



PROVINCIA DI
SIENA



COMUNE DI
MONTEPULCIANO



REGIONE
TOSCANA



PROVINCIA DI
AREZZO



COMUNE DI
CORTONA

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DELLA POTENZA DI PICCO 26601,680 kWp

IMPIANTO AGROVOLTAICO "GREPPO"

Comuni di Montepulciano e Cortona

pvimp_2_doc_04

Cod. Doc.:pvimp_2_doc_04

VALUTAZIONE RISCHIO ABBAGLIAMENTO

Project - Commissioning - Consulting

Scale: na

PROGETTO

07/04/22

PRELIMINARE

DEFINITIVO

ESECUTIVO



Acciona Energia Global Italia S.r.l.
Via Achille Campanile 73
00144 Roma
p iva 12990031002

Tecnici
Ing. Mauro Marchino
Ing. Fabio Sabbatini

Revisione	Data	Descrizione	Redatto	Approvato	Autorizzato
1	07/04/22	Emissione	Marchino/Sabbatini	Marchino/Sabbatini	Marchino/Sabbatini

ACCIONA ENERGIA GLOBAL ITALIA Srl



Ing. Mauro Marchino
Albo ingegneri Viterbo n° A666
Via Pacinotti 5, 01100 Viterbo
mauro.marchino@tusciaengineering.com

Ing. Fabio Sabbatini
Albo ingegneri Viterbo n° A865
Via Pacinotti 5, 01100 Viterbo
fabio.sabbatini@tusciaengineering.com

Non è permesso consegnare a terzi o riprodurre questo documento, né utilizzarne il contenuto o renderlo comunque noto a terzi senza nostra esplicita autorizzazione. Ogni infrazione comporta il risarcimento dei danni subiti. E' fatta riserva di tutti i diritti derivati da brevetti o modelli

<u>PREMESSA</u>	<u>2</u>
<u>ABBAGLIAMENTO VISIVO</u>	<u>2</u>
<u> POSIZIONAMENTO DELL'IMPIANTO IN RELAZIONE ALLA VIABILITÀ STRADALE</u>	<u>2</u>
<u>CARATTERISTICHE DEL PROGETTO</u>	<u>4</u>
<u>VERIFICA FENOMENI DI POTENZIALE ABBAGLIAMENTO</u>	<u>5</u>
<u> IMPIANTI FOTOVOLTAICI ADIACENTI RETI STRADALI /AUTOSTRADALI</u>	<u>12</u>
<u>CONCLUSIONI</u>	<u>15</u>

PREMESSA

All'interno della presente relazione si verificano e approfondiscono eventuali fenomeni di abbagliamento da ricondursi alla riflessione della luce solare sui moduli fotovoltaici in progetto tali da creare rischio per la circolazione stradale in prossimità dell'impianto, soprattutto in relazione alla autostrada A1.

ABBAGLIAMENTO VISIVO

L'abbagliamento è definito come una condizione visiva che causa un disagio o una riduzione dell'abilità di percepire dettagli o interi oggetti, determinata da una distribuzione inadeguata delle luminanze o da variazioni estreme delle luminanze nel tempo e nello spazio, a causa della presenza nel campo visivo di sorgenti luminose primarie (abbagliamento diretto) o di superfici riflettenti (abbagliamento indiretto).

È possibile identificare due categorie di abbagliamento:

- abbagliamento molesto o psicologico (discomfort glare), che causa fastidio senza necessariamente compromettere la visione degli oggetti;
- abbagliamento debilitante o fisiologico (disability glare), che compromette temporaneamente la visione degli oggetti.

L'irraggiamento globale è la somma dell'irraggiamento diretto e di quello diffuso, ossia l'irraggiamento che non giunge al punto di osservazione seguendo un percorso geometricamente diretto a partire dal sole, ma che viene precedentemente riflesso o scomposto.

Per argomentare il fenomeno dell'abbagliamento generato da moduli fotovoltaici nelle ore diurne occorre considerare diversi aspetti legati alla loro tecnologia, struttura e orientazione, nonché al movimento apparente del disco solare nella volta celeste e alle leggi fisiche che regolano la diffusione della luce nell'atmosfera.

POSIZIONAMENTO DELL'IMPIANTO IN RELAZIONE ALLA VIABILITÀ STRADALE

Il progetto dell'impianto fotovoltaico viene realizzato su terreni agricoli posti al limite del territorio comunale di Montepulciano (SI) ad una distanza minima di 60 metri dal tracciato Autostradale della A1.

L'impianto si sviluppa su una superficie totale di circa 37,6 ettari caratterizzata da un'orografia pianeggiante, idonea all'installazione dei telai di sostegno dei moduli fotovoltaici.

Le coordinate geografiche del baricentro dell'impianto sono:

COORDINATE BARICENTRO IMPIANTO	
Latitudine	43° 10' 17" Nord
Longitudine	11°49'49" Est
Quota media s.l.m.	250 m

Le viste delle planimetrie catastale e satellitare di seguito riportate mostrano la posizione dell'impianto fotovoltaico "Greppo" in relazione allo sviluppo della vicina rete Autostradale A1.



Figura 1: Inquadramento impianto su catastale



Figura 2: Inquadramento impianto su ortofoto

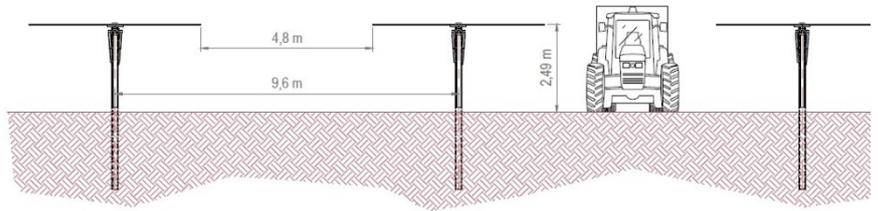
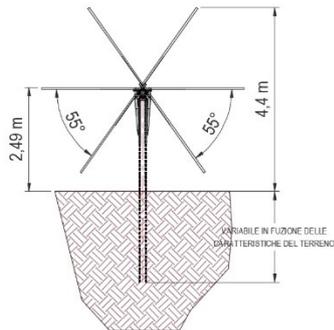
CARATTERISTICHE DEL PROGETTO

L'impianto agri-voltaico "Greppo" occupa una superficie di circa 37,6 ha e presenta una potenza nominale di 26,601 MWp. L'impianto si compone di moduli fotovoltaici a tecnologia cristallina installati su telai infissi direttamente al suolo e ad inseguimento monoassiale, in maniera tale da assicurare delle prestazioni ottimali in termini di producibilità di energia elettrica.

Il sistema di inseguimento monoassiale dei moduli fotovoltaici con asse orizzontale NORD – SUD è realizzato mediante telai infissi al suolo sui quali sono montati degli inseguitori (tracker) realizzati in acciaio e alluminio.

I telai sono posizionati ad una distanza di 9,60 metri, con una luce libera minima di 4,80 m assunta dai moduli fotovoltaici nel momento in cui il sole si trova allo zenit.

L'altezza massima da terra raggiunta dai tracker, in condizioni di inclinazione estrema verso est o verso ovest, è di 4,4 m.



Posizione tracker 0°



Posizione tracker 55°



VERIFICA FENOMENI DI POTENZIALE ABBAGLIAMENTO

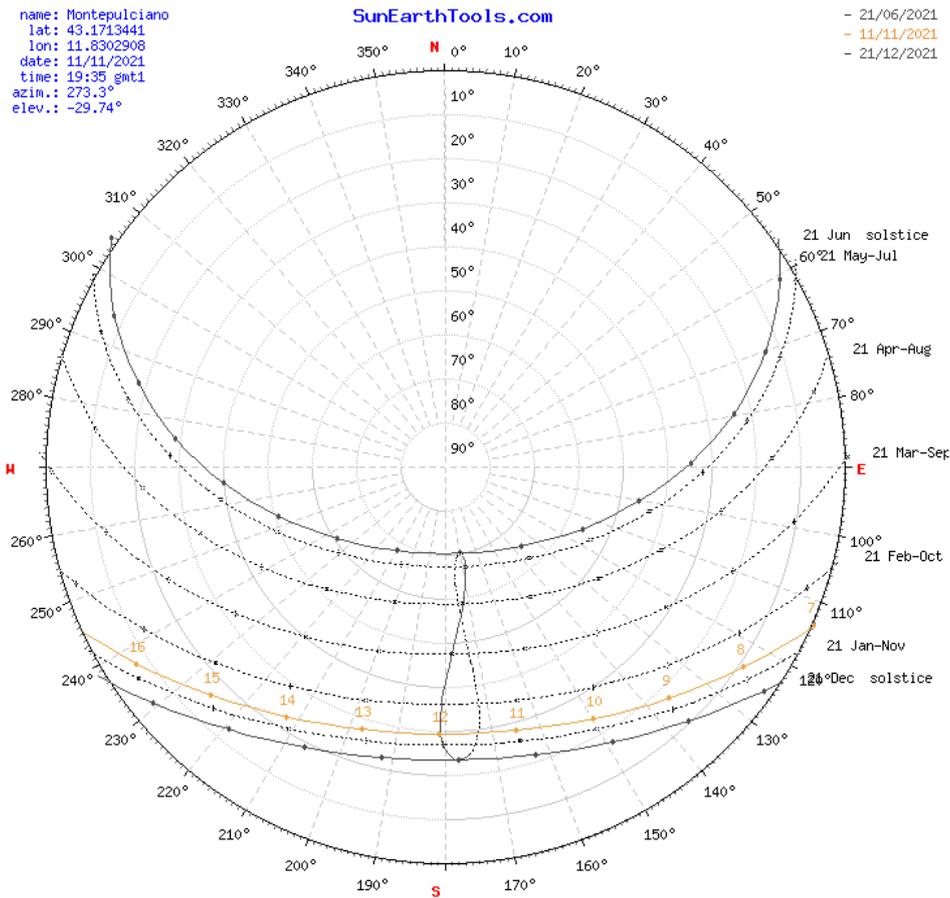
L' impianto fotovoltaico in progetto è costituito da inseguitori solari disposti lungo l'asse Nord-Sud tali per cui i moduli inseguono il sole da Est a Ovest durante la giornata.

Al fine di valutare l'eventuale rischio di abbagliamento di coloro che transitano sul tratto autostradale nei pressi dell'impianto fotovoltaico, è stato effettuato uno studio in funzione della posizione reciproca dell'impianto in relazione all'asse della strada e della particolare tipologia del sistema di inseguimento monoassiale dei moduli e si è provveduto ad analizzare quando la riflessione dei raggi solari converge nella stessa direzione dell'asse della strada.

È noto che per effetto della rotazione del globo terrestre attorno al proprio asse e del contemporaneo moto di rivoluzione attorno al sole, nell'arco della giornata il disco solare sorge ad est e tramonta ad ovest (ciò in realtà è letteralmente vero solo nei giorni degli equinozi). In questo movimento apparente il disco solare

raggiunge il punto più alto nel cielo al mezzogiorno locale e descrive un semicerchio inclinato verso la linea dell'orizzonte tanto più in direzione sud quanto più ci si avvicina al solstizio d'inverno (21 dicembre) e tanto più in direzione nord quanto più ci si avvicina al solstizio d'estate (21 giugno).

Il primo passo è consistito pertanto nel costruire la parabola del sole al 21 giugno e al 21 dicembre, ossia al momento di massimo e minimo angolo di tilt e massima e minima ampiezza di angolo di Azimut, per lo specifico sito dell'impianto "Greppo", prendendo quindi i risultati come estremi dell'intervallo risultante.



Data: 21/12/2021		
coordinate: 43.1718229, 11.8328342		
località: 43.17182290,11.83283420		
ora	Elevazione	Azimut
07:41:18	-0.833	122.12
08:00:00	2	125.34
08:15:00	4.19	127.99
08:30:00	6.3	130.72
08:45:00	8.33	133.52
09:00:00	10.27	136.4
09:15:00	12.1	139.37
09:30:00	13.82	142.42
09:45:00	15.43	145.56
10:00:00	16.91	148.79
10:15:00	18.26	152.11
10:30:00	19.47	155.52
10:45:00	20.53	159

Valutazione rischio abbagliamento

11:00:00	21.43	162.55
11:15:00	22.16	166.17
11:30:00	22.73	169.84
11:45:00	23.13	173.55
12:00:00	23.34	177.29
12:15:00	23.38	181.03
12:30:00	23.25	184.78
12:45:00	22.93	188.5
13:00:00	22.44	192.19
13:15:00	21.78	195.83
13:30:00	20.95	199.42
13:45:00	19.96	202.93
14:00:00	18.82	206.37
14:15:00	17.53	209.73
14:30:00	16.11	213
14:45:00	14.56	216.18
15:00:00	12.89	219.28
15:15:00	11.1	222.28
15:30:00	9.21	225.2
15:45:00	7.22	228.04
16:00:00	5.15	230.8
16:15:00	2.99	233.48
16:30:00	0.75	236.1
16:40:23	-0.833	237.87

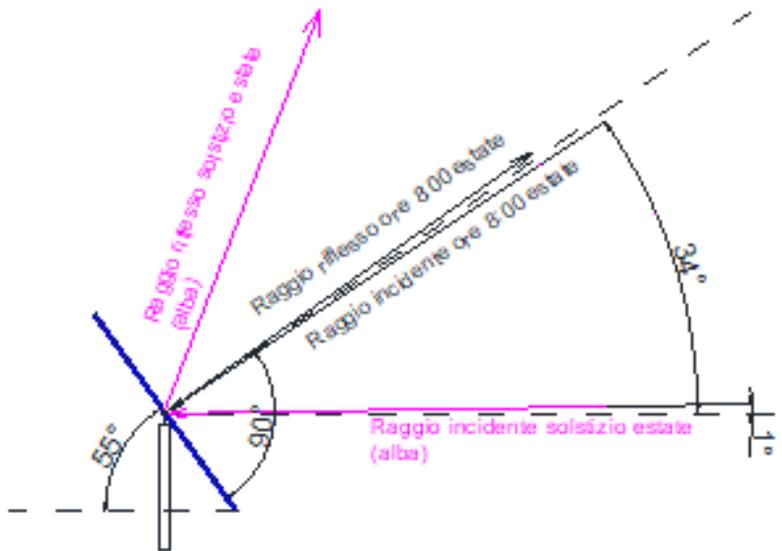
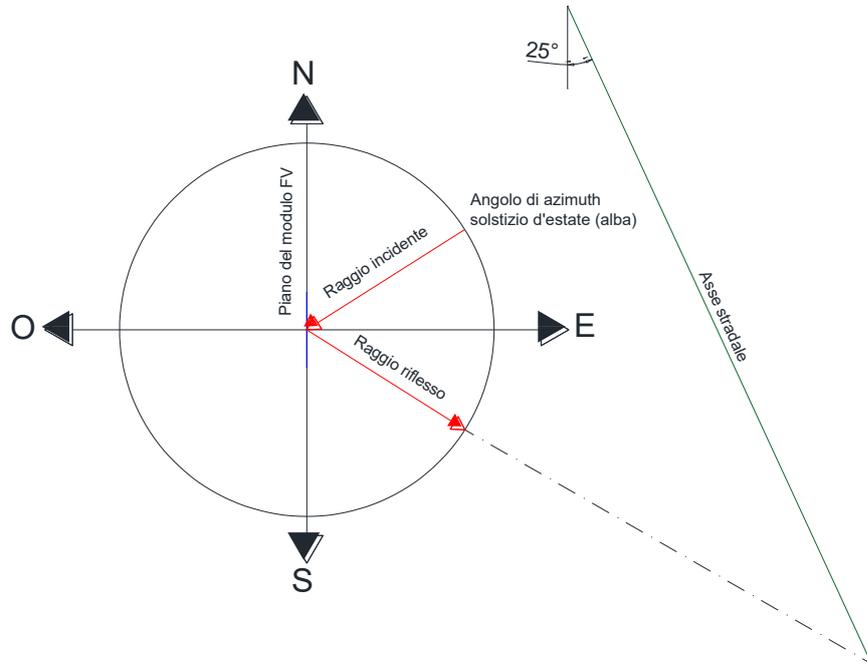
Data:	21/06/2021	
coordinate:	43.1718229, 11.8328342	
località:	43.17182290,11.83283420	
ora	Elevazione	Azimut
04:32:59	-0.833	56
04:45:00	1	58.06
05:00:00	3.35	60.57
05:15:00	5.76	63.03
05:30:00	8.22	65.45
05:45:00	10.74	67.84
06:00:00	13.29	70.2
06:15:00	15.88	72.53
06:30:00	18.5	74.86
06:45:00	21.16	77.19
07:00:00	23.83	79.53
07:15:00	26.53	81.89
07:30:00	29.25	84.28
07:45:00	31.97	86.72
08:00:00	34.71	89.22
08:15:00	37.44	91.8
08:30:00	40.17	94.49
08:45:00	42.89	97.3
09:00:00	45.59	100.27
09:15:00	48.27	103.44
09:30:00	50.91	106.85
09:45:00	53.5	110.54
10:00:00	56.02	114.59
10:15:00	58.46	119.08
10:30:00	60.79	124.09
10:45:00	62.98	129.73
11:00:00	64.98	136.11
11:15:00	66.75	143.34
11:30:00	68.23	151.46
11:45:00	69.34	160.47
12:00:00	70.04	170.19

12:15:00	70.26	180.31
12:30:00	70.01	190.42
12:45:00	69.29	200.1
13:00:00	68.15	209.05
13:15:00	66.65	217.12
13:30:00	64.87	224.3
13:45:00	62.85	230.63
14:00:00	60.66	236.23
14:15:00	58.32	241.2
14:30:00	55.87	245.66
14:45:00	53.34	249.69
15:00:00	50.75	253.37
15:15:00	48.11	256.75
15:30:00	45.43	259.91
15:45:00	42.73	262.87
16:00:00	40.01	265.68
16:15:00	37.27	268.36
16:30:00	34.54	270.93
16:45:00	31.81	273.43
17:00:00	29.08	275.87
17:15:00	26.37	278.26
17:30:00	23.67	280.61
17:45:00	21	282.95
18:00:00	18.34	285.28
18:15:00	15.72	287.61
18:30:00	13.13	289.95
18:45:00	10.58	292.3
19:00:00	8.07	294.69
19:15:00	5.61	297.11
19:30:00	3.21	299.58
19:45:00	0.86	302.09
19:56:05	-0.833	303.99

Al problema dell'abbagliamento da fonte luminosa concorrono contemporaneamente la direzione del raggio riflesso e l'altezza dello stesso rispetto all'altezza dell'occhio del conducente alla guida.

Da un esame delle caratteristiche geometriche del pannello, della sua tecnologia e dell'andamento nel tempo e nello spazio della parabola del sole in inverno ed in estate, si evince che:

- in estate, quando al sorgere del sole la direzione del raggio riflesso è più prossima ad essere parallela all'asse stradale, il raggio riflesso punta verso l'alto con un angolo molto elevato tale da non raggiungere mai l'altezza dell'occhio di un uomo alla guida;



- in forza di considerazioni analoghe a quelle svolte per la stagione estiva e alla luce dei piccoli angoli di incidenza che il sole ha nei mesi invernali, la radiazione riflessa dai pannelli viene ri-direzionata verso l'alto con un angolo, rispetto al piano orizzontale, tale da non arrecare disturbo ai veicoli in transito sull'asse stradale.

Stante l'orientamento dell'asse di rotazione dei moduli fotovoltaici (Nord-Sud) e l'inclinazione dell'asse stradale rispetto a quest'ultimo di circa 25°, anche la condizione di irraggiamento più sfavorevole per eventuali fenomeni di abbagliamento, che si verifica alle prime ore del mattino in estate, non determina problemi per coloro che transitano sulla tratta viaria in oggetto in quanto:

- l'angolo con cui il pannello riflette i raggi solari incidenti è direzionato verso l'alto e la distanza di 60 metri che intercorre tra l'impianto e il confine della sede stradale amplifica ulteriormente l'elevazione in corrispondenza della posizione dell'occhio umano;
- la direzione con cui il raggio solare riflesso va ad incidere sul campo visivo del conducente è sempre trasversale e mai pienamente incidente.

Alle precedenti considerazioni va poi aggiunto che:

1. al fine di minimizzare la quantità di radiazioni luminose riflesse, le celle in silicio cristallino sono coperte esteriormente da un rivestimento trasparente antiriflesso grazie al quale penetra più luce nella cella, cosa che riduce sensibilmente l'effetto riflettente.

Il ridotto effetto riflettente rispetto alle normali superfici vetrate degli edifici è evidenziato dalla foto sottostante, nella quale un modulo fotovoltaico cristallino è posto con lo stesso angolo di incidenza della finestra adiacente e in maniera tale da massimizzarne gli effetti: angolo di riflessione direttamente nella direzione dell'occhio dell'osservatore, posto ad una distanza di soli 30 metri.



2. L'aria, al pari degli oggetti, dà luogo a fenomeni di assorbimento, riflessione e scomposizione delle radiazioni luminose su di esse incidenti, pertanto la minoritaria percentuale di luce solare che viene riflessa dalla superficie del modulo fotovoltaico, grazie alla densità ottica dell'aria è comunque destinata nel corto raggio ad essere ridirezionata, scomposta, ma soprattutto convertita in energia termica.
3. La messa a dimora di una fascia vegetativa di 5 m lungo il perimetro dell'impianto e di cipressi lungo tutto il lato che costeggia l'autostrada finalizzati ad una mitigazione visiva, crea una barriera a qualunque potenziale fenomeno di abbagliamento per coloro che transitano sul tratto autostradale. La visuale dell'impianto, e quindi anche i relativi fenomeni di riflessione della luce solare incidente, è quasi completamente impedita dal filare di cipressi messi a dimora nelle vicinanze della sede autostradale, come mostrato nell'illustrazione seguente



IMPIANTI FOTOVOLTAICI ADIACENTI RETI STRADALI /AUTOSTRADALI

Gli esempi di impianti fotovoltaici di grandi dimensioni, realizzati in prossimità o nelle immediate adiacenze di importanti reti stradali/autostradali, sono numerosi.

A testimonianza di quanto appena esposto, si riporta la seguente documentazione fotografica rappresentante rispettivamente:

- impianto fotovoltaico sulla Autostrada A1 a Sud di Frosinone;
- barriera fonoassorbente fotovoltaica sulla Autostrada del Brennero;
- impianto fotovoltaico sulla Autostrada A1 (Civitavecchia-Roma);
- impianto fotovoltaico sulla Autostrada A1 a Nord-Ovest di Caserta

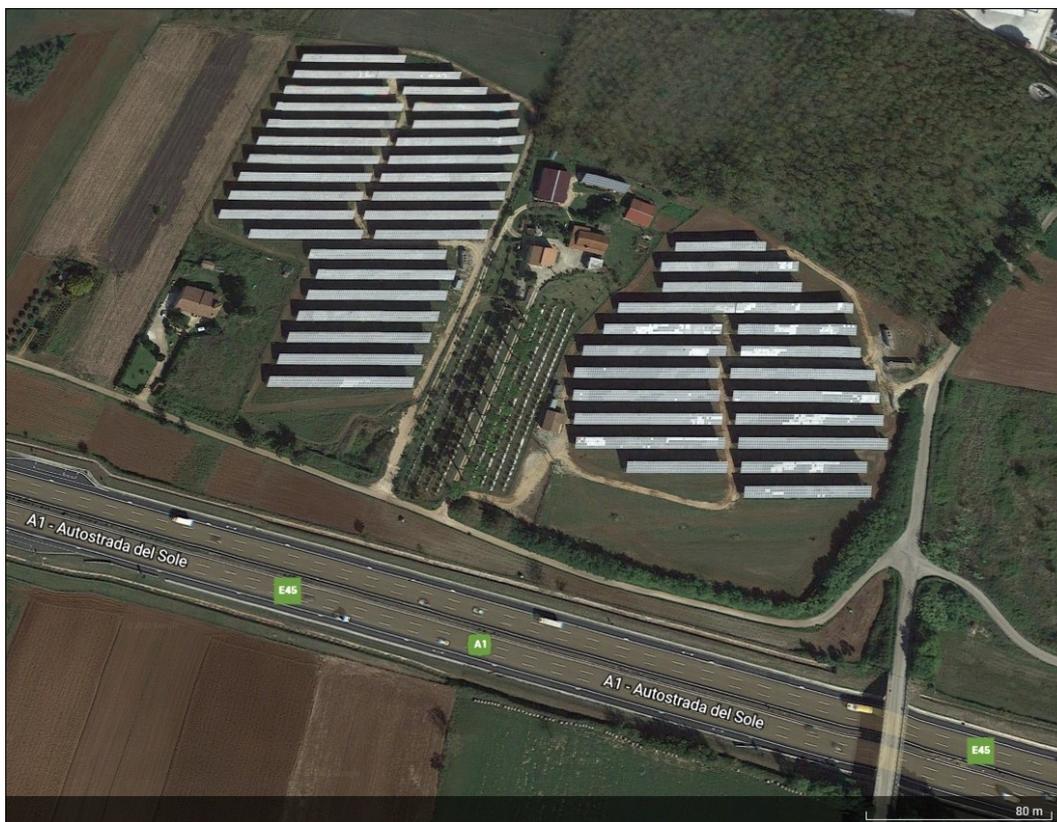


Figura 3: Impianto fotovoltaico sulla A1 a Sud di Frosinone



Figura 4: Barriera fonoassorbente fotovoltaica sulla Autostrada del Brennero



Figura 5: Impianto fotovoltaico sulla A12 Civitavecchia-Roma



Figura 6: Impianto fotovoltaico sulla Autostrada A1 a Nord Ovest di Caserta



Figura 7: Particolare dell'impianto fotovoltaico sulla Autostrada A1 a Nord Ovest di Caserta

CONCLUSIONI

In considerazione di quanto sopra esposto, ed in particolare tenendo conto delle caratteristiche geometriche e riflettenti dei moduli fotovoltaici, dell'andamento nel tempo e nello spazio della parabola del sole in inverno ed in estate, e delle strutture utilizzate per realizzare l'inseguimento mono-assiale, il rischio di abbagliamento verso gli occupanti delle vetture che percorrono l'autostrada A1 è praticamente nullo, come peraltro rilevato in numerose installazioni analoghe lungo altre autostrade italiane.

La presenza di un filare di cipressi rende poi del tutto invisibile i moduli fotovoltaici, eliminando così alla radice ogni potenziale fonte di abbagliamento visivo.

Infine, una ulteriore conferma della non criticità di impianti fotovoltaici adiacenti installati nei pressi delle autostrade viene dalle recenti modifiche normative introdotte con il D.L. 17/2022 che classificano automaticamente come aree idonee all'installazione di impianti fotovoltaici "le aree adiacenti alla rete autostradale entro una distanza non superiore a 150 metri".