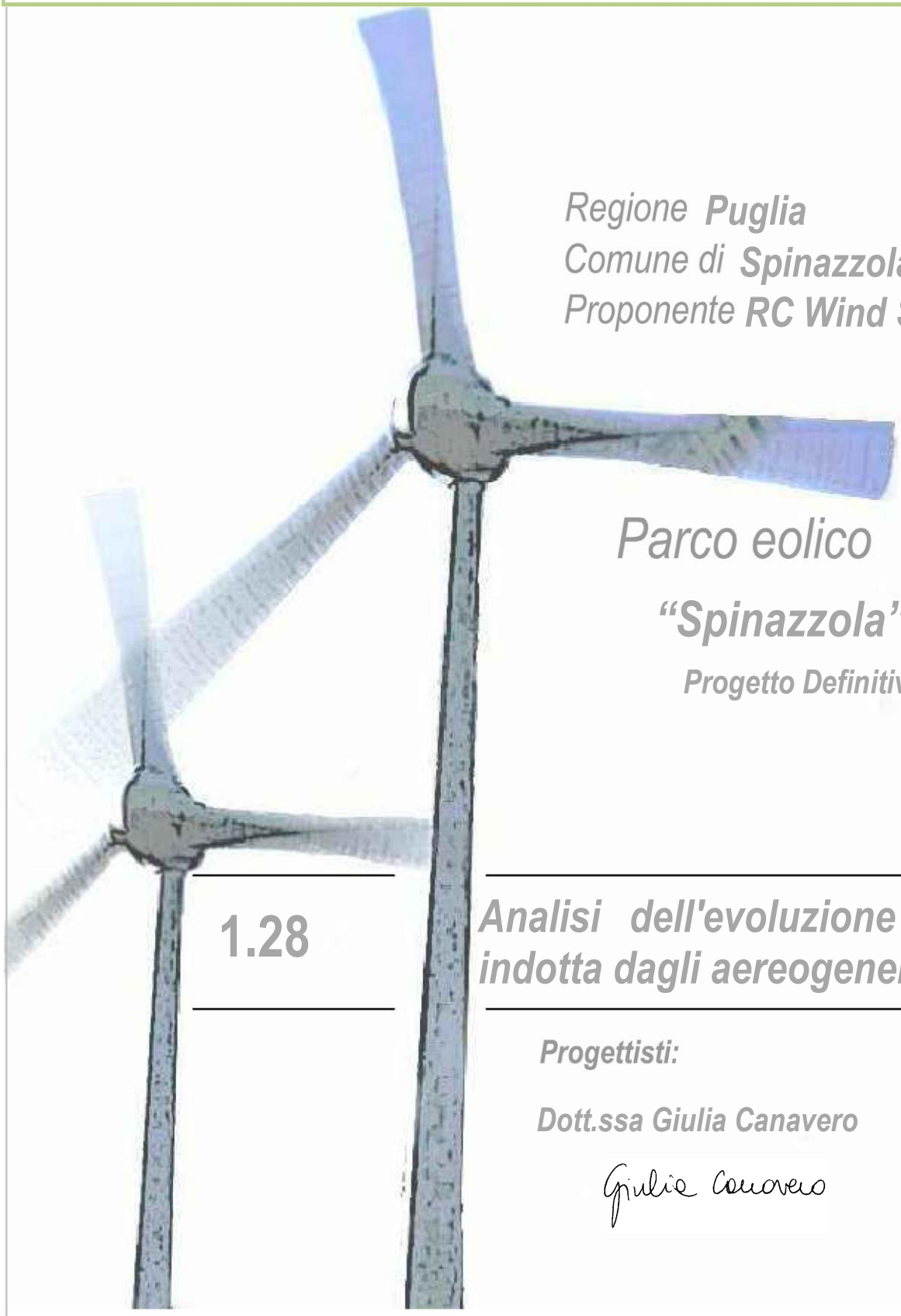
RCWIND

Sede legale: Via Nino Bixio n. 30 – 20129 Milano, Italia
Iscritta al Registro Imprese di Milano REA n. 2009261
Cod. fisc. e P.IVA 09313850969



Regione **Puglia**
Comune di **Spinazzola (BT)**
Proponente **RC Wind S.r.l.**

Parco eolico

"Spinazzola"

Progetto Definitivo

1.28

Analisi dell'evoluzione dell'ombra indotta dagli aereogeneratori

Progettisti:

Dott.ssa Giulia Canavero

Giulia Canavero

Data	Rev.	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato
25.05.2018	A	Prima emissione	Canavero	Canavero	Fazzino

Comm. 90 **Elaborato:** SPN-1.28-A_Analisi evoluzione ombra

E' vietata la riproduzione del presente documento, anche parziale, con qualsiasi mezzo, senza l'autorizzazione di F.E.R.A. S.r.l.

INDICE

INDICE DELLE FIGURE II

1. INTRODUZIONE 4

2. BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO 4

3. ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA 5

3.1. MODELLO DI SIMULAZIONE 6

3.2. MODELLO DI SIMULAZIONE 3 D 11

4. INTERFERENZA DELL'OMBRA CON GLI EDIFICI 17

5. INTERFERENZA DELL'OMBRA CON LE STRADE 19

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Lay-out su ortofoto 4
Figura 2 - Lunghezza dell'ombra a mezzogiorno in Friuli 5
Figura 3 - Percorso del sole in corrispondenza di AG1 durante l'anno e indicazione dei raggi solari il 20 marzo o 22 settembre (equinozio di primavera o di autunno)..... 6
Figura 4 - Grafico polare del percorso del sole in corrispondenza di AG1 da cui si possono ricavare l'altezza e la posizione del sole alle diverse ore del giorno durante l'anno... 7
Figura 5 - Grafico cartesiano del percorso del sole in corrispondenza di AG1 da cui si possono ricavare l'altezza e la posizione del sole alle diverse ore del giorno durante l'anno..... 8
Figura 6 – Rappresentazione dell'ombra per un palo di 181 m e uno di 112 m il 21 giugno (rosso/arancione), il 21 dicembre (nero/grigio), il 20 marzo e/o 22 settembre (verde). In celeste l'area impegnata negli altri giorni dell'anno 10
Figura 7 - Ombra associata a ciascun aerogeneratore. La parte più scura rappresenta l'ombra del palo (112 m), mentre la restante parte è l'ombra relativa alla componente in movimento delle pale 10
Figura 8 - Modello 3D della turbina (138 m diametro e 112 m quota mozzo).....11
Figura 9 - Modello 3D della turbina e coordinate geografiche.....12
Figura 10 - Simulazione dell'ombra il 20 marzo alle 7.45 (lungh. ombra 396 m) 13
Figura 11 - Simulazione dell'ombra il 20 marzo alle 16.20 (lungh. ombra 440 m) 14
Figura 12 - Simulazione dell'ombra il 21 giugno alle 7.15 (lungh. ombra 230 m) 14
Figura 13 - Simulazione dell'ombra il 22 settembre h 8.30 (lungh. ombra 227 m) 15
Figura 14 - Simulazione dell'ombra il 21 dicembre h 9.40 (lungh. ombra 405 m).....15
Figura 15 -Simulazione dell'ombra il 21 dicembre h 14.00 (lungh. ombra 411 m) 16
Figura 16 - Ortofoto in cui sono stati identificati tutti gli edifici, layout di impianto e ombra annuale di tutte le turbine a progetto 17
Figura 17 - Dettaglio su h1 e h2 18
Figura 19 - Ortofoto in cui sono state evidenziate le strade (in giallo), layout di impianto e ombra "invernale" di tutte le turbine a progetto 19
Figura 20 – Dettaglio dell'ombra di AG9 sulla strada a nord della turbina.....19
Figura 21 – Medie mensili riferite agli ultimi 30 anni a Spinazzola (www.ilmeteo.it).....20

1. INTRODUZIONE

Il presente documento analizza l'evoluzione dell'ombra (shadow flickering) indotta dagli aereogeneratori nell'area in cui sono inseriti.

2. BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto qui presentato consiste nella posa di 9 aerogeneratori di potenza nominale massima pari a 3,6 MW per un totale di 32,4 MW situati nel comune di Spinazzola (BAT).

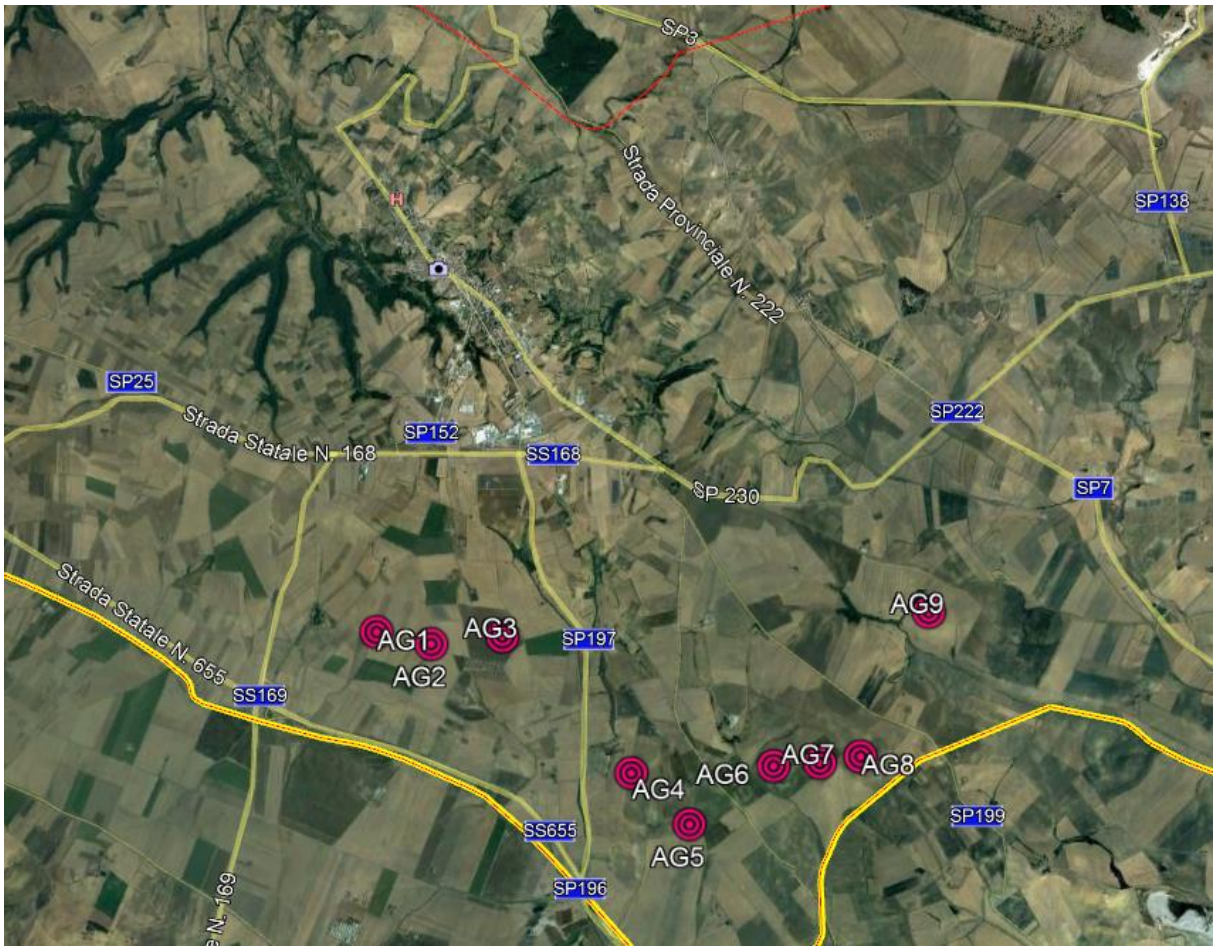


Figura 1 - Lay-out su ortofoto

La turbina di riferimento ha altezza al mozzo pari a 112 m e diametro del rotore pari a 138 m.

3. ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA

L'ombra è per definizione una zona di oscurità o minore luminosità prodotta dall'interposizione di un corpo opaco tra essa e la sorgente di luce (nel nostro caso il Sole).

Nell'arco del giorno l'ombra varia in funzione della posizione del sole rispetto all'orizzonte e poiché durante un anno la posizione relativa dell'asse terrestre rispetto ai raggi del Sole cambia, in diversi momenti dell'anno ci ritroviamo con diverse angolazioni di incidenza dei raggi solari, e quindi con ombre diverse anche durante l'anno.

Il giorno del solstizio d'inverno il Sole è basso sull'orizzonte e le ombre sono le più lunghe dell'anno, mentre nel giorno del solstizio d'estate il Sole è alto sull'orizzonte e le ombre sono le più corte. Nei giorni degli equinozi si hanno situazioni intermedie.

In ogni caso in Italia il Sole non è mai a picco e anche d'estate ci sono ombre a mezzogiorno. La lunghezza delle ombre varia dunque durante una giornata tra il minimo di mezzogiorno e l'infinito nel momento del tramonto quando il Sole è all'orizzonte.

La lunghezza dell'ombra a mezzogiorno varia a seconda delle stagioni e della latitudine.

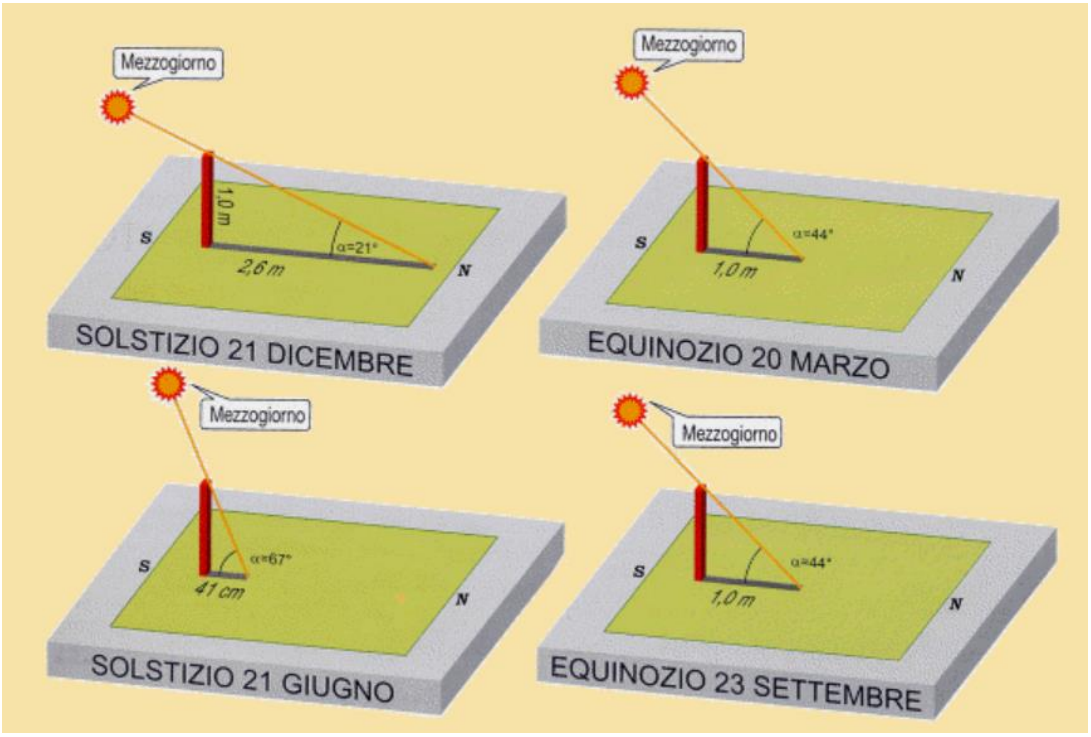


Figura 2 - Lunghezza dell'ombra a mezzogiorno in Friuli

Per rappresentare l'andamento dell'ombra nell'anno si devono calcolare le lunghezze delle ombre nelle giornate ritenute rappresentative dei casi "estremi", cioè il 20 marzo e/o il 22 settembre (equinozio di primavera e d'autunno), 21 giugno ed il 21 dicembre (solstizio estivo ed invernale).

3.1. MODELLO DI SIMULAZIONE

Al fine di analizzare l'evoluzione dell'ombra durante l'anno e nell'arco della giornata si è calcolata la lunghezza dell'ombra sulla base dell'altezza del sole (dati presi dal sito internet www.sunearthtools.com e www.meteo.sm) considerando l'aerogeneratore come un palo.

La formula per il calcolo della lunghezza dell'ombra è:

$$L = h / \tan(\text{altezza del sole})$$

dove:

L : Lunghezza dell'ombra

h : altezza dell'oggetto

Poiché le macchine eoliche sono costituite da un sostegno tubolare e da tre pale rotanti si sono effettuati i calcoli per due altezze h diverse:

1. 181 m (112 m di torre e 69 m di pala)
2. 112 m (considerando quindi esclusivamente la torre).

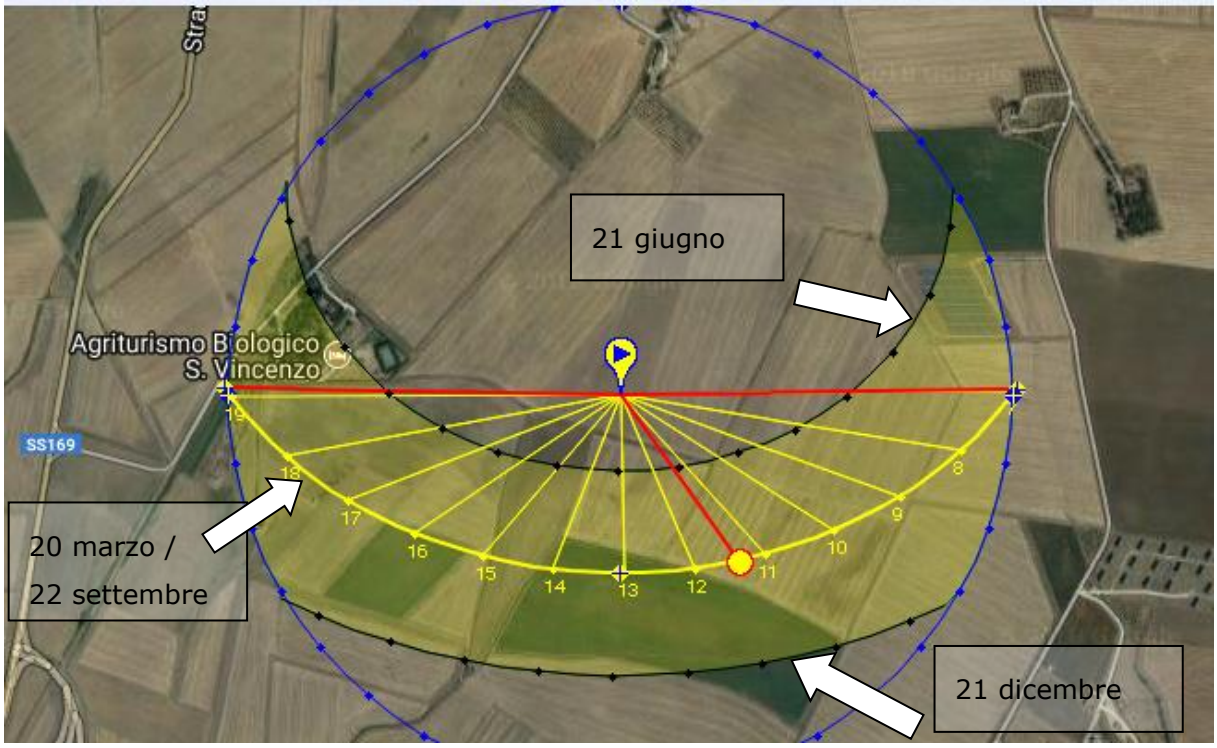


Figura 3 - Percorso del sole in corrispondenza di AG1 durante l'anno e indicazione dei raggi solari il 20 marzo o 22 settembre (equinozio di primavera o di autunno)

La direzione dell'ombra è invece funzione della posizione del sole, cioè opposta alla direzione dei raggi solari.

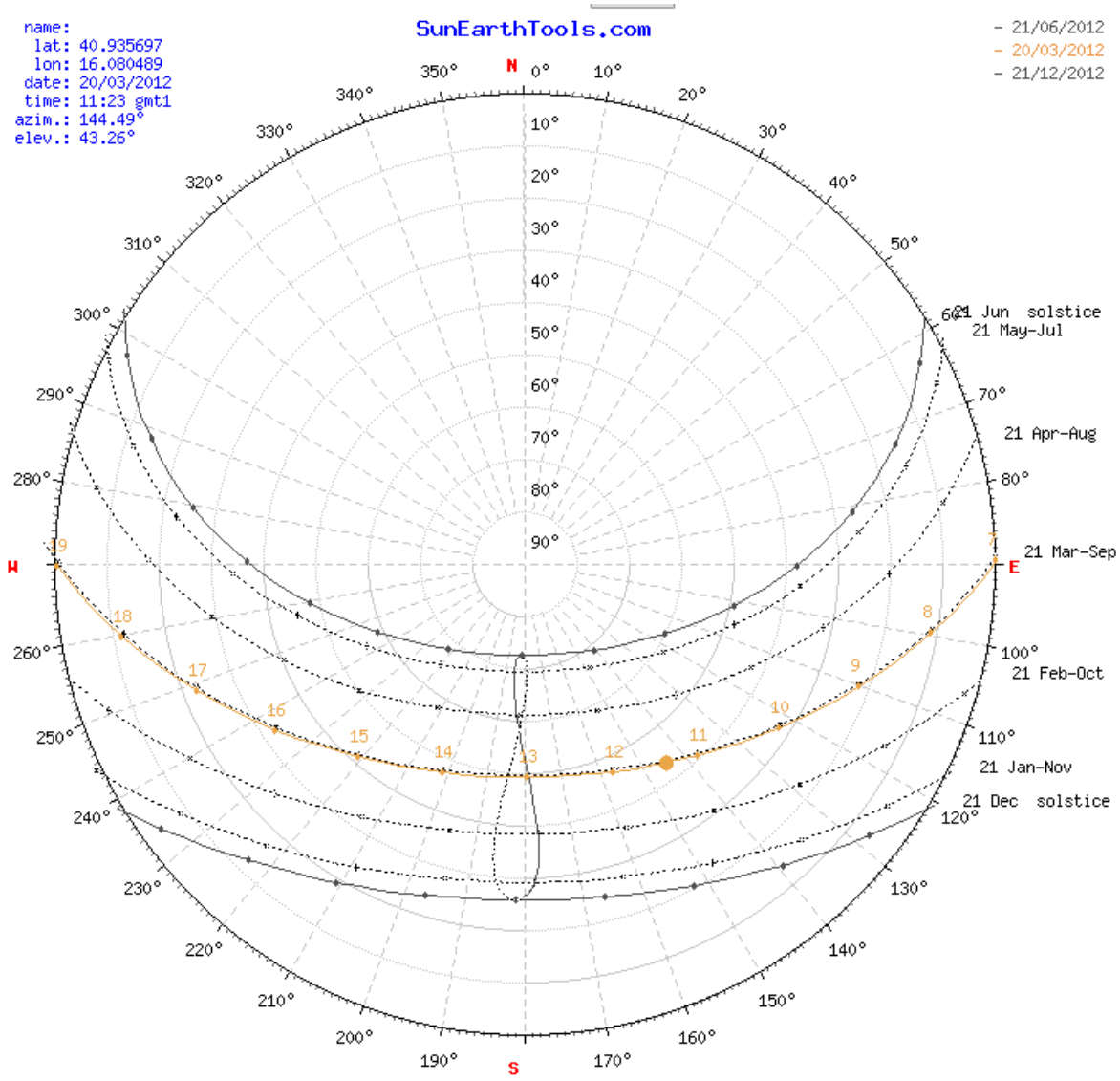


Figura 4 - Grafico polare del percorso del sole in corrispondenza di AG1 da cui si possono ricavare l'altezza e la posizione del sole alle diverse ore del giorno durante l'anno

Tabella 1 – Orari di alba, massima elevazione e tramonto nei giorni del solstizio d'estate e d'inverno ed equinozio di primavera e d'autunno a Spinazzola; (www.meteo.sm)

Giorno	h. alba	h. massima elevazione (transito)	h. tramonto
20-mar	5.55	12.03	18.12
21-giu	5.20	12.58	20.35
22-set	6.40	12.48	18.56
21-dic	7.13	11.54	16.35

Per il calcolo dell'ombra alla mattina e alla sera si è scelto di considerare un'elevazione del sole di 18° perché bisogna considerare quando la posizione del sole è tale da indurre una luminosità sufficiente, che nel caso in esame corrisponde ad un'altezza del sole di almeno 15-20°.

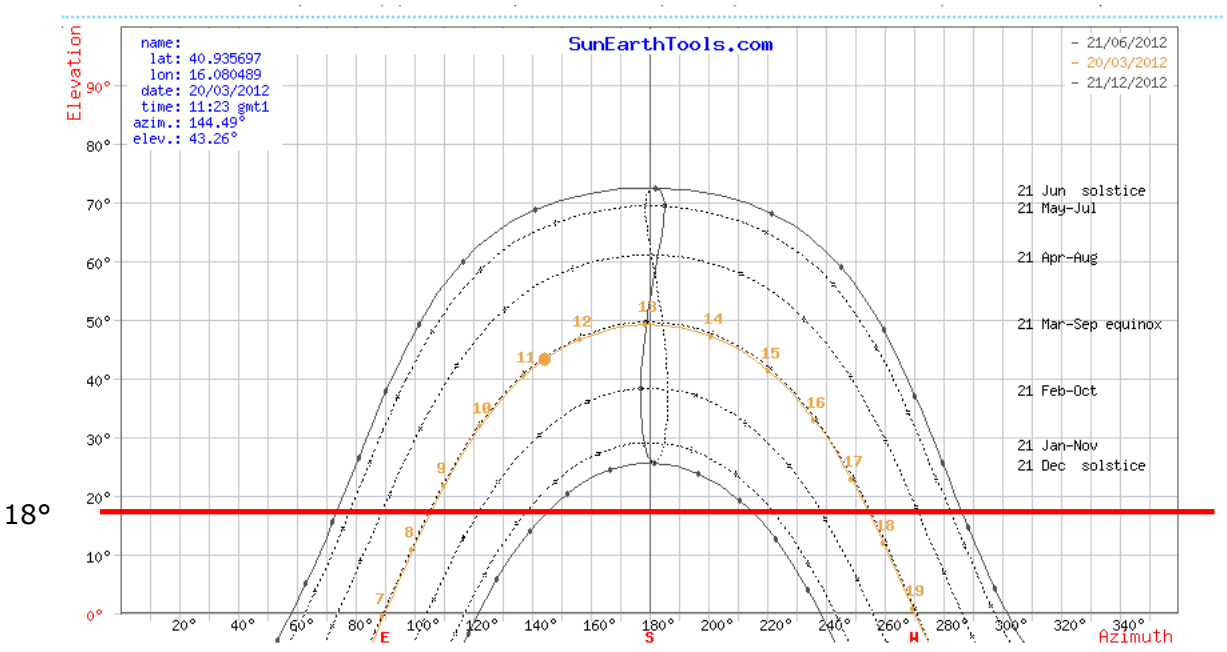


Figura 5 - Grafico cartesiano del percorso del sole in corrispondenza di AG1 da cui si possono ricavare l'altezza e la posizione del sole alle diverse ore del giorno durante l'anno

Tabella 2 - Calcolo della lunghezza dell'ombra in metri nei giorni scelti alla mattina ed orario corrispondente ad un'elevazione del sole di 18°

Giorno	mattina			
	ora	elevazione del sole [°]	lungh ombra per un palo di 181 m [m]	lungh ombra per un palo di 112 m [m]
20-mar / 22-set	8.25	18	557	345
21-giu	6.05	18	557	345
21-dic	9.30	18	557	345

Tabella 3 - Calcolo della lunghezza dell'ombra in metri nei giorni scelti al momento di massima elevazione e corrispondente elevazione del sole in gradi

Giorno	massima elevazione (transito)			
	ora	elevazione del sole [°]	lungh ombra per un palo di 181 m [m]	lungh ombra per un palo di 112 m [m]
20-mar / 22-set	12.03	49	157	97
21-giu	12.58	72,5	57	35
21-dic	11.54	25,6	377	234

Tabella 4 - Calcolo della lunghezza dell'ombra in metri nei giorni scelti alla sera ed orario corrispondente ad un'elevazione del sole di 18°

Giorno	sera			
	ora	elevazione del sole [°]	lungh ombra per un palo di 181 m [m]	lungh ombra per un palo di 112 m [m]
20-mar / 22-set	17.40	18	557	345
21-giu	18.50	18	557	345
21-dic	15.20	18	557	345

Sulla base dell'Azimut ricavato dai grafici sopra esposti si è proceduto alla rappresentazione su Autocad delle ombre in corrispondenza degli aerogeneratori.

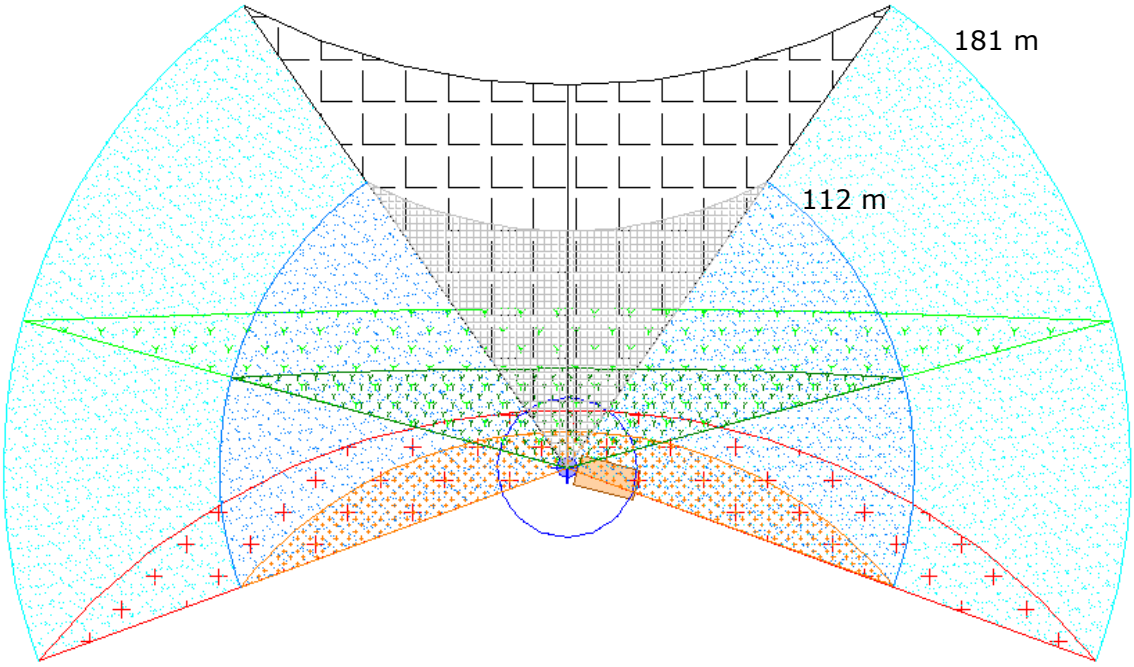


Figura 6 – Rappresentazione dell'ombra per un palo di 181 m e uno di 112 m il 21 giugno (rosso/arancione), il 21 dicembre (nero/grigio), il 20 marzo e/o 22 settembre (verde). In celeste l'area impegnata negli altri giorni dell'anno

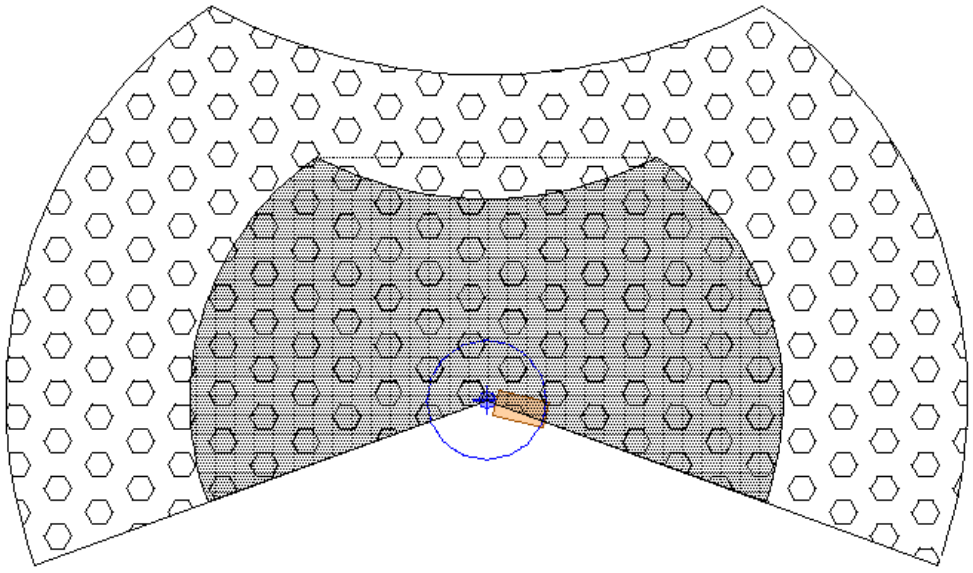


Figura 7 - Ombra associata a ciascun aerogeneratore. La parte più scura rappresenta l'ombra del palo (112 m), mentre la restante parte è l'ombra relativa alla componente in movimento delle pale

3.2. MODELLO DI SIMULAZIONE 3 D

Al fine di confermare l'analisi dell'evoluzione dell'ombra durante l'anno e nell'arco della giornata si è utilizzato il software di simulazione 3D Sketchup.

Dapprima è stato realizzato il modello 3D della turbina di riferimento, con diametro del rotore pari a 138 m e altezza al mozzo di 112 m, e successivamente è stato georeferenziato in corrispondenza della turbina AG2.

Si è quindi simulata l'ombra in qualche giornata a campione con il software (vedi immagini seguenti).

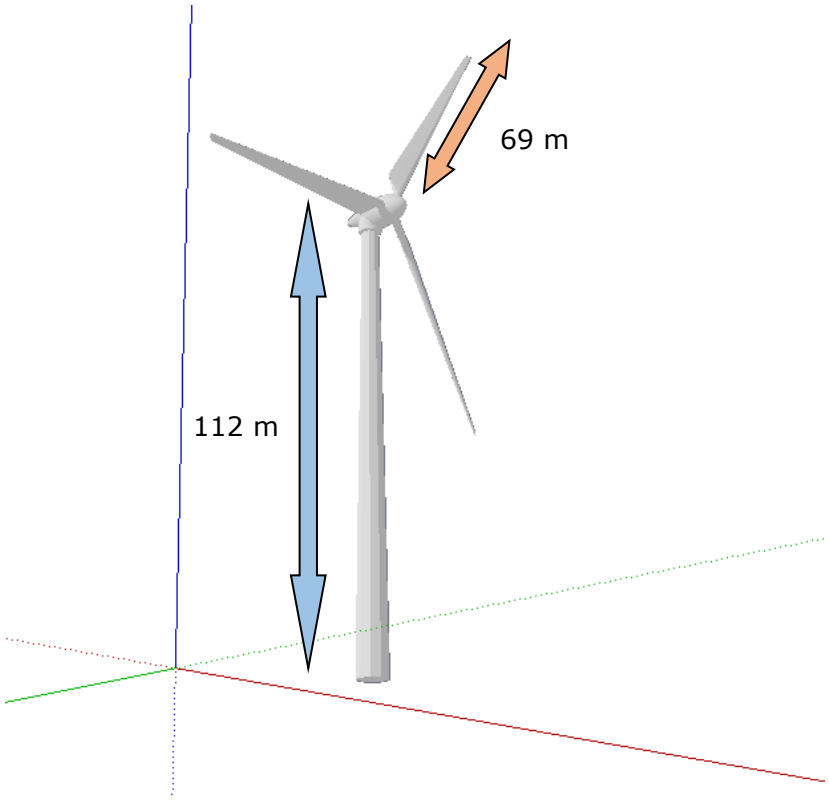


Figura 8 - Modello 3D della turbina (138 m diametro e 112 m quota mozzo)

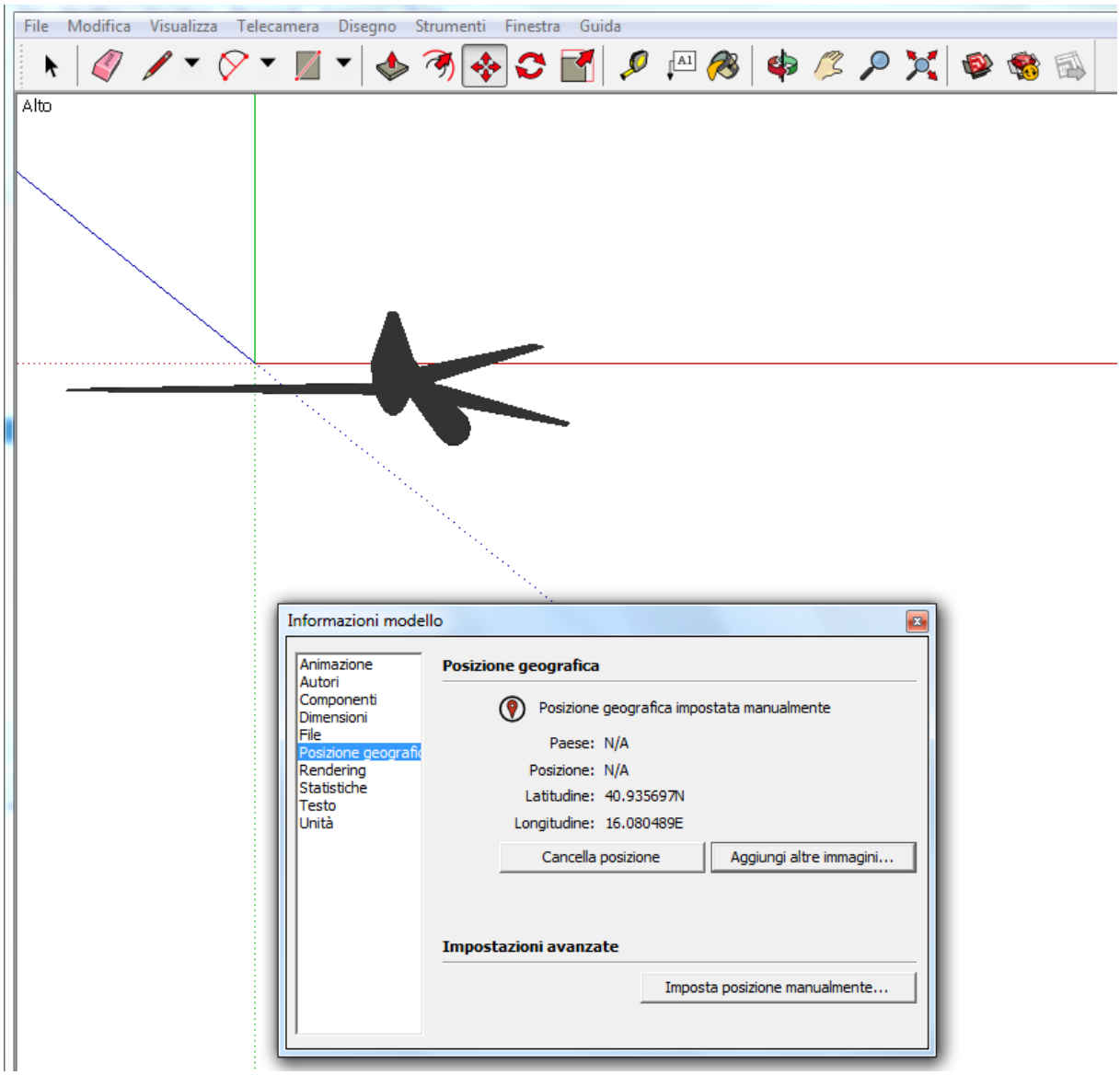


Figura 9 - Modello 3D della turbina e coordinate geografiche

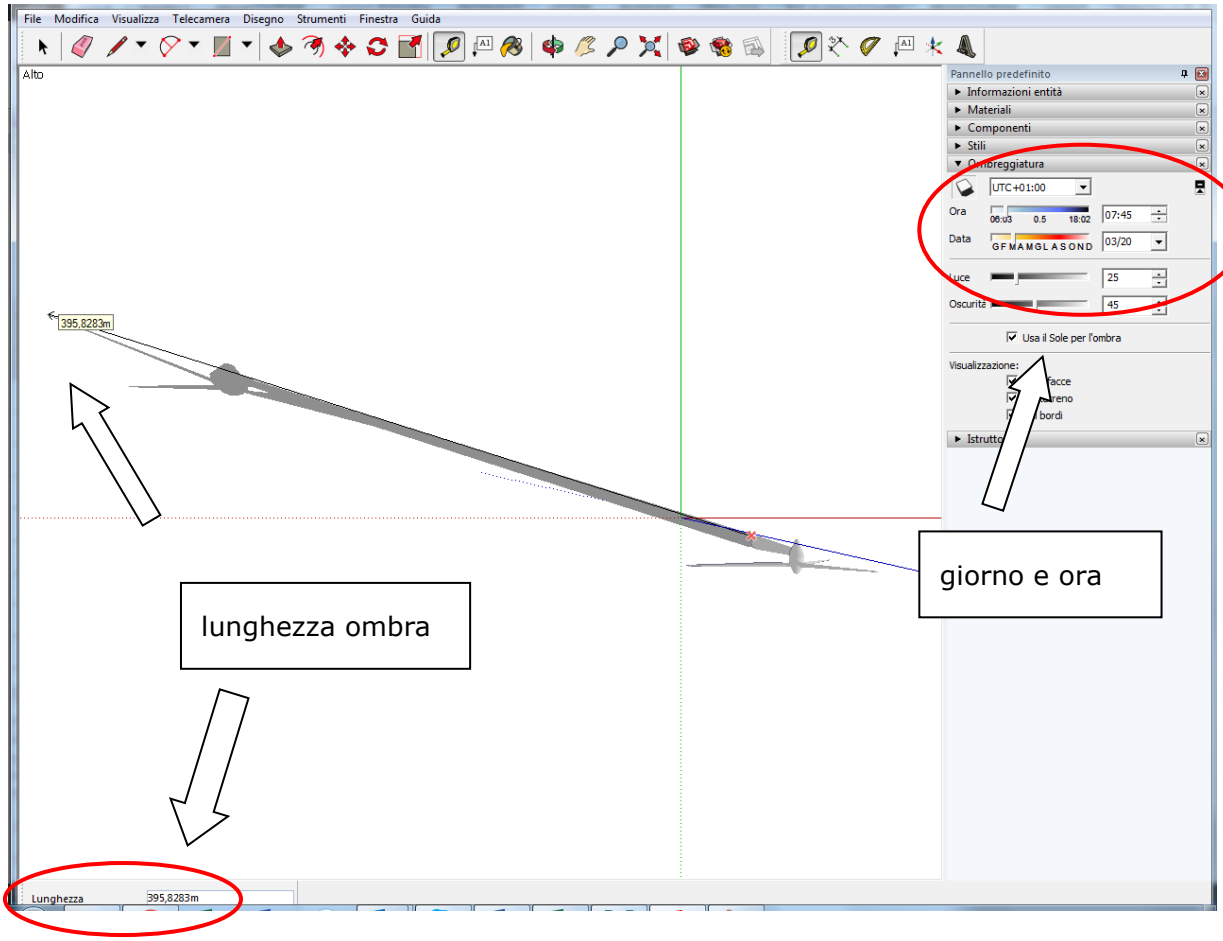


Figura 10 - Simulazione dell'ombra il 20 marzo alle 7.45 (lungh. ombra 396 m)

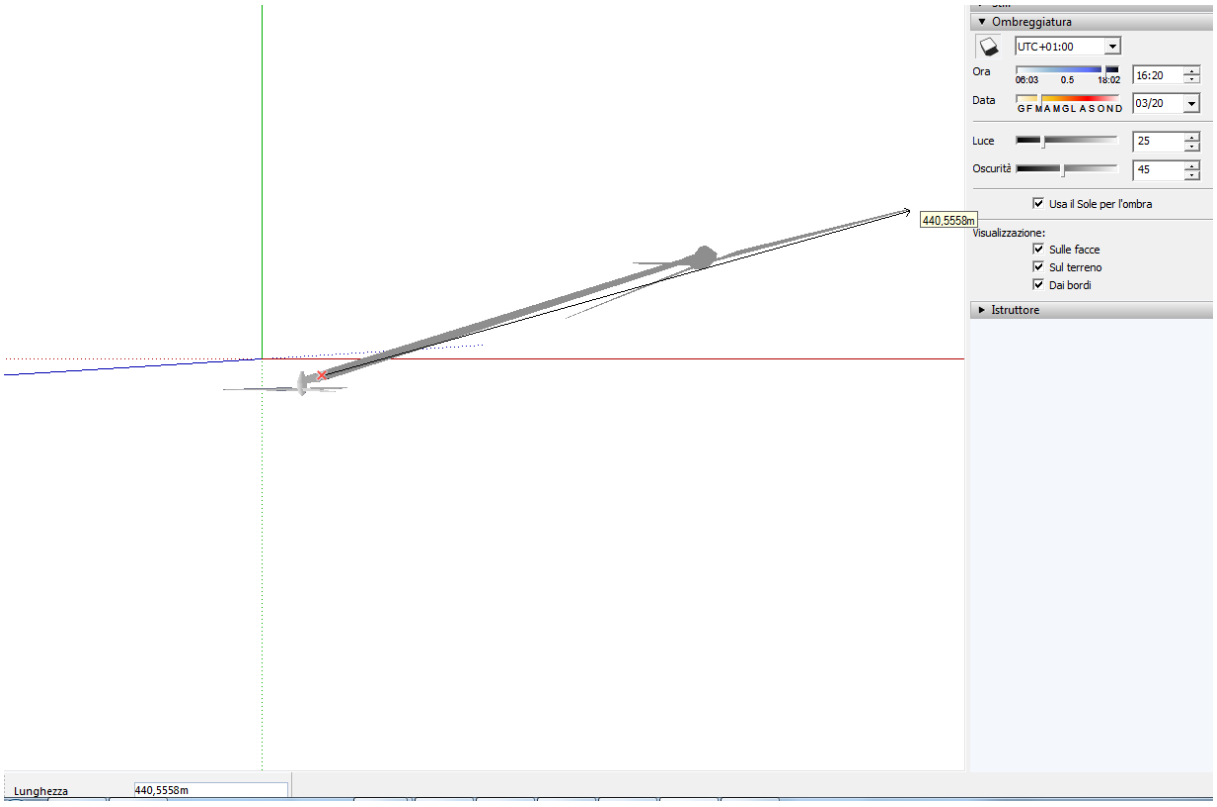


Figura 11 - Simulazione dell'ombra il 20 marzo alle 16.20 (lungh. ombra 440 m)

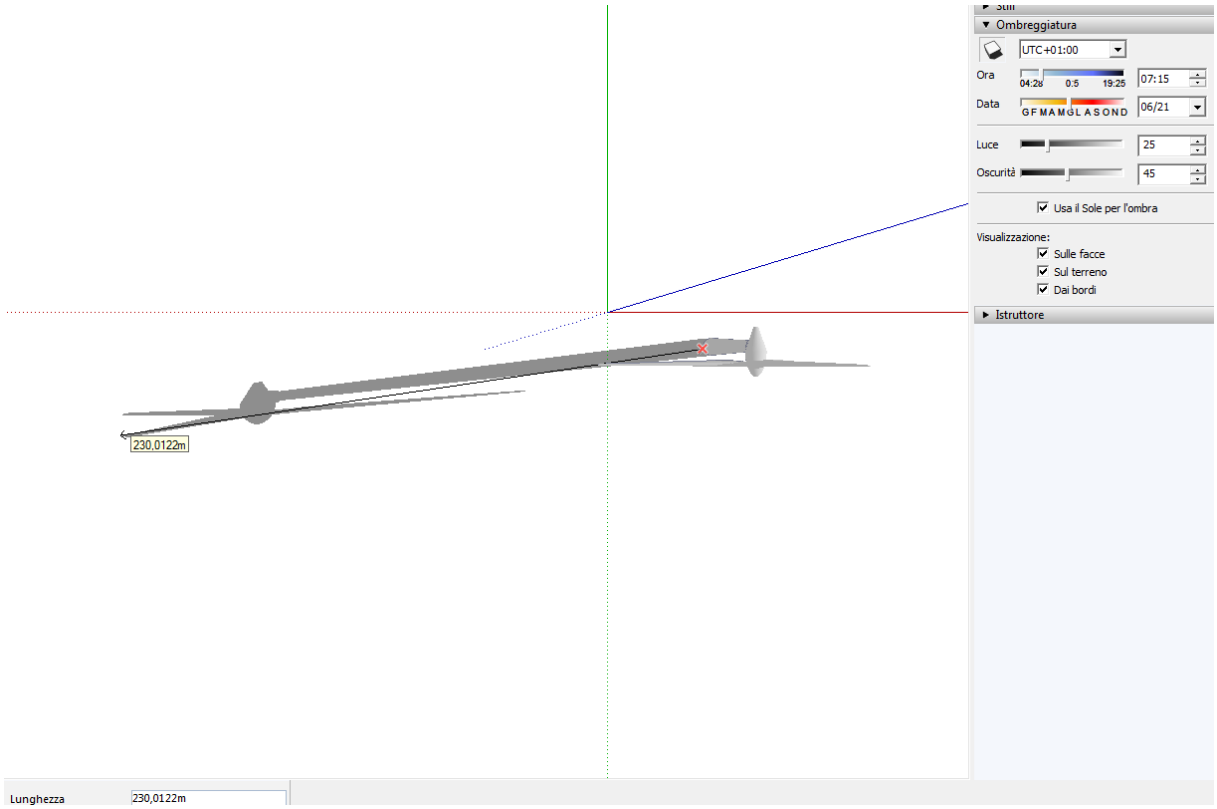


Figura 12 - Simulazione dell'ombra il 21 giugno alle 7.15 (lungh. ombra 230 m)

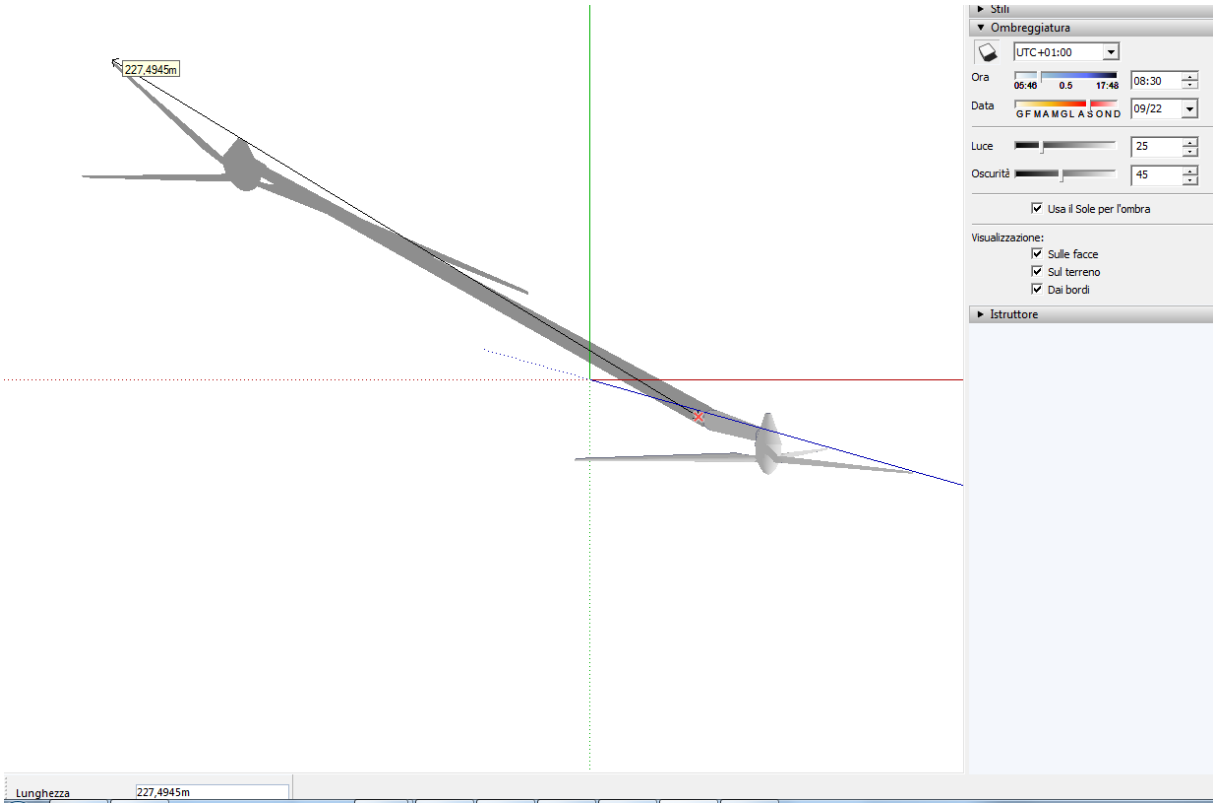


Figura 13 - Simulazione dell'ombra il 22 settembre h 8.30 (lungh. ombra 227 m)

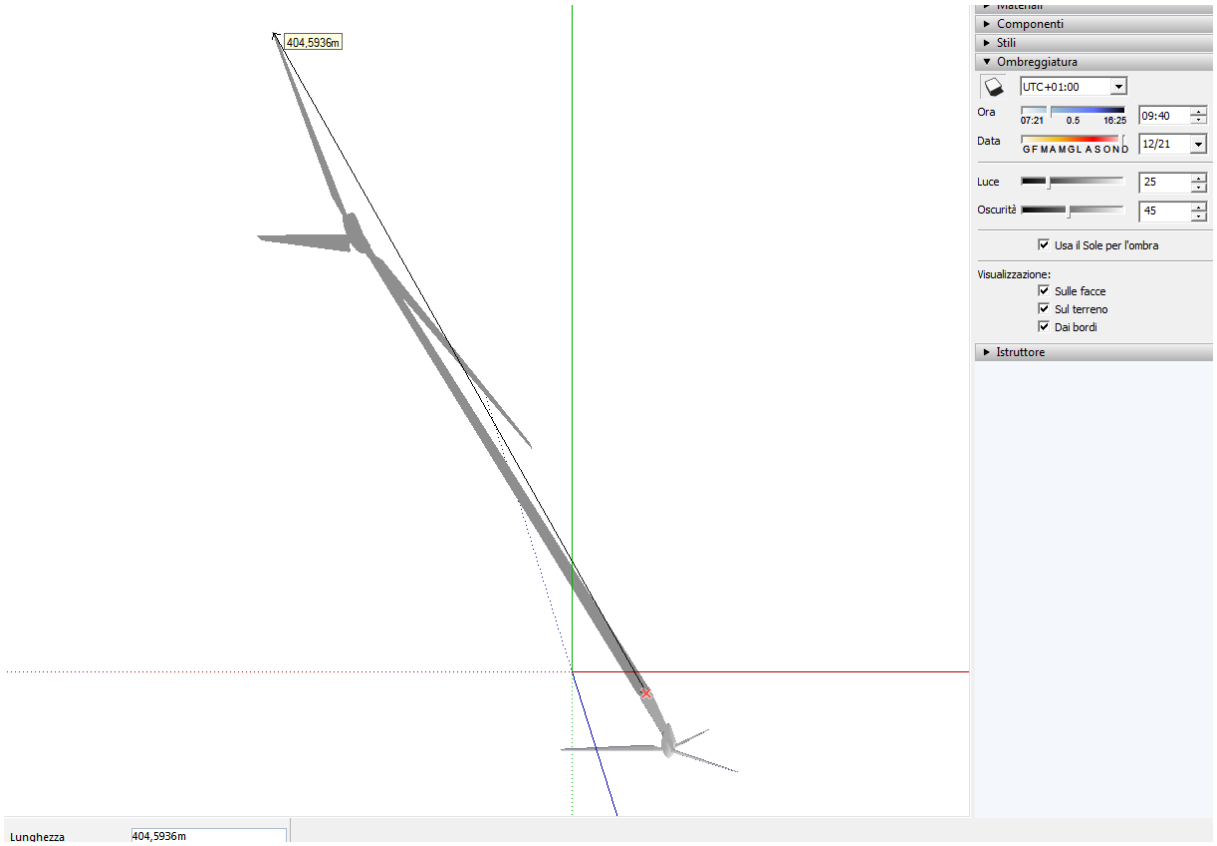


Figura 14 - Simulazione dell'ombra il 21 dicembre h 9.40 (lungh. ombra 405 m)

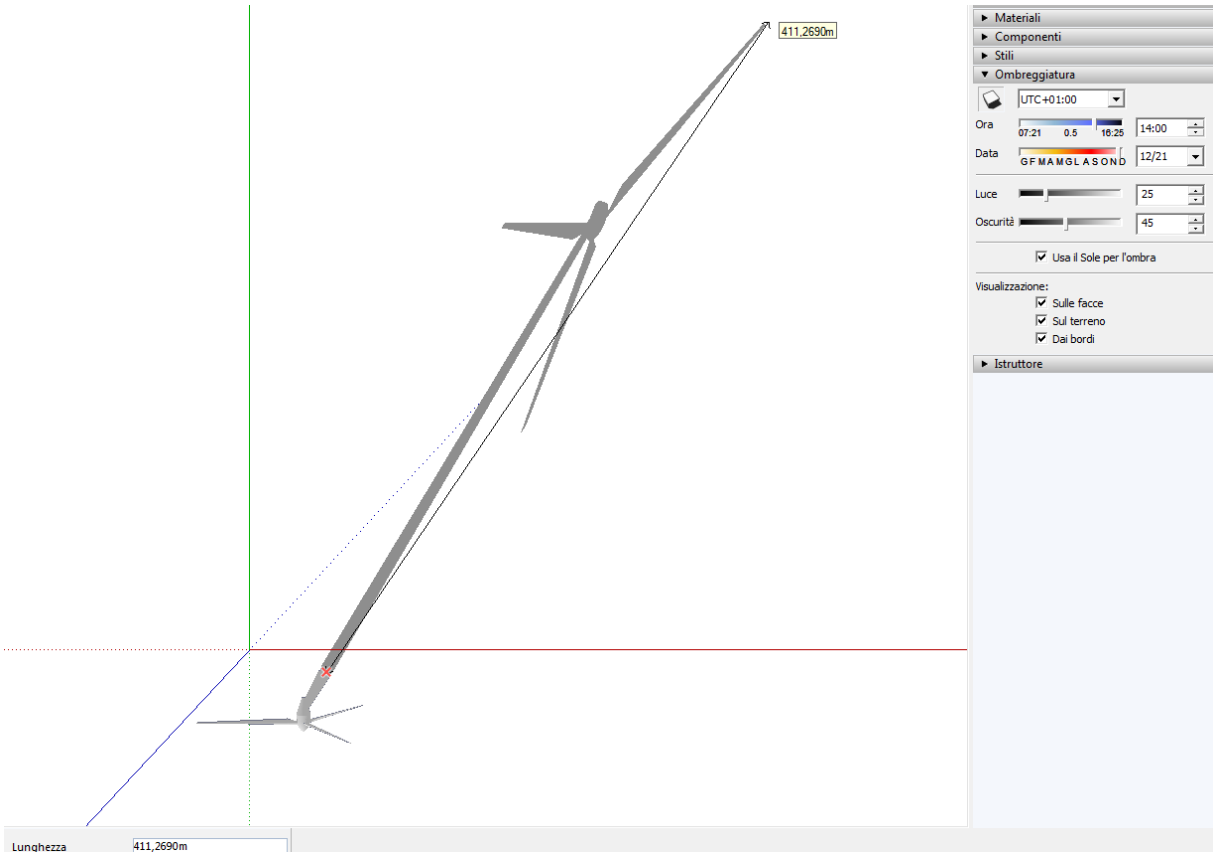


Figura 15 -Simulazione dell'ombra il 21 dicembre h 14.00 (lungh. ombra 411 m)

4. INTERFERENZA DELL'OMBRA CON GLI EDIFICI

Per valutare se le turbine a progetto possano arrecare disturbo con la loro ombra agli edifici si è sovrapposta l'ombra di ciascuna turbina all'ortofoto in cui si sono identificati tutti gli edifici dell'area.

Come si vede dalla Figura 16, la maggioranza degli edifici non è interessata dall'ombra delle turbine: è importante andare a verificare h1, h2 e h15.

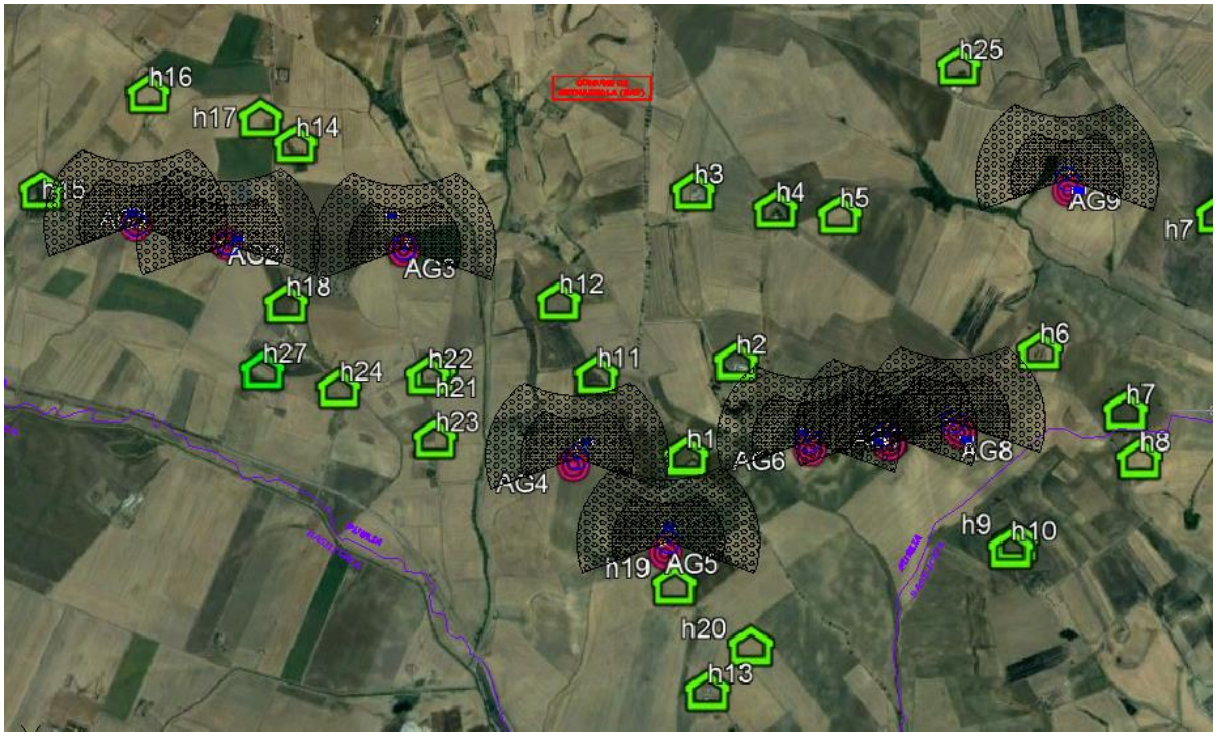


Figura 16 - Ortofoto in cui sono stati identificati tutti gli edifici, layout di impianto e ombra annuale di tutte le turbine a progetto

Come si vede dalla Figura 17 né h1 né h2 sono interessati dall'ombra delle pale eoliche.

Figura 17 - Dettaglio su h1 e h2

5. INTERFERENZA DELL'OMBRA CON LE STRADE

Per valutare se l'ombra delle turbine a progetto possa interessare le strade e quindi facilitare la formazione di ghiaccio sulla carreggiata si è sovrapposta l'ombra "invernale" di ciascuna turbina all'ortofoto in cui si sono evidenziate le strade dell'area.

Come si vede dalla Figura 18 e dalla Figura 19, l'ombra delle turbine interessa per limitatissimi tratti alcune strade, peraltro si tratta esclusivamente dell'ombra generata dalle pale in movimento, pertanto non corrisponde ad un'ombra fissa.

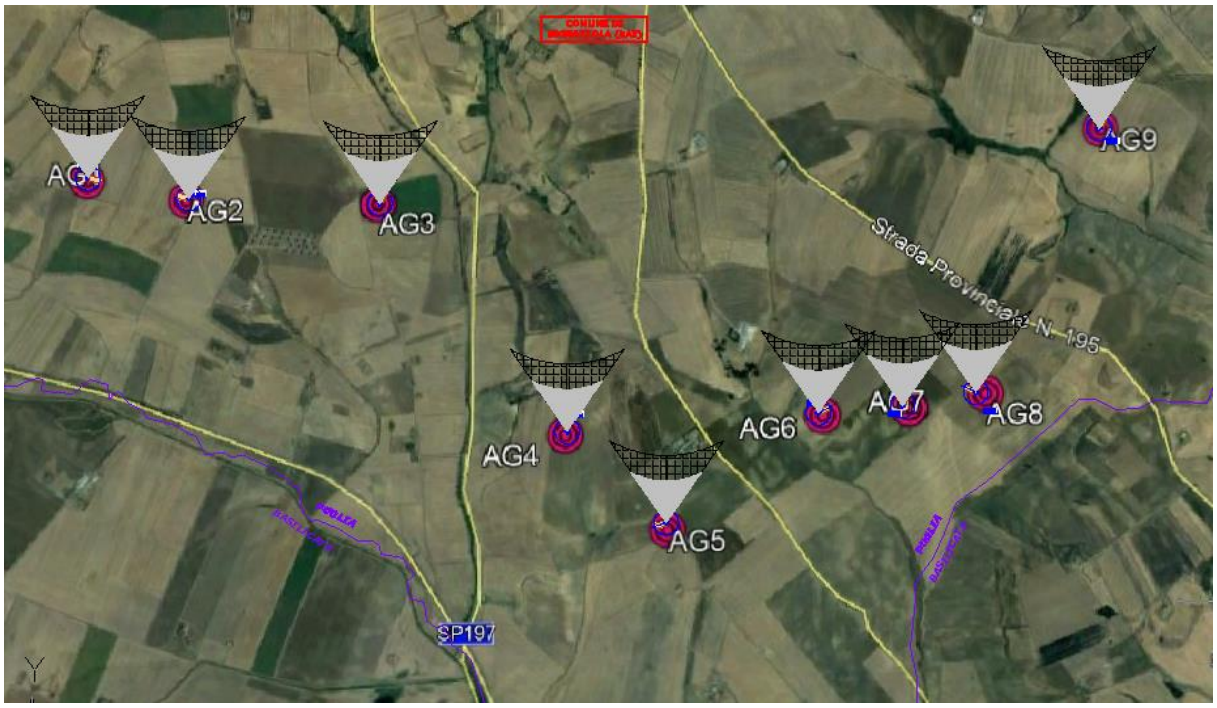


Figura 18 - Ortofoto in cui sono state evidenziate le strade (in giallo), layout di impianto e ombra "invernale" di tutte le turbine a progetto

Figura 19 – Dettaglio dell'ombra di AG9 sulla strada a nord della turbina

Bisogna comunque considerare che nel comune di Spinazzola generalmente in inverno non si registrano temperature sotto lo 0° (vedi Figura 20) ed inoltre l'ombra indicata si riferisce ad un periodo compreso tra le 9.30 e le 15.20, quando quindi le temperature sono più prossime alle massime che non alle minime notturne.

Clima Spinazzola - Medie climatiche

Regione: Puglia | Provincia: Barletta-Andria-Trani (B | Comune/Località: Spinazzola | Cerca

OGGI A SPINAZZOLA

Meteo | Webcam | Video | Foto | Archivio | Aria | Viabilità | Percorsi | Mappa

Mese	T min	T max	Precip.	Umidità	Vento	Eliofania
Gennaio	2 °C	10 °C	53 mm	78 %	N 16 km/h	n/d
Febbraio	2 °C	11 °C	68 mm	76 %	N 16 km/h	n/d
Marzo	4 °C	13 °C	67 mm	72 %	S 16 km/h	n/d
Aprile	6 °C	17 °C	42 mm	69 %	S 16 km/h	n/d
Maggio	10 °C	22 °C	46 mm	67 %	S 16 km/h	n/d
Giugno	13 °C	26 °C	39 mm	62 %	S 16 km/h	n/d
Luglio	16 °C	30 °C	28 mm	59 %	N 16 km/h	n/d
Agosto	16 °C	29 °C	42 mm	62 %	NNE 16 km/h	n/d
Settembre	13 °C	25 °C	49 mm	66 %	NNE 16 km/h	n/d
Ottobre	10 °C	20 °C	69 mm	73 %	NNE 16 km/h	n/d
Novembre	6 °C	15 °C	67 mm	79 %	S 16 km/h	n/d
Dicembre	3 °C	11 °C	68 mm	79 %	N 16 km/h	n/d

Archivio meteo • Consulta anche l'archivio dei dati storici rilevati giorno per giorno

Medie mensili riferite agli ultimi 30 anni, basate sui dati della stazione di Gioia del Colle
Link veloci: Italia > Puglia > Barletta-Andria-Trani (BT) > Spinazzola

Figura 20 – Medie mensili riferite agli ultimi 30 anni a Spinazzola (www.ilmeteo.it)