

IMPIANTO AGRIVOLTAICO E OPERE CONNESSE PAULI ARBAREI

LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 16 S.R.L.

POTENZA IMPIANTO 33,81 MW e 7,80 MW DI ACCUMULO

Proponente

LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 16 S.R.L.

VIA GIACOMO LEOPARDI, 7 - 20123 MILANO (MI) - P.IVA: 12593760965 - PEC: lightsourcespv_16@legalmail.it

Progettazione

Ing. Antonello Ruttilio

VIA R. ZANDONAI 4 – 44124 - FERRARA (FE) - P.IVA: 00522150382 – PEC: incico@pec.it

Tel.: +39 0532 202613 – email: a.ruttilio@incico.com

Collaboratori

Ing. Lorenzo Stocchino

VIA R. ZANDONAI 4 – 44124 - FERRARA (FE) - P.IVA: 00522150382 – PEC: incico@pec.it

Tel.: +39 0532 202613 – email: l.stocchino@incico.com

Coordinamento progettuale

SOLAR IT S.R.L.

VIA ILARIA ALPI 4 – 46100 - MANTOVA (MN) - P.IVA: 02627240209 – PEC: solarit@lamiapec.it

Tel.: +390425 072 257 – email: info@solaritglobal.com

Titolo Elaborato

Relazione agronomica

LIVELLO PROGETTAZIONE	CODICE ELABORATO	FILE NAME	DATA
DEFINITIVO	PD_REL25	23SOL11_PD_REL25.00-Relazione agronomica.docx	31/03/2023

Revisioni

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
0	MARZO '23	EMISSIONE PER PERMITTING	GBU	LST	ARU



COMUNE DI PAULI ARBAREI (SU) - COMUNE DI LUNAMATRONA (SU)

REGIONE SARDEGNA



Relazione agronomica

INDICE

1. GENERALITA' DEI TECNICO CONSULENTE	1
2. GENERALITA' DEL PROPONENTE	1
3. PREMESSE	1
4. ACCESSO AL SITO	8
5. ASPETTI CLIMATICI.....	8
6. RIFERIMENTI URBANISTICI E PIANIFICATORI.....	16
7. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO.....	17
8. SOLUZIONE AGRIVOLTAICA	21
9. EFFETTI MICROCLIMATICI E SULLE PIANTE NEL SISTEMA AGRI-VOLTAICO	22
Radiazione solare	22
Temperatura	23
Evapotraspirazione	23
10. ESPERIENZE DI COLTIVAZIONE IN CONDIZIONE DI OMBREGGIAMENTO	24
11. STATO ATTUALE AREA INTERESSATA DALL'IMPIANTO AGRI- VOLTAICO	24
12. VALUTAZIONI ECONOMICHE AZIENDALI	25
13. DESCRIZIONE AZIENDALE	25
Coltivazione futura	26
Coltivazione del prato polifita permanente.....	26
Integrazione coltura-fotovoltaico	27
Gestione idraulica e irrigua.....	28
Realizzazione del prato polifita.....	29
Sviluppo aziendale futuro	29
14. SOSTENIBILITÀ ECONOMICA DELL'ATTIVITÀ AGRICOLA.....	29
15. CONCLUSIONI	32
16. BIBLIOGRAFIA	33

1. GENERALITA' DEI TECNICO CONSULENTE

Dottore Agronomo Beppe Giuseppe Bullegas, iscritto all'ordine dei Dottori Agronomi e Dottori Forestali di Cagliari con n. 478, nato a Narcao il 20/10/1970, Codice Fiscale BLLBPG70R20F841D in qualità di libero professionista titolare dello studio con sede in Selargius CA alla Via Aldo Moro n° 19, - assicurato per la responsabilità civile professionale, per eventuali danni provocati nell'esercizio della propria attività ovvero nell'espletamento dell'incarico conferito con polizza "Collettiva" CONAF – Consiglio dell'Ordine Nazionale dei Dottori Agronomi e dei Dottori Forestali/XL INSURANCE COMPANY SE N. IT00024030EO20A a copertura della Responsabilità Civile Professionale dei danni derivanti dall'attività di Dottore Agronomo/Forestale, in ottemperanza all'art. 5, comma 1, del D.P.R. n. 137 del 07/08/2012;

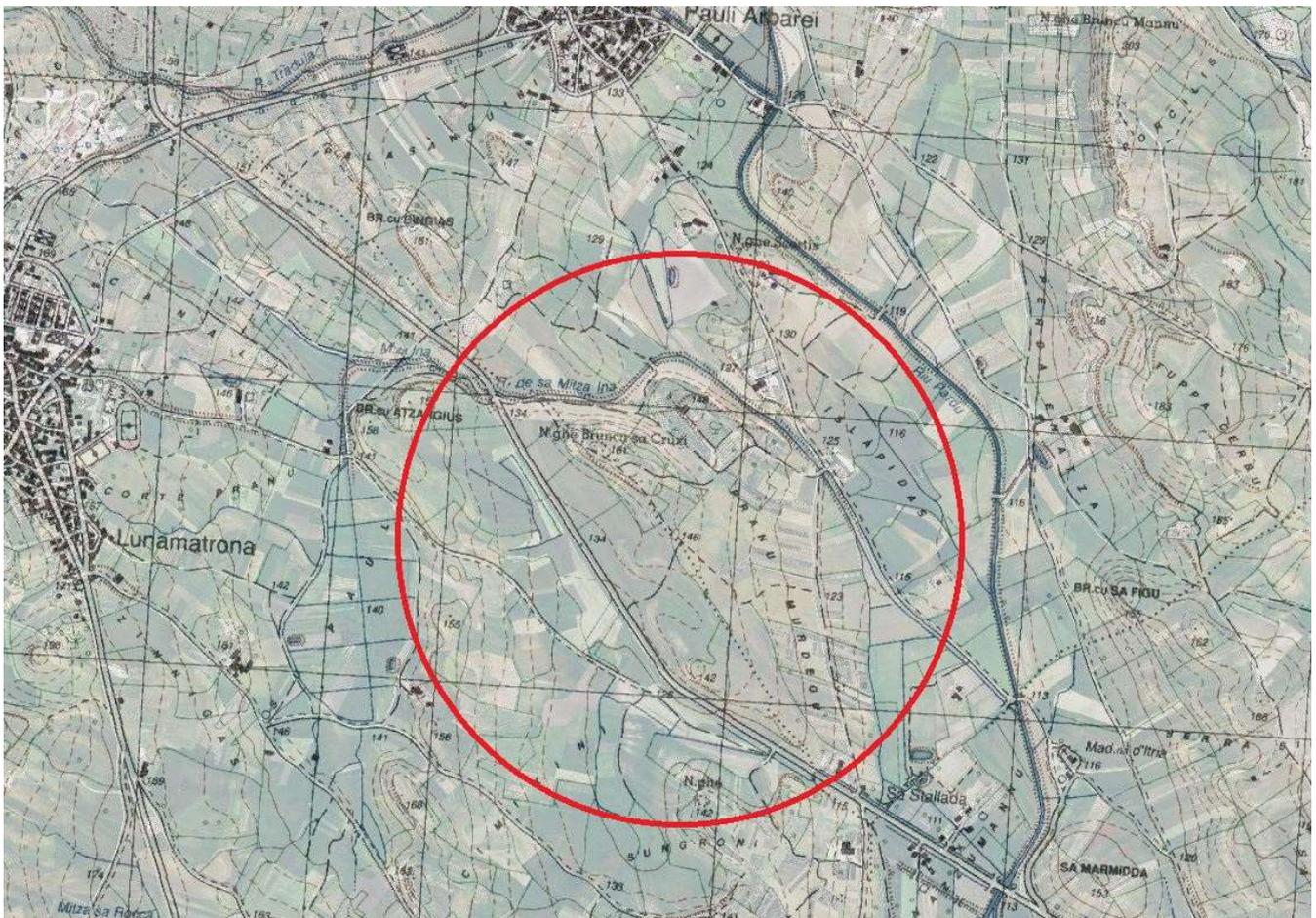
E' il tecnico incaricato a redigere la presente Relazione Agronomica a supporto del progetto di miglioramento fondiario "Realizzazione di un impianto agrivoltaico e opere connesse con potenza impianto 33,81 MW da realizzarsi nei Comuni di Pauli Arbarei e Lunamatrona in provincia di Sud Sardegna

2. GENERALITA' DEL PROPONENTE

Il proponente per la realizzazione dell'impianto agrivoltaico di seguito descritto è la Società LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 16 S.R.L.

3. PREMESSE

LIGHTSOURCE RENEWABLE ENERGY ITALY SPV 16 S.R.L. dispone dei seguenti terreni ad uso agricolo, ricadenti in agro dei Comuni di Lunamatrona e di Pauli Arbarei (SU) alla località (Pranu Murdegu)



Tutte le particelle a disposizione vanno a formare un appezzamento unico tutto accorpato di circa 46 ettari.

Tutte le particelle sono allibrate al NCT dei Comuni di Pauli Arbare e di Lunamatrona così come di seguito evidenziato:

Provincia	Comune	Foglio	Particella	Uso del suolo	Superficie m ²
Sud Sardegna	Lunamatrona	11	30	seminativo	4.790
Sud Sardegna	Lunamatrona	11	122	seminativo	75.673
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	43	seminativo	2.590
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	44	seminativo	2.305
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	45	seminativo	1.950
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	46	seminativo	1.335
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	47	seminativo	2.455
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	48	seminativo	2.360
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	50	seminativo	1.860
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	51	seminativo	300
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	52	seminativo	245
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	53	seminativo	270
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	54	seminativo	275
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	55	seminativo	10.130
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	75	seminativo	4.745
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	76	seminativo	1.170
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	77	seminativo	1.180
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	78	seminativo	1.415
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	79	seminativo	1.775
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	80	seminativo	2.265
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	81	seminativo	2.295
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	114	seminativo	1.095
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	115	seminativo	965
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	117	seminativo	2.960
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	169	seminativo	3.300
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	181	seminativo	54.875
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	191	seminativo	3.845
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	192	seminativo	1.240
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	202	seminativo	705
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	203	seminativo	4.800
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	210	seminativo	6.380
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	211	seminativo	23.180
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	212	seminativo	3.495
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	282	seminativo	32.016
Sud Sardegna	Lunamatrona	11	43	seminativo	2.245
Sud Sardegna	Lunamatrona	11	52	seminativo	4.530
Sud Sardegna	Lunamatrona	11	86	seminativo	3.060
Sud Sardegna	Lunamatrona	11	121	seminativo	129.943
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	10	131	seminativo	11.570

Sud Sardegna	Pauli Arbarei	10	99	seminativo	6.235
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	10	100	seminativo	5.990
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	10	101	seminativo	3.060
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	10	102	seminativo	3.915
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	10	103	seminativo	1.270
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	10	104	seminativo	4.230
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	10	105	seminativo	1.240
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	10	106	seminativo	320
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	10	107	seminativo	3.115
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	10	109	seminativo	830
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	10	110	seminativo	985
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	10	111	seminativo	1.110
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	10	129	seminativo	2.650
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	10	130	seminativo	7.760
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	10	154	seminativo	230
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	225	seminativo	3.930
Sud Sardegna	Pauli Arbarei	14	226	seminativo	3.950

L'area di Progetto è ubicata, come già evidenziato, nell'agro dei Comuni di Pauli Arbarei (SU) e Lunamatrona (SU).

Il centro abitato più prossimo all'area è quello di Pauli Arbarei, posto a circa 750 metri lineari a nord dal sito.

Pauli Arbarei è un Comune della provincia del Sud Sardegna, sito nella regione storico-geografica di Marmilla. Popolazione: 590 abitanti. Altitudine: 140 m s.l.m. Coordinate geografiche: **39° 39' 37.10" N - 08° 55' 21.80" E**.

Comuni limitrofi: Las Plassas, Lunamatrona, Siddi, Tuili, Turri, Ussaramanna, Villamar.



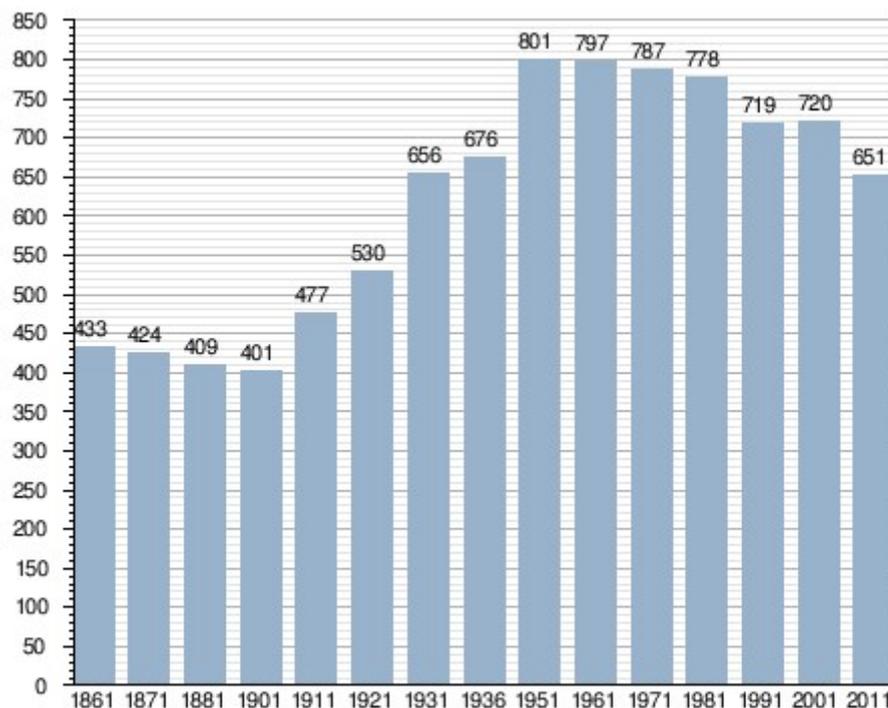
Il centro abitato sorge a 140 metri sopra il livello del mare, ma il territorio di Pauli risulta compreso tra i 113 e i 239 metri, con un'escursione altimetrica complessiva di 126 metri.

Origini del nome, Il toponimo compare nella dizione dialettale con “pau sisanus”, che riflette la denominazione più antica “Pauli Sizzanos”, specificazione che allude al nome di un villaggio distrutto da tempo, e che rimase deserto nel 1728. Secondo qualche studioso, l’aggiunta “Arbarei” è dovuta ai molti alberi da cui era circondato l’abitato.

La zona era abitata già in epoca nuragica, per la presenza di alcuni nuraghi. In epoca medioevale appartenne al Giudicato di Arborea e fece parte della curatoria di Marmilla. Alla caduta del giudicato (1410) entrò a far parte del Marchesato di Oristano. In seguito al fallimento della rivolta antiaragonese di Leonardo Alagon, ultimo marchese di Oristano, dopo la battaglia di Macomer (1478) tutta l'area passò sotto il dominio aragonese. In epoca aragonese fece parte dell'Incontrada di Parte Montis, appartenente alla contea di Quirra, feudo dei Carroz. Nel 1603 la contea divenne un marchesato, feudo dei Centelles. In periodo sabauda, nel 1798, passò agli Osorio de la Cueva, in possesso dei quali rimase fino al 1839 quando fu riscattato in seguito alla soppressione del sistema feudale. L'esistenza del borgo è attestata nei documenti fino alla seconda metà del Settecento. La palude venne prosciugata alla fine dell'Ottocento, a iniziativa dei nobili Francesco Maria ed Emanuele Paderi, che l’acquistarono dal demanio.

Le attività occupazionali principali sono l'agricoltura e la pastorizia. Risultano insistere sul territorio del comune un'attività industriale con 3 addetti, pari al 2,46% della forza lavoro occupata, 10 attività di servizio, con il 21,31% della forza lavoro occupata, altre 17 attività di servizio con 53 addetti, pari al 43,44% della forza lavoro occupata e 9 attività amministrative con 40 addetti, pari al 32,79% della forza lavoro occupata.

Evoluzione demografica:



USO DEL SUOLO

Il settore di progetto, caratterizzato da colture di suolo profondo e omogeneo, è coperto da vegetazione erbacea, in minima parte da rada vegetazione a pascolo.

La gran parte delle superfici presenti sono dei seminativi / erbai con costante presenza di ovini al pascolo.

Si tratta di terreni in gran parte di ottime caratteristiche agro - pedologiche che con la pratica irrigua consentono di ottenere un incremento delle rese delle colture già attualmente praticate in asciutto e delle buone rese delle colture irrigue di nuovo impianto.

COMPONENTI E FATTORI AMBIENTALI

L’analisi delle componenti ambientali, definisce in assenza dell’intervento, la loro ricchezza ed il loro attuale utilizzo, in termini di valutazione della quantità, qualità, capacità di rigenerazione, influenza dell’uomo (criticità o stato di stress), caratteri di eccezionalità, vulnerabilità e sensibilità (Bianco Ambientale).

Le componenti ed i fattori ambientali analizzati sono di seguito elencati:

- Atmosfera;
- Componenti abiotiche;
- Componenti biotiche e capacita' di carico;
- Componenti antropiche.

L'area di intervento è collocata nel cuore della Marmilla, una sub regione situata nella parte meridionale della Sardegna. La Marmilla si estende tra il Sarcidano, la Trexenta, la Parte Usellus e il Campidano di Cagliari. I suoi limiti geografici sono individuabili a nord-ovest dal Monte Arci, a nord dalla Giara di Gesturi e dalla Giara di Serri, ad est dal Flumini Mannu e dalla vicina Trexenta, a sud e sud-est dalle colline vulcaniche di Furtei e dalla piana del Campidano.

L'area interessata dal progetto ricade nella Bassa Marmilla all'interno dei territori comunali di Pauli Arbarei e Lunamatrona.

In sintesi l'analisi delle singole componenti ambientali non ha rilevato caratteri di criticità in termini di naturalità, elementi di carattere abiotici e biotico da tutelare. Le opere da realizzare insistono in aree antropizzate con assenza di caratteristiche di naturalità e prive di elementi di particolare pregio naturalistico, paesaggistico e storico culturale.

Il presente studio, quindi, tende a dare una descrizione a carattere generale dell'area vasta in cui si incentra il settore in studio, poiché uno studio di dettaglio delle componenti biotiche esula dagli scopi del presente lavoro.

LA VEGETAZIONE

Nel sito in oggetto la tipologia vegetazionale più presente è il seminativo e a tratti il pascolo naturale con rara presenza di formazione vegetazionale di arbusti o alberi allo stadio di arbusti (perastro, olivastro). Sono presenti anche aree di coltivazioni di olivo da olio.

LA FAUNA

L'analisi della fauna ha messo in evidenza l'esiguità del numero di specie presenti nell'area, non sembrano esistere condizioni ecologiche indispensabili per la sussistenza o la nidificazione di specie protette.

Su tutti i fondi agricoli, attualmente, viene praticato la coltivazione di gr il pascolo di ovini in quanto le aree sono prati pascolo magri. Le produzioni realizzate vengono utilizzate direttamente dalle aziende agricole che conducono i terreni in oggetto.

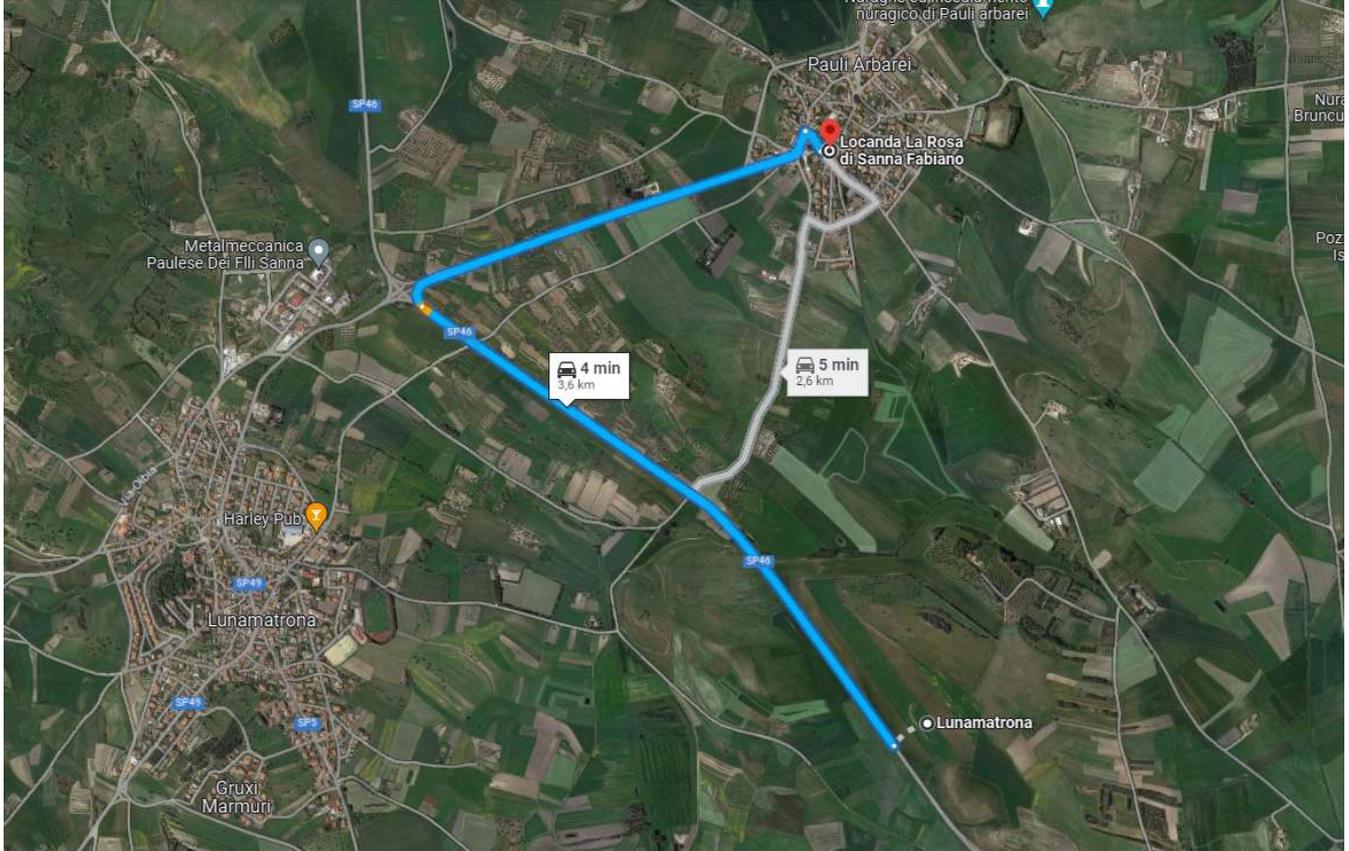






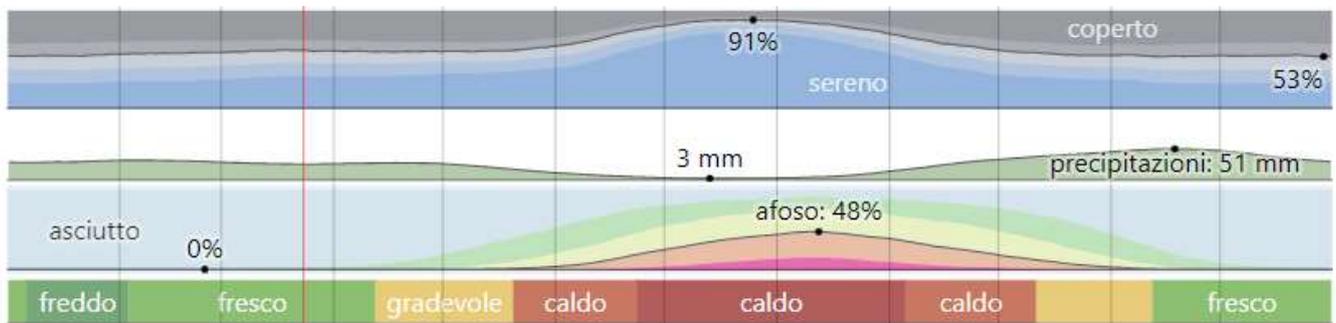
4. ACCESSO AL SITO

L'accesso all'area di progetto è garantito attraverso la Strada Provinciale 46 che collega il Comune di Villamar con i Comuni di Lunamatrona e Pauli Arbarei.



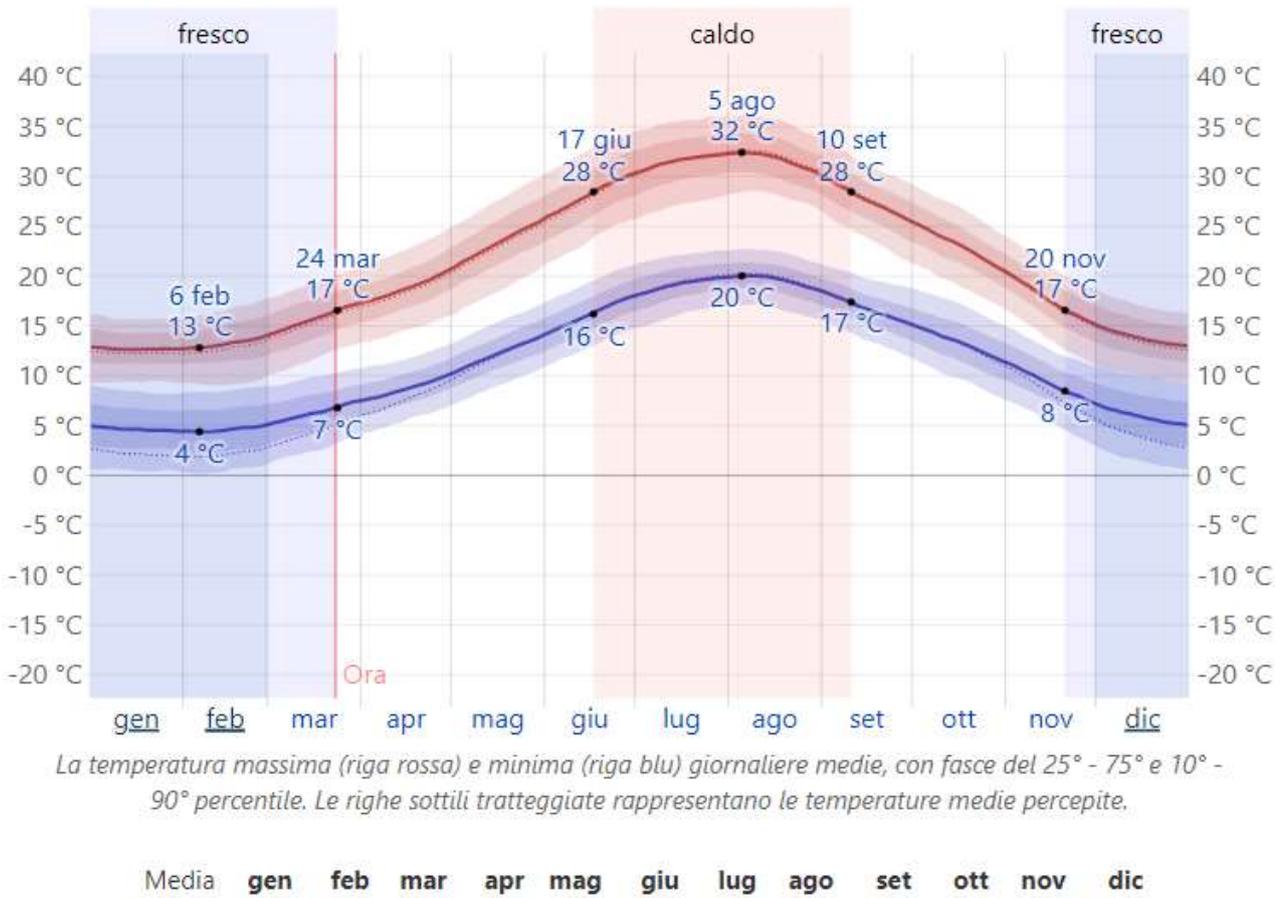
5. ASPETTI CLIMATICI

A Pauli Arbarei, le estati sono breve, caldo, umido, asciutto e preval. sereno e gli inverni sono lungo, freddo, ventoso e parzial. nuvoloso. Durante l'anno, la temperatura in genere va da 4 °C a 32 °C ed è raramente inferiore a 0 °C o superiore a 36 °C. In base alla valutazione spiaggia/piscina, il miglior periodo dell'anno per visitare Pauli Arbarei per attività che richiedono temperature calde è da fine giugno a inizi settembre

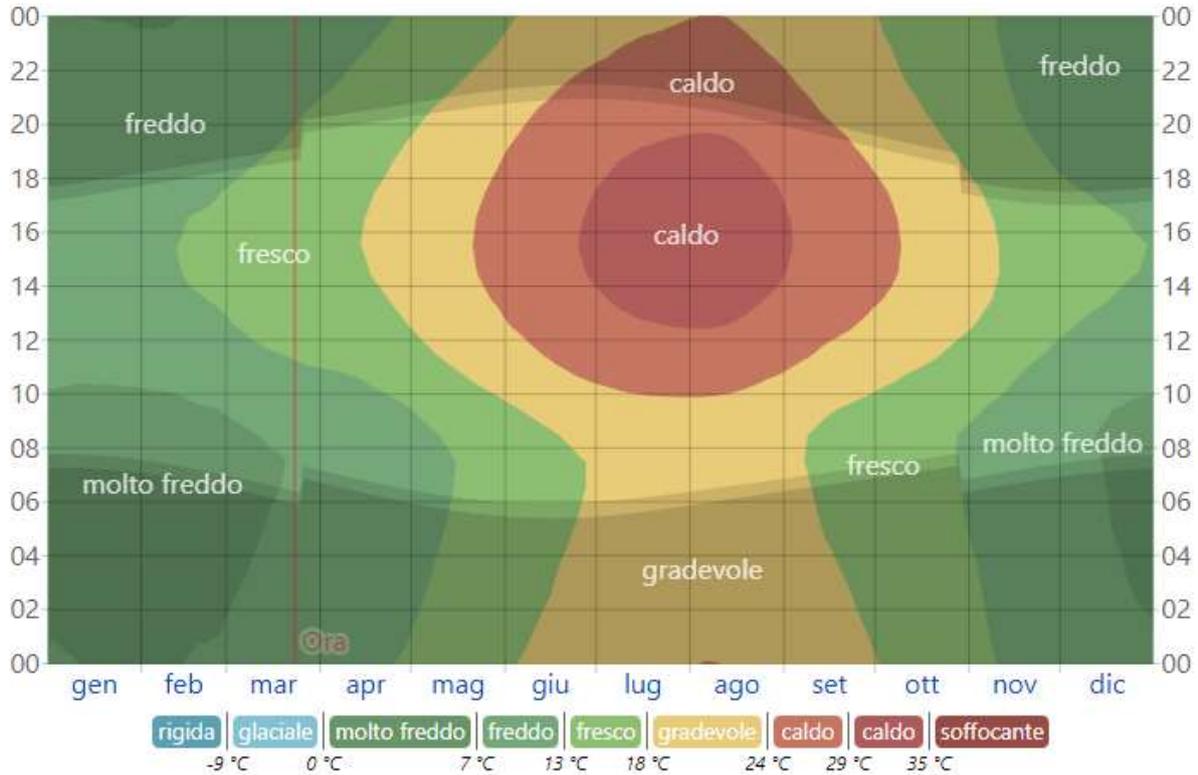


La stagione calda dura 2,8 mesi, dal 17 giugno al 10 settembre, con una temperatura giornaliera massima oltre 28 °C. Il mese più caldo dell'anno a Pauli Arbarei è agosto, con una temperatura media massima di 32 °C e minima di 20 °C.

La stagione fresca dura 4,1 mesi, da 20 novembre a 24 marzo, con una temperatura massima giornaliera media inferiore a 17 °C. Il mese più freddo dell'anno a Pauli Arbarei è gennaio, con una temperatura media massima di 5 °C e minima di 13 °C.

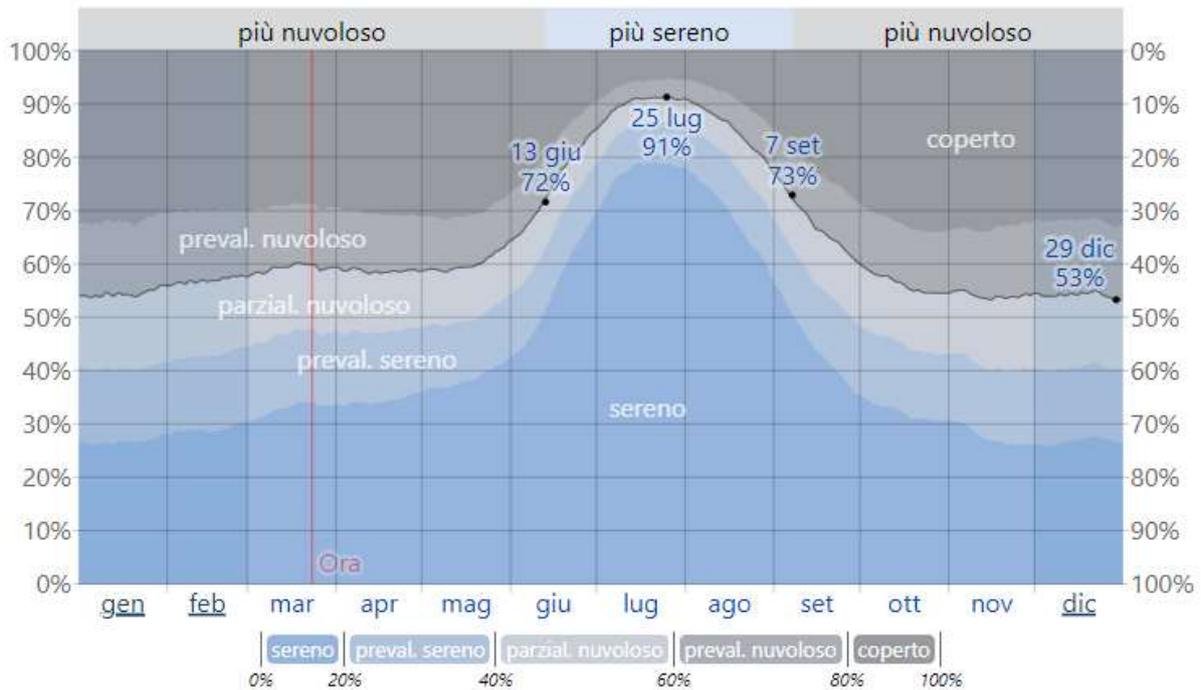


La figura qui di seguito mostra una caratterizzazione compatta delle temperature medie orarie per tutto l'anno. L'asse orizzontale rappresenta il giorno dell'anno, l'asse verticale rappresenta l'ora del giorno, e il colore rappresenta la temperatura media per quell'ora e giorno.



Nuvolosità:

A Pauli Arbarei, la percentuale media di cielo coperto da nuvole è accompagnata da variazioni stagionali moderate durante l'anno. Il periodo più sereno dell'anno a Pauli Arbarei inizia attorno al 13 giugno, dura 2,8 mesi e finisce attorno al 4 settembre. Il mese più soleggiato a Pauli Arbarei è luglio, con condizioni medie soleggiate, prevalentemente soleggiate, o parzialmente nuvolose 90% del tempo. Il periodo più sereno dell'anno inizia attorno all'7 settembre, dura 9,2 mesi e finisce attorno al 13 giugno. Il mese più nuvoloso a Pauli Arbarei è novembre, con condizioni medie coperte, prevalentemente nuvolose, 46% del tempo.



La percentuale di tempo trascorso in ciascuna fascia di copertura nuvolosa, categorizzata secondo la percentuale di copertura nuvolosa del cielo.

Frazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Più nuvoloso	46%	43%	41%	41%	40%	25%	10%	15%	33%	44%	46%	46%
Più sereno	54%	57%	59%	59%	60%	75%	90%	85%	67%	56%	54%	54%

Precipitazioni:

Un giorno umido è un giorno con al minimo 1 millimetro di precipitazione liquida o equivalente ad acqua. La possibilità di giorni piovosi a Pauli Arbarei varia durante l'anno.

La stagione più piovosa dura 7,5 mesi, dal 26 settembre al 10 maggio, con una probabilità di oltre 15% che un dato giorno sia piovoso. Il mese con il maggiore numero di giorni piovosi a Pauli Arbarei è novembre, con in media 8,1 giorni di almeno 1 millimetro di precipitazioni.

La stagione più asciutta dura 4,5 mesi, dal 10 maggio al 26 settembre. Il mese con il minor numero di giorni piovosi a Pauli Arbarei è luglio, con in media 0,7 giorni di almeno 1 millimetro di precipitazioni.

Fra i giorni piovosi, facciamo la differenza fra giorni con solo pioggia, solo neve, o un misto dei due. Il mese con il numero maggiore di giorni di solo pioggia a Pauli Arbarei è novembre, con una media di 8,1 giorni. In base a questa categorizzazione, la forma più comune di precipitazioni durante l'anno è solo pioggia, con la massima probabilità di 29% il 21 novembre.



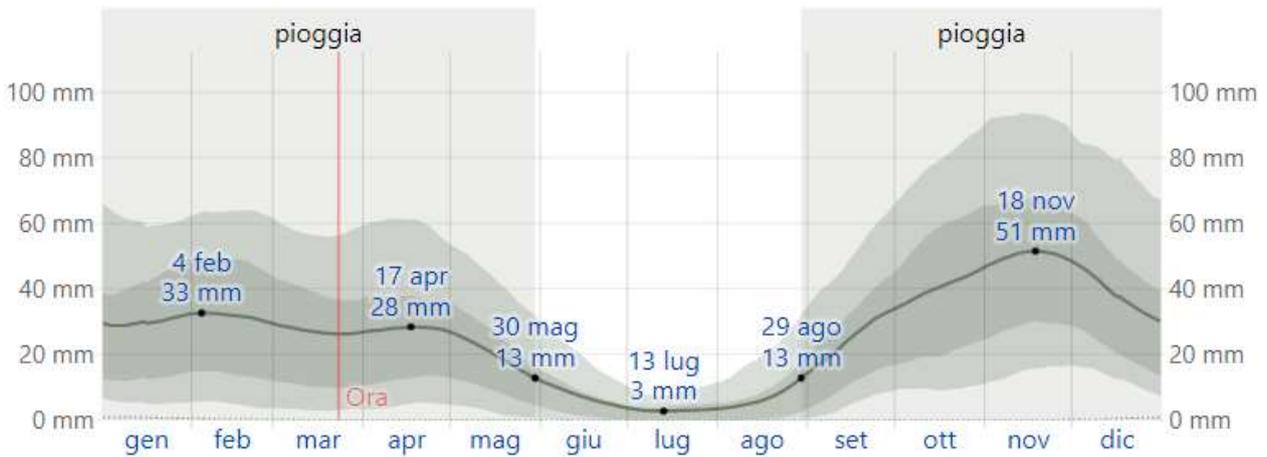
La percentuale di giorni i cui vari tipi di precipitazione sono osservati, tranne le quantità minime: solo pioggia, solo neve, e miste (pioggia e neve nella stessa ora).

Giorni di	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Pioggia	5,5gg	5,4gg	4,8gg	5,2gg	3,8gg	1,3gg	0,7gg	1,2gg	3,7gg	6,1gg	8,1gg	6,5gg

Per mostrare le variazioni nei mesi e non solo il totale mensile, mostriamo la pioggia accumulata in un periodo mobile di 31 giorni centrato su ciascun giorno. Pauli Arbarei ha alcune variazioni stagionali di piovosità mensile.

Il periodo delle piogge nell'anno dura 9,0 mesi, da 29 agosto a 30 maggio, con un periodo mobile di 31 giorni di almeno 13 millimetri. Il mese con la maggiore quantità di pioggia a Pauli Arbarei è novembre, con piogge medie di 51 millimetri.

Il periodo dell'anno senza pioggia dura 3,0 mesi, 30 maggio - 29 agosto. Il mese con la minore quantità di pioggia a Pauli Arbarei è luglio, con piogge medie di 3 millimetri.



La pioggia media (riga continua) accumulata durante un periodo mobile di 31 giorni centrato sul giorno in questione con fasce del 25° - 75° e 10° - 90° percentile. La riga tratteggiata sottile indica le nevicate medie corrispondenti.

gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	
Pioggia	29,4mm	31,9mm	26,8mm	28,1mm	19,8mm	7,1mm	2,7mm	5,9mm	24,7mm	40,5mm	51,3mm	37,6mm

Sole:

La lunghezza del giorno a Pauli Arbarei cambia significativamente durante l'anno. Nel 2023, il giorno più corto è il 22 dicembre, con 9 ore e 22 minuti di luce diurna il giorno più lungo è il 21 giugno, con 14 ore e 59 minuti di luce diurna.

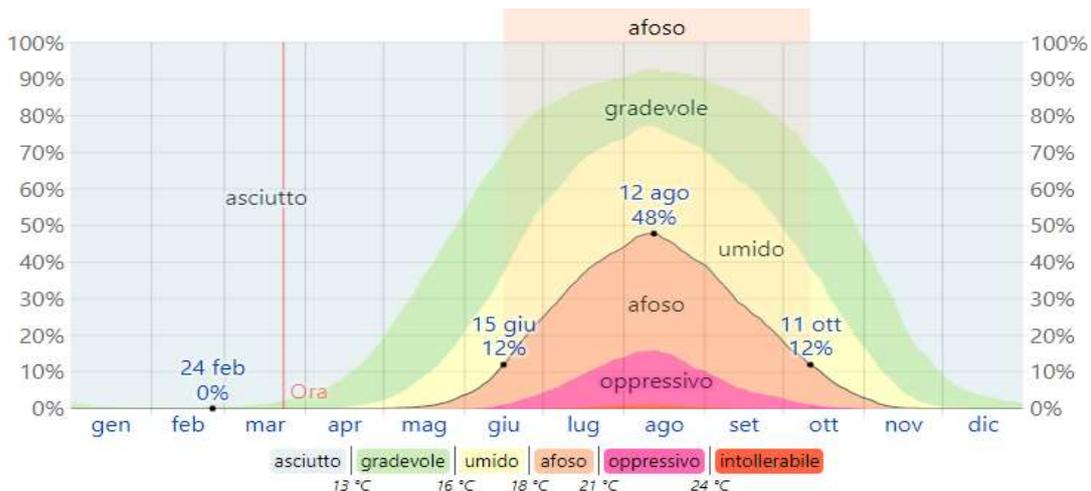


Il numero di ore in cui il sole è visibile (riga nera). Dal basso (più giallo) all'alto (più grigio), le fasce di colore indicano: piena luce diurna, crepuscolo (civico, nautico e astronomico) e piena notte.

Ore di	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Luce diurna	9,7h	10,7h	12,0h	13,3h	14,4h	14,9h	14,6h	13,7h	12,4h	11,1h	10,0h	9,4h

Umidità:

Basiamo il livello di comfort sul punto di rugiada, in quanto determina se la perspirazione evaporerà dalla pelle, raffreddando quindi il corpo. Punti di rugiada inferiori danno una sensazione più asciutta e i punti di rugiada superiori più umida. A differenza della temperatura, che in genere varia significativamente fra la notte e il giorno, il punto di rugiada tende a cambiare più lentamente, per questo motivo, anche se la temperatura può calare di notte, dopo un giorno umido la notte sarà generalmente umida. Pauli Arbarei vede significative variazioni stagionali nell'umidità percepita. Il periodo più umido dell'anno dura 3,9 mesi, da 15 giugno a 11 ottobre, e in questo periodo il livello di comfort è afoso, oppressivo, o intollerabile almeno 12% del tempo. Il mese con il maggior numero digiorni afosi a Pauli Arbarei è il agosto, con 13,8 giorni afosi o peggio. Il giorno meno umido dell'anno è il 24 febbraio, con condizioni umide essenzialmente inaudite..

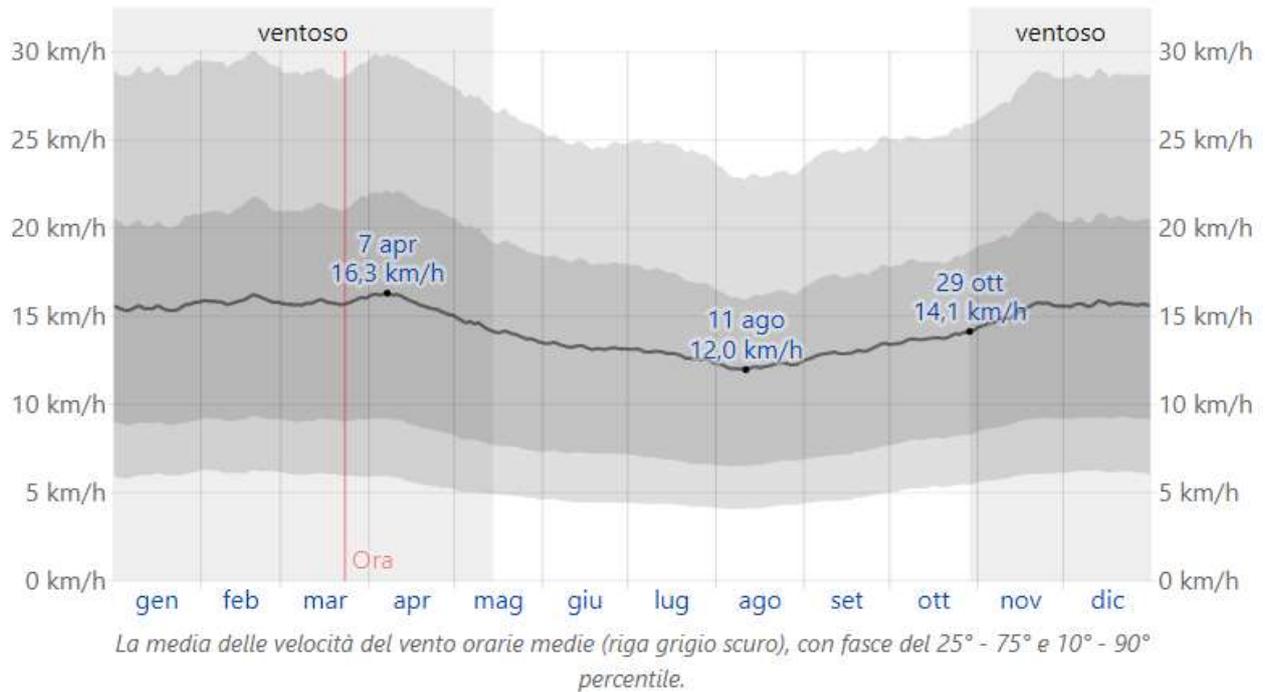


La percentuale di tempo a diversi livelli di comfort umidità, categorizzata secondo il punto di rugiada.

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Giorni afosi	0,0gg	0,0gg	0,0gg	0,0gg	0,3gg	4,1gg	11,3gg	13,8gg	8,3gg	2,8gg	0,2gg	0,0gg

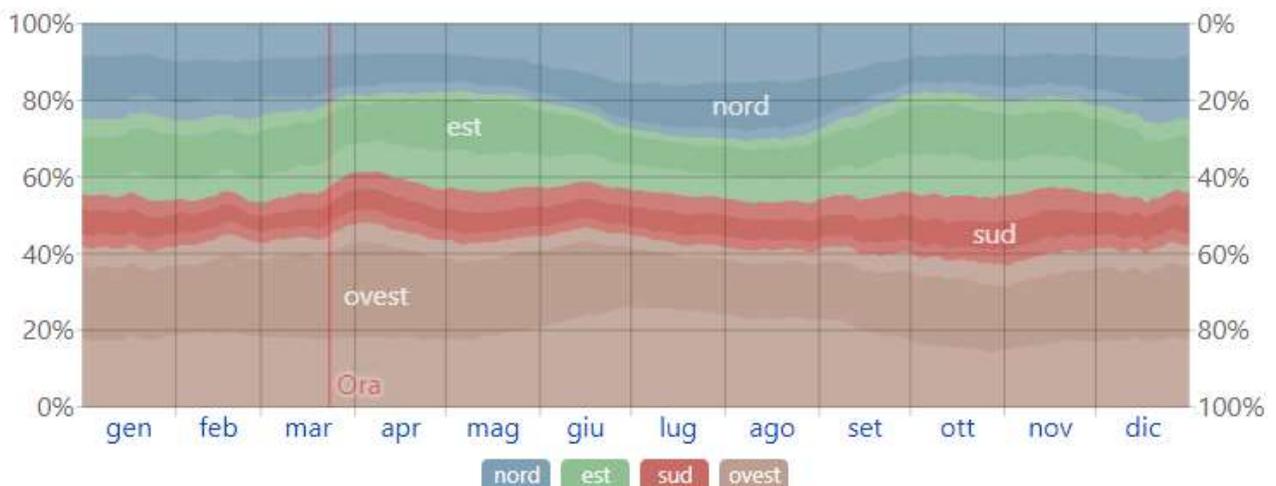
Vento:

Questa sezione copre il vettore medio orario dei venti su un'ampia area (velocità e direzione) a 10 metri sopra il suolo. 10 metri Il vento in qualsiasi luogo dipende in gran parte dalla topografia locale e da altri fattori, e la velocità e direzione istantanee del vento variano più delle medie orarie. La velocità oraria media del vento a Pauli Arbarei subisce moderate variazioni stagionali durante l'anno. Il periodo più ventoso dell'anno dura 6,5 mesi, dal 29 ottobre al 14 maggio, con velocità medie del vento di oltre 14,1 chilometri orari. Il giorno più ventoso dell'anno a Pauli Arbarei è febbraio, con una velocità oraria media del vento di 15,9 chilometri orari. Il periodo dell'anno più calmo dura 5,5 mesi, da 14 maggio a 29 ottobre. Il giorno più calmo dell'anno a Pauli Arbarei è agosto, con una velocità oraria media del vento di 12,2 chilometri orari.



	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Velocità del vento (kph)	15.5	15.9	15.8	15.8	14.1	13.3	12.8	12.2	13.0	13.8	15.2	15.7

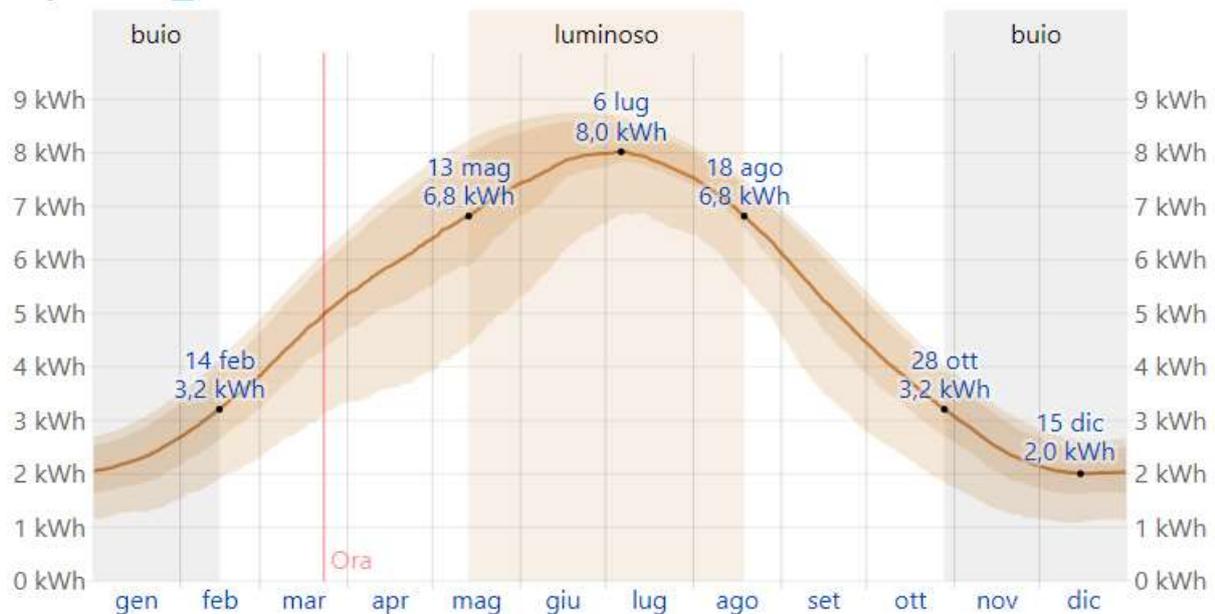
La direzione oraria media del vento predominante a Pauli Arbarei è da ovest durante l'anno.



La percentuale di ore in cui la direzione media del vento è da ognuna delle quattro direzioni cardinali del vento, tranne le ore in cui la velocità media del vento è di meno di 1,6 km/h. Le aree leggermente colorate ai bordi sono la percentuale di ore passate nelle direzioni intermedie implicite (nord-est, sud-est, sud-ovest e nord-ovest).

Energia solare:

Questa sezione discute l'energia solare a onde corte incidente totale giornaliera che raggiunge la superficie del suolo in un'ampia area, tenendo in considerazione le variazioni stagionali nella lunghezza del giorno, l'elevazione del sole sull'orizzonte e l'assorbimento da parte delle nuvole e altri elementi atmosferici. La radiazione delle onde corte include luce visibile e raggi ultravioletti. L'energia solare a onde corte incidente giornaliera media subisce estreme variazioni stagionali durante l'anno. Il periodo più luminoso dell'anno dura 3,2 mesi, dal 13 maggio al 18 agosto, con un'energia a onde corte incidente giornaliera media per metro quadrato di oltre 6,8 kWh. Il mese più luminoso dell'anno a Pauli Arbarei è luglio, con una media di 7,8 kWh. Il periodo più buio dell'anno dura 3,6 mesi, dal 28 ottobre al 14 febbraio, con un'energia a onde corte incidente giornaliera media per metro quadrato di meno di 3,2 kWh. Il mese più buio dell'anno a Pauli Arbarei è dicembre, con una media di 2,0 kWh.



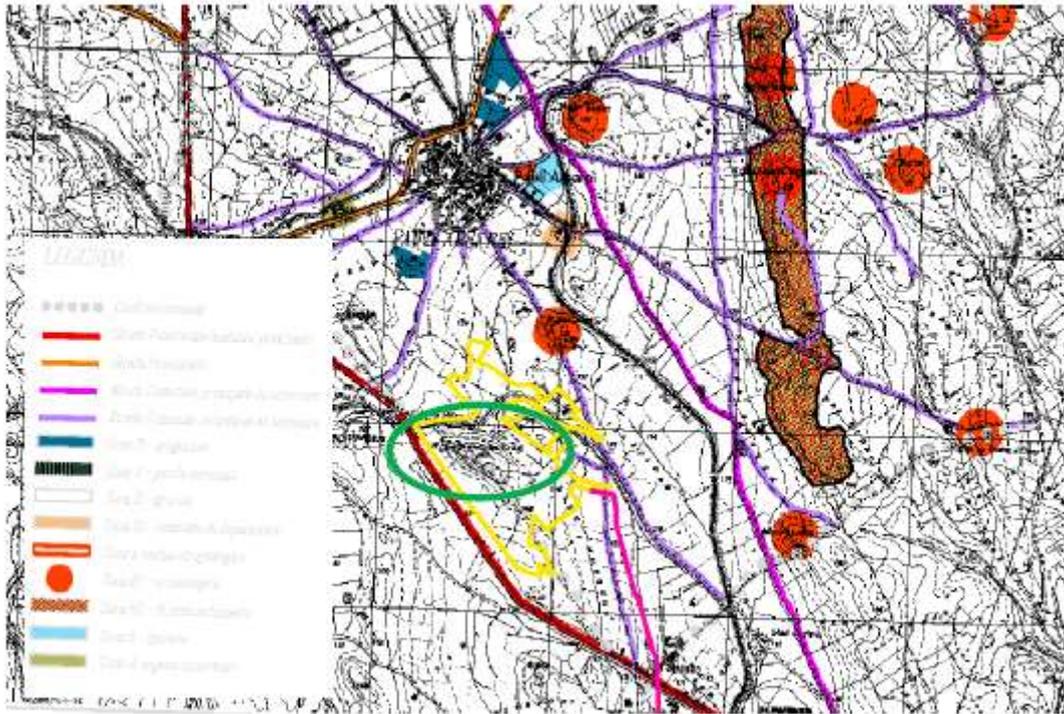
L'energia solare a onde corte incidente media che raggiunge il suolo per medio quadrato (riga arancione), con fasce di percentili dal 25° al 75° e dal 10° al 90°.

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Energia solare (kWh)	2.3	3.3	4.7	5.9	7.0	7.8	7.8	6.9	5.2	3.7	2.5	2.0

6. RIFERIMENTI URBANISTICI E PIANIFICATORI

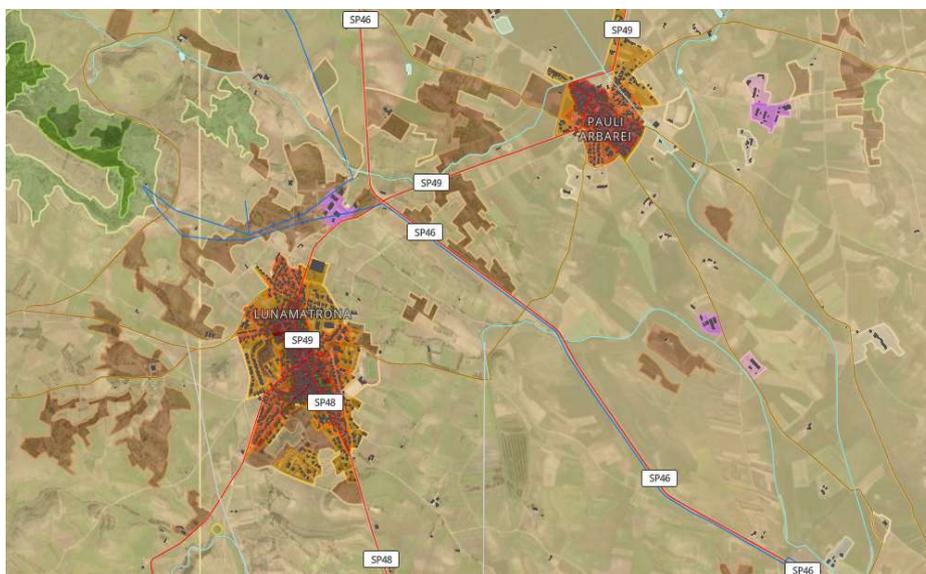
Con riferimento al P.U.C. del Comuni di Pauli Arbarei, l'area di progetto rientra in Zona Agricola E, Sottozona E2, ovvero aree di primaria importanza per la funzione agricolo-produttiva.

PUC Pauli Arbarei stralcio mappa



In rosso, la zona di progetto. - In magenta, il percorso di connessione. - Cerchio verde, la posizione approssimativa di Nuraghe "Bruncu sa Cruxi". - Nelle figure sottostanti, si evidenzia un'incoerenza tra le informazioni riportate nell'IGM e quelle riportate nell'IGM. Secondo il P.U.C. di Lunamatrona, l'area di progetto rientra in Zona Agricola E, Sottozona E2, ovvero aree di primaria importanza per la funzione agricolo-produttiva. Sono definite zone agricole le parti del territorio destinate all'agricoltura, alla pastorizia e alla zootecnia.

Anche sul PPR l'intera area di progetto e quelle limitrofe sono totalmente agricole con uso del suolo Colture erbacee specializzate, si veda stralcio mappa:



7. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

Scopo del presente documento è quello di illustrare i criteri progettuali e le principali caratteristiche tecniche relative alla costruzione di un impianto agrivoltaico associato alla proponente Società Lightsource Renewable Energy Italy Spv 16 S.R.L. con sede in Via Giacomo Leopardi 7 (MI).

Tutte le parti di impianto oggetto della presente valutazione saranno realizzate nei territori dei comuni di Pauli Arbarei (SU) e Lunamatrona (SU) con moduli installati su strutture a terra, ovvero su apposite strutture di sostegno direttamente infisse nel terreno senza l'ausilio di elementi in calcestruzzo, sia prefabbricato che gettato in opera. Di seguito si riporta la denominazione, potenza nominale di picco (DC) e potenza di immissione in rete (AC) dell'impianto agrivoltaico oggetto della presente relazione illustrativa:

DENOMINAZIONE IMPIANTO	Pauli Arbarei Lightsource Renewable Energy Italy Spv 16 S.R.L.
POTENZA NOMINALE DC (MWp)	33,81
POTENZA PRODUZIONE AC (MWp)	33,21
POTENZA STORAGE AC (kWac)	7.800

L'impianto sarà collegato in antenna a 36 kV di una futura Stazione Elettrica (SE) di trasformazione RTN 380/150/36 kV da inserire in entra-esce alla linea RTN 380 kV "Ittiri-Selargius". Parte dell'energia prodotta servirà per il mantenimento delle batterie di accumulo. La restante energia prodotta, verrà immessa in rete al netto dei consumi per l'alimentazione dei servizi ausiliari necessari al corretto funzionamento ed esercizio dell'impianto stesso.

L'idea alla base del presente sviluppo progettuale è quella di massimizzare la potenza di picco dell'impianto fotovoltaico in rapporto alla superficie utile di terreno disponibile nel pieno rispetto di tutte le norme tecniche di costruzione e di esercizio vigenti.

La scelta dell'architettura di impianto e dei materiali da utilizzare per la costruzione tengono conto da un lato di quanto la moderna tecnologia è in grado di offrire in termini di materiali e dall'altro degli standard costruttivi propri della Società proponente.

Nel rispetto di quanto riportato secondo il preventivo di connessione Terna codice pratica 202200895, l'impianto in fase di esercizio sarà configurato affinché non venga superata la potenza pari a 33,21 MW di immissione in rete.

Come anticipato, l'impianto agrivoltaico in progetto, sarà realizzato nei territori dei comuni di Pauli Arbarei, Provincia del Sud Sardegna (SU) e Lunamatrona in provincia di Cagliari (SU). I terreni sono regolarmente censiti al catasto come da piano particellare riportato nel documento PD_REL17. Il design di impianto ha tenuto conto delle superfici di terreno disponibile all'installazione del generatore agrivoltaico.

Rispetto all'agglomerato urbano della città di Pauli Arbarei l'area di impianto è ubicata in un'area individuata nella zona periferica a Sud dell'abitato della cittadina ad una distanza media di circa 1,5km dal centro abitato di Pauli Arbarei e circa 2,1km dal centro di Lunamatrona.

LATITUDINE	+39.62°
LONGITUDINE	+8.93°
QUOTA m s.l.m.	136.03
FOGLIO CATASTALE	vedi PD_REL17
PARTICELLE	vedi PD_REL17



Il generatore fotovoltaico si estenderà su una superficie di terreno a destinazione agricola insistente nei territori dei comuni di Pauli Arbarei (SU) e Lunamatrona (SU). Di seguito si riportano le caratteristiche principali per ciascun impianto:

SUPERFICIE RECINTATA (Ha)	40,47
POTENZA NOMINALE DC (MWp)	33,81
POTENZA PRODUZIONE AC (MWp)	33,21
MODULI INSTALLATI	48.300
TOTALE STRINGHE INSTALLATE	1.725
NUMERO INVERTER CENTRALIZZATI	10

I moduli fotovoltaici installati avranno potenza nominale (@STC) pari a 700 W, saranno del tipo bifacciali e installati "a terra" su strutture a inseguimento solare (tracker) con asse di rotazione Nord/Sud ed inclinazione massima di circa 60°.

I moduli fotovoltaici scelti per la realizzazione dell'impianto oggetto della presente relazione sono di tipo bifacciale in grado cioè di captare la radiazione luminosa sia sul fronte che sul retro del modulo, avranno dimensioni pari a (2384 H x 1303 L x 35 P) mm e sono composti da 132 celle per faccia (22x6) in silicio monocristallino tipo P. Essi saranno fissati su ciascuna struttura in modalità Landscape 2xN, ovvero in file composte da due moduli con lato corto parallelo al terreno, le strutture utilizzate nel presente progetto saranno essenzialmente di un tipo individuato in funzione della loro lunghezza ovvero 2x14 moduli a cui corrispondono strutture di lunghezza complessiva di circa 19 metri. La struttura sarà collegata a pali di sostegno verticali infissi nel terreno senza l'ausilio di opere in calcestruzzo. I moduli saranno collegati tra di loro in serie a formare stringhe ciascuna delle quali composta da 28 moduli, la lunghezza di stringa è stabilita in funzione delle caratteristiche del sistema fotovoltaico in termini di tensione massima ammissibile e della potenza complessiva.

Per la conversione della corrente continua prodotta dai moduli fotovoltaici in corrente alternata fruibile dal sistema di distribuzione e trasmissione nazionale, si realizzerà per ogni sottocampo un locale di conversione e trasformazione, dove verranno installati gli inverter con relativi trasformatori MT/BT 36Kv/0,8kV.

I quadri di stringa raccolgono l'energia generata dal array DC, collegando in parallelo le stringhe all'inverter e fornendo protezione elettrica per il campo fotovoltaico. Per far corrispondere il numero di ingressi dell'inverter, diverse stringhe in parallelo saranno concentrate in modo da funzionare come un unico circuito. Le scatole di derivazione devono essere installate con un fusibile per stringa per proteggere ogni array. Verranno installati scaricatori di sovratensione in DC ed un interruttore DC verrà posizionato nella linea di uscita. Inoltre, è possibile installare un sistema di comunicazione per monitorare la corrente e la tensione della stringa. I quadri di stringa saranno installati in una posizione ombreggiata e saranno facilmente accessibili per facilitare le lavori di manutenzione. Saranno posizionati dietro i moduli fotovoltaici e, se possibile, utilizzando i pali di strutture esistenti, in modo che rimangano ombreggiati e protetti da danni causati dalla pioggia o da altri fenomeni atmosferici.

Ciascuna stazione di trasformazione sarà composta da un box tipo container di dimensioni pari a c.a. 3,00x2,5x2,95 m. Il design di impianto prevede l'utilizzo di inverter di tipo centralizzati, ovvero unità statiche di conversione della corrente DC/AC caratterizzate da potenze nominali elevate e dotati di un sistema di tracciamento del punto di massima potenza (MPPT), con elevato grado di protezione esterno IP66 e sistema di raffreddamento Smart Air Cooling.

Come evidenziato, ogni inverter sono collocati in campo e collegati a un quadro di bassa tensione all'interno di box container insieme agli altri apparati necessari per l'elevazione della tensione di esercizio fino a 36kV. Pertanto, ciascun quadro è poi collegato, all'interno dell'alloggiamento di ciascuna stazione di trasformazione al trasformatore BT/MT, al quadro di media tensione e a tutti gli apparati dedicati alla gestione, controllo e protezione necessari al corretto funzionamento ordinario dei suddetti apparati.

L'impianto fotovoltaico sarà completato dall'installazione di una cabina di interfaccia con control room, ubicata quanto più possibile in corrispondenza del punto di accesso al campo o in zona facilmente accessibile sia per motivi funzionali che di sicurezza. La cabina di interfaccia sarà realizzata con un manufatto in cemento armato vibrato (c.a.v.) di dimensioni 16,45x3,10x4,00 m. Lo spazio all'interno del manufatto sarà organizzato in modo tale da avere un locale per il sezionamento e protezione dei circuiti di media tensione (collocamento del quadro generale di media tensione), un locale dedicato all'installazione del trasformatore di spillamento MT/BT da 100 kVA dedicato all'alimentazione di tutti i servizi a corredo dell'impianto fotovoltaico e necessari alla gestione del sistema, una control room dove tra l'altro saranno posizionati i quadri generale di bassa tensione e l'armadio rack e, infine, un locale ufficio. Il quadro di media tensione collocato all'interno della cabina di interfaccia è l'apparato dove saranno attestate tutte le linee MT provenienti dalle stazioni di trasformazione in campo e rappresenta il punto di interfaccia dell'impianto con la RTN, su di esso sarà infatti attestata anche la linea di collegamento in uscita dal campo verso la stazione elettrica e saranno collocate tutte le protezioni indicate dalle vigenti normative tecniche per la connessione come il Sistema di Protezione Generale (SPG) e il Sistema di Protezione di Interfaccia (SPI). La control room, invece, è il locale all'interno del quale saranno collocati i principali apparati ausiliari che consentono la corretta gestione ed esercizio dell'impianto come quelli per la trasmissione dati, per il sistema antintrusione e la videosorveglianza.

L'impianto fotovoltaico sarà altresì dotato di un sistema di telecontrollo (SCADA) attraverso il quale sarà possibile monitorare in tempo reale i principali parametri elettrici sia lato impianto che lato rete ed acquisire i dati di misurazione meteorologici eseguiti dalla meteo station in campo (piranometri, anemometri, etc.). Tutti i dati acquisiti renderanno possibile la valutazione e il controllo delle prestazioni dell'intero sistema. L'impianto di supervisione consentirà anche di eseguire da remoto la modifica del set point di lavoro dei parametri elettrici in rispetto delle richieste del distributore di rete Terna.

Il campo fotovoltaico prevede la realizzazione di un sistema di viabilità interna e/o perimetrale che possa consentire in modo agevole il raggiungimento di tutti i componenti in campo, sia per garantire la sicurezza dell'opera, che per la corretta gestione nelle operazioni di manutenzione. Tale viabilità verrà realizzata mediante utilizzo del terreno derivanti dalle lavorazioni di scavo. L'impianto sarà protetto contro gli accessi indesiderati mediante l'installazione di una recinzione perimetrale e dal sistema di illuminazione e videosorveglianza. L'accesso carrabile sarà costituito da un cancello a due ante in pannellature metalliche di larghezza 4 metri e montato su pali in castagno infissi al suolo. La recinzione perimetrale sarà realizzata con rete metallica rombata a maglia larga alta 2 metri e sormontata da filo spinato, collegata a pali di castagno alti 3 metri infissi direttamente nel suolo per una profondità di 100 cm. La rete metallica non sarà realizzata a totale chiusura del perimetro, rispetto al piano campagna, infatti, sarà lasciato un passaggio di altezza 20 cm che consenta il passaggio della fauna selvatica di piccola taglia. Sia la viabilità perimetrale che quella interna avranno larghezza di 3,5 m; entrambe i tipi di viabilità saranno realizzate in battuto e ghiaia (materiale inerte di cava a diversa granulometria) oltre al materiale derivante dalle lavorazioni di scavo. Il sistema di illuminazione e videosorveglianza prevede l'installazione dei componenti in campo su pali in acciaio zincato fissati al suolo con pozzetto di fondazione in calcestruzzo dedicato. I pali avranno una altezza di circa 3 m, saranno dislocati ogni 40 metri lungo la recinzione perimetrale e su di essi saranno montati corpi illuminanti (che si attiveranno in caso di allarme/intrusione) e le videocamere del sistema di sorveglianza.

I cavi di collegamento del sistema saranno alloggiati nello scavo perimetrale eventualmente sfruttando quello già previsto

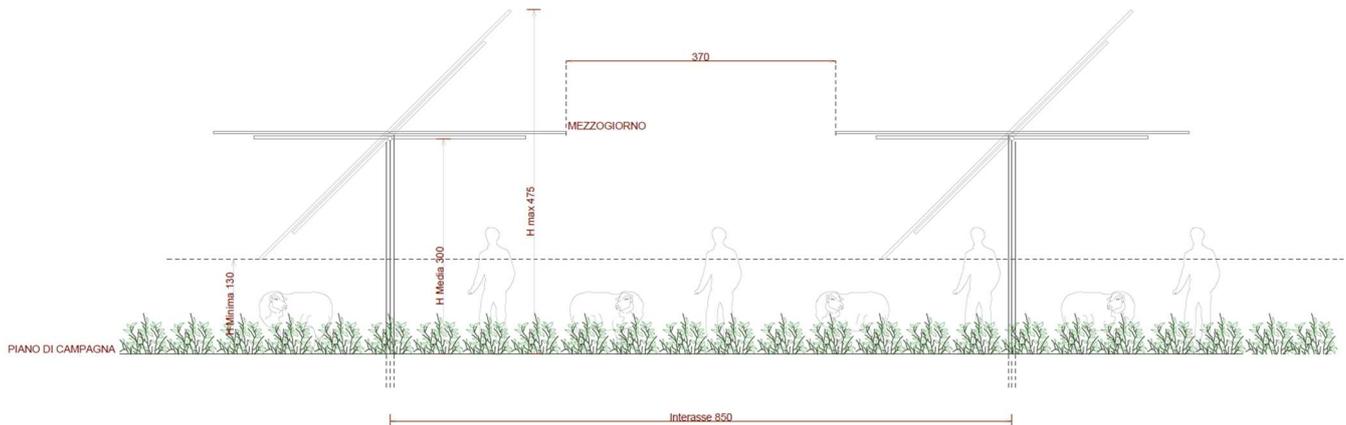
per il passaggio dei cavidotti di ciascun impianto fotovoltaico. Nell'esercizio ordinario degli impianti non sono previsti consumi di energia, eccezion fatta per il sistema di illuminazione e videosorveglianza che avrà una sua linea di alimentazione elettrica tradizionale; è prevista l'installazione di un trasformatore di spillamento di 100 kVA per il funzionamento di tutti i sistemi ausiliari. L'energia prodotta dal generatore fotovoltaico sarà disponibile al confine fisico dell'impianto (in corrispondenza della cabina di interfaccia) e fino alla nuova SE ad una tensione nominale di 36 kV. Secondo le modalità indicate nella Soluzione Tecnica Minima Generale la linea suddetta verrà elevata a 150 kV tramite trasformatore AT/AT installato nella nuova SE.

La distanza tra l'impianto e la suddetta stazione elettrica prevede la realizzazione di un elettrodotto interrato con la posa di una terna di cavi idonei al trasporto di energia in media tensione, 36 kV. Le linee di bassa tensione, sia quelle in corrente continua che in corrente alternata, e le linee di media tensione saranno realizzate totalmente all'interno dell'area occupata dall'impianto fotovoltaico. Tutti i cavi, ad eccezione dei cavi stringa (collegamento moduli/quadri di stringa), saranno posati in trincea ovvero direttamente interrati senza l'ausilio di cavidotti o protezioni meccaniche. In tal caso la profondità di posa dei cavi sarà di 50 cm per illuminazione perimetrale, di 80 cm per i cavi di bassa tensione e 100 cm per quelli di media tensione, tutti saranno opportunamente segnalati mediante la posa di nastro ad una distanza di circa 30 cm verso il piano campagna. Come accennato, fanno eccezione alla posa direttamente interrata in trincea i soli cavi stringa che collegano ciascuna stringa al quadro di riferimento. Oltre a quelli interni al campo fotovoltaico, sarà realizzato il collegamento tra campo e nuova SE tramite cavo in media tensione (36kV). All'interno della nuova SE sarà installato un nuovo trasformatore AT/AT che innalzerà la tensione di esercizio da 36 kV a 150 kV. Questi collegamenti, esterni all'area di impianto, saranno realizzati per quanto possibile a lato della viabilità comunale, provinciale e rurale esistente; i cavi saranno direttamente interrati in trincea ad una profondità di posa minima di 120 cm. Anche in questo caso la segnalazione della presenza dell'elettrodotto interrato sarà resa obbligatoria. L'esercizio ordinario dell'impianto fotovoltaico non richiede ausilio o presenza di personale addetto, tranne per le eventuali operazioni di riparazione in caso di guasto o per le operazioni di manutenzione ordinarie e straordinarie. Con cadenza saltuaria sarà necessario provvedere alla pulizia dell'impianto, che si divide in due operazioni: lavaggio dei pannelli fotovoltaici per rimuovere lo sporco naturalmente accumulatosi sulle superfici captanti (trasporto eolico e meteorico). Per quanto concerne il taglio dell'erba all'interno del parco, non vi è necessaria in quanto la soluzione agrivoltaica prevede il pascolo di capi (soluzione meglio descritta in apposita relazione nonché paragrafo dedicato). La frequenza delle suddette operazioni avrà indicativamente carattere stagionale, salvo casi particolari individuati durante la gestione dell'impianto. Le operazioni di lavaggio dei pannelli saranno invece effettuate con un trattore di piccole dimensioni equipaggiato con una lancia in pressione e una cisterna di acqua demineralizzata. Il trattore passerà sulla viabilità di impianto e laverà i pannelli alla bisogna. L'azione combinata di acqua demineralizzata e pressione assicura una pulizia ottimale delle superfici captanti evitando sprechi di acqua potabile e il ricorso a detersivi e sgrassanti. Tutte le operazioni di manutenzione e riparazione di natura elettrica saranno effettuate da ditte specializzate, con proprio personale e mezzi, con cadenze programmate o su chiamata del gestore dell'impianto.

8. SOLUZIONE AGRIVOLTAICA

L'area individuata per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico, risulta attualmente utilizzata da alcune aziende con ordinamento colturale seminati da granella, nello specifico le aziende coltivano grano e orzo che a maturazione viene raccolto (trebbiato) e commercializzato attraverso un grossista locale. In fase di progettazione sono state considerate delle soluzioni al fine di non interrompere l'attività e l'utilizzo del terreno in essere.

Nello specifico, la configurazione dell'impianto fotovoltaico prevede una distanza tra le file di pannelli pari a 8,50 metri con un corridoio minimo netto di circa 3/4 metri e il punto minimo di altezza dei pannelli rispetto al terreno di 1,30 metri (come indicato nelle linee guida del Ministero Transazione Ecologica pubblicate a giugno 2022). Di seguito si riporta uno schema di configurazione adottato in fase di progettazione:



Altresì di seguito si riportano i calcoli effettuati in rispetto del requisito A in quanto definisce le condizioni necessarie per non compromettere la continuità dell'attività pastorale.

Tale risultato si deve intendere raggiunto al ricorrere simultaneo di una serie di condizioni costruttive e spaziali. In particolare, sono identificati i seguenti parametri:

A.1) Superficie minima coltivata: è prevista una superficie minima dedicata alla coltivazione;

A.2) LAOR massimo: è previsto un rapporto massimo fra la superficie dei moduli e quella agricola;

A.1 Superficie minima per l'attività agricola

Un parametro fondamentale ai fini della qualifica di un sistema agrivoltaico, richiamato anche dal decreto-legge 77/2021, è la continuità dell'attività agricola, atteso che la norma circoscrive le installazioni ai terreni a vocazione agricola.

Tale condizione si verifica laddove l'area oggetto di intervento è adibita, per tutta la vita tecnica dell'impianto agrivoltaico, alle coltivazioni agricole, alla floricoltura o al pascolo di bestiame, in una percentuale che la renda significativa rispetto al concetto di "continuità" dell'attività se confrontata con quella precedente all'installazione (caratteristica richiesta anche dal DL 77/2021).

Pertanto si dovrebbe garantire sugli appezzamenti oggetto di intervento (superficie totale del sistema agrivoltaico, Stot) che almeno il 70% della superficie sia destinata all'attività agricola, nel rispetto delle Buone Pratiche Agricole (BPA).

DATI IMPIANTO	
Superficie Recintata [mq]	404.614
Superficie Copertura Moduli FV [mq]	150.393
Superficie per pascolo [mq al netto di strade, cabinati etc etc]	383.599

A.1 - SUPERFICIE MINIMA PASTORALE [mq] $S_{pastorale} \geq 0,7 \times S_{tot}$	A.1 - $S_{pastorale}$ [mq]
283.230	383.599 requisito rispettato

A.2 Percentuale di superficie complessiva coperta dai moduli (LAOR)

Come già detto, un sistema agrivoltaico deve essere caratterizzato da configurazioni finalizzate a garantire la continuità dell'attività agricola: tale requisito può essere declinato in termini di "densità" o "porosità".

Per valutare la densità dell'applicazione fotovoltaica rispetto al terreno di installazione è possibile considerare indicatori quali la densità di potenza (MW/ha) o la percentuale di superficie complessiva coperta dai moduli (LAOR).

Nella prima fase di sviluppo del fotovoltaico in Italia (dal 2010 al 2013) la densità di potenza media delle installazioni a terra risultava pari a circa 0,6 MW/ha, relativa a moduli fotovoltaici aventi densità di circa 8 m²/kW (ad. es. Singoli moduli da 210 W per 1,7 m²). Tipicamente, considerando lo spazio tra le stringhe necessario ad evitare ombreggiamenti e favorire la circolazione d'aria, risulta una percentuale di superficie occupata dai moduli pari a circa il 50%.

L'evoluzione tecnologica ha reso disponibili moduli fino a 350-380 W (a parità di dimensioni), che consentirebbero, a parità di percentuale di occupazione del suolo (circa 50%), una densità di potenza di circa 1 MW/ha. Tuttavia, una ricognizione di un campione di impianti installati a terra (non agrivoltaici) in Italia nel 2019-2020 non ha evidenziato valori di densità di potenza significativamente superiori ai valori medi relativi al Conto Energia.

Una certa variabilità nella densità di potenza, unitamente al fatto che la definizione di una soglia per tale indicatore potrebbe limitare soluzioni tecnologicamente innovative in termini di efficienza dei moduli, suggerisce di optare per la percentuale di superficie occupata dai moduli di un impianto agrivoltaico.

Al fine di non limitare l'adizione di soluzioni particolarmente innovative ed efficienti si ritiene opportuno adottare un limite massimo di LAOR del 40 %:

A.2 - PERCENTUALE SUPERFICIE COPERTA DA FV [mq] LAOR ≤ 40%
37,17 requisito rispettato

9. EFFETTI MICROCLIMATICI E SULLE PIANTE NEL SISTEMA AGRI-VOLTAICO

La presenza dei pannelli fotovoltaici determina alcune modificazioni microclimatiche riferibili alla disponibilità di radiazione, alla temperatura e all'umidità del suolo che avranno effetti positivi sulle esigenze della specie coltivate.

Radiazione solare

La radiazione solare è un fattore essenziale per le piante, garantendo lo svolgimento della fotosintesi clorofilliana, l'accrescimento e la produzione dei prodotti agricoli.

Le piante, tuttavia, utilizzano solo una minima parte della radiazione solare, dal 2 al 5%, ed in particolare possono impiegare per la fotosintesi solo la frazione visibile, definita PAR (radiazione fotosinteticamente attiva), compresa tra 400 e 700 nm di lunghezza d'onda, che è pari a circa il 40% della radiazione globale. Le piante peraltro riflettono alla superficie delle foglie il 25% della radiazione globale, pari al 10% della radiazione visibile PAR. Va sottolineato che, in condizioni normali di pieno sole, la radiazione globale che raggiunge la superficie del terreno si compone per metà di radiazione diretta, e per metà di radiazione diffusa priva di direzione prevalente.

La presenza del pannello fotovoltaico riduce la percentuale di radiazione diretta, ovvero quella che raggiunge direttamente il suolo, con intensità variabile in funzione della distanza dal filare fotovoltaico, del momento del giorno e del periodo dell'anno, mentre si prevede un aumento della quantità di radiazione diffusa. Nel presente impianto si stima che la riduzione media annua della radiazione diretta sia dell'80% nelle zone immediatamente adiacenti al filare (fino a circa 1 m di distanza), mentre nella zona centrale sia solamente del 35-40%. In realtà, queste riduzioni devono considerarsi meno marcate nel periodo primaverile- estivo durante il quale si realizza lo sviluppo delle maggior parte delle piante coltivate essendone soddisfatte le esigenze termiche, per effetto del maggior angolo di elevazione solare. Inoltre, la tipologia mobile del pannello fotovoltaico adottata in progetto, per effetto di riflessione consente alle piante coltivate di sfruttare la radiazione sia riflessa che diffusa dai pannelli stessi.

Per quanto riguarda il livello di saturazione per l'intensità luminosa, le piante vengono classificate in eliofile e sciafile. Le prime richiedono una elevata quantità di radiazione, mentre le sciafile soffrono per un eccesso di illuminazione, anche se la

maggior parte delle piante coltivate devono essere considerate sciafile facoltative in quanto nelle normali condizioni di coltivazione l'elevata fittezza di semina comporta sempre l'instaurarsi di un ambiente sub-ottimale per l'illuminazione. In generale, si considerano piante con elevate esigenze di intensità di radiazione i cereali, le piante da zucchero, le specie oleaginose, da fiore e da frutto. Sono invece considerate sciafile, con basse esigenze luminose, le specie da fibra, le piante foraggere e alcune piante orticole, nelle quali l'elevata fittezza di semina e l'ombreggiamento sono realizzati agronomicamente per accentuare l'allungamento dei fusti e quindi la produzione di fibra, foraggio e foglie, per effetto della maggiore presenza dell'ormone della crescita (auxina) che è foto-labile. Nell'insalata, ad esempio, un leggero ombreggiamento aumenta lo sviluppo fogliare e riduce lo spessore delle foglie, rendendo il prodotto anche di migliore qualità commerciale.

Temperatura

In riferimento alla temperatura dell'aria, questa rappresenta la diretta conseguenza della radiazione solare. Sebbene sia lecito attendersi una riduzione dei valori termici dell'atmosfera in zone ombreggiate rispetto alle zone in pieno sole, anche di 3-4 °C, l'ombreggiamento determina generalmente uno sfasamento termico, con un ritardo termico al mattino in fase di riscaldamento dell'atmosfera, e un rallentamento del raffreddamento pomeridiano-serale (Panozzo et al., 2019). Al di sotto dell'impianto fotovoltaico, inoltre, è lecito attendersi una maggiore umidità relativa dell'aria al mattino, e minore nel tardo pomeriggio-sera rispetto a zone in pieno sole. L'ombreggiamento delle colture è una pratica agricola molto utilizzata, ad esempio nelle serre per ridurre le temperature nel periodo estivo tramite reti ombreggianti (dal 30 al 50% di ombreggiamento) o pannelli fotovoltaici; l'ombreggiamento riduce la percentuale di nicotina nel tabacco e, nelle serre serve per favorire la colorazione rossa del pomodoro che sarebbe ostacolata da temperature troppo elevate. Ogni specie vegetale necessita di una specifica temperatura minima per accrescersi, il cosiddetto zero di vegetazione. Oltre questa base termica, l'accrescimento accelera all'aumentare della temperatura fino ad una temperatura ottimale, specifica per ciascun stadio di sviluppo, oltre la quale l'accrescimento rallenta fino ad arrestarsi (temperatura massima). Le elevate temperature estive, oltre la temperatura massima, possono quindi danneggiare l'accrescimento delle piante, condizione che si sta progressivamente accentuando in pieno sole a causa del cambiamento climatico. Per mitigare questi effetti, numerosi studi scientifici oggi sono concordi nel suggerire l'introduzione nei sistemi agricoli di filari alberati e siepi a distanza regolare, proprio per attenuare l'impatto negativo delle elevate temperature e della carenza idrica estive. Un servizio analogo potrebbe essere offerto dall'impianto agri-voltaico. In funzione delle esigenze termiche, le piante vengono raggruppate in microterme, generalmente a ciclo autunno-primaverile, aventi modeste esigenze termiche, e macroterme, piante estive che necessitano di temperature mediamente più elevate. I cereali microtermi (frumento, orzo, avena, segale) e molte specie foraggere graminacee (erba mazzolina in particolare, ma anche loiessa, loiutto inglese, poa, festuca arundinacea, coda di topo, etc.), che hanno zero di vegetazione molto bassi, vicini a 1-2 °C, trarrebbero vantaggio dalla condizione di parziale ombreggiamento che si realizza in un impianto agri-voltaico (Mercier et al., 2020). Ne sarebbero comunque avvantaggiate anche le specie macroterme per la riduzione dei picchi di temperatura estivi e per la riduzione dell'evapotraspirazione, consentendo peraltro una riduzione dell'apporto irriguo artificiale. Il parziale ombreggiamento del suolo riduce il riscaldamento estivo del suolo stesso con effetti positivi sull'accrescimento delle radici, che possiedono un ottimo di temperatura per l'accrescimento inferiore rispetto alla parte aerea della pianta (16°C in molti cereali autunno- primaverili); in tali condizioni le radici possono accrescersi maggiormente anche grazie alla maggiore umidità e minore tenacità del terreno. Nel periodo invernale, invece, ci si attende che la presenza del fotovoltaico, mantenga la temperatura del suolo leggermente più elevata rispetto al pieno sole poiché le ali fotovoltaiche riflettono le radiazioni infrarosse (raggi caloriferi) emesse dalla terra durante il raffreddamento notturno, e questo permette un sensibile accrescimento delle piante microterme anche nei periodi più freddi dell'anno. Ne trarrebbero vantaggio in particolare le piante foraggere microterme.

Evapotraspirazione

L'evapotraspirazione è definita dalla somma delle perdite di acqua per evaporazione dal terreno e di traspirazione fogliare. Delle due, solo la perdita dalla pianta è utile all'accrescimento delle piante poiché mantiene gli stomi aperti, e quindi consente gli scambi gassosi utili alla fotosintesi (ingresso di anidride carbonica nella foglia). In condizioni di ombreggiamento è lecito attendersi una riduzione della traspirazione fogliare, e in modo più marcato, una riduzione dell'evaporazione dal terreno, determinando un aumento dell'efficienza d'uso delle riserve idriche del suolo. In frumento è stato stimato che al 50% di ombreggiamento si verifichi una riduzione del 30-35% dell'evapotraspirazione (Marrou et al., 2013a), con un risparmio di circa 200 mm di acqua rispetto ai 600 mm normalmente richiesti dalla coltura in pieno sole nei territori della Pianura Padana. Poiché in Italia, la carenza idrica in fase di riempimento della granella ha conseguenze negative marcate sulla resa e sulla qualità ("stretta del grano"), il parziale ombreggiamento che si realizza nel sistema agri-voltaico deve essere considerato positivamente per questa coltura.

10. ESPERIENZE DI COLTIVAZIONE IN CONDIZIONE DI OMBREGGIAMENTO

Allo stato attuale esistono limitate informazioni in merito agli effetti dell'ombreggiamento per la maggior parte delle piante erbacee coltivate, ed i dati disponibili derivano da studi di consociazione di specie erbacee con piante arboree organizzate in filari, e da pochi e giovani impianti agri-voltaici.

Le colture meno penalizzate dalla presenza del fotovoltaico sono quelle microterme e sciafile. Il frumento può fornire rese simili o leggermente inferiori (-20% circa; Dupraz et al., 2011) a quelle ottenibili in pieno sole, subendo un ritardo dell'epoca di maturazione (Marrou et al., 2013b); mentre il mais alle normali densità di semina riduce notevolmente lo sviluppo della pianta sia in diametro che in altezza, a discapito della resa (Dupraz et al., 2011).

Con una percentuale di riduzione della radiazione del 50%, comparabile a quella che si realizzerà nell'impianto agri-voltaico in oggetto, sono state rilevate produttività uguali o addirittura superiori al pieno sole in specie graminacee foraggere microterme, ed una moderata riduzione, dell'ordine del 20-30%, in specie macroterme foraggere sia graminacee (es. mais, sorgo, panico, setaria, etc.) che leguminose (es. trifoglio bianco, trifoglio violetto, erba medica, etc.), e in lattuga (Lin et al., 1998; Mercier et al., 2020).

Questi risultati sono in linea con gli studi italiani (Amaducci et al., 2018) che hanno simulato in un analogo impianto agri-voltaico a Piacenza, sulla base dei dati climatici storici degli ultimi 40 anni, rese di granella di frumento analoghe o superiori al pieno sole.

Tali risultati vanno ascritti alle migliori condizioni microclimatiche nel periodo di maturazione del frumento, tra cui una maggiore umidità del terreno, una minore evapotraspirazione e l'effetto frangivento che riduce l'allettamento della coltura.

Va ritenuto interessante anche il parziale effetto antigrandine dovuto alla copertura fotovoltaica.

Risultati produttivi interessanti in condizioni di ombreggiamento elevato sono stati ottenuti in pomodoro, che sembrerebbe non risentire di riduzione della radiazione anche del 60% (Callejòn- Ferre et al., 2009).

11. STATO ATTUALE AREA INTERESSATA DALL'IMPIANTO AGRI- VOLTAICO

Attualmente l'area in progetto risulta coltivata con seminativi da granella, nello specifico orzo e grano, successivamente alla raccolta delle granelle (dopo la trebbiatura), i terreni vengono concessi al pascolo degli ovini di alcuni allevatori locali.

Gli animali, delle aziende zootecniche del territorio, vengono allevati allo stato semibrado, infatti le aziende agricole conducono degli allevamenti specializzati nella produzione di latte con metodologia di *"allevamento degli animali nell'ovile con accesso all'esterno e utilizzazione del pascolo tutto l'anno"*.

Senza entrare nei dettagli questo tipo di conduzione agricola/zootecnica e la gestione dei seminativi da granella, che poi nel mese di giugno diventano prati pascolo fino al mese di settembre, in oggetto può essere caratterizzata da:

- Medio basso potenziale produttivo, tipico dei suoli seminativi / pascoli a causa di eccessivo pascolamento;
- Limitato utilizzo di manodopera ma eccesso di utilizzo di macchine agricole;
- Ricorso ad aratura profonda (la dove si volesse migliorare il pascolo, o ricorrere a coltivazioni di cereali) con lavorazioni meccaniche di erpicatura che, pur se utili a massimizzare la produttività, causano un impoverimento progressivo della sostanza organica del terreno per effetto dell'ossigenazione del terreno;
- Utilizzo di concimi, in particolare azotati, (la dove si volesse migliorare il pascolo, o ricorrere a coltivazioni di cereali) ammendanti e antiparassitari che, dilavati parzialmente dalle piogge, contribuiscono all'inquinamento delle acque superficiali e di falda e alla contaminazione dei prodotti alimentari;

12. VALUTAZIONI ECONOMICHE AZIENDALI

Di seguito si evidenzia il BILANCIO AZIENDALE riferito alla situazione EX ANTE INTERVENTO delle aree agricole interessate al progetto.

Calcolo della PST (Produzione Standard Totale) ex Ante intervento

Coltivazioni

Codice	Colture	Ettari totali	Prezzi Unitari €/Ha.	Totale €
D04	Orzo	23,0000	€ 414,00	€ 9.522,00
D01	Frumento tenero	23,0000	€ 519,00	€ 11.937,00
TOTALE				€ 21.459,00

Ricavi Coltivazioni	€ 21.459,00
Benefici PAC	€ 6.000,00
Totale Ricavi Coltivazioni	€ 27.459,00

SPESE ex Ante Intervento			
Tipologia	Quantità	Prezzo / costo Unitario / anno	Prezzo Totale
Fertilizzanti	35 quintali	170,00 €	€ 4.900,00
Sementi	32 quintali	210	€ 6.720,00
Salari	1 risorse	12.500,00 €	€ 12.500,00
Altre spese generali e straordinarie			€ 2.500,00
Altre imposte varie			€ 1.800,00
TOTALE			€ 28.420,00

Ricavi € 27.459,00 – Spese 28.420,00 = **Reddito Netto Ex Ante – € 961,00**

13. DESCRIZIONE AZIENDALE

Nel compendio agricolo oggetto del presente progetto non sono presenti centri aziendali e/o fabbricati.

Dopo il miglioramento fondiario le coltivazioni saranno affidate ad una azienda agricola di nuova costituzione.

Come già evidenziato, la viabilità è ottima e percorribile da qualsiasi mezzo meccanico per il governo degli animali e la gestione dei suoli.

I confini delle aree sono facilmente identificabili rappresentati da siepi naturali, muretti a secco e chiodenda metallica che verrà totalmente ripristinata durante la realizzazione dei progetti inoltre sorgerà lungo tutto il confine aziendale in prossimità della recinzione una siepe con molteplici funzioni: segnalare il confine, barriera visiva, abbattimento dei rumori, mitigazione dal vento (frangivento) e/o dall'inquinamento, diminuire l'erosione e consolidare il terreno, corridoio naturale per la fauna.

L'organizzazione dei fattori produttivi dell'azienda, attualmente, non esistono o sono poco marcati.

L'ordinamento colturale con gestione dei prati pascoli naturali e pascolamento degli ovini da latte in modalità di allevamento degli animali nell'ovile con accesso all'esterno e utilizzazione del pascolo tutto l'anno (i proprietari percepiscono un affitto).

L'azienda, successivamente al miglioramento fondiario in oggetto, verrà strutturata in modo da soddisfare maggiormente i requisiti necessari per ottenere il miglioramento dei pascoli presenti con presenza di maggiori produzioni alimentari per gli ovini in allevamento, di maggior pregio e in grado di ridurre i costi di mangime e fertilizzanti attualmente sostenuti, naturalmente ottenendo risultati più remunerativi per la società.

La filiera della produzione sarà così organizzata:

- Disponibilità di numerosi terreni capaci di garantire pascoli misti di leguminose e foraggere di elevate qualità e quantità;
- Disponibilità di tutte le attrezzature necessarie per una economica gestione aziendale (animali e pascoli);
- Disponibilità di maggiori conoscenze professionali acquisite con lo scambio di informazioni che verranno determinate dal progetto di miglioramento fondiario attraverso la presenza di diverse figure professionali specialistiche;
- Disponibilità di accesso ad informazioni tecniche di produzione, garantite dai centri Regionali di formazione (LAORE), di ricerca (AGRIS) e/o da tecnici liberi professionisti (Agronomi) a supporto delle società agricole.

Coltivazione futura

Il sistema agri-voltaico proposto rappresenta un piano di miglioramento e modernizzazione aziendale inquadrabile come Agricoltura 5.0.

Il progetto prevede l'installazione di inseguitori solari mono-assiali nei quali, contrariamente a quanto avviene con il fotovoltaico tradizionale (pannelli fissi rivolti verso sud) che presenta una zona d'ombra concentrata in corrispondenza dell'area coperta dai pannelli stessi, vi è una fascia d'ombra che si sposta con gradualità durante il giorno da ovest a est sull'intera superficie del terreno.

Come conseguenza non si vengono a creare zone costantemente ombreggiate o costantemente soleggiate.

Date le premesse su esposte in merito alla risposta delle piante all'ombreggiamento, nell'impianto agri-voltaico in oggetto si prevede di coltivare un **prato polifita permanente migliorato destinato all'alimentazione degli ovini da latte al pascolo tutto l'anno**.

Tale scelta, incontra un elevato livello di naturalità e di rispetto ambientale per effetto del limitatissimo impiego di input colturali, consente di attirare e dare protezione alla fauna e all'entomofauna selvatica, in particolare le api e rappresenta la migliore soluzione per coltivare l'intera superficie di terreno e ottenere produzioni analoghe a quelle che si raggiungerebbero in pieno sole.

Va evidenziato, infatti, che negli impianti agri-voltaici ad inseguimento solare esistenti viene coltivato solamente la fascia centrale, corrispondente al 70% della superficie, mentre vengono mantenute inerbiti le fasce di rispetto immediatamente adiacenti al filare.

Coltivazione del prato polifita permanente

La coltivazione scelta è quella della produzione di foraggio con prato permanente (detto anche prato stabile).

La produzione foraggera può essere realizzata in vario modo, con prati monofiti (formati da una sola essenza foraggera), prati oligofiti (formati da due o tre foraggere) e prati polifiti, che prevedono la coltivazione contemporanea di molte specie foraggere. In base alla durata si distinguono: erbai, di durata inferiore all'anno; prati avvicendati, di durata pluriennale, solitamente 2-4 anni; permanenti, di durata di alcuni decenni o illimitata.

Per garantirne una durata prolungata, la stabilità della composizione floristica e una elevata produttività, i prati permanenti possono essere periodicamente traseminati nel periodo autunnale senza alcun intervento di lavorazione del terreno (semina diretta).

Il prato polifita permanente, ritenuto la miglior scelta per l'impianto agri-voltaico, si caratterizza per la presenza sinergica di molte specie foraggere, generalmente appartenenti alle due famiglie botaniche più importanti, graminacee e leguminose, permettendo così la massima espressione di biodiversità vegetale, a cui si unisce la biodiversità microbica e della mesofauna del terreno e quella della fauna selvatica che trova rifugio nel prato (pernici, lepri, etc.).

Molte leguminose foraggere, come il trifoglio pratense, il trifoglio bianco ed il trifoglio incarnato, ed il ginestrino, sono anche piante mellifere, potendo fornire un ambiente edafico e di protezione idoneo alle api selvatiche e all'ape domestica.

In merito al potere mellifero, il trifoglio pratense è classificato come specie di classe III, mentre il ginestrino di classe II, potendo fornire rispettivamente da 51 a 100 kg miele e da 25 a 50 kg di miele per ettaro.

Il prato polifita permanente non necessita di alcuna rotazione e quindi non deve essere annualmente lavorato come avviene nelle coltivazioni di seminativi, condizione che favorisce la stabilità del biota e la conservazione/aumento della sostanza

organica del terreno e allo stesso tempo la produzione quantitativa e qualitativa della biomassa alimentare per gli ovini. Diversamente da quello che si potrebbe pensare, questa condizione mantiene un ecosistema strutturato e solido del cotico erboso con conseguente arricchimento sia in termini di biodiversità che di quantità della biofase del terreno. Il cotico erboso permanente consente anche un agevole passaggio dei mezzi meccanici utilizzati per la pulizia periodica dei pannelli fotovoltaici anche con terreno in condizioni di elevata umidità. Le piante che costituiscono il prato permanente variano in base al tipo di terreno e alle condizioni climatiche e saranno individuate dopo un'accurata analisi pedologica e biochimica.

In generale, si può dire che verrà impiegato un miscuglio di graminacee e di leguminose:

- le graminacee, a rapido accrescimento, in quanto ricche di energia e di fibra;
- le leguminose, molto importanti perché fissano l'azoto atmosferico, in parte cedendolo alle graminacee e fornendo una ottimale concimazione azotata del terreno, offrono pascoli di elevato valore nutritivo grazie alla abbondante presenza di proteine.

Per massimizzare la produzione e l'adattamento del prato alle condizioni di parziale ombreggiamento sarà opportuno impiegare due diversi miscugli, uno per la zona centrale dell'interfilare e uno, più adatto alla maggior riduzione di radiazione solare, per le fasce adiacenti al filare fotovoltaico. Pur tuttavia, l'impiego di un unico miscuglio con un elevato numero di specie favorirà la selezione naturale di quelle più adatte a diverse distanze dal filare fotovoltaico in funzione del gradiente di soleggiamento/ombreggiamento. I prati stabili di pianura gestiti in regime non irriguo possono fornire produzioni medie pari a 8-10 tonnellate per ettaro di fieno, con una produzione complessiva di 12-14 tonnellate, in irriguo. Il fieno prodotto non verrà mai sfalciato, ma verrà utilizzato per l'alimentazione degli ovini durante tutto l'anno.

I prati stabili presentano una varietà di specie molto più elevata rispetto ai prati avvicendati, nei quali in genere si coltiva erba medica, i trifogli e il loietto.

Integrazione coltura-fotovoltaico

L'impianto di pannelli fotovoltaici si integra perfettamente nella coltivazione del prato stabile permanente come sopra evidenziato, potendo far aumentare la resa in foraggio pascolare per gli animali in allevamento, grazie agli effetti di schermo e protezione con parziale ombreggiamento nelle ore più assolate delle giornate estive ed il mantenimento di condizioni ottimali di umidità del terreno per un tempo più prolungato.

Va inoltre ribadito che la combinazione tra fotovoltaico ad inseguimento monoassiale e prato polifita permanente consente l'utilizzo dell'intera superficie al suolo per scopi agricoli/zootecnici.

Nell'analisi dell'interazione coltura-sistema fotovoltaico-ovini vanno considerati i seguenti elementi:

- I filari fotovoltaici, posti ad interasse di 8,50 metri, consentono un agevole accesso per le lavorazioni agricole ai mezzi meccanici utilizzati per la coltivazione e la gestione del miglioramento dei pascoli;
- È prevista la posizione di blocco dei pannelli in totale rotazione ovest o est, in questo modo è agevole lavorare il terreno per la semina e/o la risemina nella gestione generale del prato pascolo permanente fino a ridosso dei sostegni;
- L'assenza di elettrodotti interrati (nelle aree di coltivazione) consente eventuali lavorazioni di ripuntatura e/o arieggiamento del terreno, quando necessario;
- I supporti sono costituiti da pali in acciaio infissi nel terreno e di facile rimozione a fine vita operativa;
- Il prato pascolo polifita permanente arricchisce progressivamente di sostanza organica e di biodiversità il terreno, mantiene un ecosistema strutturato e solido del cotico erboso, le leguminose presenti nel miscuglio fissano l'azoto atmosferico fornendo una ottimale concimazione azotata del terreno, e offrono un foraggio a disposizione degli animali in allevamento di elevato valore nutritivo ricco di proteine;
- A fine vita operativa, ad impianto dismesso, il suolo così rigenerato sarà ideale anche per coltivazioni agricole di pregio (es. orticole, frutteto, vigneto).

L'impatto del sistema fotovoltaico sul suolo è ritenuto minimo, in quanto non interessato in modo significativo da infrastrutture inamovibili:

- I pali dei tracker sono semplicemente infissi nel terreno per battitura e possono essere rimossi con facilità per semplice estrazione;
- I cavidotti sono minimi e saranno localizzati unicamente in zone non utilizzate per la coltivazione, in vicinanza della recinzione, e anch'essi sono facilmente rimovibili a fine vita operativa dell'impianto fotovoltaico;

- Le linee di bassa tensione in corrente continua saranno posate su canaline esterne, fissate alle strutture stesse dei tracker, senza interessare il terreno con numerosi cavidotti.

Relativamente all'impatto paesaggistico e la gestione del sistema agri-voltaico, si evidenziano i seguenti punti di forza del sistema agri-voltaico:

- Il prato pascolo polifita permanente è una coltura pluriennale la cui durata è dell'ordine di decenni e più, offre una copertura vegetale verde costante, anche nel periodo invernale, mitiga efficacemente l'impatto paesaggistico del sistema fotovoltaico;
- Le attività di impianto del prato polifita, che consistono in aratura, erpicatura e semina, non interferiscono con il Fotovoltaico in quanto sono attività una-tantum propedeutiche e preliminari all'installazione dell'impianto stesso;
- L'attività di manutenzione del fotovoltaico, che consiste in sostanza nell'annuale lavaggio dei pannelli, avviene con mezzi leggeri che non arrecano danno al prato, al contrario, vi è un impatto positivo del prato sulla transitabilità del terreno;
- Il lavaggio dei pannelli avviene con l'uso di roto-spazzoloni, utilizzando acqua pura, senza alcun detergente che possa inquinare la coltivazione e le falde;
- Le attività di manutenzione delle siepi perimetrali presenti, assimilabili per tipologia alle attività agricole, rappresenteranno un'importante integrazione al reddito del personale impiegato e attenuano l'impatto visivo dell'intero impianto.

Gestione idraulica e irrigua

Lo sviluppo del progetto agri-voltaico prevede di mantenere inalterata la baulatura degli appezzamenti inserendo a profondità variabile i pali porta pannelli fotovoltaici per ottenere una quota costante della superficie di intercettazione solare. Verrà realizzato un efficiente sistema di scolo delle acque in eccesso di drenaggio tubolare. Il drenaggio tubolare è costituito da una rete di tubazioni in PVC di diametro di circa 5-8 cm disposti parallelamente nel campo a distanza regolare e ad una profondità che ne impedisca ogni interazione con lo sviluppo delle radici delle piante coltivate, e nello specifico del cotico erboso, all'incirca a 80- 90 cm. L'inter-distanza tra i dreni va commisurata alla tessitura del terreno per un ottimale drenaggio ed evitare ristagni idrici, potendo oscillare tra 10 e 15 m. Nello specifico, si prevede di posizionare i dreni al centro dell'interfilare, ad un interasse di 14,55 m, ovvero un dreno ogni 3 filari fotovoltaici. I dreni hanno una superficie fenestrata prestabilita (circa 20-30 cm² per metro lineare), costituita da fessure di 1 × 25 mm e protetta da fibre vegetali di cocco o altro materiale, al fine di evitare intasamenti. I dreni verranno installati con macchine posa-dreni rispettando una pendenza dello 0,1-0,2% per consentire un adeguato sgrondo delle acque nei capifosso. Il drenaggio tubolare rappresenta un moderno sistema di regimazione delle acque in eccesso largamente impiegato nelle aziende agricole, caratterizzato da lunghissima durata, di diversi decenni, e non comporterà modifiche sostanziali nella rete idraulica aziendale. Relativamente all'irrigazione del prato polifita, va considerato che la produzione del foraggio avviene nel periodo centrale dell'anno, tra aprile-maggio e settembre. Si stima che l'efficienza media di un prato polifita sia di 1,1 kg di sostanza secca prodotta per m³ di acqua consumata per evapo- traspirazione, ovvero per combinata presenza di evaporazione di acqua dal suolo e di traspirazione fogliare. Questo significa che una produzione media di 11 t/ha richiede potenzialmente 11.100 m³ di acqua, ovvero 1.100 mm. A tale scopo si prevede di realizzare un impianto di irrigazione a pioggia con micro-irrigatori da posizionare in vicinanza dei pali tracker, facendo correre tubazioni irrigue sospese lungo i filari fotovoltaici. I micro-irrigatori funzioneranno con aree di bagnatura circolari o semicircolari, secondo una programmazione a zone (Fig. 4) e saranno attivati da un sistema di pompaggio costituito da motori elettrici alimentati dall'impianto fotovoltaico stesso per un contenimento delle emissioni rispetto ai tradizionali motori diesel. In funzione dell'andamento pluviometrico stagionale, si prevede di effettuare da 1 a 4 irrigazioni da 25-30 mm ciascuna (100-120 mm complessivamente), potendo in questo modo risparmiare più del 50% dell'acqua rispetto ai sistemi irrigui a scorrimento comunemente adottati nei prati permanenti della Sardegna che fanno uso di 60-80 mm per adacquata.

Realizzazione del prato polifita

Il prato polifita verrà seminato in autunno (settembre-ottobre) al termine della messa in opera dell'impianto fotovoltaico, comprensivo di piloni e ali fotovoltaiche, previa ripuntatura del terreno ed erpicatura.

La semina verrà realizzata con seminatrici a file o a spaglio al dosaggio di 35-40 kg/ha di semente con miscugli costituiti da 8-12 specie e varietà di foraggere graminacee e leguminose. Si adotterà una elevata biodiversità nella realizzazione del miscuglio, utilizzando le seguenti specie graminacee (loietto italico e loietto inglese, erba fienarola, festuca, erba mazzolina, fleolo) e leguminose (trifoglio pratense, trifoglio bianco, trifoglio incarnato, ginestrino).

Non sono previste operazioni di sfalcio in quanto il miglioramento del pascolo, come già ampiamente evidenziato, sono orientate ad aumentare la disponibilità e la qualità del pascolo a disposizione degli ovini in allevamento, durante tutto il corso dell'anno.

La qualità del foraggio ottenuto sarà elevata per effetto della minimizzazione delle perdite meccaniche e per il contenuto proteico. Nello sviluppo del piano aziendale verrà considerata inoltre l'opportunità di sostituire i trattori diesel con trattori ad alimentazione elettrica per il miglioramento della sostenibilità ambientale dell'intero sistema produttivo, soluzione ingegneristica oggi disponibile soprattutto per le piccole e medie potenze.

Sviluppo aziendale futuro

Il foraggio prodotto nei pascoli polifiti permanenti, ricavati dopo il miglioramento, sarà utile per alimentare gli ovini presenti nelle tre aziende agricole di cui all'oggetto.

L'elevata qualità del foraggio ottenuto consentirà di ottenere migliori e costanti produzioni di latte negli ovini in allevamento. Pertanto anche una marginalità superiore rispetto ai ricavi attuali.

14. SOSTENIBILITÀ ECONOMICA DELL'ATTIVITÀ AGRICOLA

Per verificare la sostenibilità economica dell'attività agricola nell'impianto fotovoltaico si è fatto riferimento ai dati di sintesi, valevoli per la Regione Autonoma della Sardegna, pubblicati dal CREA al seguente link

<https://rica.crea.gov.it/produzioni-standard-ps-210.php>

La comparazione tra le diverse coltivazioni viene fatta in termini di Produzione Standard unitaria (per ettaro), ricavabile da ciascuna tipologia di coltivazione, calcolato con la seguente formula:

Margine Lordo (ML, espresso in €/ha) = PLT – CV

Dove:

PST = produzione standard totale come sommatoria della produzione lorda vendibile (PLV) e della produzione reimpiegata e/o trasformata in azienda;

CV = costi variabili = SS (spese dirette) + ASP (Altre spese) + RA (Reimpieghi).

I CV possono essere calcolati anche come somma delle seguenti voci:

FERTILIZZANTI; COSTO ACQUISTO MANGIMI; SEMENTI; SALARI; COSTI GASOLIO; ALTRE SPESE GENERALI; ALTRE IMPOSTE VARIE

Facendo riferimento alle colture presenti nel compendio agricolo nel periodo ante miglioramento fondiario agrivoltaico, dove era presente la coltivazione **F02 Prati Pascoli Magri** e confrontandola con le colture presenti nel periodo post miglioramento fondiario agrivoltaico, dove saranno presenti le coltivazioni **D18D Erbaio di Leguminose** si osserva che il risultato economico è decisamente superiore; pertanto, il margine lordo aumenta in modo esponenziale.

Allegato A - Tabella delle Produzioni Standard

	Rubrica	Descrizione	UM	euro
coltivazioni attuali	D01	Frumento tenero	Ha	519
	D02	Frumento duro	Ha	641
	D03	Segale	Ha	303
	D04	Orzo	Ha	414
	D05	Avena	Ha	418
	D06	Mais	Ha	1.326
	D07	Riso	Ha	1.773
	D08	Altri cereali da granella (sorgo, miglio, panico, farro, ecc.)	Ha	1.274
	D09	Legumi secchi (fava, favette, cece, fagiolo, lenticchia, ecc.)	Ha	928
	D9A	Piselli, fave, favette e lupini dolci	Ha	783
	D9B	Legumi diversi da piselli, fave, favette e lupini dolci	Ha	1.073
	D10	Patate (comprese le patate primaticce e da semina)	Ha	8.500
	D11	Barbabietola da zucchero (escluse le sementi)	Ha	2.829
	D12	Sarchiate da foraggio (bietola da foraggio, ecc.)	Ha	1.663
	D23	Tabacco	Ha	6.969
	D24	Luppolo	Ha	13.600
	coltivazioni post miglioramento	D26	Colza e ravizzone	Ha
D27		Girasole	Ha	378
D28		Soia	Ha	777
D29		Semi di lino (per olio di lino)	Ha	1.977
D30		Altre oleaginose erbacee	Ha	3.196
D31		Lino	Ha	1.135
D32		Canapa	Ha	734
D33		Altre colture tessili	Ha	1.135
D34		Piante aromatiche, medicinali e spezie	Ha	20.000
D35		Altre piante industriali	Ha	1.200
D14A		Ortaggi freschi in pieno campo	Ha	7.359
D14B		Ortaggi freschi in orto industriale	Ha	10.245
D15		Ortaggi freschi in serra	Ha	29.662
D16		Fiori e piante ornamentali in piena campo	Ha	28.000
D17		Fiori e piante ornamentali in serra	Ha	151.300
D18A		Prati avvicendati (medica, sulla, trifoglio, lupinella, ecc.)	Ha	435
D18C		Erbaio di mais da foraggio	Ha	1.019
D18D		Erbaio di leguminose da foraggio	Ha	540
D18B		Erbai di altri cereali da foraggio diversi da mais da foraggio	Ha	676
D19	Sementi e piantine per seminativi (sementi da prato, ecc.)	Ha	6.000	

Tabella Riferimenti Produzioni Standard della Regione Autonoma della Sardegna

- F02 Prati Pascoli Magri coltivazione ante miglioramento fondiario agrivoltaico
- D18D Erbaio di Leguminose da Foraggio coltivazione post miglioramento fondiario agrivoltaico

Di seguito si evidenzia il **BILANCIO AZIENDALE** riferito alla situazione **EX POST-INTERVENTO** delle aziende agricole operanti nell'area, ognuna per le particelle condotte attualmente.

Calcolo della PST Produzione Standard Totale ex Post intervento

Coltivazioni

Codice	Colture	Ettari totali	Prezzi Unitari €/Ha.	Totale €
D18D	Erbaio di leguminose da foraggio	23,0000	€ 540,00	€ 12.420,00
D18B	Erbai di altri cereali da foraggio	23,0000	€ 676,00	€ 15.548,00
TOTALE				€ 27.968,00

Ricavi Coltivazioni	€ 27.968,00
Benefici PAC	€ 16.100,00
Totale Ricavi Coltivazioni	€ 44.068,00

SPESE ex Post Intervento			
Tipologia	Quantità	Prezzo / costo Unitario / anno	Prezzo Totale
Fertilizzanti	35 quintali	170,00 €	€ 4.900,00
Sementi	32 quintali	210	€ 6.720,00
Salari	1 risorse	12.500,00 €	€ 12.500,00
Altre spese generali e straordinarie			€ 2.500,00
Altre imposte varie			€ 1.800,00
TOTALE			€ 28.420,00

Ricavi € 44.068,00 – Spese 28.420,00 = **Reddito Netto Ex Post € 15.648,00**

15. CONCLUSIONI

L'esigenza di produrre energia rinnovabile è oggi quanto mai sentita per ridurre gli effetti negativi dell'inquinamento e del cambiamento climatico legati all'utilizzo di energie fossili.

L'associazione tra impianto fotovoltaico di nuova generazione (ad inseguimento solare) e l'attività agricola rappresenta una soluzione innovativa dell'impiego del territorio che trova giustificazione nel maggiore output energetico (LER, Land Equivalent Ratio) complessivamente ottenuto dai due sistemi combinati rispetto alla loro realizzazione individuale.

Attraverso la scelta di una idonea coltura, tollerante al parziale ombreggiamento generato dai pannelli fotovoltaici, è possibile migliorare la produttività agricola e la conseguente marginalità valorizzando tutta la superficie del suolo sotto ai pannelli solari per scopi agricoli.

A differenza delle coltivazioni "**Prato Pascolo Monofita Permanente**" presenti in fase ante miglioramento fondiario, la scelta di coltivare specie foraggere all'interno di un miscuglio per generare un "**Prato Pascolo Polifita Permanente**" consente di valorizzare l'intera superficie agricola generando alimento per le specie zootecniche allevate e aumentare la biodiversità preservando la sostanza organica e la struttura dei suoli.

La presenza, inoltre, di molte specie nel miscuglio foraggero, garantisce un perfetto equilibrio e adattamento del prato alle specifiche e variabili condizioni di illuminamento, favorendo l'una o l'altra essenza foraggera in funzione delle variabili condizioni microclimatiche che si vengono a realizzare a diverse distanze dal filare fotovoltaico.

Sebbene siano diverse le colture realizzabili all'interno di un impianto agri-voltaico e con marginalità spesso comparabile, come frumento, orzo, insalata, pomodoro, pisello, etc., la scelta del **prato pascolo polifita permanente** consente di raggiungere contemporaneamente più obiettivi, oltre alla convenienza economica:

1. conservazione della qualità dei corpi idrici;
2. aumento della sostanza organica dei terreni;
3. minor inquinamento ambientale da fitofarmaci;
4. minor consumo di carburanti fossili;
5. aumento della biodiversità vegetale e animale;
6. creazione di un ambiente idoneo alla protezione delle api,
7. raggiungere tutti gli obiettivi della nuova Politica agricola Comunitaria;

La maggior parte dei terreni italiani sta progressivamente perdendo di fertilità a causa della coltivazione intensiva e della frequenza e profondità delle lavorazioni. È frequente rilevare valori di sostanza organica del terreno inferiori a 1,5% e in molti casi anche inferiori all'1%, condizione che agronomicamente viene definita di terreno "povero" poiché inferiore alla soglia ideale del 2%. La situazione viene efficacemente migliorata dai prati permanenti, poiché in questi è frequente rilevare contenuti di sostanza organica ben superiori, pari al 3-4% e più. A tale riguardo, il terreno è considerato uno dei sink di carbonio più importanti per la sua fissazione, dopo le foreste e gli oceani, e riveste quindi un ruolo fondamentale nella mitigazione climatica.

Durante il periodo estivo l'impianto fotovoltaico offre protezione dal vento, contro l'allettamento delle colture, riduce il consumo di acqua e riduce gli eccessi di calore sempre più frequenti in un contesto di cambiamento climatico, agendo da moderno sistema di ombreggiamento, analogamente a quanto svolto dalle siepi e dalle alberature.

Presso la stazione meteorologica di Lunamatrona sono stati documentati incrementi termici di circa 4 °C, condizione che aumenta le condizioni di stress da caldo e di carenza idrica e accelera il ciclo colturale, a discapito di resa e qualità dei prodotti. Nello specifico, l'applicazione del sistema fotovoltaico alla coltivazione di specie foraggere è documentato possa aumentarne la produttività, facilitare il ricaccio dopo lo sfalcio e ridurre gli apporti idrici artificiali.

Dal punto di vista paesaggistico, la superficie a prato mitiga efficacemente la presenza dell'impianto fotovoltaico anche nel periodo invernale, fornendo una superficie stabilmente verde.

La realizzazione aggiuntiva delle siepi perimetrali con specie arbustive ed arboree costituisce un ulteriore importante elemento di arricchimento paesaggistico e un corridoio ecologico per la fauna selvatica, nonché dei validi sistemi di intercettazione di nutrienti e fitofarmaci provenienti dai campi coltivati.

16. BIBLIOGRAFIA

Amaducci S., Xinyou, Colauzzi M., 2018. Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. *Applied Energy* 220: 545-561.

Callejón-Ferre A.J., Manzano-Agugliaro F., Díaz-Pérez, Carreño-Ortega A., Pérez-Alonso J., 2009. Effect of shading with aluminised screens on fruit production and quality in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under greenhouse conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research* 7: 41-49.

Dupraz C., Marrou H., Talbot G., Dufur L., Nogier A., Ferard Y., 2011. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy* 36: 2725-2732.

Lin C.H., McGraw R.L., George M.F., Garrett H.E., 1998. Shade effects on forage crops with potential in temperate agroforestry practices. *Agroforestry Systems* 44: 109-119.

Marrou H., Dufur L., Wery J., 2013b. How does a shelter of solar paners influence water flows in a soil-crop system? *European Journal of Agronomy* 50: 38-51.

Marrou H., Guilioni L., Dufur L., Dupraz C., Wery J., 2013a. Microclimate under agrivoltaic systems: is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? *Agricultural & Forest Meteorology* 177: 117-132.

Mercier KM, Teutsch CD, Fike JH, Munsell JF, Tracy BF, Strahm BD., 2020. Impact of increasing shade levels on the dry-matter yield and botanical composition of multispecies forage stands. *Grass Forage Science*, 00: 1-12.

Panozzo A., Bernazeau B., Dal Cortivo C., Desclaux D., Vamerli T., 2019. Microclimate modification and yield responses of different varieties of durum wheat within an olive orchard agroforestry system. *Società Italiana di Agronomia, Atti del XLVIII Convegno Nazionale "Evoluzione e adattamento dei sistemi colturali", Perugia 18-20 Settembre 2019: 72-73.*