Prog. doc.	Rev.				
2	3	2	2	0	2	D	R	0	1	1	8	0	0

Proponente:

ERG Eolica San Vincenzo



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	25.09.2023	EMISSIONE PER AUTORIZZAZIONE	R. DI PIETRO	G. LO RUSSO



ERG Eolica San Vincenzo

RELAZIONE DI SHADOW FLICKERING

Potenziamento Parco Eolico di Troia San Vincenzo



Codifica Elaborato: 232202_D_R_0118 Rev. 00

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	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), finalizzato all'**ammodernamento complessivo (repowering)** di un impianto eolico esistente, sito nel comune di Troia in provincia di Foggia, realizzato con il permesso di costruire rilasciato dalla Città di Troia (FG), n. 70 del 11/12/2003 e successive varianti: n.11 del 17/02/2004, n.90 del 05/10/2004 e n.18 del 14/07/2005, previa esclusione di assoggettabilità a valutazione di impatto ambientale con D.D. del settore ecologia 368/2003.

L'impianto eolico esistente è costituito da 21 aerogeneratori, ciascuno con potenza di 2MW, per una potenza totale di impianto pari a 42 MW, posto nella località denominata Monte S. Vincenzo, a Nord- Est del centro abitato di Troia, con opere di connessione ricadenti ancora nel Comune di Troia (FG), in quanto il cavidotto in media tensione interrato raggiunge la Sottostazione AT/MT, a sua volta connessa alla Rete Elettrica Nazionale nel Comune di Troia. L'impianto eolico appena descritto è definito nel seguito "Impianto eolico esistente".

L'ammodernamento complessivo dell'impianto eolico esistente, oggetto della presente valutazione, consta invece nell'installazione di 10 aerogeneratori con diametro del rotore massimo di 175 m, altezza massima complessiva di 220 m e potenza unitaria di 7,2 MW, per una potenza totale pari a 72 MW, da realizzare nel medesimo sito. In particolare, in agro di Troia si installeranno 8 aerogeneratori, mentre in agro di Lucera, nei pressi del confine comunale con Troia, saranno installati 2 aerogeneratori. Il tracciato dei cavidotti ricalcherà in buona parte quello attuale, con modifiche dove necessario, ma con attenzione a contenere l'impatto complessivo. Si prevede inoltre l'elevazione del livello di tensione nominale del cavidotto dagli attuali 20 a 30kV. Infine, si rendono necessari interventi di adeguamento all'interno della stazione elettrica d'utenza esistente, con stalli di trasformazione attualmente condivisi con altro produttore, che, in sede d'ammodernamento, saranno adeguati alla potenza del nuovo parco ed al solo servizio di quest'ultimo. Il Progetto, nella configurazione innanzi descritta, viene definito nel seguito "Progetto di ammodernamento".

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 175 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 220,00 m;
- diametro massimo alla base del sostegno tubolare: 4,70 m;
- area spazzata massima: 24.052 m².

In fase esecutiva verrà individuato un modello di macchina tra quelli commercialmente disponibili, con caratteristiche geometriche conformi ai valori considerati.

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).

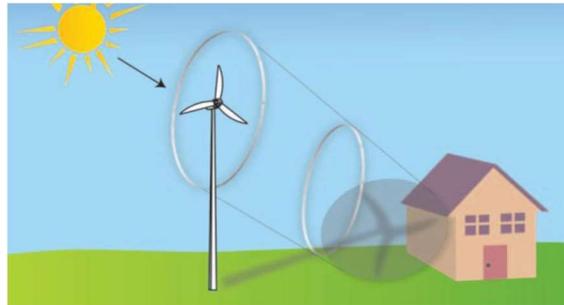


Figura 1 - Rappresentazione schematica del fenomeno dello shadow flicker

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. 10 aerogeneratori per una potenza massima di 72 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 R-TSV1	532901	4583660	239,70
WTG R-TSV2	532908	4583103	253,10
WTG R-TSV3	533728	4582952	233,70
WTG R-TSV4	532030	4582610	277,60
WTG R-TSV5	531430	4581880	303,90
WTG R-TSV6	532789	4582558	266,40
WTG R-TSV7	532450	4583200	263,60
WTG R-TSV8	530898	4582454	214,00
WTG R-TSV9	530584	4581930	261,50
WTG R-TSV10	530505	4581445	249,70

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

La tabella 2 riporta la scheda riassuntiva delle principali caratteristiche della turbina di progetto.

Velocità di accensione:	3 m / s
Velocità di spegnimento:	25 m / s
ROTORE	
Diametro del rotore	175 m
Area spazzata	24.053 m ²
Numero pale	3
Speed, Dynamic Operation Range	9,50 rpm
TORRE	
Altezza del mozzo	132,5 m

Tabella 2: Estratto delle specifiche tecniche Aerogeneratore di progetto

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	Lucera (FG)	146	614	A04-D10	533068,80	4584383,82	4 (60° , 150° , 240° , 330°)
2	Lucera (FG)	146	625-624	A04 - A03 - C02	533385,71	4584459,06	4 (69° , 159° , 249° , 339°)
3	Lucera (FG)	145	341 - 342	D01-D10	533430,43	4584379,43	4 (69° , 159° , 249° , 339°)
4	Lucera (FG)	145	345-84-349-348-347-346	F02- COSTR NO AB	533430,83	4583474,45	4 (59° , 149° , 239° , 329°)
5	Lucera (FG)	145	298 - 114 - 115 - 317-337	F02	533674,12	4583277,53	4 (17° , 107° , 197° , 287°)
6	Lucera (FG)	145	267	NON CLASSATO CATASTALMENTE	533626,76	4583236,73	4 (40° , 130° , 220° , 310°)
7	Lucera (FG)	145	334	D10	534719,50	4582699,49	4 (67° , 157° , 247° , 337°)
8	Lucera (FG)	145	226	A07-C02	534759,18	4582697,45	4 (70° , 160° , 250° , 340°)
9	Lucera (FG)	145	335	A04-C06	534731,26	4582669,53	4 (69° , 159° , 249° , 339°)
10	Lucera (FG)	145	228	A07	534716,10	4582681,40	4 (69° , 159° , 249° , 339°)
11	Lucera (FG)	145	295	C02-F02	534464,19	4582647,15	4 (67° , 157° , 247° , 337°)
12	Lucera (FG)	145	251	A04	534438,29	4582605,21	4 (68° , 158° , 248° , 338°)
13	Lucera (FG)	145	265	C02	534395,17	4582594,28	4 (68° , 158° , 248° , 338°)
14	Lucera (FG)	145	247	C02	534256,93	4582574,48	4 (69° , 159° , 249° , 339°)
15	Lucera (FG)	145	256	A03	534166,37	4582547,23	4 (69° , 159° , 249° , 339°)
16	Lucera (FG)	145	257	C02	534168,60	4582526,48	4 (69° , 159° , 249° , 339°)
17	Lucera (FG)	145	268	C02	534132,78	4582544,59	4 (64° , 154° , 244° , 334°)
18	Lucera (FG)	145	249	C02	534066,72	4582583,06	4 (71° , 161° , 251° , 341°)
19	Troia (FG)	12	363	A04-D10	533407,39	4582814,41	4 (44° , 134° , 224° , 314°)
20	Troia (FG)	12	3	FABB DIRUTO	532680,61	4583168,21	4 (58° , 148° , 238° , 328°)
21	Troia (FG)	12	405	F02	532366,31	4583083,42	4 (63° , 153° , 243° , 333°)

RICETTORI							Numero finestre e orientamento
Ricettore	Comune	Foglio	Particella	Destinazione d'uso	UTM - WGS84		
					Long. E [m]	Lat. N [m]	
22	Troia (FG)	12	403	D10	532297,50	4582982,65	4 (69° , 159° , 249° , 339°)
23	Troia (FG)	12	402	F02	532124,95	4582882,98	4 (71° , 161° , 251° , 341°)
24	Troia (FG)	12	396	A04-A03	533948,42	4582399,88	4 (22° , 112° , 202° , 292°)
25	Troia (FG)	12	218	A07-C02	533838,91	4582374,77	4 (42° , 132° , 222° , 312°)
26	Troia (FG)	12	300	A03-D01	533818,65	4582355,00	4 (38° , 128° , 218° , 308°)
27	Troia (FG)	12	383 - 387	C02	533650,35	4582309,49	4 (46° , 136° , 226° , 316°)
28	Troia (FG)	12	406	D10	533632,51	4582259,90	4 (40° , 130° , 220° , 310°)
29	Troia (FG)	12	404	A03-C06	533656,40	4582228,04	4 (43° , 133° , 223° , 313°)
30	Troia (FG)	12	381	C02	533604,44	4582215,69	4 (43° , 133° , 223° , 313°)
31	Troia (FG)	12	380	A03	533599,80	4582194,08	4 (41° , 131° , 221° , 311°)
32	Troia (FG)	12	394	D10	533573,82	4582265,83	4 (40° , 130° , 220° , 310°)
33	Troia (FG)	12	307	A04-C02-C06	533328,28	4582172,82	4 (59° , 149° , 239° , 329°)
34	Troia (FG)	15	122	A03-C02	533389,24	4582100,52	4 (80° , 170° , 260° , 350°)
35	Troia (FG)	12	211- 304-305	C03 - C02 - C06	533167,88	4582257,31	4 (41° , 131° , 221° , 311°)
36	Troia (FG)	12	167	B08 - A03-C02	533158,27	4582222,57	4 (45° , 135° , 225° , 315°)
37	Troia (FG)	12	398	F02	532987,41	4582245,22	4 (55° , 145° , 235° , 325°)
38	Troia (FG)	16	1007	A07	533194,11	4581929,92	4 (66° , 156° , 246° , 336°)
39	Troia (FG)	16	1009	D10	533161,82	4581910,72	4 (67° , 157° , 247° , 337°)
40	Troia (FG)	16	763	A03-C02-C03-C06	532883,74	4581795,39	4 (66° , 156° , 246° , 336°)
41	Troia (FG)	16	489	A03 -C02	532845,73	4581778,34	4 (67° , 157° , 247° , 337°)
42	Troia (FG)	16	592	A07	532816,55	4581755,30	4 (64° , 154° , 244° , 334°)
43	Troia (FG)	16	661	A03-C02	532780,26	4581738,83	4 (69° , 159° , 249° , 339°)
44	Troia (FG)	16	910	F02	532577,94	4581632,78	4 (64° , 154° , 244° , 334°)
45	Troia (FG)	16	1021	C02	532543,39	4581637,85	4 (71° , 161° , 251° , 341°)
46	Troia (FG)	16	1000	A04-C02	532530,33	4581619,20	4 (69° , 159° , 249° , 339°)
47	Troia (FG)	16	998	A04-D10	532504,49	4581632,86	4 (66° , 156° , 246° , 336°)
48	Troia (FG)	16	699	A04	532478,88	4581610,33	4 (74° , 164° , 254° , 344°)
49	Troia (FG)	16	793	A03	532445,01	4581550,27	4 (68° , 158° , 248° , 338°)
50	Troia (FG)	15	176	A03-C02	532302,23	4581653,57	4 (70° , 160° , 250° , 340°)
51	Troia (FG)	15	193	C06-F03	532288,11	4581691,67	4 (70° , 160° , 250° , 340°)
52	Troia (FG)	15	180	A07-C06	532146,14	4581561,33	4 (69° , 159° , 249° , 339°)
53	Troia (FG)	16	1208	F02	532267,00	4581451,84	4 (68° , 158° , 248° , 338°)
54	Troia (FG)	16	617	D01	532163,16	4581435,30	4 (68° , 158° , 248° , 338°)
55	Troia (FG)	16	709	NON CLASSATO CATASTALMENTE	532134,94	4581428,49	4 (69° , 159° , 249° , 339°)
56	Troia (FG)	16	999	A04-C02-D08	532138,73	4581388,39	4 (69° , 159° , 249° , 339°)
57	Troia (FG)	16	915	C02	532048,13	4581334,36	4 (64° , 154° , 244° , 334°)
58	Troia (FG)	16	1038	C02	531915,51	4581274,36	4 (84° , 174° , 264° , 354°)
59	Troia (FG)	16	1003	C02	531842,95	4581225,81	4 (69° , 159° , 249° , 339°)
60	Troia (FG)	15	289	A03-C06	531661,85	4581375,53	4 (67° , 157° , 247° , 337°)
61	Troia (FG)	15	377	C02	531551,44	4581335,47	4 (71° , 161° , 251° , 341°)
62	Troia (FG)	16	833	A07	531596,30	4581200,72	4 (69° , 159° , 249° , 339°)
63	Troia (FG)	16	979	A04-C01	531418,84	4581092,91	4 (68° , 158° , 248° , 338°)
64	Troia (FG)	16	1052	C02-A03	531356,38	4581128,57	4 (73° , 163° , 253° , 343°)
65	Troia (FG)	16	773 -770	D01	531341,62	4581087,42	4 (69° , 159° , 249° , 339°)
66	Troia (FG)	16	626	A03	531309,84	4581069,62	4 (72° , 162° , 252° , 342°)
67	Troia (FG)	15	332	C02-A03-C06	531255,74	4581183,50	4 (68° , 158° , 248° , 338°)
68	Troia (FG)	15	292	D08	531115,88	4581186,55	4 (66° , 156° , 246° , 336°)
69	Troia (FG)	15	189	A07	530955,96	4581079,73	4 (71° , 161° , 251° , 341°)
70	Troia (FG)	15	108	NON CLASSATO CATASTALMENTE	530991,56	4581034,82	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]	
71	Troia (FG)	16	916	C01-C02	530843,19	4580904,67	4 (68° , 158° , 248° , 338°)
72	Troia (FG)	16	1019	E03	530681,39	4580818,02	4 (62° , 152° , 242° , 332°)
73	Troia (FG)	15	300	A03-C02	530435,22	4580819,23	4 (72° , 162° , 252° , 342°)
74	Troia (FG)	15	299	D10	530427,96	4580838,98	4 (78° , 168° , 258° , 348°)
75	Troia (FG)	15	308 - 310	D10-C02-A04	530396,12	4580794,14	4 (76° , 166° , 256° , 346°)
76	Troia (FG)	14	1039	C02	530286,00	4580778,00	4 (67° , 157° , 247° , 337°)
77	Troia (FG)	14	805	A04	530252,82	4580754,06	4 (62° , 152° , 242° , 332°)
78	Troia (FG)	14	811-812-806	F03-C02	530218,83	4580758,78	4 (65° , 155° , 245° , 335°)
79	Troia (FG)	14	764	A04	530192,43	4580738,59	4 (68° , 158° , 248° , 338°)
80	Troia (FG)	14	285	A07	530169,14	4580728,29	4 (64° , 154° , 244° , 334°)
81	Troia (FG)	14	961	A02-C01-C06	530308,60	4580659,00	4 (66° , 156° , 246° , 336°)
82	Troia (FG)	14	948	A04	530127,20	4580692,49	4 (68° , 158° , 248° , 338°)
83	Troia (FG)	14	881-729	A03-C06-A07	530099,16	4580699,05	4 (67° , 157° , 247° , 337°)
84	Troia (FG)	11	161	A03-D10	530011,49	4582626,37	4 (63° , 153° , 243° , 333°)
85	Troia (FG)	11	162	A03-D10	530006,51	4582703,28	4 (63° , 153° , 243° , 333°)
86	Troia (FG)	11	163	A03-D10	530053,42	4582713,75	4 (64° , 154° , 244° , 334°)
87	Troia (FG)	15	329	F02	530509,34	4582615,91	4 (3° , 93° , 183° , 273°)
88	Troia (FG)	15	327	F02	530446,55	4582673,38	4 (58° , 148° , 238° , 328°)
89	Troia (FG)	11	189-190	F02	530470,98	4582860,23	4 (50° , 140° , 230° , 320°)

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): 532166E, 4582598N
- 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: 1,0 km dal punto di installazione dell'aerogeneratore
- altezza del punto di vista dell'osservatore: 2 m
- parametri turbina di progetto:
 - diametro rotore: 175 m,
 - altezza torre: 220 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):

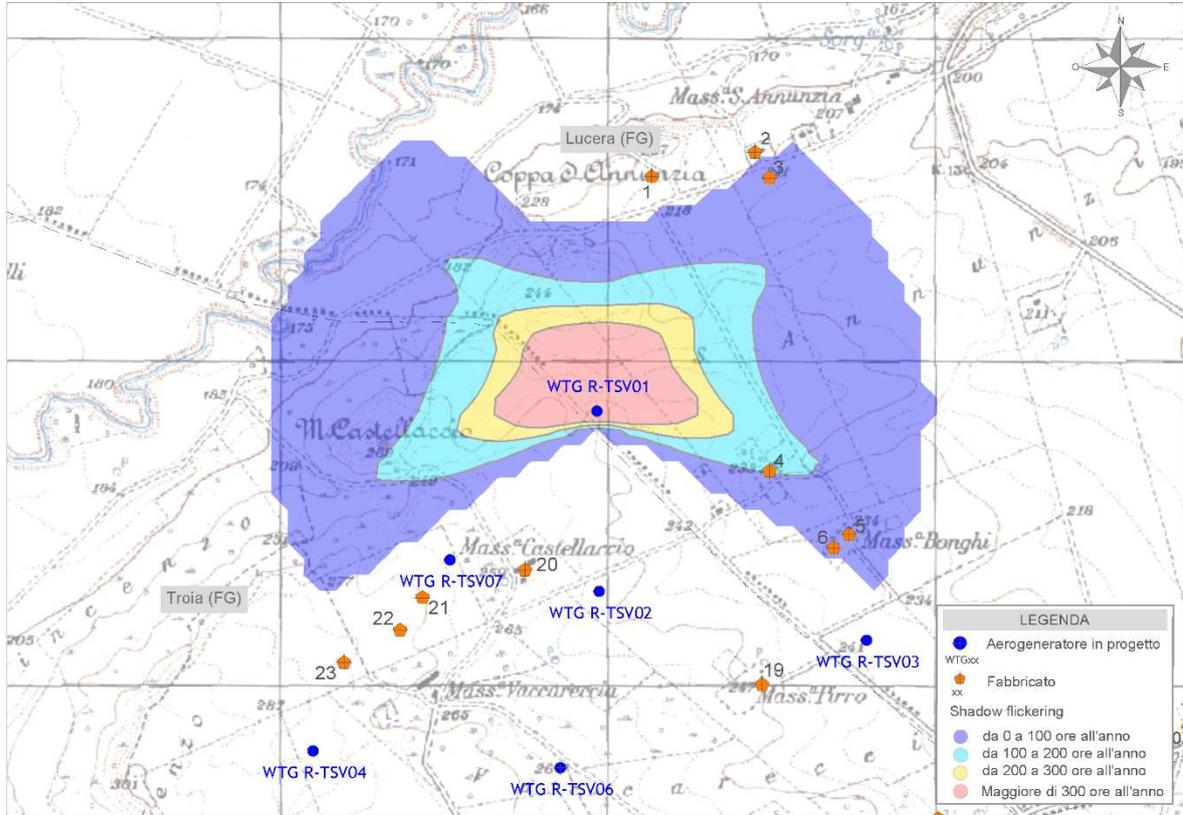


Figura 2 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG R-TSV01

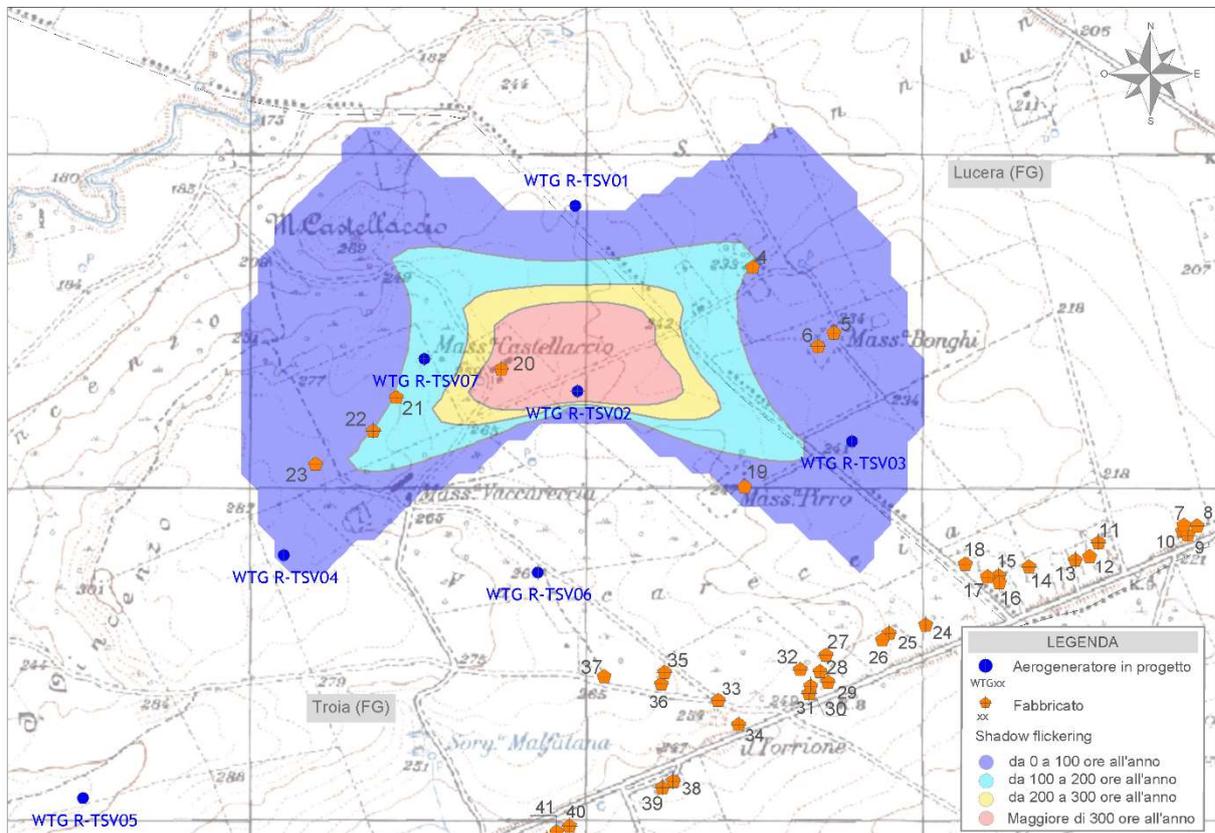


Figura 3 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG R-TSV02

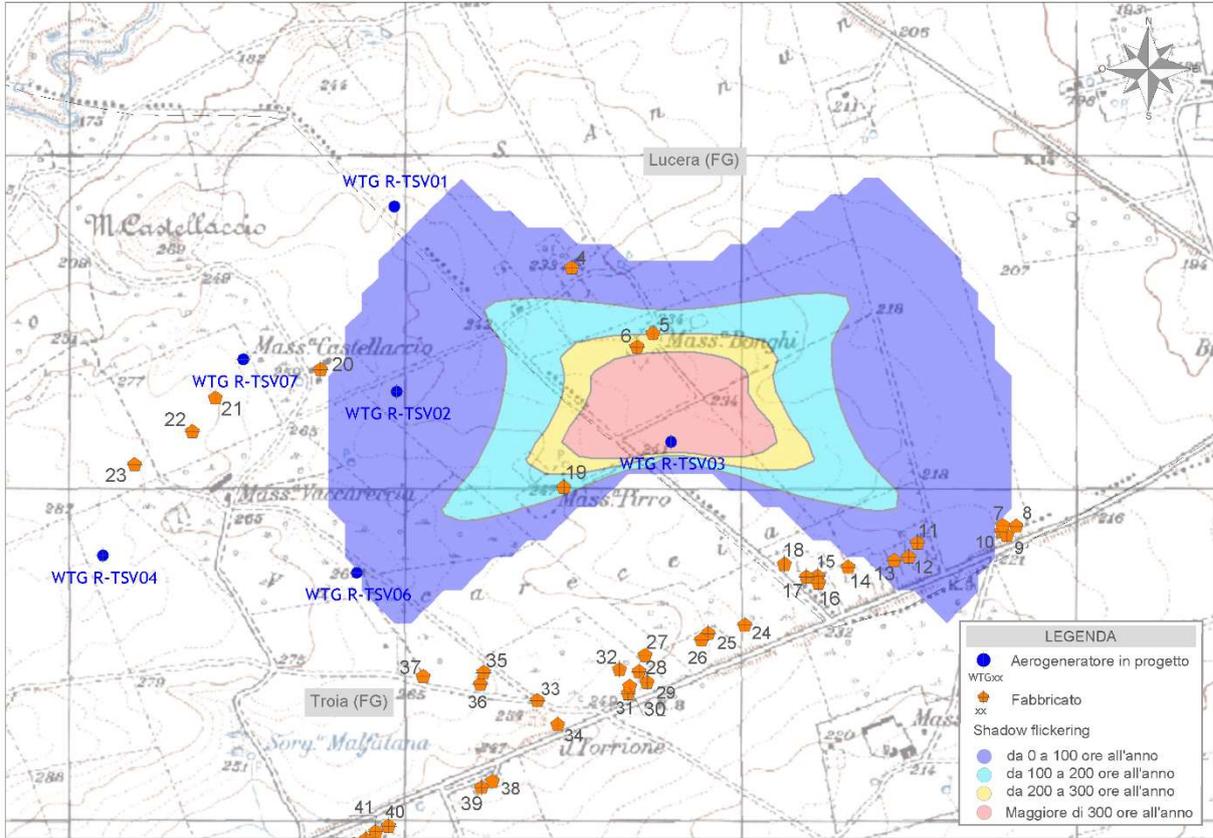


Figura 4 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG R-TSV03

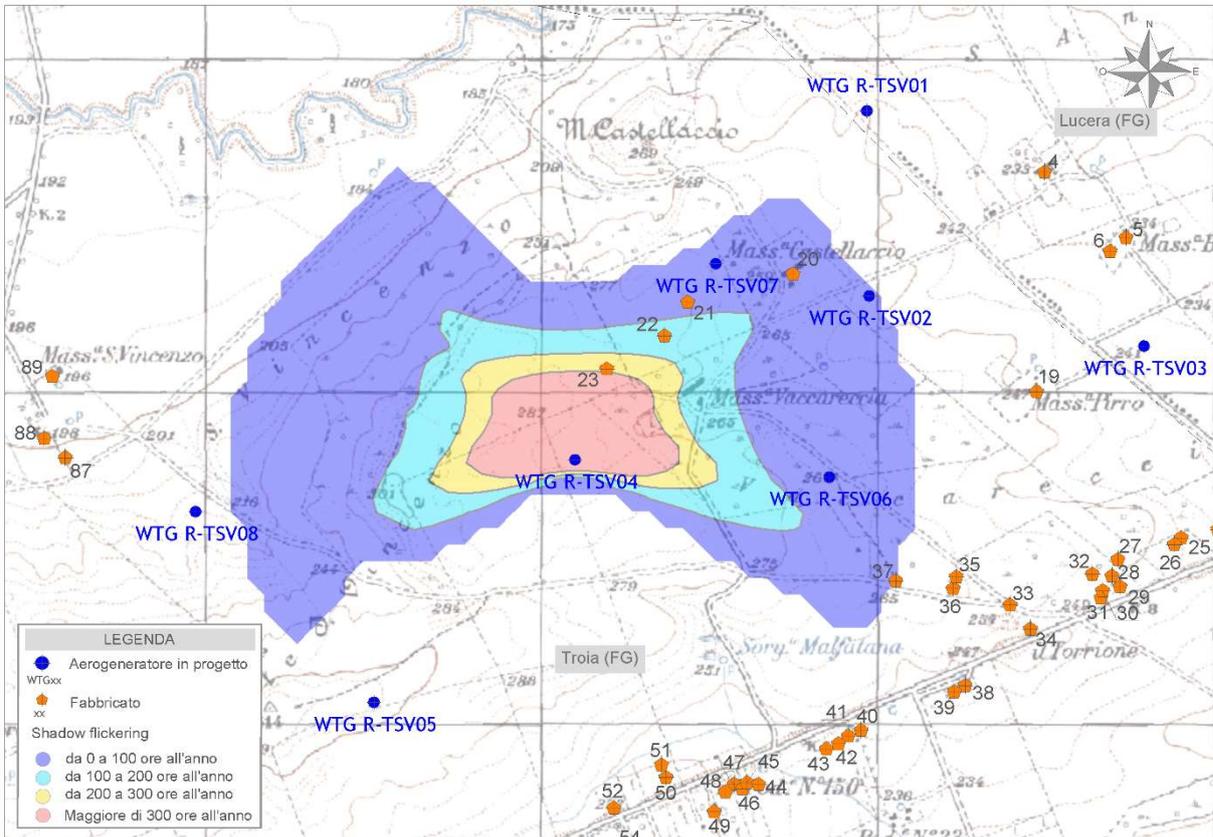


Figura 5 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG R-TSV04

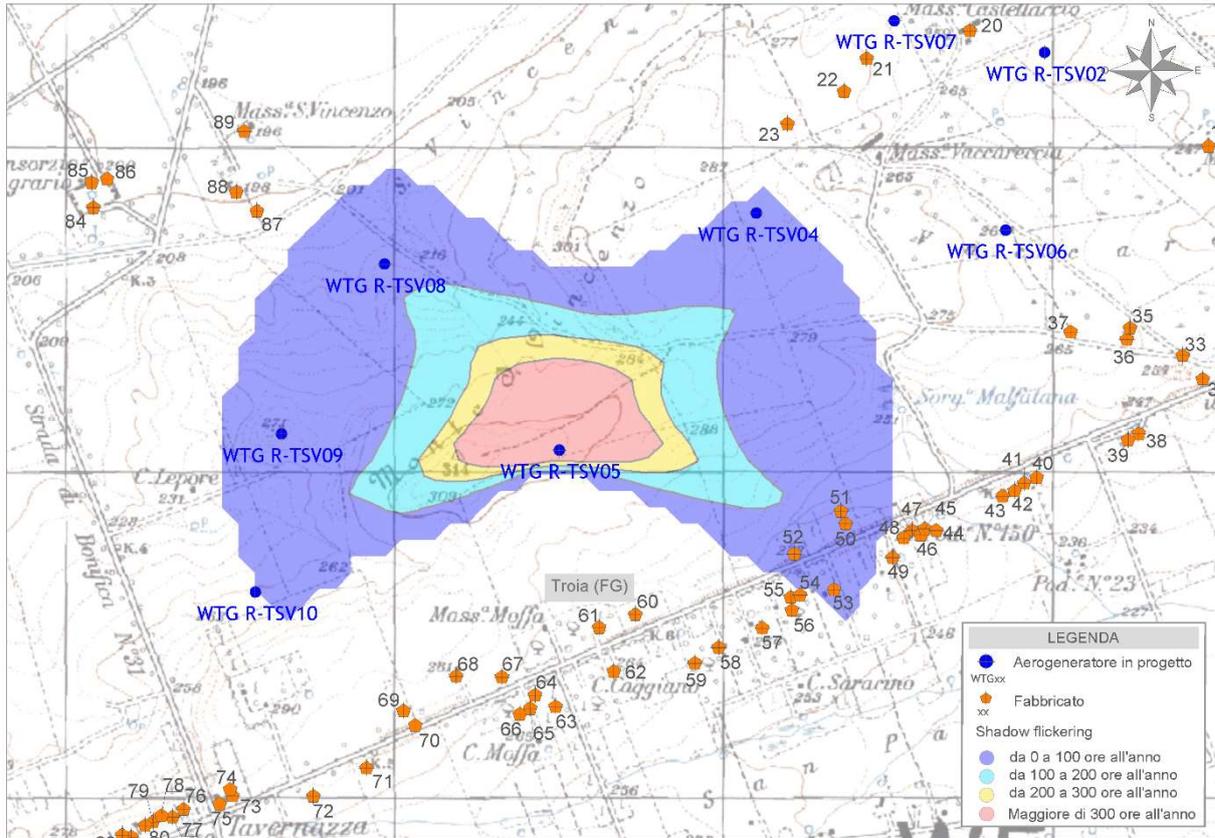


Figura 6 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG R-TSV05

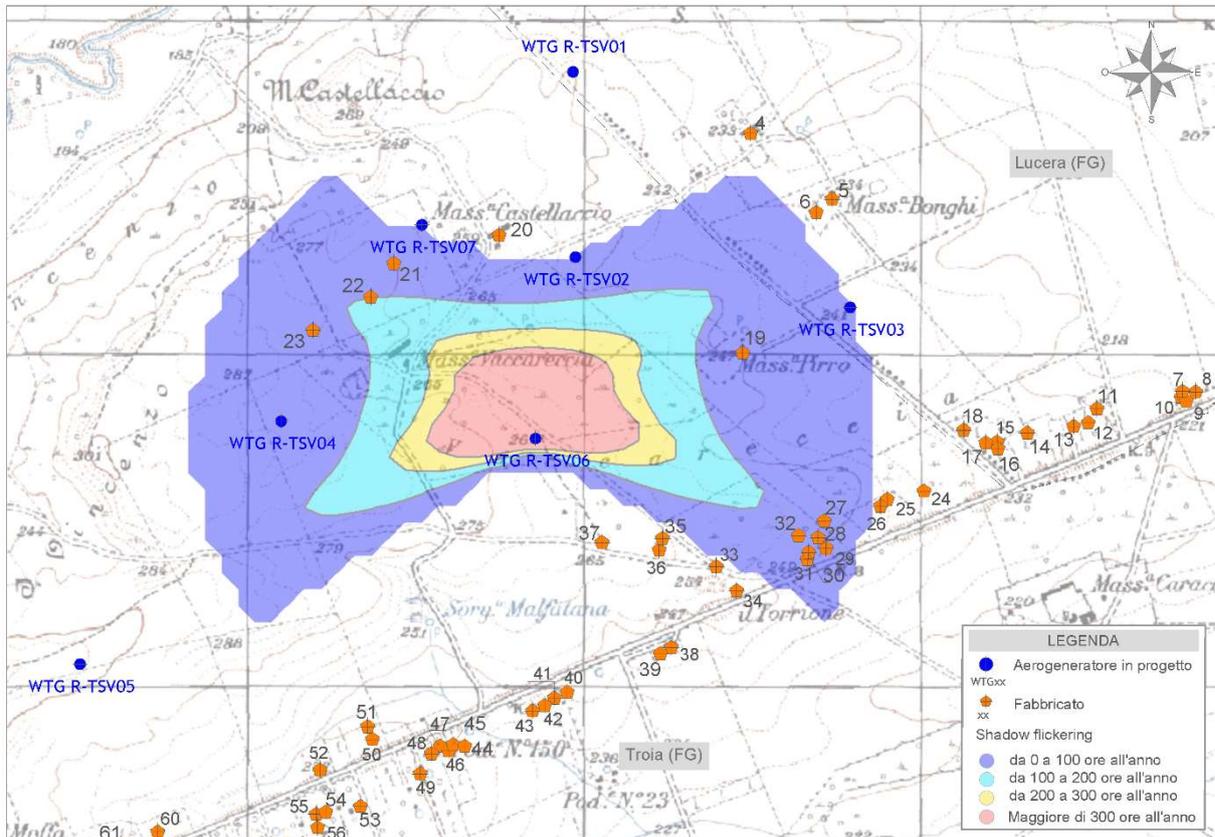


Figura 7 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG R-TSV06

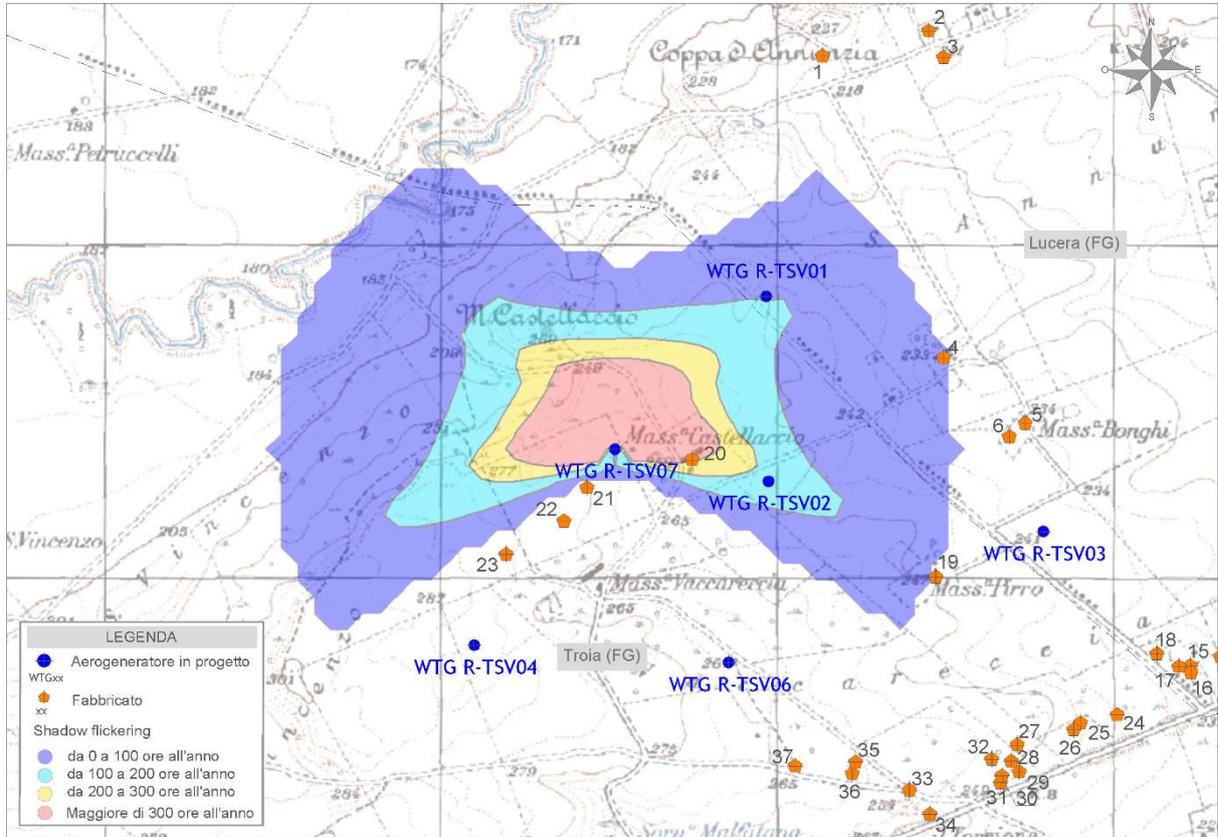


Figura 8 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG R-TSV07

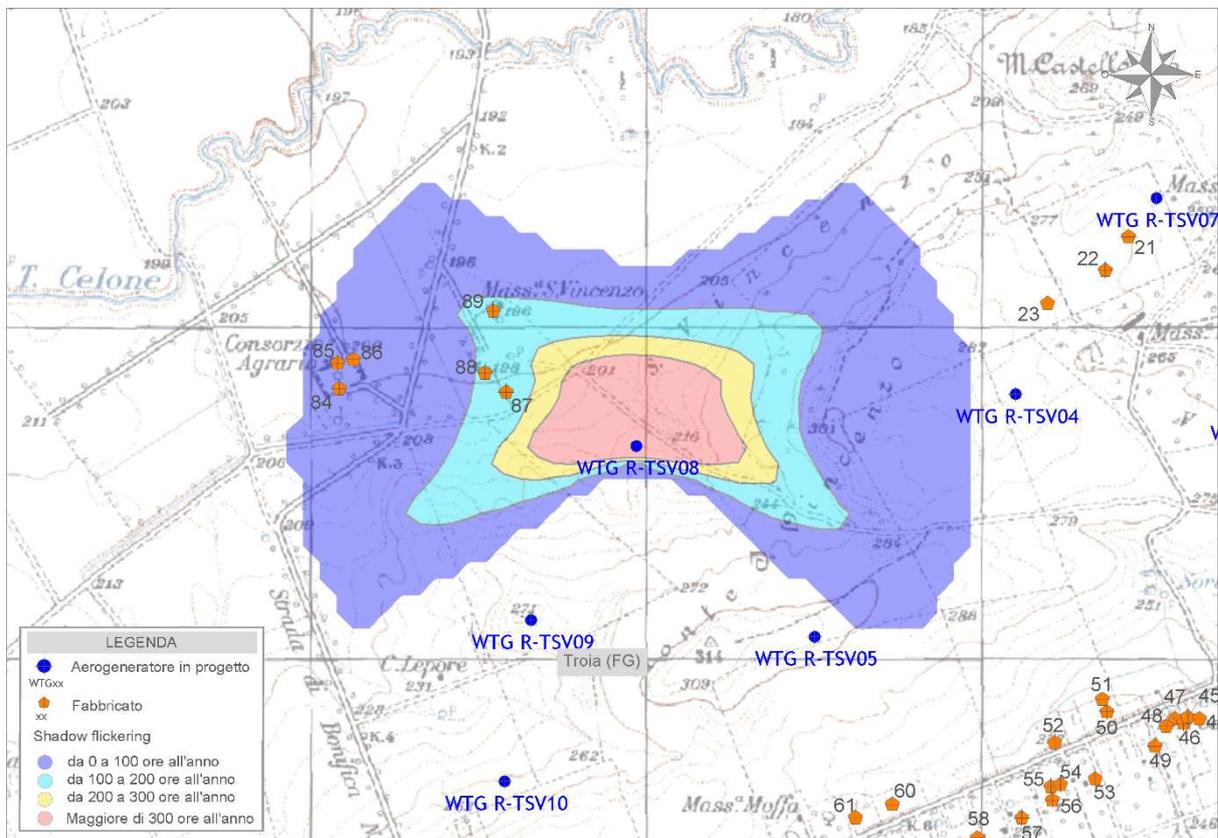


Figura 9 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG R-TSV08

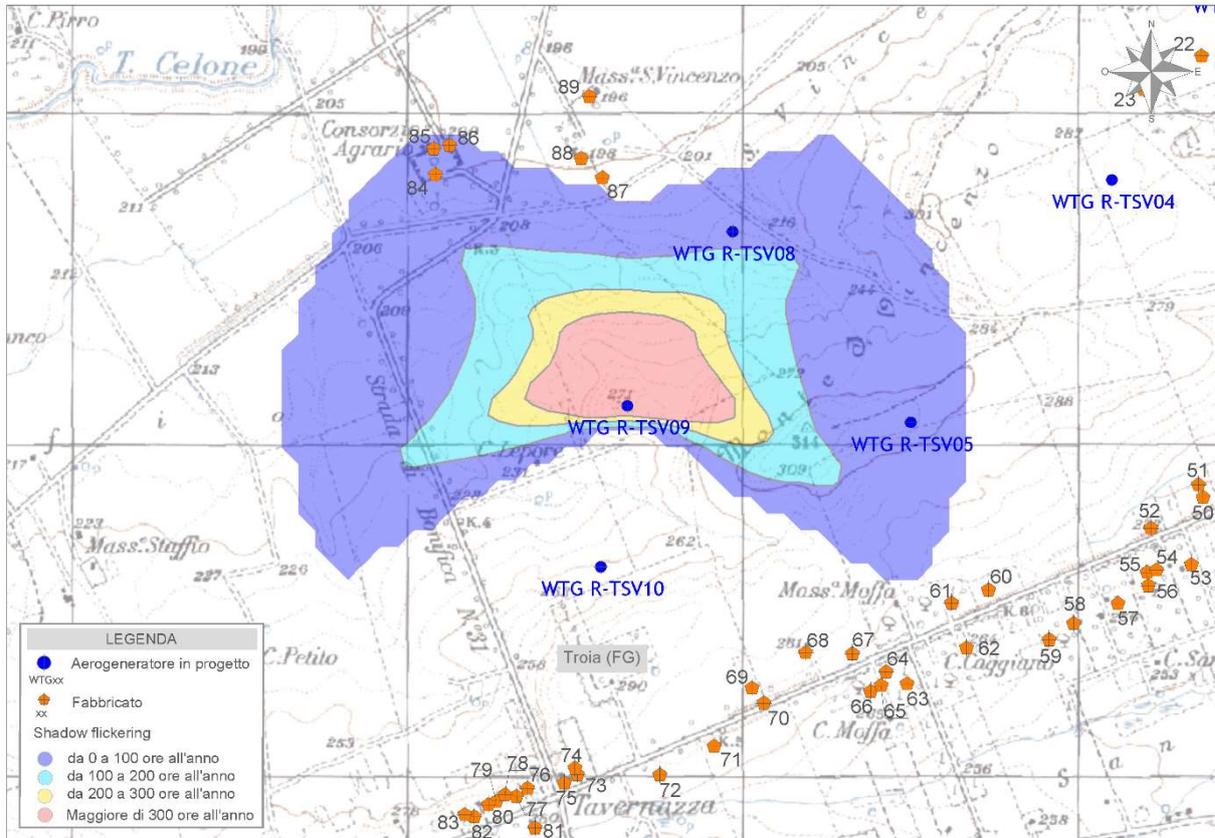


Figura 10 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG R-TSV09

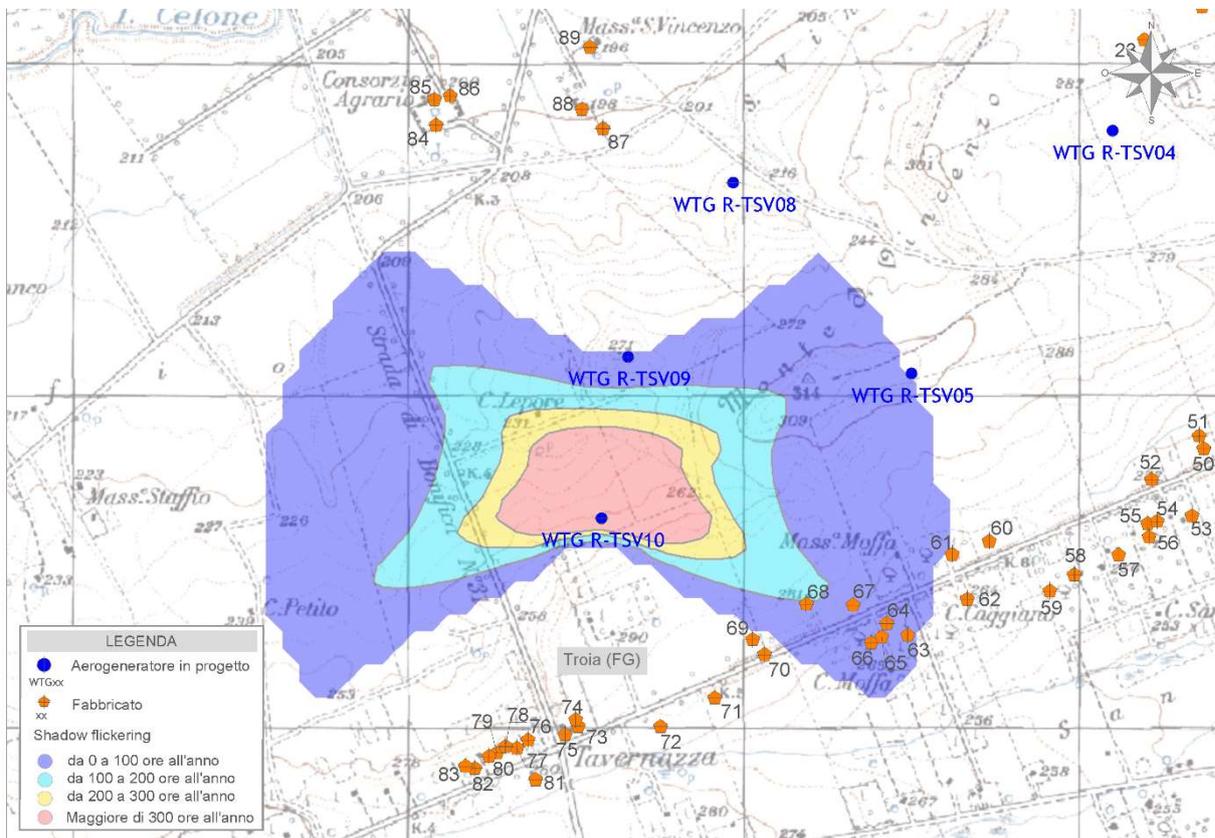


Figura 11 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG R-TSV10

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	533069	4584384	0	0	0
2	533386	4584459	0	0	0
8	534759	4582697	0	0	0
9	534731	4582670	0	0	0
10	534716	4582681	0	0	0
12	534438	4582605	68	46	21
15	534166	4582547	0	0	0
24	533948	4582400	0	0	0
25	533839	4582375	0	0	0
26	533819	4582355	0	0	0
29	533656	4582228	97	65	31
31	533600	4582194	78	53	25
33	533328	4582173	0	0	0
34	533389	4582101	0	0	0
36	533158	4582223	0	0	0
38	533194	4581930	0	0	0
40	532884	4581795	0	0	0
41	532846	4581778	0	0	0
42	532817	4581755	0	0	0
43	532780	4581739	0	0	0
46	532530	4581619	0	0	0
47	532504	4581633	0	0	0
48	532479	4581610	0	0	0
49	532445	4581550	0	0	0
50	532302	4581654	118	70	33
52	532146	4581561	64	41	19
55	532135	4581428	0	0	0
56	532139	4581388	0	0	0
60	531662	4581376	0	0	0
62	531596	4581201	0	0	0
63	531419	4581093	104	65	30
64	531356	4581129	108	72	33
66	531310	4581070	86	59	28
67	531256	4581183	116	87	41
68	531116	4581187	104	96	45
69	530956	4581080	0	0	0
73	530435	4580819	0	0	0

Fabbricato	WGS84 - UTM fuso 33		Caso peggiore		Caso reale
	Est	Nord	Giorni Anno	Ore Anno	Ore Anno
75	530396	4580794	0	0	0
77	530253	4580754	0	0	0
78	530219	4580759	0	0	0
79	530192	4580739	0	0	0
80	530169	4580728	0	0	0
81	530309	4580659	0	0	0
82	530127	4580692	0	0	0
83	530099	4580699	0	0	0
84	530011	4582626	126	76	35
85	530007	4582703	102	53	25
86	530053	4582714	91	47	22

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 13 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.

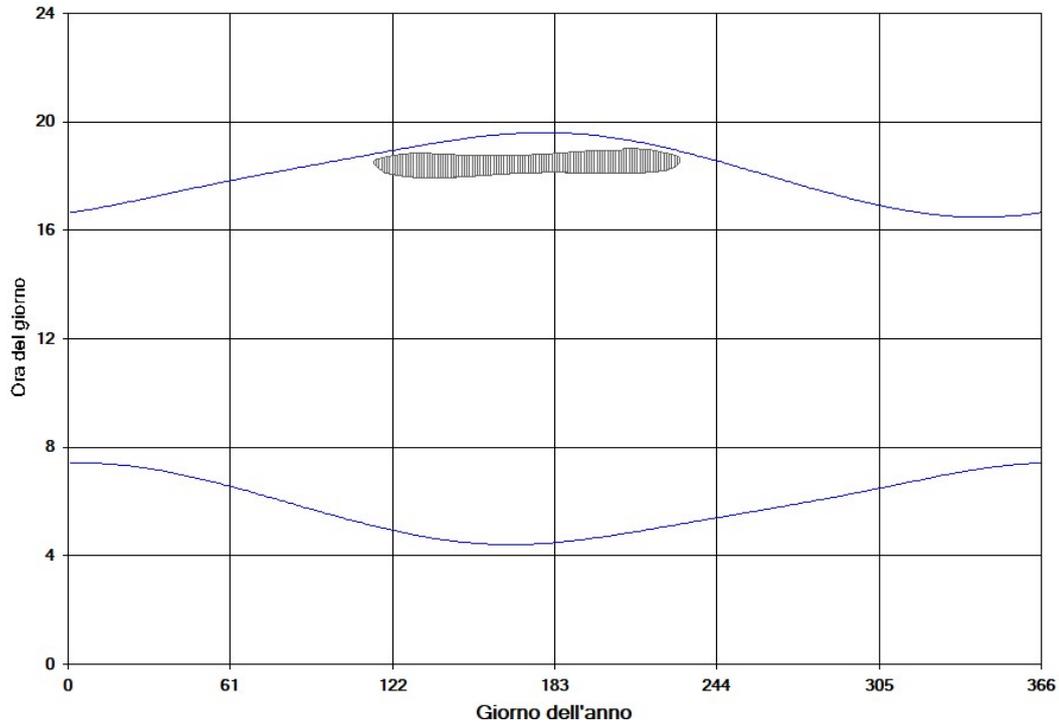


Figura 12 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 67

Dalla lettura del calendario in figura 12, si legge facilmente che, presso il fabbricato 67, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa dell'aerogeneratore:

- WTG R-TSV10 dal 24 aprile al 17 agosto tra le ore 17:50 e le 19:05 (macchia grigia).

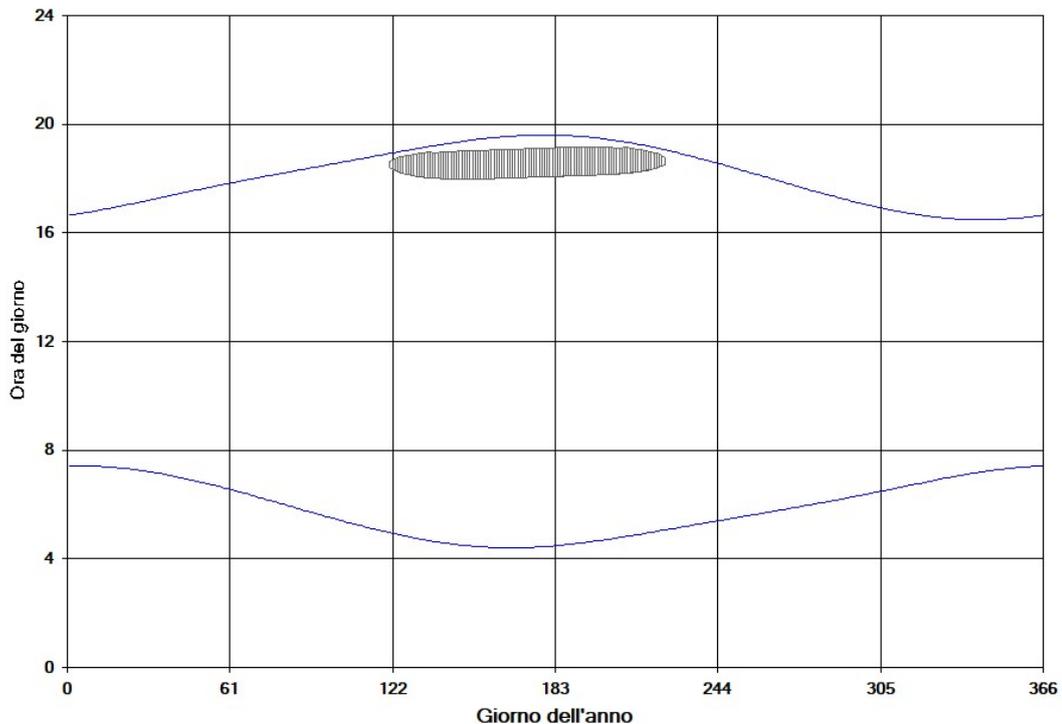


Figura 13 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 68

Dalla lettura del calendario in figura 13, si legge facilmente che, presso il fabbricato 7, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa dell'aerogeneratore:

- WTG R-TSV10 dal 30 aprile al 11 agosto tra le ore 17:55 e le 19:10 (macchia grigia).

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 2 abitazioni (si veda tabella 4), incidendo in maniera trascurabile, in quanto il valore atteso è per tutti i ricettori inferiore a 45 ore l'anno, e per la maggior parte di essi uguale o inferiore a 35 ore l'anno.

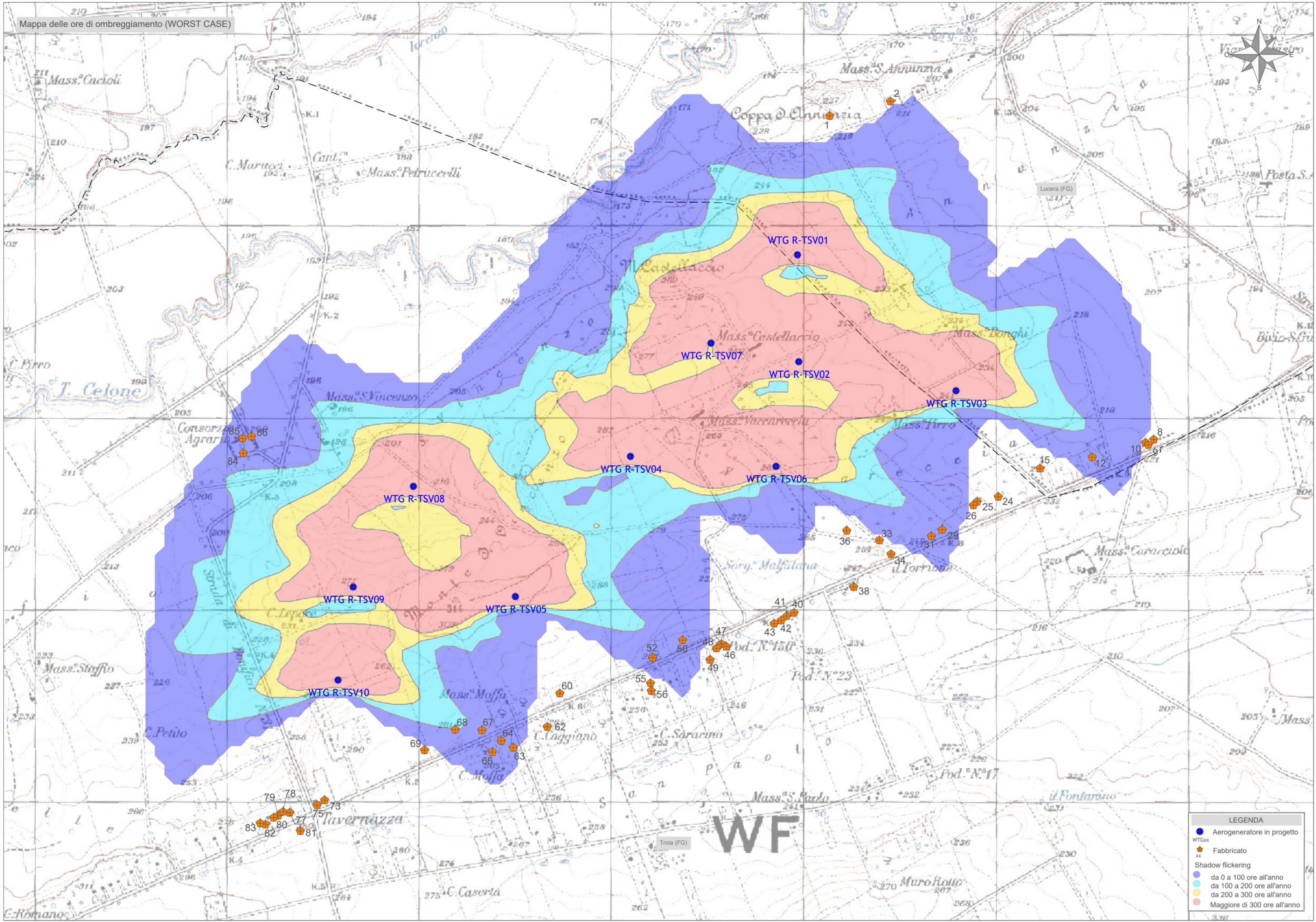
Va altresì sottolineato che:

- la velocità di rotazione delle turbine previste in progetto, 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
WTGxx
- xx
■ 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

WF