

REGIONE
MOLISE



Provincia
CAMPOBASSO



Comuni:
Acquaviva Collecroce
San Felice del Molise
Tavenna

IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60,00 MW

RICHIEDENTE

V-RIDIUM WIND MOLISE 1 S.r.l.

Viale Giorgio Ribotta, 21
00144 Roma (RM)
P. IVA: 16672771009



Titolo Elaborato:

STUDIO DI EVOLUZIONE OMBRA (SHADOW FLICKERING)

Codice Progetto:

ITW2AC

Sviluppo progetto:

NRG PLUS ITALIA S.r.l.

Piazza Ettore Troilo, 27
65127 Pescara (PE)
e-mail: mdedonno@nrgplus.global

BELL FIX PLUS S.r.l.

Via Tancredi Normanno, 13
72023 Mesagne (BR)
e-mail: elettrico@bellfixplus.it

Codice Elaborato:

R.30



Progettazione:



STUDIO ISITREN

dott. ing. Gianluca PANTILE

INGEGNERIA DEI SISTEMI E DELLE INFRASTRUTTURE
PER LA TRANSIZIONE ENERGETICA

Ordine Ing. Brindisi n. 803
Via Del Lavoro, 15/D - 72100 Brindisi (BR)

pantile.gianluca@ingpec.eu

info@isitren.com

cell. +39 347 1939994 - tel./fax +39 0831 548001

Timbro e firma:



Scala N.A. in A4

Data	Revisione	DESCRIZIONE	Elaborazione	Verifica e controllo
10.05.2023	0	PRIMA EMISSIONE	ing. Gianluca PANTILE	ing. Maurizio DE DONNO
REVISIONI				

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

INDICE

1	PREMESSA	3
2	IL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKERING	4
3	STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA	5
4	ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA DEGLI AEROGENERATORI IN PROGETTO	10

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

1 PREMESSA

La presente Relazione è stata elaborata allo scopo di descrivere lo studio dell'evoluzione dell'ombra generata, durante il loro esercizio, dai n. 10 aerogeneratori tripala ad asse orizzontale di marca VESTAS, modello EnVentus V150 da 6,0 MW cadauno, costituenti l'impianto eolico della potenza complessiva di 60,0 MW che la Società V-RIDIUM WIND MOLISE 1 S.r.l. intende realizzare in area agricola dei Comuni di Acquaviva Collecroce (CB), San Felice del Molise (CB) e Tavenna (CB).

La figura seguente rappresenta l'inquadramento territoriale delle opere in progetto su base ortofotografica:



Figura 1
Inquadramento territoriale delle opere su base ortofotografica

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

I centri abitati di Palata (CB), Tavenna (CB), San Felice del Molise (CB), Acquaviva Collecroce (CB) e Mafalda (CB), si trovano rispettivamente a circa 2,3 km ad EST, 2,0 km a NORD-EST, 1,8 km a SUD-OVEST, 1,7 km a SUD-EST ed a circa 2,5 km a NORD-OVEST dai relativi e rispettivi aerogeneratori più prossimi.

2 IL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKERING

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

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

Dal punto di vista di un recettore, dove per recettore dobbiamo intendere un luogo adibito alla permanenza prolungata di persone, lo shadow flickering si manifesta in una variazione ciclica dell'intensità luminosa: in presenza di luce solare diretta, un recettore localizzato nella zona d'ombra indotta dal rotore, sarà investito da un continuo alternarsi di luce diretta ed ombra, causato dalla proiezione delle ombre dalle pale in movimento.

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

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

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

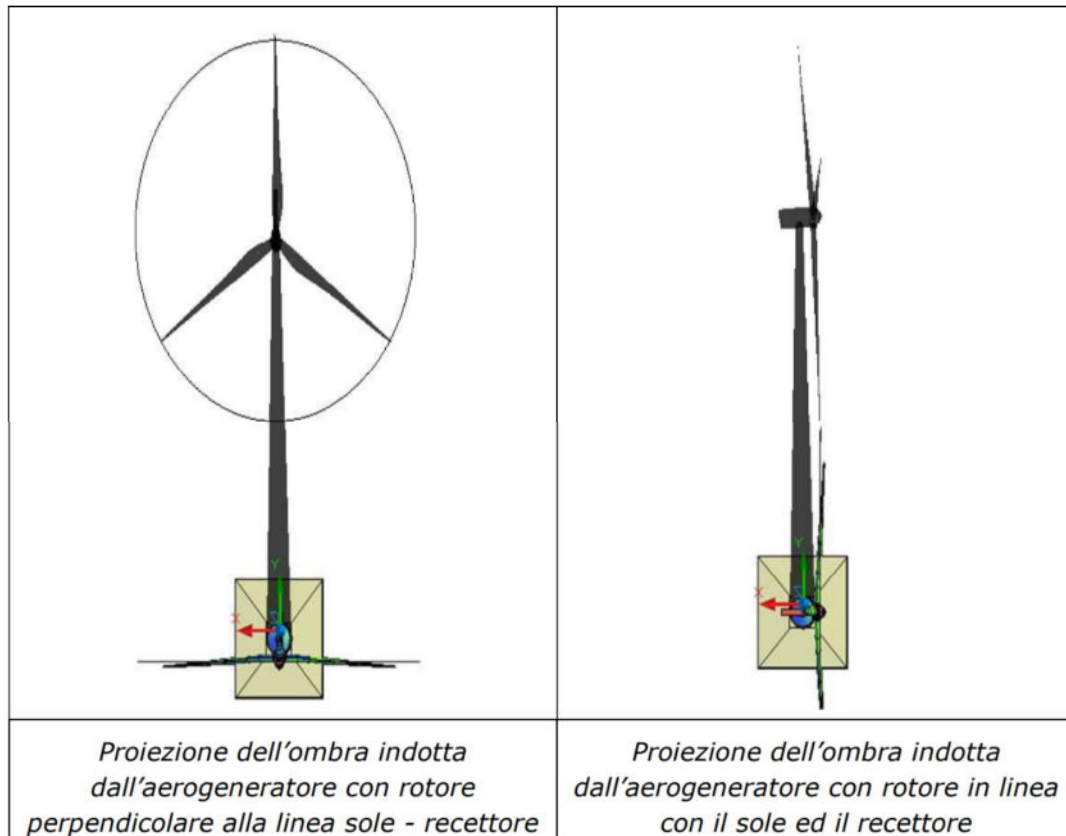


Figura 2
Rappresentazione della proiezione dell'ombra con rotore rispettivamente perpendicolare ed allineato con la direzione sole-recettore

3 STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA

In ciascun istante, la posizione del sole rispetto alla terra può essere definita per mezzo di due angoli, detti anche coordinate angolari "astronomiche" δ_0 e θ_0 , rispetto ad un riferimento cartesiano:

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

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

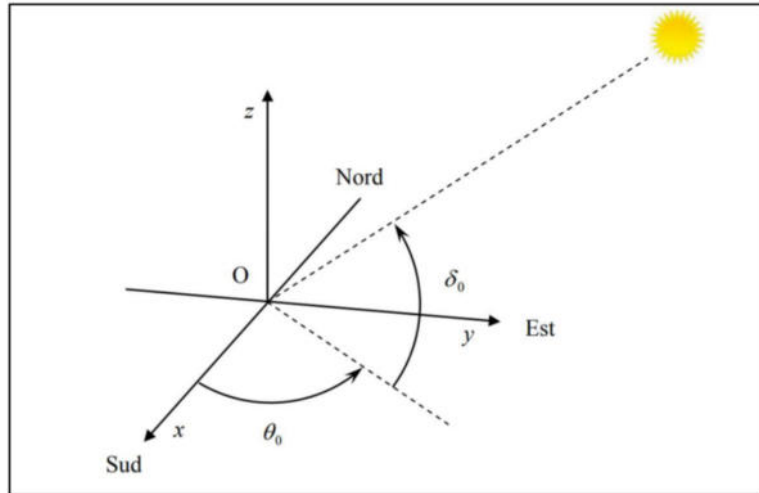


Figura 3
Coordinate solari astronomiche

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

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

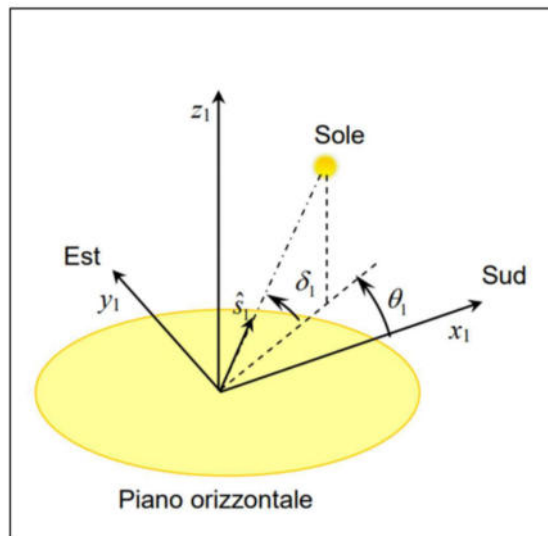


Figura 4
Coordinate solari locali

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

Dunque, avendo fissato giorno dell'anno, ora (rispetto all'ora solare del luogo considerato) e latitudine, in ogni istante, è possibile calcolare i due angoli δ_1 e θ_1 che definiscono la posizione del sole rispetto al riferimento locale. Nota la posizione del sole e le caratteristiche geometriche dell'aerogeneratore (altezza all'HUB, diametro del rotore), è possibile definire l'area in cui si osserverà il fenomeno dello shadow flickering, che è coincidente con la proiezione al suolo del rotore secondo la direzione di origine dei raggi solari.

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

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

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

- il semiasse maggiore pari alla metà della lunghezza indicata con "SHADOW FLICKERING" nella vista laterale seguente;
- il semiasse minore pari al raggio del rotore, come evidente dalla vista superiore seguente;
- la posizione nel riferimento cartesiano avente assi coincidenti con il SUD dipendente dall'angolo θ_1 .

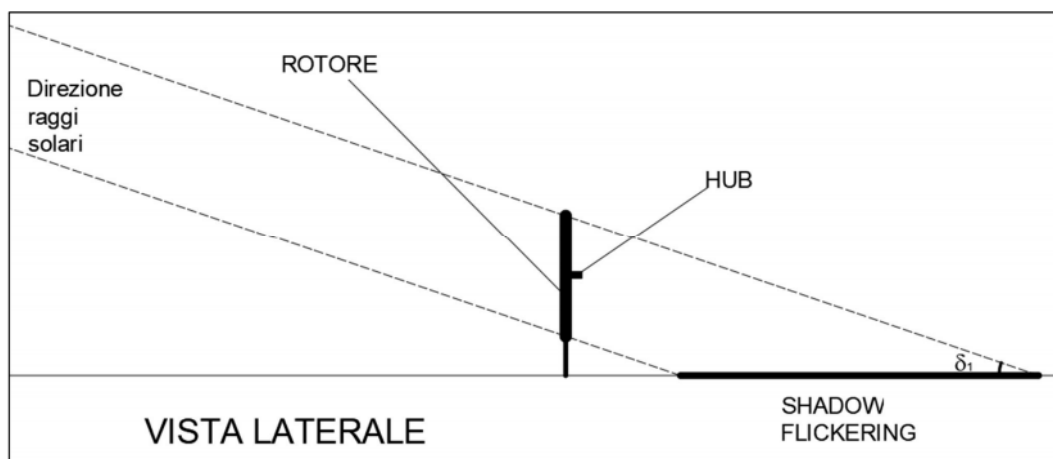


Figura 5
Vista laterale (rispetto al rotore) del fenomeno di shadow flickering

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

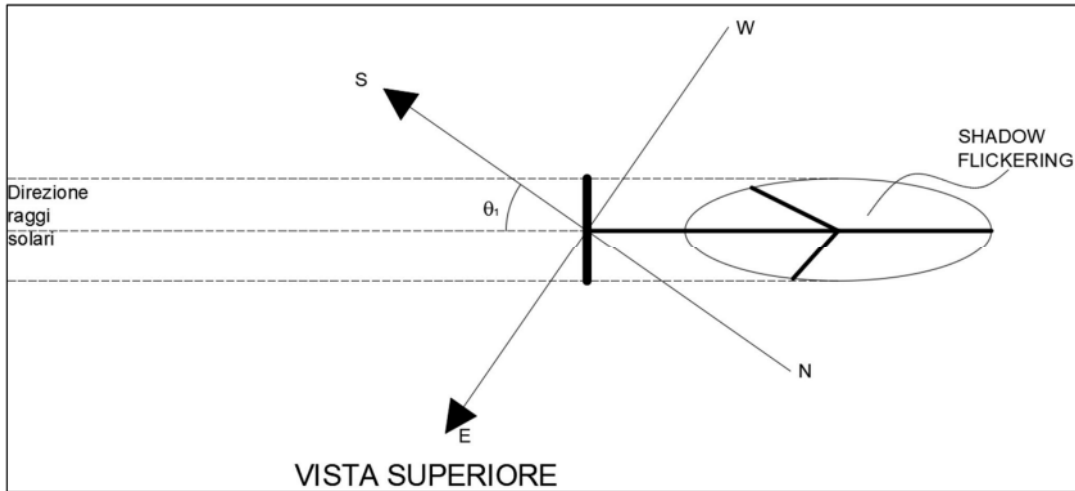


Figura 6
Vista superiore del fenomeno di shadow flickering

Ovviamente la vista precedente può anche essere resa, per sola chiarezza grafica e senza che nulla cambi nella sostanza, con gli assi cartesiani locali orientati secondo le direzioni orizzontale e verticale:

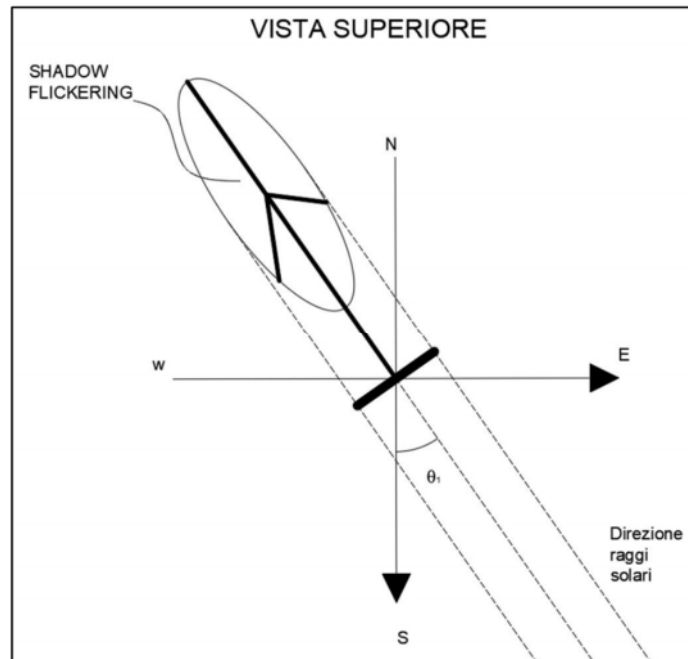


Figura 7
Vista superiore del fenomeno di shadow flickering (rotazione con asse SUD verticale)

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

Maggiori dettagli sul calcolo analitico della posizione del sole sono disponibili, fra i tanti riferimenti possibili, nella pubblicazione dell'ENEA dal titolo "CALCOLO ANALITICO DELLA POSIZIONE DEL SOLE PER L'ALLINEAMENTO DI IMPIANTI SOLARI ED ALTRE APPLICAZIONI" cui si rimanda per maggiori dettagli. Sono altresì disponibili strumenti opensource che permettono di verificare la posizione del sole per una determinata località.

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

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

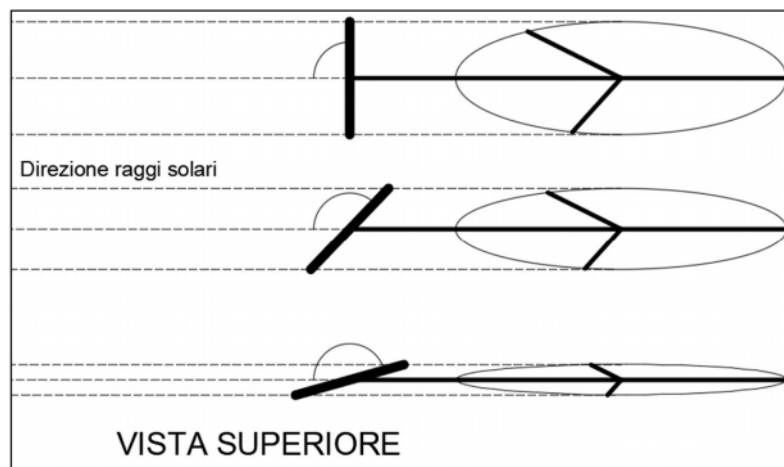


Figura 8
Effetto dell'angolo tra la direzione dei raggi solari ed il rotore sull'ampiezza dello shadow flickering

Questa dipendenza si può esprimere secondo quanto riportato nel grafico seguente:

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

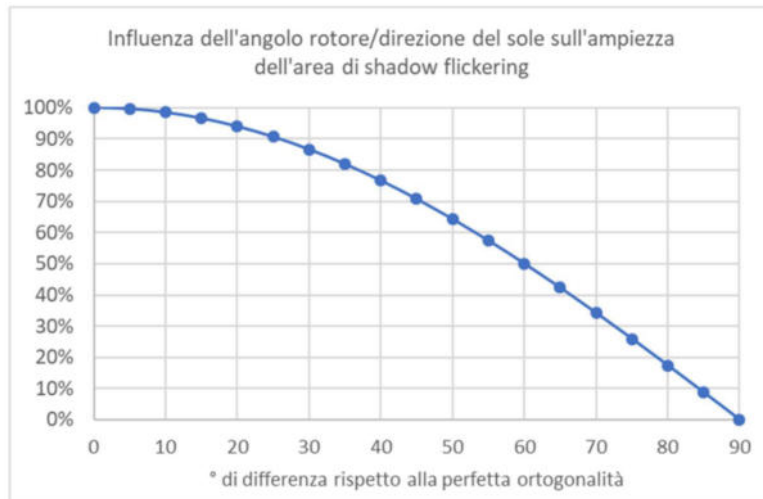


Figura 9

Variazione dell'ampiezza dello shadow flickering in funzione della differenza di angolo tra la direzione dei raggi solari ed il rotore rispetto alla ortogonalità

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

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

4 ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA DEGLI AEROGENERATORI IN PROGETTO

Alla luce di quanto sopra, si è proceduto ad effettuare il calcolo dell'area di shadow flickering in ogni istante temporale di ogni giorno dell'anno (con passo di ¼ d'ora), secondo la procedura seguente:

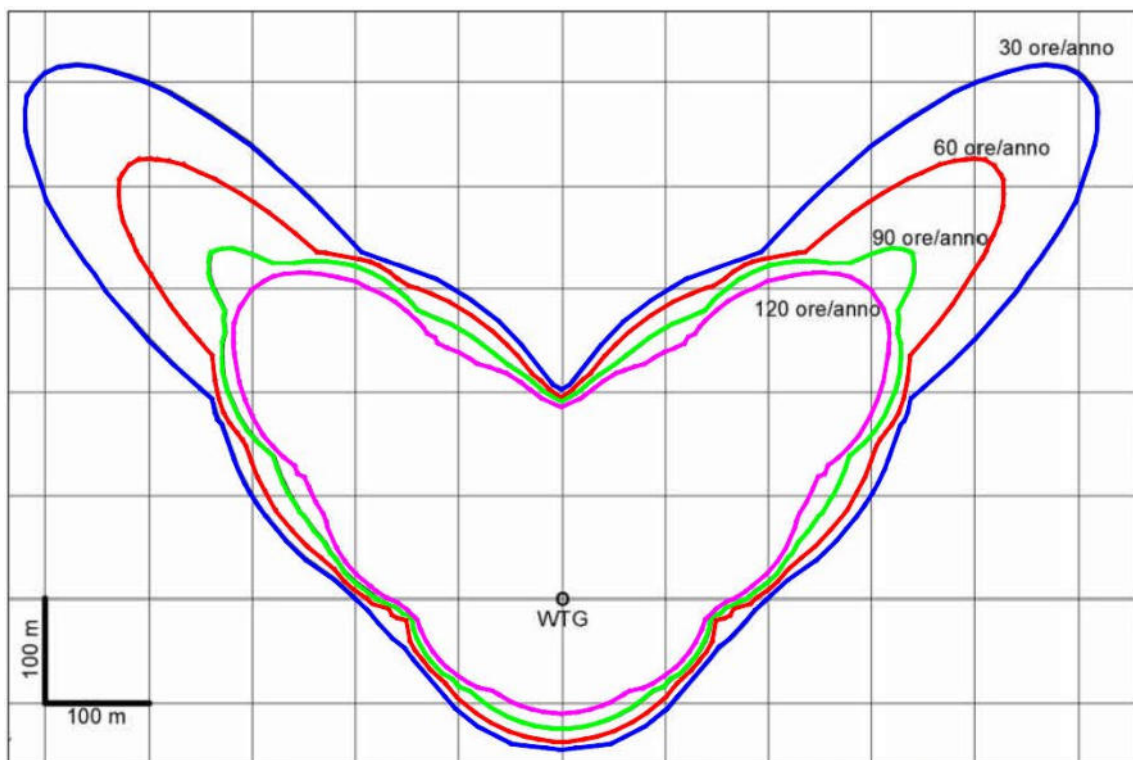
1. determinazione della posizione del sole (angoli δ_1 e θ_1) in funzione della latitudine del luogo, del giorno e dell'ora;
2. calcolo, nel sistema di riferimento locale (N-S; W-E) avente centro nell'asse dell'aerogeneratore:
 - della posizione degli estremi dell'ellisse di shadow flickering;
 - dei fuochi di tale ellisse;

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

3. verifica, per ciascun punto del dominio di calcolo, dell'appartenenza o meno del punto all'ellisse di flickering. (l'appartenenza all'ellisse può essere verificata semplicemente sommando le distanze del punto considerato dai due fuochi dell'ellisse e confrontandola con il doppio del semiasse maggiore dell'ellisse);

4. in caso di verifica positiva, aggiunta di $\frac{1}{4}$ d'ora al conteggio del tempo annuale di flickering per il punto considerato.

Con passo temporale di $\frac{1}{4}$ d'ora questa verifica è stata effettuata, per l'intero anno, a passi spaziali di 10 metri nell'intorno dell'aerogeneratore ottenendo i risultati mostrati nella figura seguente:



Le ipotesi di calcolo adottate sono state:

- Latitudine: $41,89^\circ$
- Altezza hub: 148 m;
- Diametro rotore: 150 m.

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

I risultati del calcolo sono mostrati, per ciascun aerogeneratore, negli stralci cartografici su ortofoto alle pagine seguenti.

Dall'analisi delle immagini si conclude che nel caso degli aerogeneratori WTG 01, WTG 02 e WTG 04, WTG 05, WTG 06, WTG 08, WTG 09, WTG 10 non sono presenti abitazioni o comunque edifici adibiti alla permanenza prolungata di persone entro l'area rappresentativa dell'influenza del fenomeno di shadow flickering.

Nel caso dell'aerogeneratore WTG 03 sono presenti i seguenti potenziali recettori:

Comune di Acquaviva Collecroce (CB)

- **Edificio di categoria D10** (Fabbricati per funzioni produttive connesse all'agricoltura)
Fg. 2, P.IIa 211;
- **Edificio di categoria F02** (Unità collabenti)
Fg. 2, P.IIa 193;
- **Edificio di categoria C02** (Magazzini e locali deposito), **Classe 01**
Fg. 2, P.IIa 213
- **Edificio di categoria C02** (Magazzini e locali deposito), **Classe 01**
Fg. 2, P.IIa 215;
- **Edificio di categoria C02** (Magazzini e locali deposito), **Classe 01**
Fg. 2, P.IIa 209.

che risulta interessato dal relativo fenomeno di shadow flickering per un numero di ore annue pari a 90.

Nel caso dell'aerogeneratore WTG 07 sono presenti i seguenti potenziali recettori:

Comune di San Felice del Molise (CB)

- **Edificio di categoria D10** (Fabbricati per funzioni produttive connesse all'agricoltura)
Fg. 7, P.IIa 361, sub. 1;
- **Edificio di categoria F02** (Unità collabenti)
Fg. 7, P.IIa 361, sub. 2;

che risulta interessato dal relativo fenomeno di shadow flickering per un numero di ore annue pari a 30.

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

Si tenga conto, tuttavia, che sono state in ogni caso abbondantemente rispettate, nel posizionamento di ciascun aerogeneratore, le distanze dalle abitazioni o edifici produttivi indicate al Paragrafo 5.3, lettera a) del D.M. 10/09/2010.

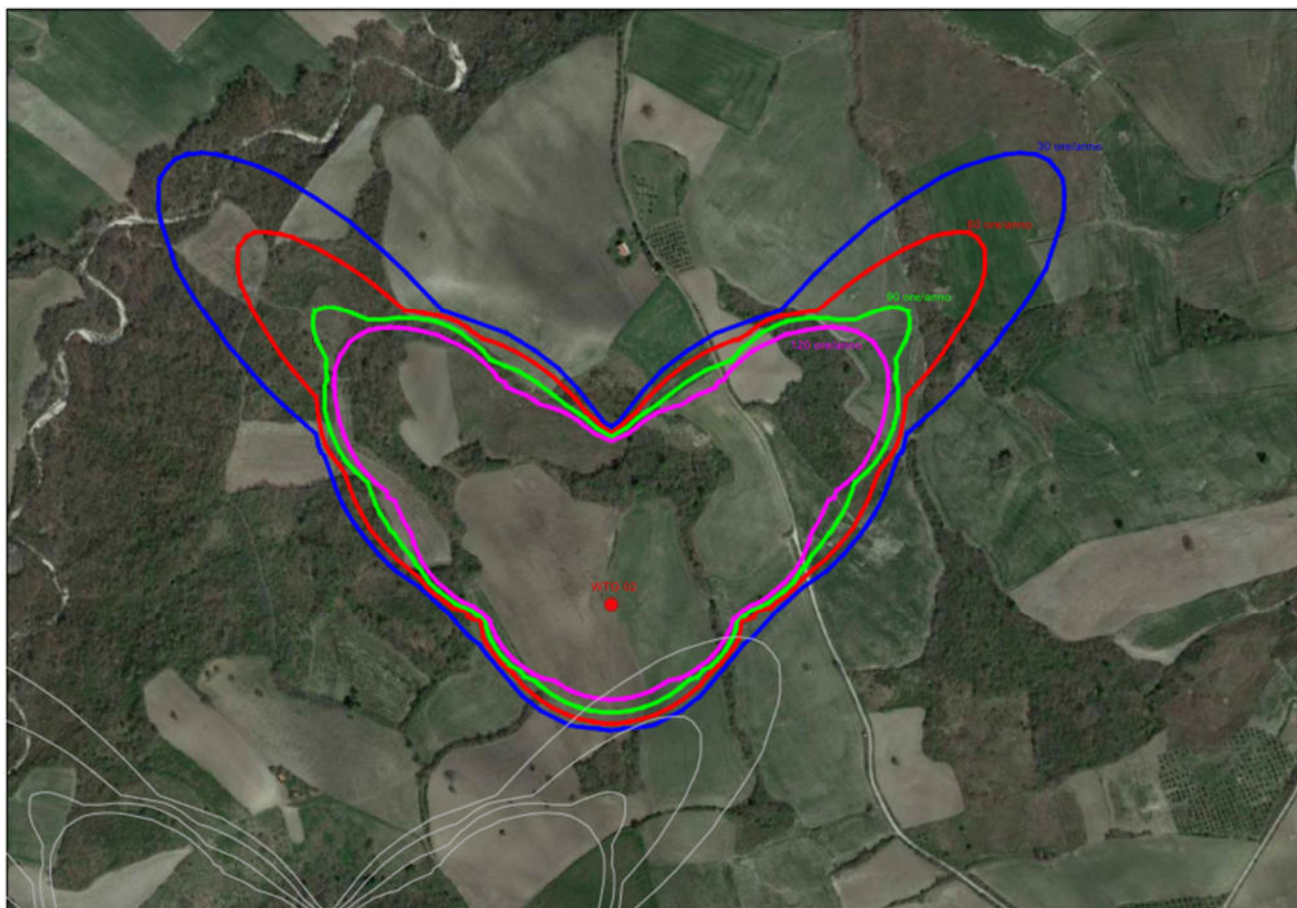
Seguono stralci riepilogativi:

WTG 01



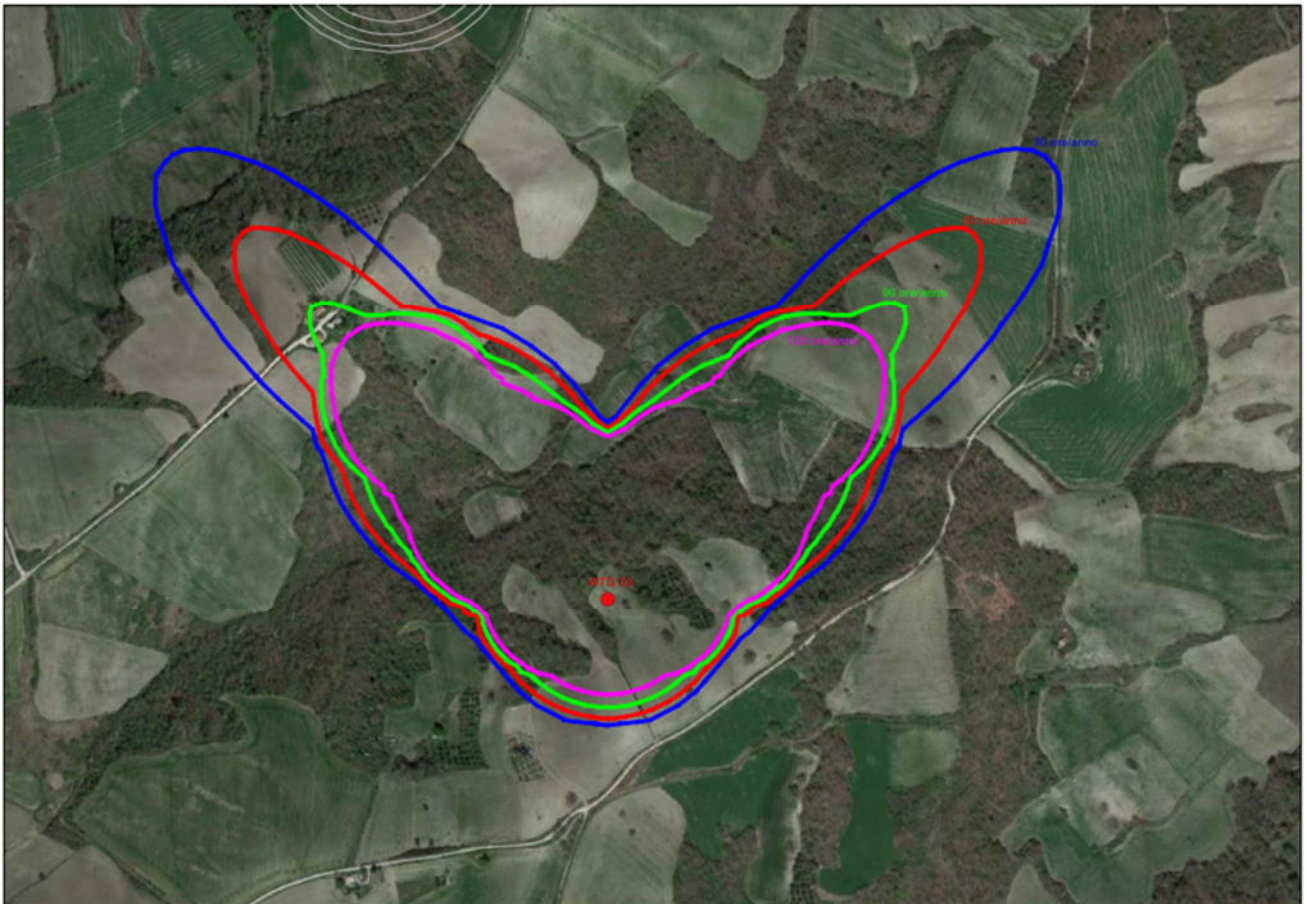
Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

WTG 02



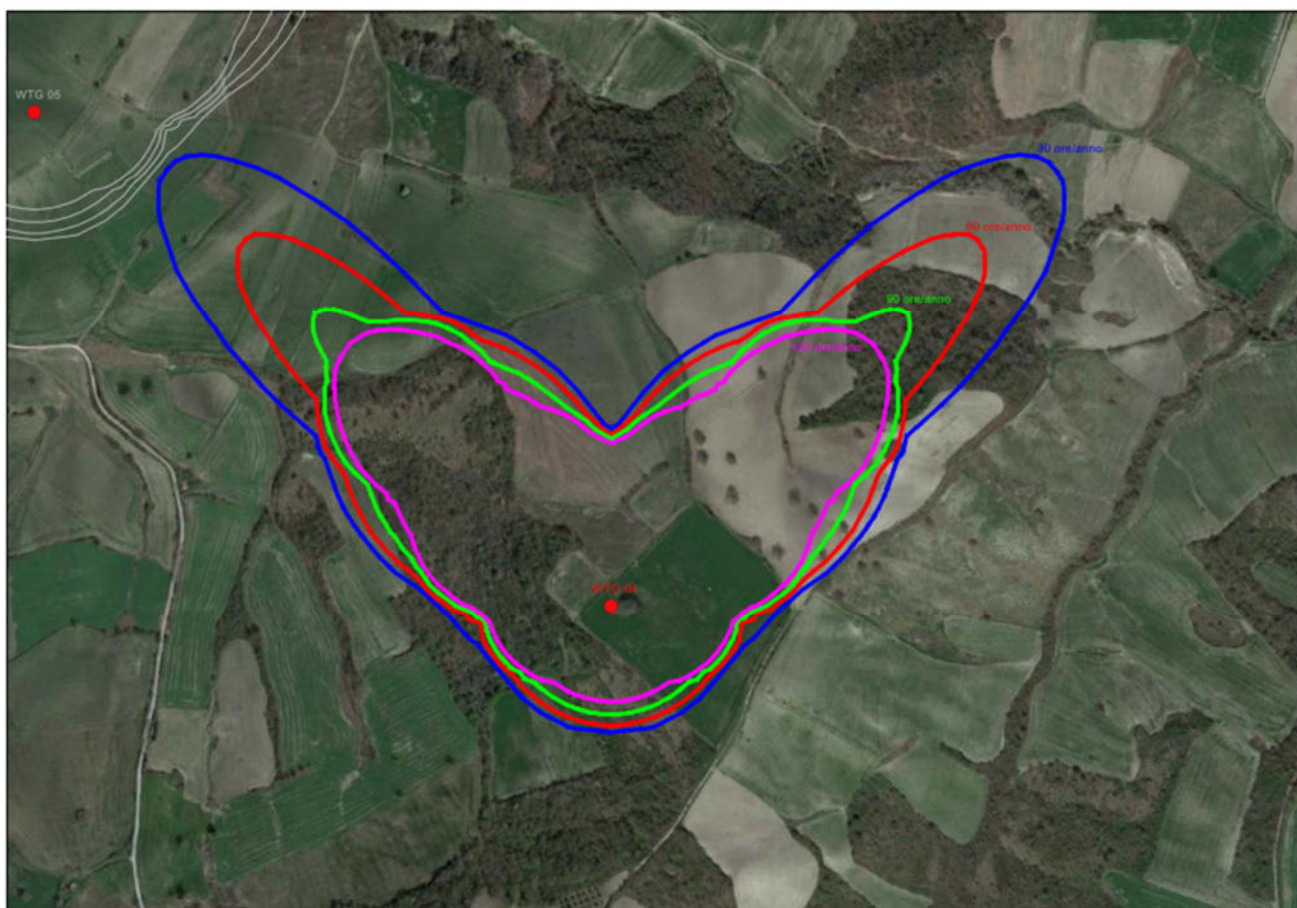
Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

WTG 03



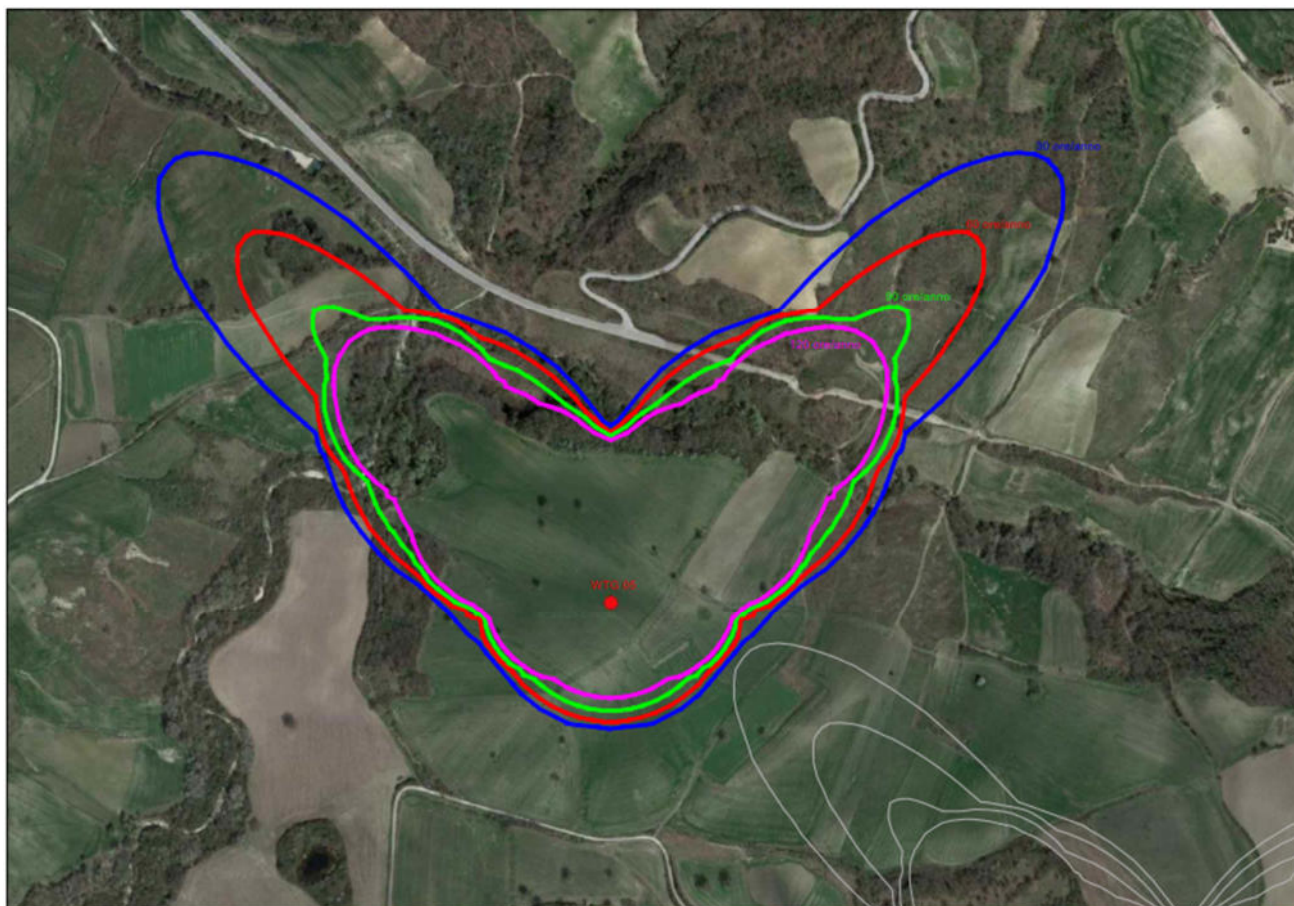
Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

WTG 04



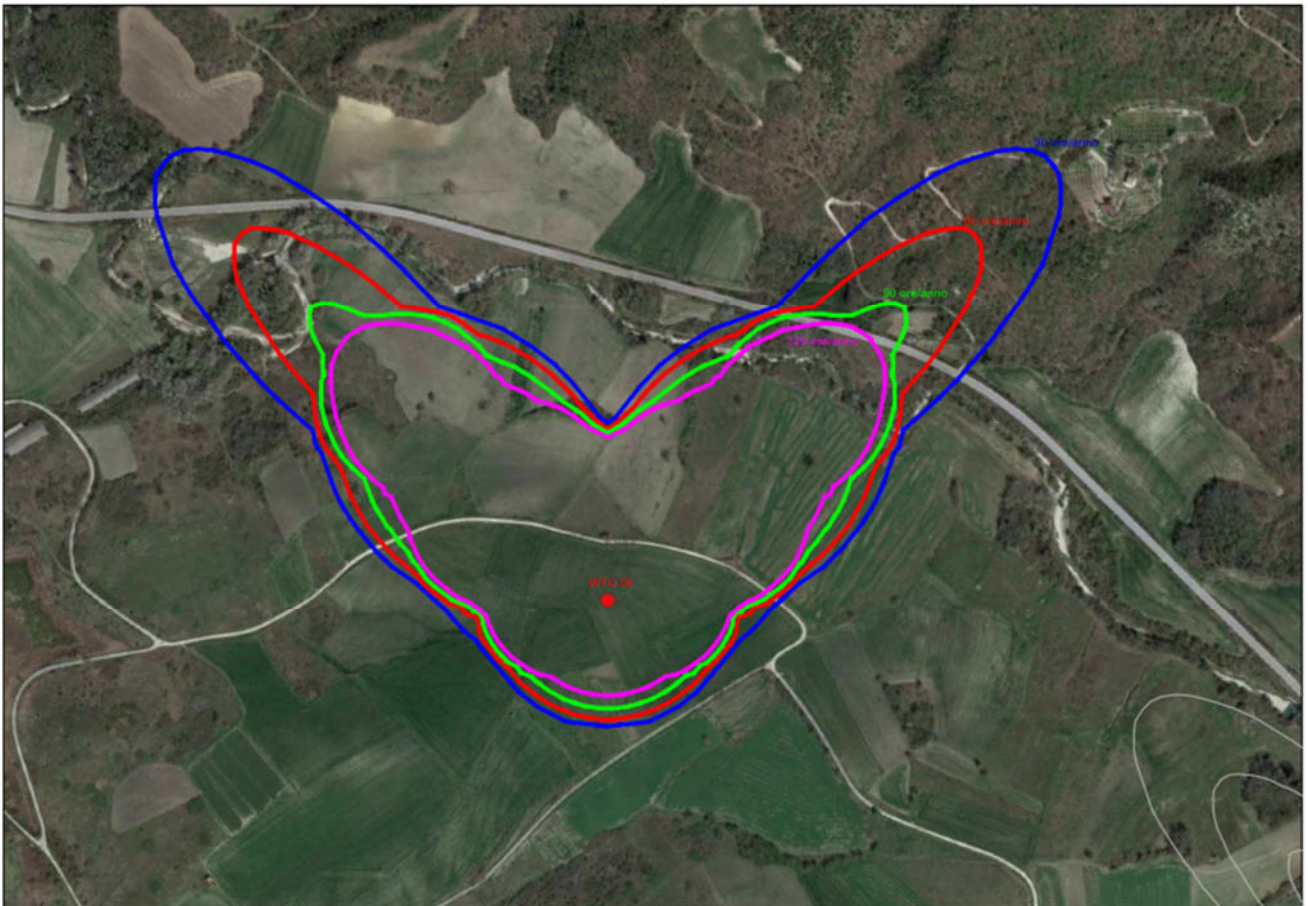
Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

WTG 05



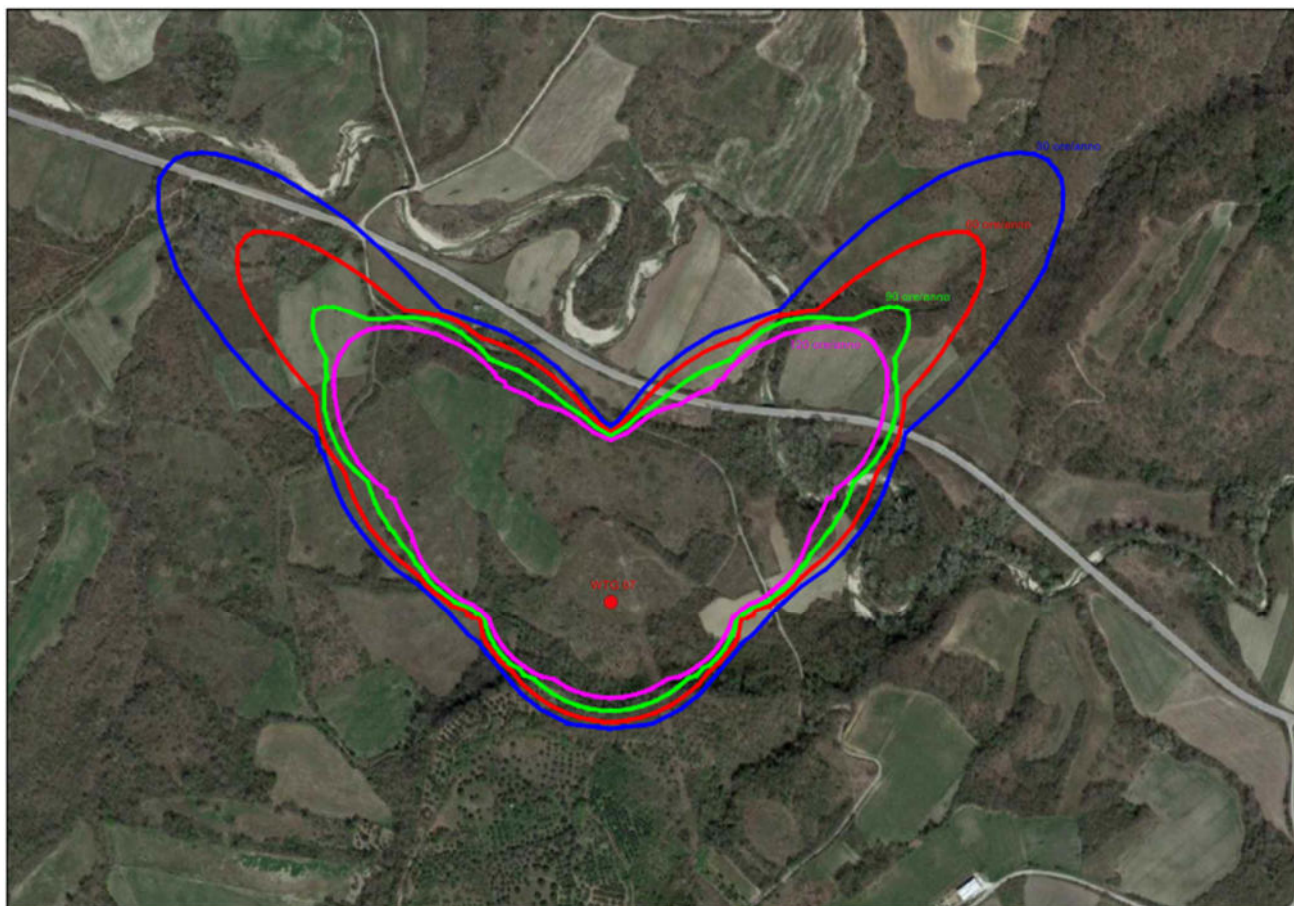
Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

WTG 06



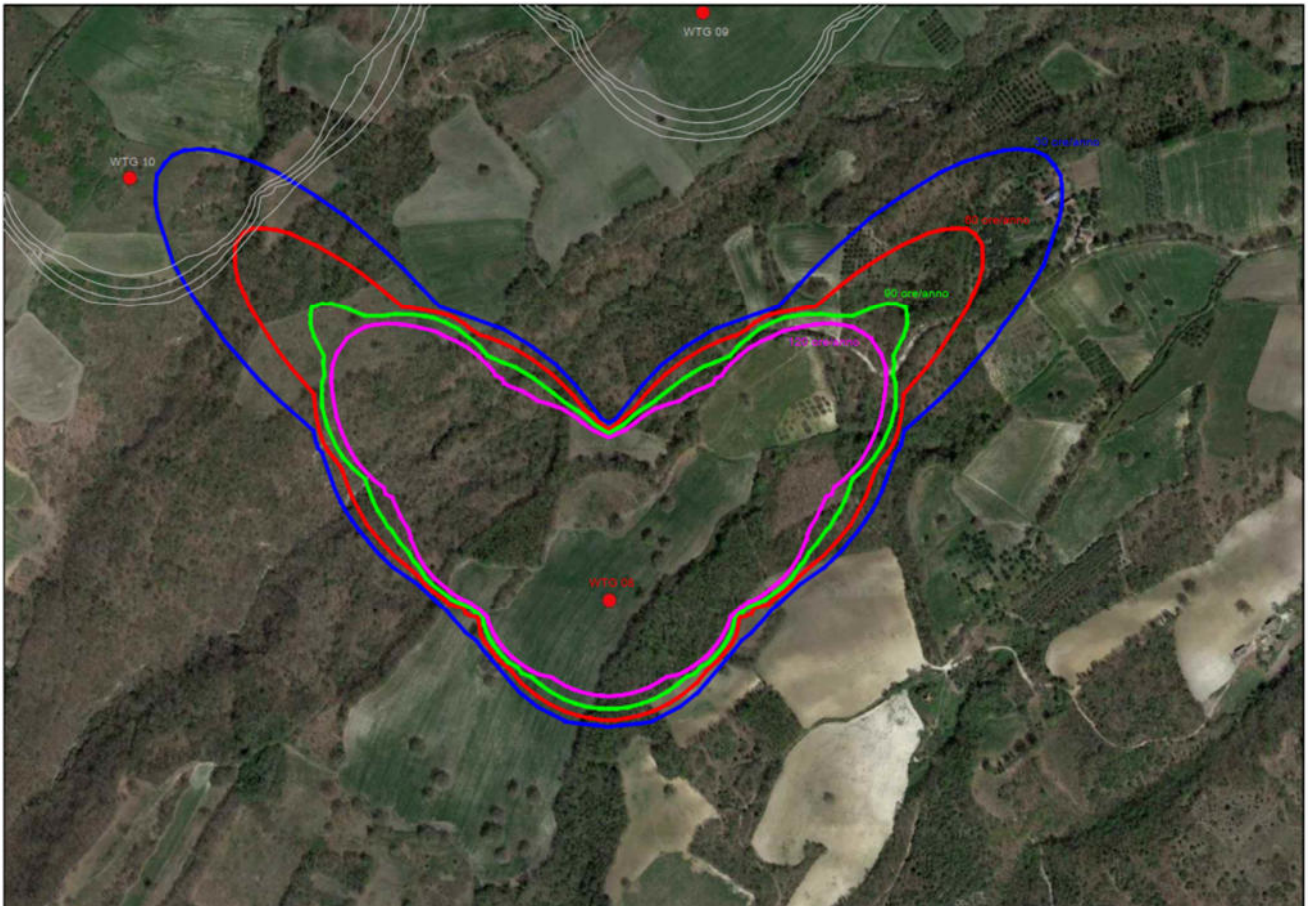
Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

WTG 07



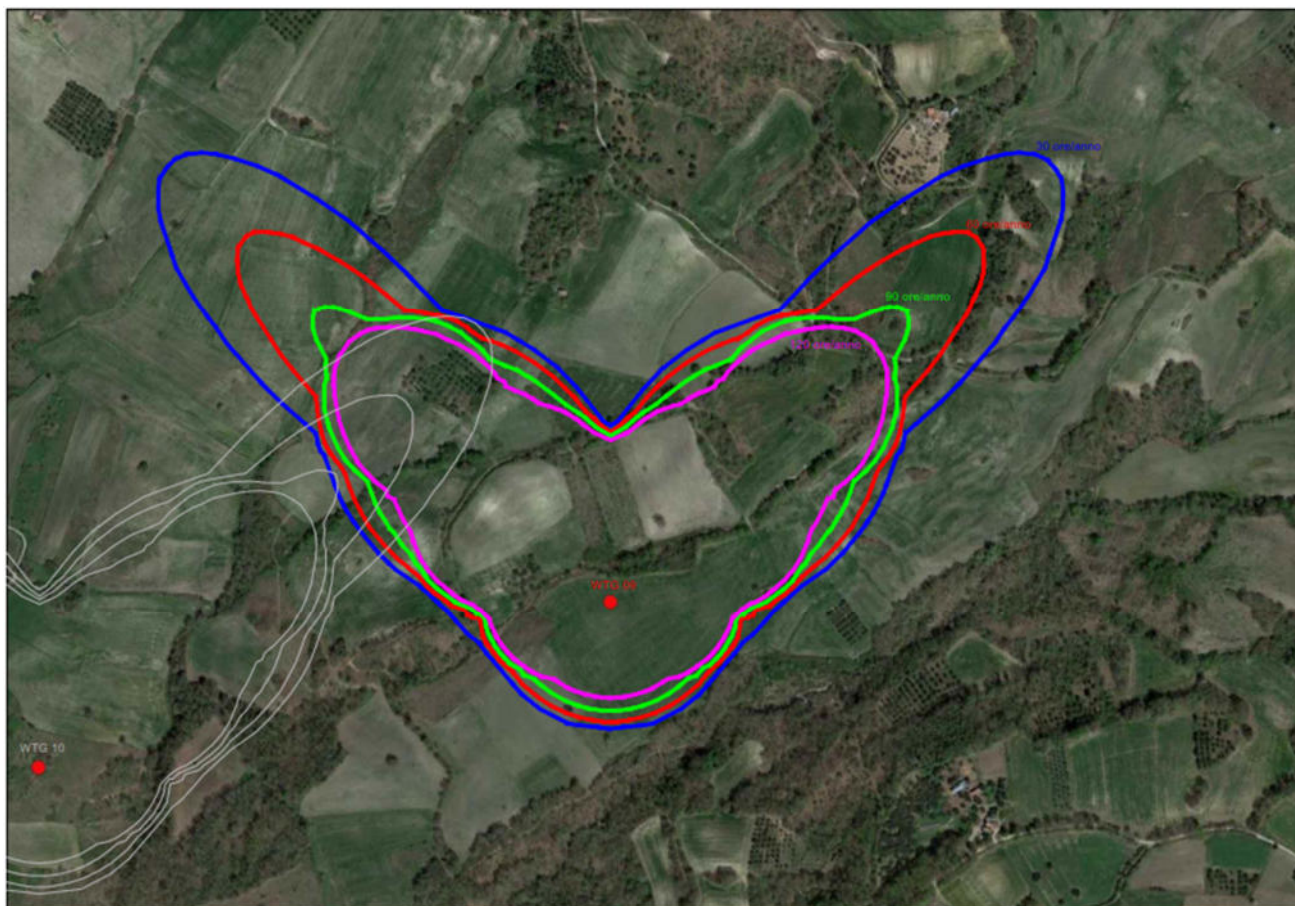
Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

WTG 08



Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

WTG 09



Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2AC	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 60 MW	R.30

WTG 10

