



Regione Emilia-Romagna

Regione Emilia Romagna
Comune di Jolanda di Savoia (FE)
**IMPIANTO AGRIVOLTAICO
E OPERE CONNESSE**
Potenza Impianto 99,665 MWp



PROPONENTE

BF ENERGY S.R.L.

VIA XXIV Maggio 43 – 00187 ROMA - P.IVA: 15689751004 – PEC: bfenergy@legalmail.it

PROGETTAZIONE

Ing. Massimo Zambello

VIA I. ALPI 4 – 46100 - MANTOVA IT - P.IVA: 02627240209 – PEC: solarit@lamiaptec.it

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

COLLABORAZIONI

Firme / Timbro

FRUGES ENERGIA & AMBIENTE S.R.L.

PIAZZA SANT'AMBROGIO 8 – 20123 MILANO –
P.IVA: 10581360962 – PEC: fruges-ea@legalmail.it

Dott. Agronomo Luca Scognamiglio

Via San Cristofaro Scarano Is. D – 80055 PORTICI (NA) - Nr.
Iscrizione albo 1191 - Tel: 3476598469 – PEC:
luca.scognamiglio21@pec.it

COORDINAMENTO PROGETTUALE

SOLAR IT S.R.L.



VIA I. ALPI 4 – 46100 - MANTOVA IT - P.IVA: 02627240209 – PEC: solarit@lamiaptec.it

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

TITOLO ELABORATO

TITOLO

LIVELLO DI PROGETTAZIONE	CODICE ELABORATO	FILE NAME	DATA
DEFINITIVO	JO-PG-R07	IT-23-095-JO-SA_R07_0_Relazione agronomica.docx	21/11/2023

REVISIONI

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
0	21/11/2023	Emesso	LS	MZA	MZA

A vertical green bar with a gradient from light to dark green, positioned on the left side of the page.

RELAZIONE AGRONOMICA

Indice

Contenuto del documento

1. SCOPO	4
2. INQUADRAMENTO AZIENDALE.....	4
3. INQUADRAMENTO DEI TERRENI.....	6
4. IL SISTEMA AGRIVOLTAICO.....	10
5. SISTEMAZIONE AGRONOMICA DEI TERRENI E PIANO COLTURALE	13
6. DESCRIZIONE IMPIANTO AGRIVOLTAICO	16
7. PIANO INTEGRATO DI MONITORAGGIO.....	20

1. SCOPO

La società proponente Società BF Energy con sede in Via VIA XXIV Maggio 43 – ROMA (RM) nell’ambito del proprio piano di sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili e del proprio piano di sviluppo prevede di realizzare un impianto di produzione da fonte rinnovabile - fotovoltaica - nel Comune di Jolanda di Savoia (FE).

2. INQUADRAMENTO AZIENDALE

BF SPA (www.BFspa.it) rappresenta il primo e unico gruppo agroindustriale quotato in borsa. La società è a trazione agricola grazie a Bonifiche Ferraresi, la più grande azienda agricola per superficie agricola utilizzabile (SAU), totalmente in Italia che ne rappresenta il cuore pulsante.

Dal 2015 il Gruppo segue un progetto di crescita trasversale orientato all’innovazione, al mercato e ai consumatori, nell’ottica di posizionarsi come player nell’agricoltura 4.0, un ambito nel quale il Gruppo sta investendo per qualificarsi sempre più come polo agroindustriale europeo di eccellenza per dimensione, capacità produttiva e qualità dell’offerta. Le collaborazioni con soggetti industriali nazionali ed internazionali permettono al Gruppo di intervenire sui temi dell’innovazione e della sostenibilità del mercato agroalimentare (agricolo e agroindustriale) per la gestione dei suoi oltre 9.000 ettari di SAU e i centri di trasformazione, che di fatto ne fanno a livello continentale un benchmark per tutti i soggetti del settore agroindustriale.

Al Gruppo fanno capo:

- **Bonifiche Ferraresi S.p.A. società agricola**, società di antica storia legata alle bonifiche ferraresi, che ha in capo le produzioni agricole e zootecniche del Gruppo. La società è approdata in Borsa nel 1947. Il suo sito è <https://bonificheferraresi.it/it/home>;
- **BF Agro-Industriale S.p.A.** è un soggetto costituito nel 2017 con l’obiettivo di razionalizzare le attività di lavorazione, trasformazione e commercializzazione delle produzioni agricole e zootecniche del Gruppo BF. La società opera attualmente con il principale scopo di valorizzare le produzioni agricole del Gruppo, anche attraverso progetti di ricerca, sviluppo e innovazione con cui si propone di accrescere la qualità e la competitività generali delle produzioni agroalimentari “Made in Italy”;
- **Società Italiana Sementi S.p.A o SIS**, svolge attività riguardanti tutte le fasi del ciclo del seme e si esprime nella costituzione di nuove varietà, nella moltiplicazione delle

sementi e, infine, nella loro lavorazione e commercializzazione in Italia e nell'intero bacino del Mediterraneo.

- **Leopoldine S.p.A.** costituita nel 2018, ha ad oggetto lo sviluppo di un progetto immobiliare volto al recupero e valorizzazione di immobili (case coloniche) in Toscana.
- **IBF Servizi S.p.A.**, costituita nel 2017, che svolge attività di consulenza agronomica utilizzando tecniche di agricoltura di precisione.
- **Milling HUB Sp.A.**, società creata da BF S.p.A e dalla società OCRIM S.p.A., dedicata alla fornitura di servizi molitori dedicati ad ogni cliente: il cliente, cioè, utilizza sia la struttura sia i servizi associati (processi e dipendenti necessari per la macinazione del grano; servizi di tracciabilità);
- **Filiera Bovini Italia S.r.l.**, che si occupa dell'allevamento e vendita di capi bovini da carne;
- **Cicalino Green Soc. Agr. Srl**, è una società agricola con annesso agriturismo attivo con olio e adibita ad attività agrituristica;
- **Ghigi 1870 SpA, BIA e Fabianelli**, attivi nella produzione di pasta e cuscus sia con marchio proprio sia con marchio Stagioni d'Italia;
- **B.F. Energy Srl**: è una società, è una società creata per raccogliere le opportunità legate alla transazione energetica legata all'agricoltura;
- **Progetto benessere Italia Srl**, attiva nella produzione e commercializzazione d'integratori sia a marchio proprio (di cui Matt il principale) e produzione conto terzi;
- **Consorzi Agrari d'Italia SpA**, società che nasce dall'aggregazione dei 4 principali consorzi agrari con lo scopo offrire un portafoglio completo di prodotti agli agricoltori, di contribuire all'innovazione ed al miglioramento della produzione agricola, nonché alla predisposizione e gestione di servizi;
- **RURALL S.P.A:** la Società si è costituita ad agosto del 2021 ed ha per oggetto sociale la realizzazione di un'infrastruttura digitale dei territori rurali, sfruttando le tecnologie digitali emergenti quali IOT, AI, Big data, Blockchain, con l'obiettivo di migliorare la gestione di terreni su vasta scala, prestare servizi di consulenza dedicati alla digitalizzazione, la realizzazione di piattaforme software e dss (decision support system) e ad altri sistemi dedicati all'analisi ed alla condivisione di dati;
- **Agronica S.r.l.**, la Società si è costituita nel 2000 ed ha per oggetto lo sviluppo di soluzioni software per il comparto agroalimentare. La sua missione è stata quella di produrre e trasferire soluzioni specifiche ponendo la centralità della sinergia tra migliori

tecnologie, competenze tecniche agronomiche e alimentari, ricerca e innovazione, know-how delle più diverse tipologie di operatori del settore. È impegnata in progetti di ricerca e innovazione nazionali e internazionali che contribuiscono alla crescita di competenze e soluzioni e dove trovano applicazione le più evolute tecnologie e paradigmi gestionali informatizzati con dedizione specifica al settore.

La vision aziendale si basa sul concetto di verticalizzazione della filiera: presidio di ogni fase del processo produttivo per garantire, grazie ad una gestione integrata della filiera, maggiore efficienza e tracciabilità lungo tutta la supply chain, controllo dei processi, qualità dei prodotti.

La sostenibilità dei processi è garantita da un lato con la standardizzazione di un approccio sistemico alle pratiche di agricoltura di precisione in collaborazione con ISMEA, CNR e altri centri di ricerca, dall'altro con il progetto «green energy farming» volto a soddisfare il fabbisogno energetico aziendale grazie a produzione da fonti energetiche rinnovabili.

Grazie alla massa critica del sistema BF è possibile sviluppare e mettere a sistema modelli di business replicabili e aperti che possono poi essere estesi a tutto il mondo agroindustriale. La realtà agricola italiana è infatti molto frazionata (dimensione media delle aziende inferiore ai 50 ha) e presenta grandi difficoltà nel fare sistema e sviluppare filiere per la valorizzazione del «made in Italy» che garantiscano una giusta distribuzione del valore. La mission di BF è quella di diventare un HUB di riferimento configurandosi come una «platform as-a-service».

CAI diventa il veicolo per «aprire» il modello BF alle aziende agricole e alle imprese grazie alla sua capillare presenza sul territorio nazionale e al contatto diretto con le realtà locali.

In questo contesto nasce la presente iniziativa che vede coinvolti BF Agricola Srl, sui quali terreni verrà realizzato l'impianto, BF Energy che svilupperà il titolo autorizzativo e IBF Servizi per l'implementazione di servizi di monitoraggio e di agricoltura 4.0 che rispondano ai requisiti di sostenibilità richiesti per l'Agrivoltaico dal quadro normativo vigente.

3. INQUADRAMENTO DEI TERRENI

L'oggetto dello studio di fattibilità è il tenimento di Jolanda di Savoia, ubicato in provincia di Ferrara, di proprietà dell'azienda Bonifiche Ferraresi SpA, ed avente una superficie complessiva di circa 3.800 ettari coltivati secondo i principi dell'agricoltura innovativa e sostenibile.

Gli appezzamenti selezionati, ed oggetto dello studio, sono mostrati in Figura 1, ognuno con

il relativo numero identificativo.

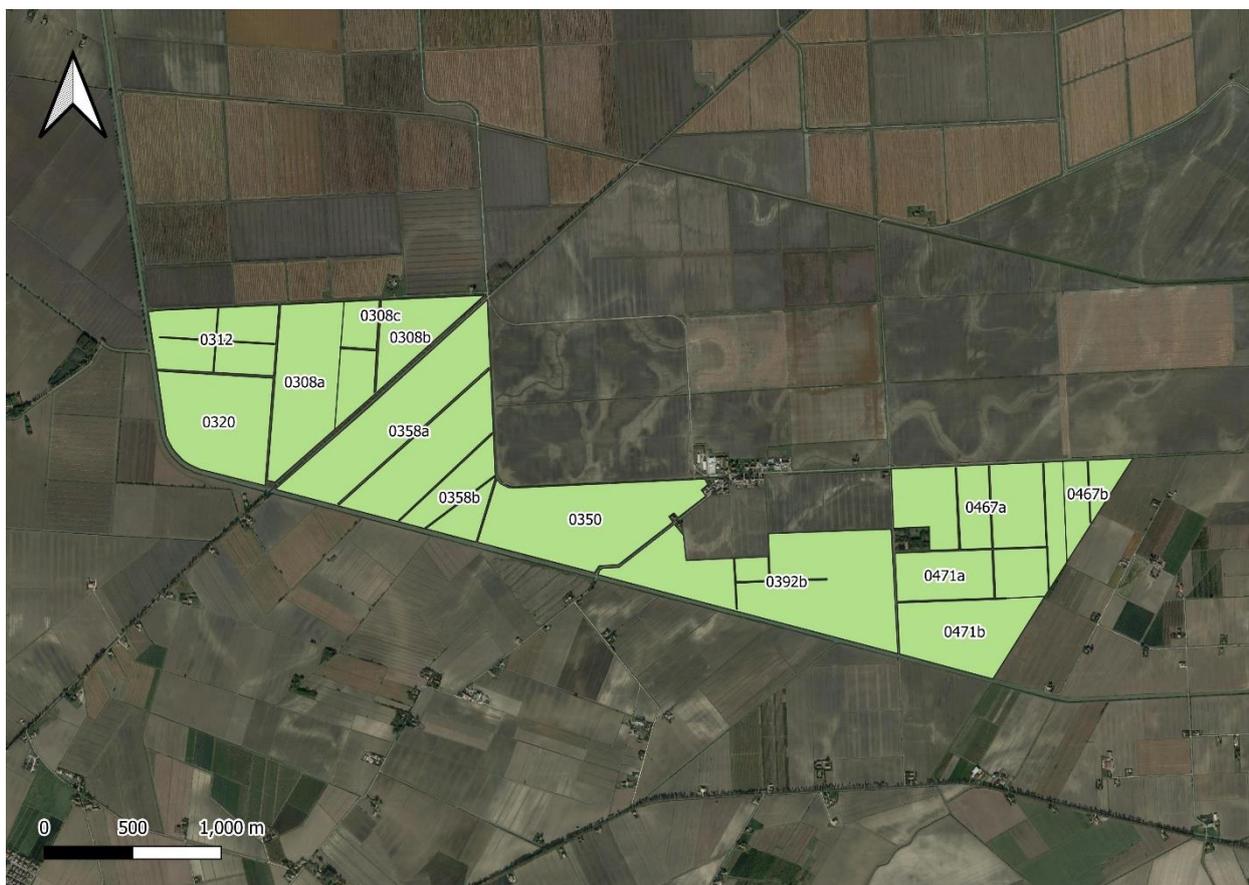


Figura 1 - Mappa degli appezzamenti di interesse

L'area è stata soggetta a studio della variabilità, effettuata attraverso l'elaborazione e l'analisi di immagini multi-temporale del vigore vegetativo utilizzando il telerilevamento da satellite. Questo flusso di lavoro ha avuto come risultato la suddivisione in zone omogenee, ciascuna delle quali è stata caratterizzata dal punto di vista pedologico (Figura 2).

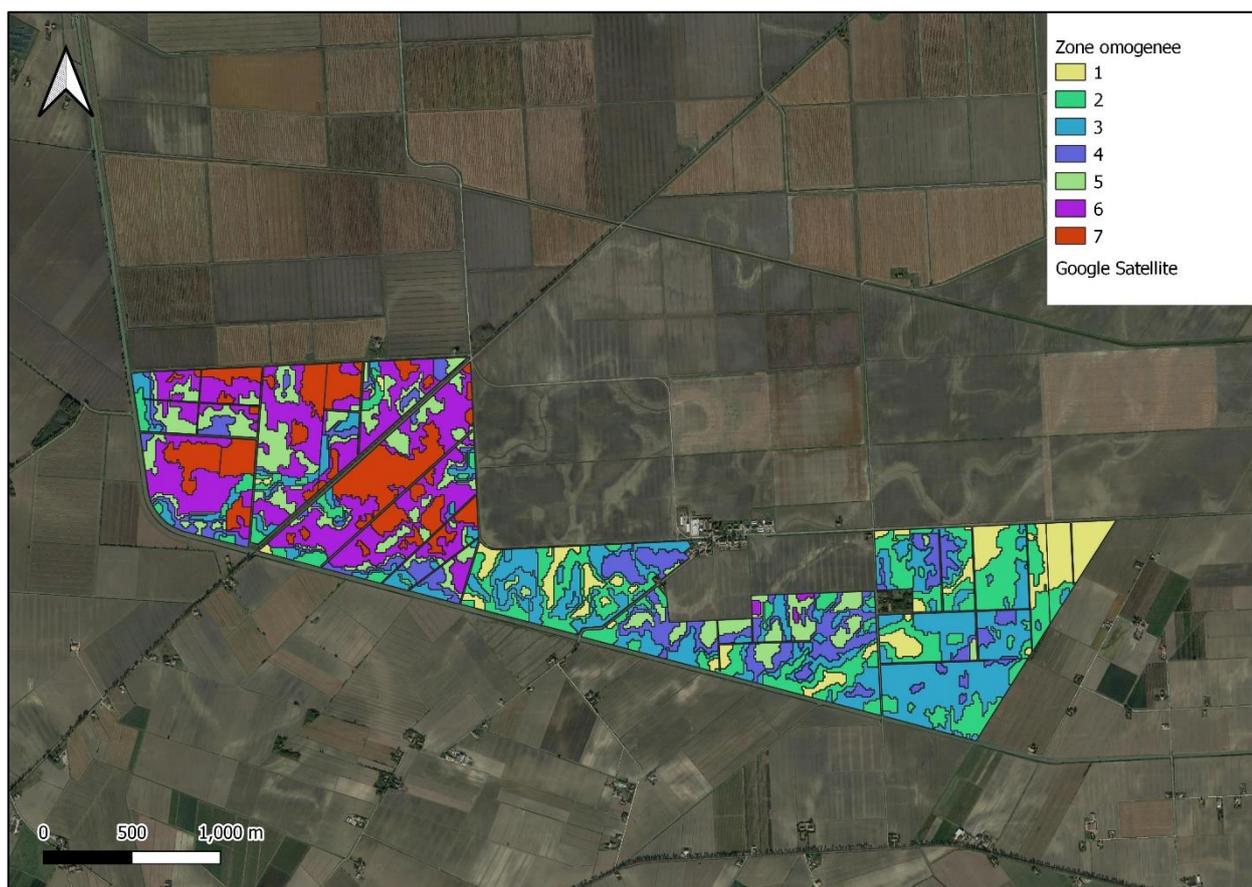


Figura 2 - Mappa delle MUZ degli appezzamenti di interesse

Tabella 1 - Classificazione pedologica delle zone omogenee del tenimento

Zona omogenea	Classe WRB	Tessitura	Sostanza organica (%)
1	<i>Calcaric, Fluvic, Gleic, Cambisols (Protovertic, Humic, Clayic)</i>	Franca	1,53 - 2,02
2	<i>Calcaric, Fluvic, Gleic, Cambisols (Protovertic, Humic, Clayic); Protosodic Gleyic, Fluvisols (Siltic)</i>	Franco-argillosa	2,59 - 3,56
3	<i>Calcaric, Fluvic, Gleic, Cambisols (Protovertic, Humic, Clayic); Protosodic Gleyic, Fluvisols (Siltic)</i>	Argillosa-limosa	2,45 - 4,48
4	<i>Calcaric, Fluvic, Gleic, Cambisols (Protovertic, Humic, Clayic); Fluvic, Gleyic Cambisols, Protovertic, Humic, Clayic</i>	Argillosa-limosa	3,62 - 5,89
5	<i>Calcaric, Fluvic, Gleic, Cambisols (Protovertic, Humic, Clayic); Fluvic Gleyic Cambisols Calcaric, Humic, Siltic;</i>	Argillosa	4,63 - 7,62

	<i>Calcaric Fluvic Gleysols (Clayic, Humic)</i>		
6	<i>Calcaric, Fluvic, Gleic, Cambisols (Protovertic, Humic, Clayic) Fluvic Gleyic Cambisols Calcaric (Humic, Siltic); Calcaric Fluvic Gleysols (Clayic, Humic)</i>	Argillosa-limosa	2,59 - 7,84
7	<i>Fluvic Gleyic Cambisols Calcaric, Humic, Siltic; Fluvic Thaptohistic Gleysols (Clayic, Humic, Sulfidic)</i>	Argillosa	4,78 - 8,07

Secondo quanto indicato in Tabella 1, ed unitamente al confronto con informazioni cartografiche, è emerso che l'area di interesse è tipicamente caratterizzata da suoli di origine alluvionale, classificati secondo il sistema internazionale WRB (World Reference Base for soil resources) come fluvisoli gleici calcarei. Dal punto di vista geomorfologico, i campi sono situati in aree depresse in bacino intercanale in delta bonificato. Questi elementi informativi sono funzionano da supporto circa le valutazioni ingegneristiche in sede di progettazione dell'impianto agrivoltaico.

Le coltivazioni che rientrano nel tipico avvicendamento del tenimento sono colture estensive erbacee (frumento, orzo, mais, riso) in rotazione a colture miglioratrici leguminose (erba medica, soia, pisello proteico) ed industriali da rinnovo (girasole, colza, pomodoro da industria, barbabietola da zucchero).

Per fornire ulteriori dettagli del contesto aziendale, è stata effettuata un'analisi della produttività dei terreni selezionati utilizzando degli indici normalizzati. Ciascuno di questi è stato calcolato mettendo in relazione le rese degli ultimi 12 anni rispetto alla resa media delle singole colture nell'intero tenimento (Figura 3).



Figura 3 - Rese normalizzate degli appezzamenti in oggetto

4. IL SISTEMA AGRIVOLTAICO

L'azienda, per le sue caratteristiche e per l'idea imprenditoriale che la contraddistingue, si presta come sito ideale all'installazione di un impianto Agrivoltaico a carattere dimostrativo a pieno campo, un domani riproducibile in altre realtà agricole.

Il fotovoltaico integrato con le attività agricole senza (o con minimo) consumo di suolo, offre notevoli opportunità, non solo per la generazione di energia elettrica con grandi impianti, ma anche per migliorare le rese delle colture, in modo da sfruttare al meglio terreni e risorse. Questa combinazione ha preso il nome di "AGRIVOLTAICO".

L'agri-voltaico ha messo in evidenza come ottimizzare una porzione di terreno; infatti sulla stessa area è possibile avere un impianto solare, quindi produzione di energia rinnovabile, e nello stesso tempo coltivare il terreno mantenendo inalterato il reddito dell'agricoltore, garantendo la sostenibilità economica della coltivazione agricola.

Nonostante l'importante contributo che i sistemi fotovoltaici possono dare per incrementare la disponibilità di energie rinnovabili, l'utilizzo di terreni agrari per l'installazione di pannelli fotovoltaici è generalmente ritenuta inopportuna in termini di consumo del suolo, di impatto

sul territorio e di competizione con la produzione primaria.

Negli ultimi anni sono stati però introdotti dei nuovi sistemi, detti agri-voltaici, che permettono di far coesistere la produzione di energia fotovoltaica con la produzione agraria, mantenendo potenzialità produttiva agricola del territorio.

Nei sistemi agri-voltaici i pannelli sono sollevati dal suolo in maniera da permettere il passaggio di macchine operatrici e di ridurre l'effetto di ombreggiamento al suolo, consentendo, quindi, lo sviluppo delle piante al di sotto dell'impianto fotovoltaico. Questo tipo di sistemi si basa sul principio che un ombreggiamento parziale può essere tollerato dalle colture e può determinare vantaggi in termini di minor consumo idrico in estate e in condizioni siccitose. La presenza dei pannelli fotovoltaici protegge le colture da eccessi di calore e contiene il riscaldamento del suolo, rendendo i sistemi agri-voltaici più resilienti nei confronti dei cambiamenti climatici in atto, rispetto a colture tradizionali in pieno campo. La potenzialità produttiva ottenibile, con una scelta opportuna delle colture, non si differenzia di molto da quella ottenibile in assenza dell'impianto, ma si può stimare un significativo risparmio idrico dell'ordine del 15-20% rispetto ai consumi in campo aperto dovuto al parziale ombreggiamento, che limita gli eccessi di temperatura e ventosità.

Va sottolineato che la presenza del Sistema Agri-voltaico avanzato non causa danni permanenti al terreno, in quanto nelle fasce coltivate la gestione è simile a quella ordinaria e quindi non si hanno effetti differenziali rispetto al campo aperto; nelle fasce di rispetto attorno alle file di pannelli il terreno, mantenuto inerbito, accoppiato alla mancanza di disturbi meccanici permette di incrementare il tasso di sostanza organica del terreno, con benefici diretti sulla qualità del suolo e per la biodiversità.

Nel progetto si prevede inoltre l'adozione di fondamenta non cementate garantendo così il completo ripristino del terreno a fine vita impianto, come prescritto dal decreto semplificazioni.

Le caratteristiche che deve possedere un sistema agri-voltaico per potersi definire tale e per essere considerato *innovativo* e *avanzato* sono codificate nella Norma CEI PAS 82-93 e nelle linee guida pubblicate nel giugno del 2022 da ENEA, CREA e GSE. I requisiti fondamentali, tutti rispettati nel progetto, sono di seguito brevemente riportati:

- ✓ REQUISITO A: Il sistema è progettato e realizzato in modo da adottare una configurazione spaziale ed opportune scelte tecnologiche, tali da consentire l'integrazione fra attività agricola e produzione elettrica e valorizzare il potenziale produttivo di entrambi i sottosistemi;
 - Sagricola $\geq 0,7$ Stot

- LAOR = $Spv/Stot \leq 40\%$
- ✓ REQUISITO B: Il sistema agri-voltaico è esercito, nel corso della vita tecnica, in maniera da garantire la produzione sinergica di energia elettrica e prodotti agricoli e non compromettere la continuità dell'attività agricola e pastorale;
 - valore della produzione agricola prevista sull'area destinata al sistema agrivoltaico negli anni solari successivi all'entrata in esercizio del sistema stesso espressa in €/ha o €/UBA (Unità di Bestiame Adulto), mantenuta rispetto al valore medio della produzione agricola registrata sull'area destinata al sistema agri-voltaico negli anni solari antecedenti;
 - FV agr > 0,6 FV Standard
- ✓ REQUISITO C: L'impianto agri-voltaico adotta soluzioni integrate innovative con moduli elevati da terra, volte a ottimizzare le prestazioni del sistema agrivoltaico sia in termini energetici che agricoli;
 - Altezza minima impianto 2,1 m
- ✓ REQUISITO D: Il sistema agrivoltaico è dotato di un sistema di monitoraggio che consenta di verificare l'impatto sulle colture, il risparmio idrico, la produttività agricola per le diverse tipologie di colture e la continuità delle attività delle aziende agricole interessate;
 - Monitoraggio del risparmio idrico
 - Monitoraggio della continuità dell'attività agricola
- ✓ REQUISITO E: Il sistema agrivoltaico è dotato di un sistema di monitoraggio che, oltre a rispettare il requisito D, consenta di verificare il recupero della fertilità del suolo, il microclima, la resilienza ai cambiamenti climatici.
 - Monitoraggio del recupero della fertilità del suolo (non pertinente)
 - Monitoraggio del microclima
 - Monitoraggio della resilienza ai cambiamenti climatici

I requisiti A e B sono necessari per definire un impianto Agri-voltaico. I requisiti C e D, in aggiunta ai precedenti sono necessari per definire un impianto agrivoltaico avanzato. Gli impianti che rispettano anche il requisito E sono gli unici che potranno accedere alle agevolazioni previste dal PNRR, più che mai importanti per piccole realtà in ottica di futura scalabilità e replicabilità dell'iniziativa su altre realtà aziendali.

5. SISTEMAZIONE AGRONOMICA DEI TERRENI E PIANO CULTURALE

La definizione dell'avvicendamento colturale deriva da analisi multi-criteriale sulla base di ricerche bibliografiche circa le colture che meglio si adattano alle condizioni tipiche di un sistema che prevede la presenza di pannelli fotovoltaici in campi agricoli (maggiore ombreggiamento, ingombro causato dalle installazioni, etc.). Nel dettaglio, i criteri di selezione delle colture afferiscono a quattro elementi:

1. Rispetto dei principi agronomici di base, che prevedono la selezione di specie depauperanti in alternanza a colture miglioratrici e da rinnovo, in modo da preservare sia la struttura che la fertilità chimico-fisica del terreno. Un altro criterio di scelta delle colture è stata la destinazione d'uso della coltura, in modo da soddisfare sia le esigenze di mercato dell'azienda che venire incontro alle prerogative della Politica Agricola Comunitaria (PAC).
2. Attitudine della coltura a mitigare, o addirittura evitare, il rischio di perdite di resa dovuto alle influenze negative esercitate dalla presenza degli impianti fotovoltaici in campo agricolo. Nello specifico, la scelta è ricaduta verso quelle specie in grado di avere delle performance produttive soddisfacenti dal punto di vista economico, o addirittura migliori, anche in condizioni di illuminazione ridotta. Le specie che si adattano a condizioni d'ombra mantenendo un'elevata efficienza fotosintetica sono denominate "shade-tolerant", mentre quelle che invece risentono dell'ombreggiamento sono dette "shade-intolerant". L'insieme delle colture è compreso fra le due curve che definiscono ipoteticamente le specie più tolleranti (linea rossa) e meno tolleranti (linea blu) alla riduzione media di illuminazione (Figura 4).

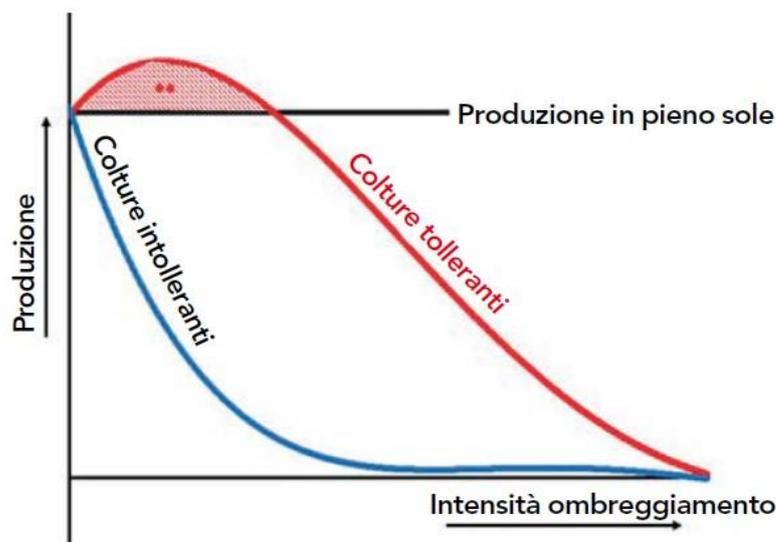


Figura 4 - Risposta delle colture tolleranti e intolleranti all'ombreggiamento (Fonte: CNR-IBE)

3. Attitudine della coltura a non influenzare negativamente le prestazioni del sistema fotovoltaico, in base alle specifiche caratteristiche morfologiche della coltura stessa (es: altezza della pianta).
4. Attitudine del tipo di meccanizzazione della coltura ad adattarsi alle condizioni di campo del sistema agrivoltaico (es: lunghezza dell'interlinea, parco macchine necessario, tempo di lavorazione). Nella fattispecie, il layout da selezionare deve considerare le potenziali perdite di efficienza dei cantieri di lavoro. Infatti, come definito dagli standard ASABE, la capacità operativa di lavoro (definita come la quantità di lavoro svolto nell'unità di tempo in ha/h) è tipicamente condizionata dalla conformazione delle superfici. Pertanto, risulta evidente che il layout è un fattore da considerare nel dimensionamento del parco macchine per evitare riduzioni delle capacità operative di lavoro, al fine di contenere i costi colturali. A questo proposito, la Tabella 2 riporta una simulazione effettuata su frumento in due diversi scenari di layout dell'impianto agrivoltaico.

Tabella 2 - Capacità operative di lavoro del frumento in due diversi layout di impianto agrivoltaico

Operazione	Layout 1 [ha/h] *	Layout 2 [ha/h] **	Scostamento [%]
Aratura	1,41	1,41	0%
Erpicatura	2,44	2,44	0%
Erpicatura	2,44	2,44	0%
Semina	3,50	3,50	0%
Concimazione	9,26	13,89	50%
Concimazione	9,26	13,89	50%

Diserbo	7,62	11,44	50%
Fungicida	7,62	11,44	50%
Fungicida	7,62	11,44	50%
Raccolta	3,00	3,95	32%

* Larghezza= 100m; Lunghezza= 300m; Interfila= 13m; Zona lavorabile tra le due file = 12m; Larghezza lavorabile netta= 92m.

** Larghezza= 100m; Lunghezza= 300m; Interfila= 20m; Zona lavorabile tra le due file= 18m; Larghezza lavorabile netta= 90m.

I criteri elencati e descritti sopra (dal punto 1 al punto 4) sono serviti ad alimentare un'analisi multi-criteriale il cui risultato è una classificazione qualitativa circa l'attitudine delle colture di maggiore interesse per l'azienda ad essere inserite in regime agrivoltaico. La classificazione è stata effettuata in 5 livelli di attitudine (molto alta, alta, media, bassa e molto bassa) e viene riportata in Tabella 3.

Tabella 3 - Elenco delle colture potenziali e valutazione qualitativa dell'attitudine alla coltivazione in regime agrivoltaico.

COLTURA	ATTITUDINE
Colza (<i>Brassica napus</i>), Erba medica (<i>Medicago sativa</i>)	Alta
Frumento duro (<i>Triticum durum</i>) Frumento tenero (<i>Triticum aestivum</i>) Orzo (<i>Hordeum vulgare</i>) Soia (<i>Glicine max</i>) Pisello proteico (<i>Pisum sativum</i>)	Media
Girasole (<i>Helianthus annuus</i>) Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>) Mais (<i>Zea mays</i>)	Bassa

La classificazione riportata sopra dimostra che le caratteristiche fisiologiche e morfologiche delle colture possono influenzare la loro attitudine alla coltivazione in sistemi agrivoltaici. Infatti, le specie coltivate caratterizzate da portamento eretto e da altezza elevata come il mais devono essere opportunamente analizzate nel loro inserimento nell'avvicendamento colturale.

6. DESCRIZIONE IMPIANTO AGRIVOLTAICO

L'impianto agrivoltaico può considerarsi suddiviso in 4 macro aree delimitate ad est da Strada Gherardi quindi, spostandosi verso ovest, da via Gherardi ed in ultimo dalla SP28. Le macro aree, che per semplicità chiameremo 1, 2, 3 e 4 da est verso ovest, accoglieranno i generatori fotovoltaici di seguito indicati:

MACRO AREA	POTENZA (MWp)	MODULI	INVERTER
1	23.696,64	35.904	136
2	11.594,88	17.568	67
3	31.078,08	47.088	179
4	33.295,68	50.448	192
TOTALE	99.665,28	151.008	574

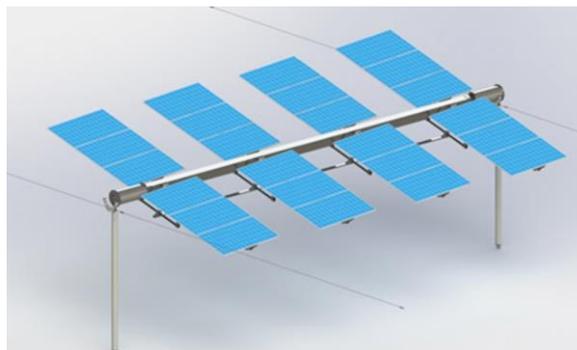
L'area su cui verrà realizzato l'impianto è gravata, come già anticipato, dal passeggio di tre strade, oltre che dal transito di un gasdotto, di linee di alta e media tensione e dal vincolo della legge 8 agosto 1985, n431 (legge Galasso).

Gli elaborati grafici prodotti riportano nel dettaglio tutte le fasce di asservimento a tali entità. Il generatore fotovoltaico sarà costituito da moduli bifacciali da 660Wp in silicio monocristallino posizionati su tracker di altezza 4,5m costituiti da strutture in acciaio composte da pali collegati tra loro da un tubolare in acciaio sul quale sono fissati trasversalmente 4 ulteriori tubolari di sezione minore sui quali vengono posizionati i moduli fotovoltaici.

Ciascun tracker ha una lunghezza di 14m ed ospita 24 moduli per un totale di 15,84kWp. Il tubolare di collegamento dei pali ruota lungo il suo asse solidamente ai tubolari di sezione minore che a loro volta sono in grado di ruotare lungo il proprio asse.

Tale modalità costruttiva permette di poter orientare i moduli fotovoltaici in maniera ottimale lungo i due assi.

L'intero campo fotovoltaico è costituito da 6292 tracker.



I tracker ospiteranno anche i convertitori statici, fissati alla struttura, di potenza massima pari a 175kW e tensione di uscita di 800V.

All'interno dell'area di impianto, in posizioni baricentriche rispetto agli inverter ad esse connessi, saranno posizionate 17 stazioni di trasformazione (dim. 5,7 x 2,15 x 2,5m – l x p x h) costituite da trasformatore MT/bt 30/0,8kV e potenza pari a 6660kVA (soltanto uno sarà di potenza inferiore pari a 2200kVA), quadro MT e quadro BT.



In prossimità dell'accesso ovest alla porzione di impianto compresa tra via Gherardi e strada Gherardi (macro area 2), verrà posizionata la cabina principale di impianto nella quale convergerà la linea MT 30kV in partenza dalla realizzanda SSE, dove sarà installato il trasformatore MT/BT per l'alimentazione delle utenze di servizio, il quadro MT, quello BT dei servizi di impianto e la control room.

Il quadro MT sarà costituito dall'interruttore generale SF6 che fungerà da DG e da ricalzo, dall'interruttore con funzione di DDI, da quello con fusibile a protezione del trasformatore servizi e dai 7 interruttori di linea a protezione delle partenze per le stazioni di trasformazione.

Tutta l'area sarà recintata da una rete a maglia sciolta fissata a paletti infissi nel terreno ed ove previsto verranno posizionate le piante per la mitigazione arborea.

Ciascuna delle 4 aree sarà provvista di cancelli di accesso e sarà collegata alla strada adiacente per mezzo di una strada di lunghezza di circa 30m realizzata in misto granulometrico stabilizzato al fine di escludere impermeabilizzazione delle aree e quindi garantire la permeabilità della sede stradale, con una larghezza minima della carreggiata

carrabile di 5,00 m con livelletta che segue il naturale andamento del terreno senza quindi generare scarpate di scavo o rilevato.

Il pacchetto stradale dei nuovi tratti di viabilità sarà composto da uno strato di idoneo spaccato granulometrico proveniente da rocce o ghiaia, posato con idoneo spessore, mediamente pari a 30 cm, realizzato mediante spaccato 0/50 idoneamente compattato, previa preparazione del sottofondo mediante rullatura e compattazione dello strato di coltre naturale.

Come anticipato l'impianto agrivoltaico verrà realizzato con pannelli bifacciali in silicio monocristallino da 660Wp disposti su tracker biassiali.

Queste strutture consentono la rotazione dei moduli fotovoltaici ad essi ancorati intorno a due assi permettendo l'inseguimento del sole nell'arco della giornata aumentando la produzione energetica dell'impianto agrivoltaico.

L'interasse tra le file di trackers è pari a 25,0 m per permettere l'agevole lavorazione dei terreni sottostanti.

Come suddetto, le caratteristiche che deve possedere un sistema agri-voltaico per potersi definire tale sono codificate nella Norma CEI PAS 82-93 e nelle linee guida pubblicate nel giugno del 2022 da ENEA, CREA e GSE.

Pertanto al fine di valutare l'impatto dell'intervento in esame rispetto alla necessità di non compromettere la continuità dell'attività agricola (requisito A), sono state prese in esame le seguenti definizioni di cui alle citate linee guida del giugno 2022:

- *“Superficie di un sistema agrivoltaico (Stot): area che comprende la superficie utilizzata per coltura e/o zootecnia e la superficie totale su cui insiste l'impianto agrivoltaico; (requisito A1)*
- *Superficie totale di ingombro dell'impianto agrivoltaico (Spv): somma delle superfici individuate dal profilo esterno di massimo ingombro di tutti i moduli fotovoltaici costituenti l'impianto (superficie attiva compresa la cornice)”. (requisito A2)*

La superficie totale (Stot) sottesa all'impianto Agrivoltaico, per il progetto in esame, è pari a 304.96.00 ha

La superficie agricola (Sagricola) è stata quantificata sottraendo dalla Stot (304.96.00 ha) la superficie immediatamente adiacente ai pali delle file di tracker che non sarà coltivabile (complessivamente 17.61.76 ha), e la superficie destinata ad ospitare le stazioni di

trasformazione nonché la cabina principale di impianto (complessivamente 0.02.56 ha), ed è pari a 287.31.68 ha. Pertanto sugli appezzamenti oggetto di intervento, il 94% della superficie continuerà ad essere destinata all'attività agricola, nel rispetto delle buone pratiche agricole.

Sagricola = 0,94 Stot (requisito A1)

La superficie totale di ingombro dell'impianto agrivoltaico (Spv) è stata quantificata moltiplicando il numero totale dei pannelli che verranno installati (151.008) per la superficie individuata dal profilo esterno di ciascun modulo (3,11 mq) considerando l'ipotesi di massimo ingombro che, in un sistema di tracker biassiale come quello in progetto, si ottiene quando tutti i pannelli hanno tilt 0°, con il risultato che per l'impianto in esame la Spv è pari a 46.90.84 ha, ovvero il 15,38% della Stot.

LAOR: Spv/Stot = 15,38% (requisito A2)

Nel corso della vita tecnica utile dell'impianto, inoltre, dovranno essere rispettate le condizioni di reale integrazione fra attività agricola e produzione elettrica valorizzando il potenziale produttivo di entrambi i sottosistemi (requisito B). In particolare, dovrebbero essere verificate:

- la continuità dell'attività agricola sul terreno oggetto dell'intervento (requisito B1);
- la producibilità elettrica dell'impianto agrivoltaico, rispetto ad un impianto standard e il mantenimento in efficienza della stessa (requisito B2).

Per quanto riguarda i sistemi che verranno utilizzati per comprovare, nel corso di esercizio dell'impianto, la continuità dell'attività agricola sul terreno oggetto dell'intervento (requisito B1) si rimanda al "piano integrato di monitoraggio di cui al successivo paragrafo 6.

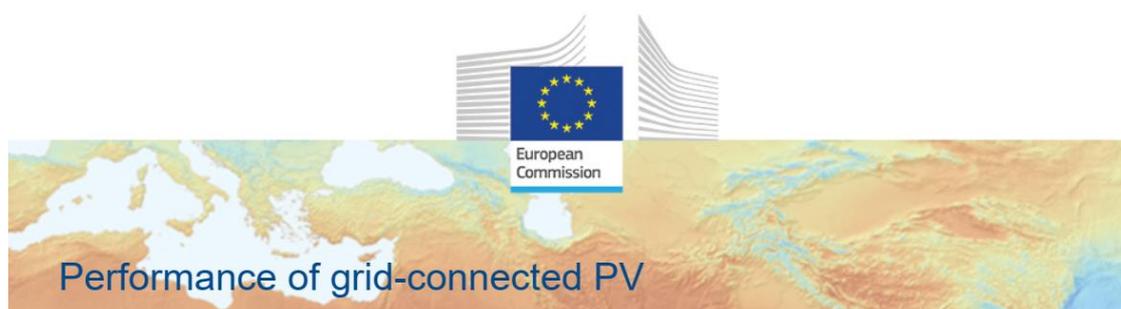
Per quanto riguarda la producibilità elettrica dell'impianto agrivoltaico, rispetto ad un impianto standard e il mantenimento in efficienza della stessa (requisito B2), l'impianto verrà provvisto di un sistema di monitoraggio remoto idoneo a monitorare H24 le performance dell'impianto stesso. In questa sede si è comunque provveduto a verificare la producibilità elettrica dell'impianto in progetto (FVagri) ed a rapportarla alla producibilità elettrica specifica di riferimento di un impianto fotovoltaico standard (FVstandard), considerando come superficie utile la superficie di progetto al netto di tutte le fasce di rispetto in cui non risulterebbe possibile realizzare né l'intervento in esame né un impianto standard, pari a 210.26.00 ha.

Su tale superficie, l'impianto Agrivoltaico in esame riuscirà a raggiungere una potenza installata di 99,66528 MWp ed una capacità produttiva di 178,58 GWh/anno.

La FVagri sarà quindi pari a 0,85 GWh/ha/anno.

Prendendo a riferimento invece un impianto standard, è stato stimato che sulla superficie di 210.26.00 ha sarebbe possibile installare una potenza di 200 MWp.

Per calcolare la capacità produttiva di detto impianto standard di tale impianto standard è stato utilizzato lo strumento PVGIS che stima una producibilità pari a 1.346,31 kWh/kWp/anno.



PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

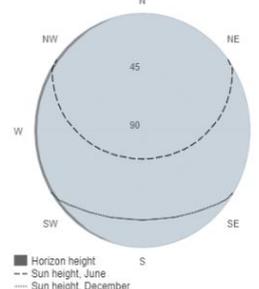
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 44.837,11.943
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-SARAH2
 PV technology: Crystalline silicon
 PV installed: 1 kWp
 System loss: 14 %

Simulation outputs

Slope angle: 37 (opt) °
 Azimuth angle: 0 °
 Yearly PV energy production: 1346.31 kWh
 Yearly in-plane irradiation: 1744.6 kWh/m²
 Year-to-year variability: 61.56 kWh
 Changes in output due to:
 Angle of incidence: -2.72 %
 Spectral effects: 1.16 %
 Temperature and low irradiance: -8.82 %
 Total loss: -22.83 %

Outline of horizon at chosen location:



Pertanto un impianto standard riuscirebbe a raggiungere una capacità produttiva di 269,26 GWh/anno.

La FVstandard sarebbe quindi pari a 1,28 GWh/ha/anno.

La FVagri è quindi pari al 66,32% della FV standard.

FVagri = 0,6632 FVstandard (requisito B2)

7. PIANO INTEGRATO DI MONITORAGGIO

Il Piano integrato di compone di tre elementi, in grado congiuntamente di garantire il rispetto dei requisiti D ed E:

1. una piattaforma digitale per la gestione delle agro-pratiche con supporto GIS che consenta la tracciabilità di tutte le informazioni relative alla gestione colturale (quaderno

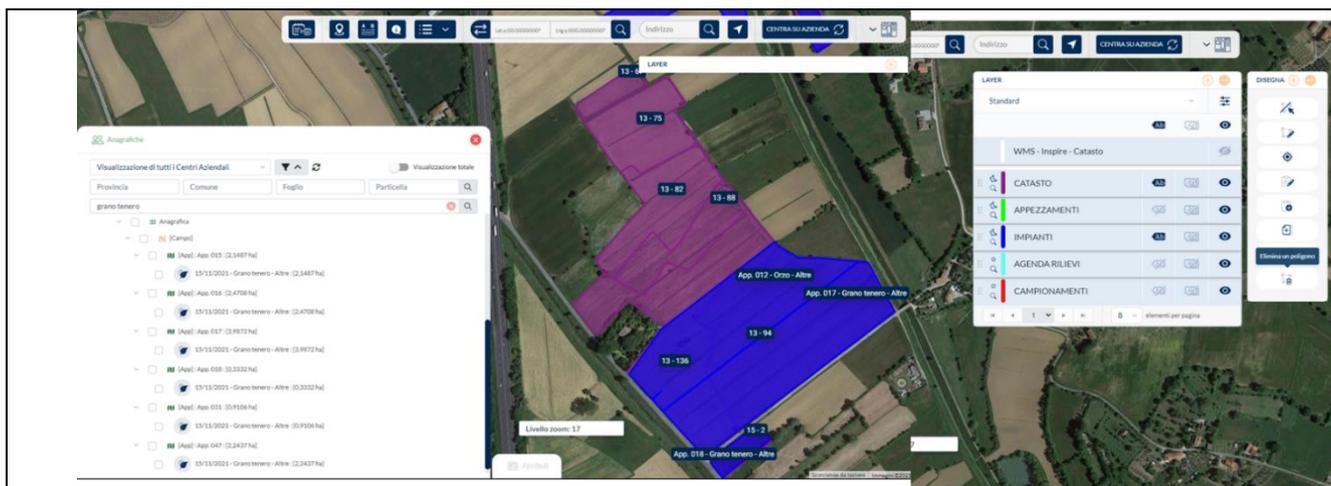
- di campagna digitale), ed in particolar modo ai consumi idrici [requisito D.1], e il controllo di gestione intesa come costi diretti della produzione e dei ricavi [requisito D.2]
2. macchine agricole aziendali e sensoristica IOT integrabili con la piattaforma in ottica 4.0 [requisiti D.1 ed E.2];
 3. specifici moduli per la gestione delle applicazioni a rateo variabile e modelli predittivi per il supporto agronomico necessario al corretto utilizzo dei DSS- Decision Support System come misura di adattamento al cambiamento climatico [requisito E.3].

La piattaforma software di monitoraggio

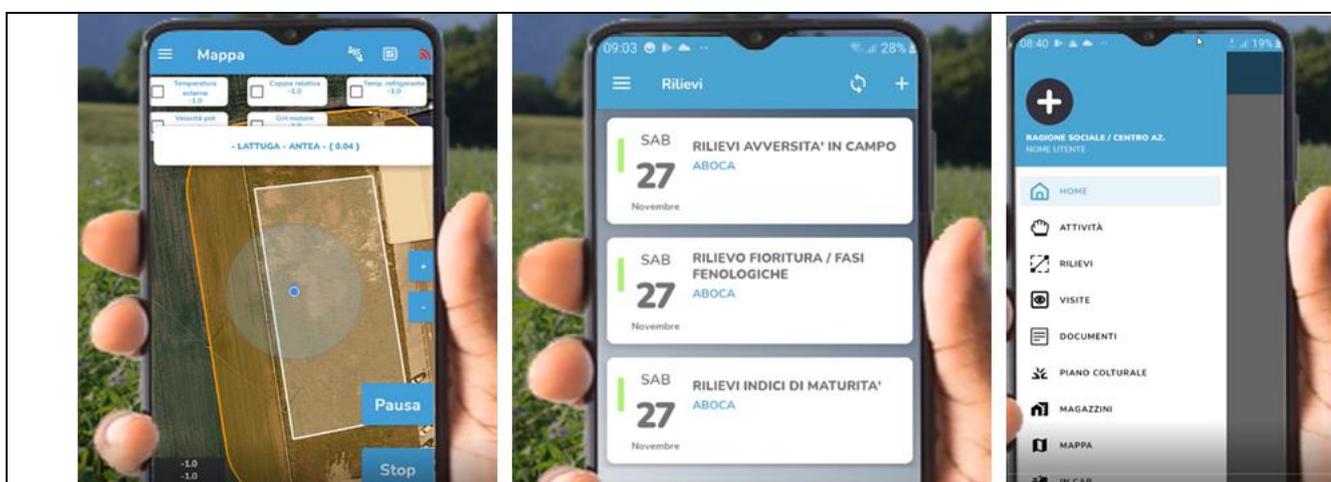
La Piattaforma proposta ha lo scopo di gestire con supporti digitali il ciclo di vita della produzione agricola garantendo tracciabilità di tutte le informazioni che riguardino l'impatto ambientale, gli input agronomici, le rese e la qualità dei prodotti. In tale contesto di filiera agro-industriale la digitalizzazione dell'intero scenario produttivo consente non solo la raccolta dei dati utili per le successive rappresentazioni richieste dagli adempimenti, ma la fattiva gestione delle attività necessarie, il controllo dell'esecuzione dei lavori, dello stato delle diverse entità coinvolte (colture, magazzini, etc.), dei soggetti interni ed esterni partecipanti alla filiera (personale, terzisti, etc.).

La Piattaforma gestisce con grande possibilità di dettaglio tutte le attività agricole aziendali sia per quanto attiene alle lavorazioni sia per quanto attiene all'impiego dei prodotti. In quest'ultimo caso consente un controllo pervasivo di tutti i parametri di etichetta: utilizzabilità del prodotto alla data del trattamento (gestione in commercio, revoche, fine commercializzazioni, fine scorta), campi di impiego (colture per cui il prodotto è registrato), dosaggi, volumi d'acqua, numero dei trattamenti, intervallo di tempo tra i trattamenti, avversità, dichiarazione superamento soglie, epoche, carenza, oltre alle verifiche automatiche sui limiti imposti dai Disciplinari di Produzione Integrata Regionali (o Linee Tecniche Private): sostanze attive non ammesse, restrizioni su dosaggi, etc.

Il sistema di gestione dei Piani di Fertilizzazione prevede la sostanziale applicazione della normativa nitrati. L'articolazione funzionale prevede la gestione delle analisi del terreno e il supporto informativo delle quantità di fertilizzanti sintetici o organici totali e progressivamente residue utilizzabili in funzione dei massimali di asporto previsti dalle normative (aggiornati in Piattaforma). Il Registro delle Fertilizzazioni è generato attraverso le operazioni di fertilizzazione controllate dal sistema attraverso i limiti di NPK sulle colture/impianti derivanti dall'applicazione degli algoritmi e delle tabelle dei Piani di Fertilizzazione.



Rappresentazione esemplificativa di gestione agricola attraverso gli strumenti GIS-cartografici.



Rappresentazione esemplificativa di gestione attività con l'App Smartphone estendibile anche a partecipanti esterni (i.e. terzisti).

Parallelamente all'esecuzione e controllo del ciclo di vita del prodotto, sono messi a fuoco gli aspetti di controllo di gestione che possono essere declinati come analisi specifica dei costi-ricavi caratteristici per la specifica gestione del prodotto ovvero estesi ad una contabilità industriale con rappresentazione economica completa della filiera con riferimento particolare al capofila che controlla la produzione ed esegue la trasformazione.

Analisi Costi / Ricavi		BAG			
Dati a Consumivo		P.IV.	1404		
Periodo: 01/06/2018 -		VIA			
Agricolo:	ENERGY, CONVENZIONALE, B32 -	ni Elena,	2,1876		
Grano duro Orobel					
Costi					
Macchine e attrezzature					
Pressatura					
Data	Descrizione	U.M.	Q.tà	Prezzo €	Importo €
04/07/2018	BIG BALLER - B9080R 6RT	Ore	1,00	22,00	22,40
04/07/2018	NEW HOLLAND - T7.315 - BR357X	Ore	1,00	28,00	33,60
Rilievo Produzione e Data raccolta					
Data	Descrizione	U.M.	Q.tà	Prezzo €	Importo €
02/07/2018	IVECO - DK162DK CONSORZIO RAVENNA BIONDI+BOSCHI BIONDI	Ore	2,00	30,00	60,00
02/07/2018	IVECO - B2388KL CONSORZIO RAVENNA BIONDI+BOSCHI BIONDI	Ore	2,00	30,00	60,00
02/07/2018	MIETTREBBIA GIALLA - CR9080 - AV191P CONSORZIO RAVENNA BIONDI+BOSCHI BIONDI	Ore	2,00	72,00	158,40
05/07/2018	RIMORCHIO - AP464C	Ore	0,50	5,00	3,30
05/07/2018	RIMORCHIO - AC743H	Ore	0,50	5,00	3,30
05/07/2018	NEW HOLLAND T6.120 - BR398X	Ore	2,00	16,00	32,00
05/07/2018	SAME DEUTZ - TTV 430 - BK308A	Ore	2,00	18,00	36,00
Totale Macchine e attrezzature				188,79/ Ha	413,00
Personale					
Pressatura					
Data	Descrizione	U.M.	Q.tà	Prezzo €	Importo €
04/07/2018	ANDREA	Ore	1,00	13,00	15,60
Rilievo Produzione e Data raccolta					
Data	Descrizione	U.M.	Q.tà	Prezzo €	Importo €
02/07/2018	RU ONDI	Ore	2,00	13,00	26,00
02/07/2018	VA CHI	Ore	2,00	13,00	26,60
02/07/2018	CO	Ore	2,00	13,00	26,00
05/07/2018	BAI	Ore	2,00	13,00	26,00
05/07/2018	SEI	Ore	2,00	13,00	26,00
Totale Personale				67,75/ Ha	148,20
Totale Costi				256,54/ Ha	561,20

Rappresentazione esemplificativa di reportistica di costi di produzione.

La Piattaforma incardina le necessità sostanziali della gestione del business, ma costituisce di fatto un sistema “aperto”, cioè un contesto gestionale digitalizzato che può essere esteso in diverse direzioni: dall’inclusione delle macchine agricole e dei sistemi di controllo degli impianti nel percorso di acquisizione dati, all’attivazione di vari strumenti DSS (difesa, nutrizione, rischi meteo, etc.) per la guida delle attività agricole, dall’integrazione dei sistemi gestionali fiscali per una perfetta organizzazione del controllo di gestione, all’automazione delle attività attraverso l’implementazione di paradigmi di Agricoltura di Precisione e 4.0 e via dicendo.

Sono da considerarsi altresì vettori di implementazione, direttamente connaturati con gli aspetti gestionali ricordati, quelli relativi ai modelli di valutazione degli impatti di sostenibilità che si concretizzano nell’ottenimento delle certificazioni.

Di particolare interesse nel panorama di informatizzazione della filiera, infine, è l’aspetto

della produzione degli output finalizzati al controllo normativo e necessari alle certificazioni ambientali, energetiche, di qualità e di filiera. Vista la delicatezza dell'obiettivo di impiego, tale aspetto non può essere semplicemente rubricato quale produzione di reportistica, ma merita una cura puntuale sia in termini di analisi dei dati che in termini di produzione delle necessarie evidenze.

La piattaforma GIAS si propone come Piattaforma gestionale completa per i processi legati alla gestione agricola e relativi alla produzione energetica legata all'agricoltura, promuovendo l'efficienza energetica nelle filiere e nei processi agricoli con utilizzo consapevole delle risorse

Sono di seguito elencate le caratteristiche strutturali della Piattaforma GIAS (o eventuali altre piattaforme che si renderanno disponibili per la miglior fruizione dei dati). La piattaforma GIAS è un sistema modulare, integrato e completo per i processi gestionali a supporto e gestione dell'intero ciclo di vita del prodotto delle Aziende del comparto Agricolo finalizzato alla produzione di energia:

- anagrafica completa e articolata (con catasti e piani colturali dettagliati su architettura multi-aziendale e multi-livello);
- mappatura degli impianti agro-fotovoltaici con corrispondenza diretta con piani colturali e catastali;
- gestione agronomica completa con compilazione registro dei trattamenti, gestione del piano colturale e del catasto, report e modulistica, banche dati e discipline integrate per la gestione quotidiana delle operazioni di campagna;
- modulo GIS/GPS multilayer (base Google) integrato alla gestione della campagna
- strumenti di supporto alle decisioni (Modelli di Difesa, Irrigazione, Nutrizione, etc.);
- strumenti per la gestione del territorio e precision farming (con modulo cartografico GIS integrato) etc.
- strumenti per l'assistenza tecnica (visite, rilievi avversità, ricette, mail e sms, etc.);
- processi di conferimento, campionatura, liquidazione fornitori;
- processi di lavorazione, trasformazione, confezionamento;
- processi documentali e della qualità (pre raccolta e post raccolta) con check list private, pubbliche (Global Gap, condizionalità, etc.);
- processi di gestione delle Conformità (piani di campionamento, analisi residui e conformità a LRM di legge e a capitolati privati, etc.);
- Controllo di gestione intesa come costi diretti della produzione e dei ricavi

- tracciabilità e altre procedure per la gestione della filiera;
- amministrazione, contabilità, adempimenti normativi;
- analisi dei dati e produzione delle reportistiche utili alle certificazioni (bilanci di massa, alimentazione modelli GHG, etc.).
- applicazione mobile (GIAS App) per uso delle funzionalità in mobilità;

Integrazione macchine agricole e sensori IOT

La possibilità di digitalizzazione delle macchine motrici presenti in azienda e sensori IOT di nuova installazione ha il fine di raccogliere dati e connettere tra loro le macchine agricole. Questa tecnologia è in grado di raccogliere e condividere i dati direttamente dal campo, con l'obiettivo sia di incrementare l'efficienza produttiva e rispondere alle nuove esigenze ambientali e ai bisogni operativi degli agricoltori sia per la manutenzione predittiva dei veicoli. Il sistema supporta l'agricoltore durante le diverse attività di utilizzo del trattore: dal monitoraggio dell'uso del veicolo, all'impiego consapevole di risorse idriche e fertilizzanti in campo, fino a suggerimenti strategici per una gestione efficiente dell'azienda agricola, grazie alle capacità previsionali del software.

I sensori scelti dovranno prevedere l'utilizzo di datalogger con connettività basata su SIM. Questo permette a sensori e centraline meteo di comunicare il dato direttamente in cloud, senza doverlo scaricare manualmente. Inoltre, essendo ognuno provvisto di datalogger, potranno essere spostati all'interno del territorio liberamente. Questo è particolarmente importante nell'ottica di garantire una strumentazione adattabile alle evoluzioni che potrebbe avere il progetto, al fine di rispondere in maniera più efficace alle esigenze degli agricoltori del territorio.

La scelta della connessione 3G-4G rispetto ad altre tecnologie è dovuta alla conformazione montagnosa del territorio e alla presenza di colture arboree che potrebbero ostacolare la permeabilità di reti come la LORAWAN, causando disservizi. L'utilizzo delle SIM garantisce un più semplice spostamento sul territorio del sensore, ed una maggiore velocità e facilità di intervento in caso di difficoltà di connessione, in quanto è tendenzialmente sufficiente cambiare la SIM con quella del provider che garantisce una migliore connettività in quel punto.

Sarà fondamentale che ogni hardware sia dotato di un pannello solare che ne garantisca la funzionalità almeno per una intera stagione, per limitare gli interventi manutentivi in campo.

Di seguito alcuni esempi di sensori che verranno installati:

Stazioni meteorologiche

Le stazioni meteorologiche scelte dovranno monitorare i parametri necessari per la descrizione dell'andamento climatico e l'elaborazione di modelli previsionali per difesa ed irrigazione:

- temperatura,
- umidità relativa,
- umidità fogliare,
- radiazione solare,
- velocità e direzione del vento.

Si consiglia di settare la frequenza di misurazione ogni 15-30 minuti, in ogni caso non superare 1 h.

Le stazioni dovranno essere posizionate preferibilmente su substrati erbosi ed in ambienti aperti, lontano almeno 10 m da ostacoli verticali (ess: edifici o alberi) che possano ostacolare il vento e l'accumulo di precipitazioni, o possano causare ombreggiamento. L'altezza ottimale di installazione è di 1,7 – 2 m per la stazione, e a partire da 2.5 m per l'anemometro. Il pannello solare dovrà essere inclinato in direzione sud.

Si prevede di installare almeno 2 stazioni meteo, una all'esterno del sistema agrivoltaico come controllo per tarare i DSS successivamente esposti, e una all'interno.

Sensori di umidità del suolo

In questo studio sono stati presi in considerazione unicamente i sensori adatti a supportare la programmazione delle irrigazioni, evitando strumentazioni nate esclusivamente per scopi di ricerca. Questi consentiranno la corretta gestione irrigua ed il risparmio di risorsa idrica, il quale verrà monitorato con appositi sensori di portata. Si prevede l'installazione di almeno un sensori in ogni settore irriguo in modo da controllare l'irrigazione in modo differenziato, e di un misuratore di portata su ogni punto di adduzione.

Presentiamo una breve descrizione delle diverse tipologie di strumenti, evidenziandone pregi e difetti, per spiegare il motivo della scelta finale. Possiamo suddividere i sensori disponibili sul mercato in alcune macrocategorie:

- tensiometri,
- dispositivi di resistenza (gesso e blocchi di matrice granulare),
- sonde a neutroni,
- sensori che misurano la costante dielettrica.

Un tensiometro è un tubo di plastica riempito d'acqua con una punta porosa su un'estremità e un vacuometro sull'altra. I tensiometri sono installati vicino alla pianta con la loro estremità porosa a contatto con il terreno circostante. Mentre il terreno interessato dalla zona radicale si asciuga, si crea un'aspirazione (pressione negativa) che estrae l'acqua dalla colonna di plastica attraverso la punta porosa del sensore, creando così un vuoto nel tubo pari a quello della tensione di umidità del suolo. La pressione viene misurata per stimare l'umidità del suolo.

I tensiometri sono economici (circa 70 €), ma hanno un campo di misura abbastanza limitato, coprendo solo un intervallo da 0 a 80 centibar, che diminuisce inoltre all'aumentare dell'altitudine del terreno a cui è posto. Il range misurato è inadatto per applicazioni su terreni argillosi e per diverse colture.

Un secondo problema è che i tensiometri richiedono una manutenzione continua, inadatta agli scopi di questo progetto.

Crop	Tension (centibars) *	Crop	Tension (centibars) *
Alfalfa	80–150	Corn (sweet)	50–80
Alfalfa seed		Deciduous tree	50–80
Pre-bloom	200	Grain (small)	
Bloom	400–800	Vegetative	40–50
Ripening	800–600	Ripening	70–80
Broccoli		Grapes	
Early	45–55	Early	40–50
Post-bud	60–70	Mature	100
Cabbage	60–70	Lettuce	40–60
Cantaloupe	35–40	Onion	45–65
Carrot	55–65	Potato	30–50
Cauliflower	60–70	Strawberry	20-30
Celery	20–30	Tomato	60-150
Citrus	50–70		

Pressione raccomandata per diverse colture, per climi caldi e secchi (valore minore) e freschi e umidi (valore maggiore). Fonte: Taylor, S.A. 1965. "Managing irrigation water on the farm". Amer. Soc. Agr. Eng. Trans. 8:433-436

I blocchi di gesso sono sensori basati sulla resistenza elettrica. Sono costruiti in materiale poroso in cui sono incorporati due fili o due schermi a filo concentrico collegati a conduttori. Il blocco viene sepolto nel terreno fino alla profondità della zona radicale a cui si vuole misurare il contenuto d'acqua.

I vantaggi maggiori di questi dispositivi è che sono estremamente economici (circa 10 €) e causano solo lievi disturbi al profilo del suolo. Purtroppo hanno un periodo di vita molto

breve, dissolvendosi velocemente nel tempo (mediamente 1 anno). Questo crea anche delle problematiche nella registrazione del dato nelle fasi finali, poiché il contatto superficiale con il suolo diminuisce rapidamente. Inoltre sono poco sensibili ai livelli più alti di contenuto di umidità, estremamente influenzati dalla presenza di sale ed hanno tempi di registrazione del dato molto lenti.

In alternativa si potrebbero utilizzare i blocchi a matrice granulare (GMB), che lavorano su principi simili, ma utilizzando un materiale diverso dal gesso, più resistente al dissolvimento. Questi blocchi possono costare due o tre volte di più rispetto ai normali blocchi di gesso, ma durano più a lungo, rispondono più velocemente e hanno una più ampio range di sensibilità.

Rimangono in ogni caso molto sensibili ai livelli di salinità del terreno, e forniscono misurazioni a frequenze minori rispetto alle successive tipologie di sensori.

La sonda a neutroni funziona emettendo neutroni nel terreno e leggendo quanti di questi rimbalzano indietro dopo aver colpito le molecole di idrogeno nel terreno.

Si tratta di uno dei metodi più accurati, ma presenta alcuni svantaggi. I principali sono il suo alto costo (qualche migliaia di euro per il contatore di neutroni) e soprattutto l'impossibilità di collegare i sensori a datalogger per avere misure in continuo. In secondo luogo, poiché la sonda di neutroni contiene una piccola quantità di materiale radioattivo, il suo uso è altamente regolamentato. Infine, hanno problemi di precisione a basse profondità (ad esempio, meno di 15 cm).

L'ultima categoria è quella dei sensori che misurano le proprietà dielettriche del suolo, strettamente correlata all'umidità del suolo: esse possono essere misurate utilizzando la riflettometria del dominio del tempo (Time Domain Reflectometry - TDR) e la riflettometria del dominio della frequenza (Frequency Domain Reflectometry - FDR). La TDR misura il tempo necessario affinché un impulso elettrico viaggi attraverso il terreno (ad es. velocità di propagazione). Le misurazioni FDR riguardano invece la frequenza dell'impulso: i dispositivi che impiegano condensatori per misurare la frequenza vengono definiti capacitivi.

Questi sensori sono molto accurati, con un ampio range di sensibilità (0 - >1500 centibars) e poco influenzati dalla salinità del terreno. Il costo per un sensore da installare nello strato superficiale del terreno è intorno ai 150-200 €, ma rispetto a sensori più economici hanno anche il vantaggio di avere un ciclo di vita più lungo (almeno 5 anni) e non necessitano di continue manutenzioni in campo.

Per le ragioni soprariportate, e viste le necessità di questo progetto (strumenti accurati ma

che non necessitano manutenzione durante l'anno, comunicazione in continuo dei dati tramite datalogger), sono state scelte due tipologie di sensori, entrambi appartenenti alla categoria dei sensori capacitivi.

I primi sono costituiti da due elettrodi che misurano la permittività dielettrica del suolo, al fine di determinare il suo contenuto d'acqua volumetrico (VWC).

Possono essere installati a diverse profondità ma tipicamente vengono installati nei primi 10-20 cm.

Per una corretta misurazione del dato gli elettrodi devono essere posizionati a stretto contatto con il suolo, che deve essere rappresentativo delle condizioni a contorno. È fondamentale perciò inserire il sensore in suolo indisturbato: si consiglia pertanto di scavare una buca con parete verticale, ed inserire in orizzontale gli elettrodi direttamente in parete. In seguito bisogna ricoprire la buca con il terreno asportato.



esempio di sensore di umidità.

Per misurazioni più profonde sono stati previsti sensori di umidità multicapacitivi, che misurano l'umidità del terreno a diverse profondità (fino a 60 cm quelli previsti da progetto). Questa caratteristica li rende particolarmente adatti per colture arboree, che hanno un apparato radicale più profondo e sono in grado di acquisire acqua su diversi livelli. Il monitoraggio di diverse profondità garantisce perciò di controllare se la pianta è effettivamente in stress idrico, evidenziando a che profondità c'è effettivamente suzione radicale.



esempio di sonda multicapacitiva.

La sonda va posizionata in verticale, avendo cura di non creare sacche di aria tra questa ed il terreno. L'installazione può creare inoltre superfici preferenziali di scorrimento delle acque piovane, che sfalserebbero il dato.

Si consiglia pertanto di procedere all'installazione tramite i kit di montaggio, che facilitano il lavoro e alterano il meno possibile le condizioni del terreno.



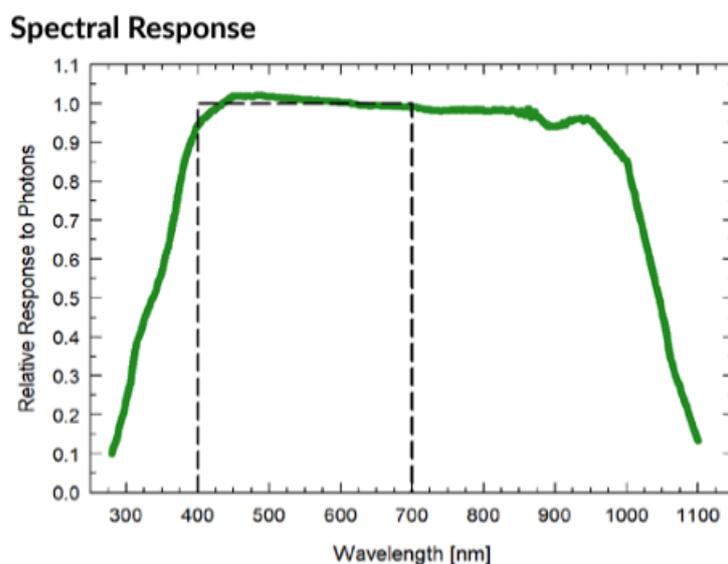
kit e procedura di installazione del sensore multi-capacitivo

Sensori PAR

Il sensore PAR (Photosynthetically Active Radiation measuring) misura il numero di fotoni che arrivano in un secondo su una superficie nel range spettrale che va da 400 a 700nm, ovvero lo spettro solare utilizzato dalla flora per la fotosintesi clorofilliana e per questo definita radiazione fotosintetica attiva. In diversi casi la produttività di una coltura è funzione della quantità di energia radiante fotosinteticamente attiva intercettata dai suoi organi verdi e dalla efficienza fotosintetica di tali organi.

Verranno installati 3 sensori lungo l'interlinea del sistema agrivoltaico, in corrispondenza della fila di pannelli, al centro dell'interlinea e a un quarto, in modo da poter interpolare una curva di irraggiamento. I dati così raccolti potranno alimentare i modelli predittivi descritti al paragrafo successivo e fornire importanti indicazioni per le scelte colturali.

Il sensore ha una buona accuratezza anche grazie alla sua quasi immunità alle variazioni di temperatura che influiscono in maniera trascurabile sulla risposta spettrale dello strumento. La calibrazione del sensore viene effettuata con una lampada alogena di cui è noto l'irradiamento spettrale nello spettro di interesse.



Di seguito si riportano numerosità e caratteristiche principali dei sensori agro-meteorologici scelti per questo progetto

Centralina meteorologica:

- Variabili misurate: precipitazioni, temperatura, umidità relativa, umidità fogliare, radiazione solare, velocità e direzione del vento
- Dati misurati ogni 15-30 minuti

- Dotata di pannello solare
- Connettività tramite SIM
- Palo per l'installazione

Sensori multicapacitivi del suolo a profondità massima di 60 cm:

- Sensori capacitivi del suolo
- Profondità: multiple, massima 60 cm
- Variabili misurate: temperatura del suolo e umidità del suolo (VWC)
- Range di temperatura di funzionamento: almeno - 20° a 50°

Sensori capacitivi del suolo con due elettrodi ad asta

- Sensori capacitivi del suolo con due elettrodi ad asta
- Profondità: dipendente da punto di installazione
- Variabili misurate: temperature del suolo e umidità del suolo (VWC)
- Range di temperatura di funzionamento: almeno - 20° a 50°

DSS per obiettivi di adattamento al cambiamento climatico

Di seguito verranno illustrati i servizi di agricoltura di precisione individuati come soluzione di adattamento climatico e integrati con la piattaforma e la sensoristica prevista.

DSS (Decision Support System) per la nutrizione

Attraverso la creazione di zone omogenee è possibile individuare le parti dell'appezzamento aventi diversi livelli di fertilità ed agire in maniera sito - specifica con l'apporto di nutrienti. Le aree individuate nello studio possono infatti essere caratterizzate grazie ad un campionamento selettivo (un solo campione per ogni categoria) per determinare il contenuto di sostanze nutritive. L'analisi per l'individuazione dei punti di campionamento ottimali è già stata eseguita nel presente studio.

Grazie a specifici modelli è quindi possibile individuare per ogni nutriente l'apporto necessario conoscendo il fabbisogno delle colture previste dal piano colturale ed eseguendo quindi un bilancio apporti-asporti. La conoscenza del fabbisogno per singolo nutriente consente inoltre di identificare il formulato più idoneo in base al titolo. Si può quindi generare un piano di concimazione nel quale vengono definite le dosi di fertilizzante da apportare durante il ciclo colturale e nelle fasi fenologiche più significative.

La piattaforma fornita è di per sé dotata dai database relativi a parametri fenologici e formulati disponibili sul mercato.

Attività di campionamento e analisi di laboratorio sono a carico dell'azienda agricola.

DSS (Decision Support System) per la difesa

Difendere le colture da organismi patogeni e insetti è una sfida sempre più complessa per gli agricoltori. Il quadro è reso ancora più difficile dai cambiamenti climatici, dall'introduzione di organismi "alieni" e da un quadro regolatorio sempre più stringente. Fondamentale è la conoscenza delle condizioni meteo presenti in campo.

Grazie a modelli predittivi appositamente sviluppati e calibrati è possibile determinare l'effettivo livello di allerta patogeni analizzando specifiche informazioni. Queste informazioni vengono fornite da appositi sensori installati in punti strategici dell'appezzamento.

Si tratta di capannine meteo in grado di supportare un numero variabile di sensori per misurare:

- Temperatura e umidità dell'aria;
- Precipitazioni;
- Vento;
- Irraggiamento solare;
- Temperatura e umidità del suolo;
- Bagnatura fogliare;

Altri fattori determinanti sono la conoscenza del ciclo biologico del parassita/patogeno e il ciclo biologico della coltura da difendere. A questo punto, interpolando tutti i dati a nostra disposizione ed inserendoli in appositi modelli, siamo in grado di capire in quale momento il patogeno/parassita potrebbe attaccare la coltivazione.

Tutto ciò consente di intervenire con una difesa mirata evitando sprechi di prodotto fitosanitario e trattamenti ingiustificati.

Rispetto alla lotta a calendario con i DSS riusciamo a risparmiare trattamenti e prodotti fitosanitari, il tutto si tramuta in benefici economici ed ambientali.

Il modello funziona una volta identificati i seguenti punti:

- Localizzazione dell'appezzamento (posizione esatta – areale di riferimento). Ogni appezzamento inserito nei DSS verrà geolocalizzato, in modo che il sistema possa tener conto delle caratteristiche geografiche del sito di coltivazione.
- Caratteristiche del suolo. I DSS prendono in considerazione le caratteristiche fisico-

chimiche dei suoli delle singole coltivazioni. Vengono valutate le mappe di resistività, i punti di campionamento e le MUZ (immagine a destra) in modo da riportare con precisione i valori di suolo per ogni singola zona all'interno dell'appezzamento.

- Coltura, varietà e stadi fenologici corrispondenti. I DSS tengono conto della coltura scelta per lo specifico modello e le caratteristiche delle singole varietà, simulando lo sviluppo fenologico e i ritmi di crescita della pianta.
- Dati climatici (in tempo reale, serie storica)
- Ciclo biologico del patogeno.

I DSS forniscono informazioni aggiuntive per migliorare i processi decisionali relativi alla conduzione agronomica della coltura.

Le visite periodiche in campo permettono di osservare zona per zona nello specifico ed individuare piante in stress pianificando i trattamenti fitosanitari sulle colture.

Soprattutto al verificarsi di eventi climatici anomali.

DSS (Decision Support System) per l'irrigazione

I dati raccolti dai sensori delle stazioni meteo possono essere impiegati anche per pianificare gli interventi irrigui attraverso modelli che determinano l'effettivo fabbisogno irriguo della pianta e il momento più idoneo per irrigare, in base alle condizioni meteo, al tipo di suolo e alle caratteristiche fenologiche della specifica coltura.

Mettendo insieme le informazioni relative alle precipitazioni, vento, umidità del suolo, evapotraspirazione (calcolata in automatico), il modello identifica qual è il momento migliore per intervenire.

Il tutto è completamente automatizzato

- Attraverso la piattaforma dedicata è possibile regolare una serie di impostazioni per gestire l'irrigazione.
- Calcolo del grafico di umidità media nella zona interessata dalle radici;
- I livelli dei sensori possono essere visualizzati in grafici di diversi formati;
- L'umidità del suolo viene classificata in gamme: rosso (deficit), verde (ottimale), blu (eccessiva umidità).
- Previsioni e misurazioni meteorologiche;
- Deficit di pressione di vapore;
- Fasi fenologiche;

- Evapotraspirazione istantanea e prevista.

I vantaggi legati all'utilizzo del DSS Irrigazione sono riconducibili al risparmio d'acqua, al maggior profitto – tutela e massimizzazione del potenziale genetico, miglioramento della qualità, risparmio sui fertilizzanti – riduzione del deflusso o la lisciviazione profonda dei nutrienti e ottimizzazione dell'uso di fertilizzanti.

Inoltre, viene garantita la salute del raccolto – gestendo l'acqua per avversità fitopatologiche, stimolando lo sviluppo delle radici e fornendo protezione contro le gelate; al livello di sicurezza garantisce un'allerta in tempo reale su determinati parametri, inclusi i livelli di umidità del suolo ricaricati e saturati, l'attivazione o meno delle pompe e la tracciabilità di tutti gli eventi oltre al minore spreco di acqua e contaminazione delle acque sotterranee.

DSS (Decision Support System) per la semina

Per l'utilizzo del DSS semina il valore iniziale da considerare è la determinazione del potenziale produttivo, il cui valore viene estratto attraverso un foglio di calcolo che prende in considerazione le caratteristiche del suolo e gli indici di vigore della coltura in analizzata negli ultimi 3 anni. Da qui si ottiene una valutazione che può essere alta, media o bassa. Una volta determinato il potenziale produttivo si procede con il foglio di calcolo del DSS semina dove vengono inserite le analisi delle singole zone omogenee (MUZ) e le caratteristiche della semente ottenendo le dosi consigliate per le varie zone omogenee.

Il servizio prevede:

- analisi del contesto aziendale e dei suoi obiettivi di produzione;
- definizione della densità ottimale di semina per singolo appezzamento;
- predisposizione di mappe a rateo variabile per la distribuzione differenziata della semente all'interno dell'appezzamento;
- creazione delle mappe di prescrizione per colture estensive.

Il servizio può essere applicato anche a contesti aziendali che non prevedono operatrici VRT (variable rate technology) nel parco macchine: in assenza di tali macchine, verrà calcolata una dose media per l'intero campo.

I vantaggi sono molteplici e toccano i vari ambiti della sostenibilità: economica, ambientale e sociale. Dal punto di vista economico: riduzione dei costi di produzione, aumento delle rese e del valore dei prodotti. Per quanto riguarda l'ambiente: riduzione degli input,

riduzione dell'impronta carbonica e di altri indicatori ambientali. In merito agli aspetti sociali: incremento della salubrità dei prodotti agricoli, della professionalità e dell'imprenditorialità degli operatori, come pure della loro gratificazione.