REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

FSC Fondo per lo Sviluppo e la Coesione

Relazione semestrale sullo svolgimento del progetto ATLANTIDE

Advanced Technologies for LANds management and Tools for Innovative Development of an EcoSustainable agriculture

Acronimo: Atlantide

Codice di intervento: RC_CRP_068

CUP: J88D20000070002

Report Semestrale n. 2 - Periodo di lavoro dal 04.05.2021 al 03.11.2021

Informazioni sul deliverable	
Da consegnare entro	3 dicembre 2021
Consegnato	17 dicembre 2021
Work Package	WP1
Partner coinvolto	Organismo di Ricerca (Odr)/Impresa capofila (IC)/Partner di progetto (PP)
Autore	Antonio Piga (Odr)
Revisori	Odr/IC/PP
Approvato da	Odr/IC/PP
Livello di disseminazione	Pubblico
Tipologia	Documento
Allegati	Nessun allegato

Tabella 1. Cronologia delle revisioni

Data	**Versione**	**Commenti**
06/12/2021	0.1	Bozza creata da Autore
07/12/2021	0.2	Bozza emendata da Paola Deligios (Odr)
17/12/2021	1.0	Versione finale rivista e corretta da tutti i partner

1. Grado di conseguimento degli obiettivi, includendo gli eventuali deliverable e milestone prodotti

Il progetto di ricerca prevede, nel periodo indicato, oltre al conseguimento degli obiettivi di seguito riportati, la produzione di 5 deliverables, nel dettaglio:

D.1.3 Report semestrale (mese 12)
D.1.9 Dissemination plan and report (mese 12)
D7.1.2 Database delle variabili pedologiche e vegetali (mese 9).
D7.1.3 Modelli predittivi suolo pianta (mese 9).
D7.1.4 Report costi operativi management (mese 10).
D7.2.1 Mappe di decisione-prescrizione (mese 10).
D7.2.2 Modelli di intervento fito-sanitario (mese 10).

Di seguito sarà riportato il grado di conseguimento degli obiettivi previsti per singolo WP.

WP1. Project Management
Il WP1 si occupa del coordinamento tecnico-amministrativo e scientifico del progetto. Nel secondo semestre erano previste le seguenti attività:

1. Incontri trimestrali con i responsabili di WP per la discussione dello stato di avanzamento scientifico.
2. Preparazione del report semestrale (D.1.3).
3. Preparazione del Dissemination and report plan (D.1.9).

Tutte le attività elencate sono state realizzate, ad eccezione dell'incontro trimestrale con i responsabili di WP in quanto ricadeva nei mesi estivi, il responsabile di progetto, comunque, ha interloquito telefonicamente con ogni responsabile per verificare lo stato di avanzamento. Sono state, inoltre, istruite tutte le pratiche amministrative (bandi per contratti, borse e assegni, spese per materiali e attrezzature, bandi per servizi esterni, ecc.). Al momento della stesura della relazione non sono stati ancora depositati i deliverables previsti nel secondo semestre per il WP7, la data prevista di consegna è dicembre 2021 per i D.1.3, D.1.9 e D7.1.2 Database delle variabili pedologiche e vegetali, il mese di marzo per gli altri (vedi paragrafo sulle criticità).

WP2. Fenotipizzazione ad alta precisione in condizioni di pieno campo
Il WP2 ha condotto regolarmente le attività di ricerca come previsto dal cronoprogramma. Brevemente, si richiama in questa sede che, come anche specificato nella prima relazione semestrale (al punto 4.), era stato necessario modificare il cronoprogramma originario del WP2. Infatti, nel periodo autunno-vernino 2020-2021 si erano verificate precipitazioni eccezionali, intense e continuative che avevano impedito le operazioni di semina dei materiali vegetali in campo. Pertanto, non era stato possibile avviare l'esecuzione delle programmate analisi metabolomiche le quali dovevano compiersi su tessuti vegetali prelevati dalle piante della prova in campo. Pertanto, era stato deciso di rimandare le analisi metabolomiche alla annata 2021-2022. Al fine di compensare gli effetti dovuti a tale criticità si era prontamente deciso di programmare l'avvio anticipato delle analisi genomiche (= a livello di DNA).

Ad oggi, sono stati estratti tutti i campioni di DNA delle varietà commerciali incluse nelle prove varietali da "malto" e da "da granella" eseguite in anni passati presso l'Azienda Sperimentale "M. Deidda" dell'Università degli Studi di Sassari sita in località Ottava (SS). Queste prove sono utilizzate nell'ambito del presente progetto per l'effettuazione di una analisi 'retrospettiva' mirata allo studio della associazione tra le caratteristiche delle immagini ottenute in remoto (e le variabili da esse derivabili) e la variabilità genetica presente nei campi di orzo da granella e da malto, anche in relazione alla variabilità spaziale dell'ambiente fisico (si vedano al riguardo anche i punti 1 e 2 della prima relazione semestrale). Le estrazioni di DNA saranno completate con campioni prelevati in campo in quei casi in cui i quali dovranno essere eseguite analisi epigenetiche (si veda, al riguardo, la breve descrizione delle attività svolte).

WP3. Tecnologie digitali e modellistiche di nuova generazione applicate ai sistemi agrari mediterranei

Gli obiettivi specifici del WP3 riguardano 1) lo sviluppo di strumenti per l'intensificazione sostenibile dei sistemi agro-silvopastorali mediterranei, 2) la valutazione degli impatti di diverse pratiche agronomiche sulla sostenibilità di questi agroecosistemi mediante l'integrazione di dati da remote sensing e modellistica, e 3) la valutazione dell'efficacia dei dispositivi digitali sviluppati come strumenti a supporto delle decisioni.

Al fine del raggiungimento dell'obiettivo di cui al punto 1) è stata effettuata la campagna di rilievi in campo presso lo specifico dispositivo di campo realizzato presso l'azienda sperimentale di Santa Lucia (Zeddiani, OR) dell'Università di Sassari. L'obiettivo della sperimentazione era quello di valutare l'impatto di differenti strategie di utilizzo dei prati-pascoli e del diverso grado di consociazione delle principali specie foraggere sulla dinamica di una serie di variabili agronomiche (LAI, SLA, biomassa, et.), e sulle relazioni fra queste variabili e i principali indici multispettrali rilevati mediante sensori installati su drone. Nel mese di maggio si è conclusa la campagna di rilievi relativa al primo anno di sperimentazione. I dati di campo raccolti sono stati inoltre impiegati per parametrizzazione specifici modelli di simulazione in grado di riprodurre le dinamiche di produzione di biomassa e di abbondanza relativa delle singole specie nei pascoli e nei prati-pascoli. A partire dall'annata 2021-22 saranno inoltre avviate delle specifiche attività di campo per poter valutate le relazioni fra i principali parametri qualitativi delle risorse foraggere (proteine, fibre, etc.) della biomassa in campo e spettrofotometria prossimale sulla banda del vicino infrarosso (NIR) rilevata con uno specifico strumento portatile. I risultati permetteranno di poter mettere a punto uno strumento in grado di stimare in tempo reale i parametri qualitativi sul foraggio fresco in campo.

Per il raggiungimento degli obiettivi di cui al punto 2) è stato avviato uno studio delle relazioni fra gli indici multispettrali da dati telerilevati (Sentinel2, Landsat) e dataset di campo derivanti da sperimentazioni di medio e lungo periodo svolte nel contesto di attività progettuali pregresse.

La attività descritte sono propedeutiche per il conseguimento degli obiettivi di cui al punto e 3) e per la redazione dei deliverables D3.1 (Mese 30), D3.2 (M 30) e D3.3 (M 36).

WP4. Monitoraggio ambientale per la gestione differenziata delle colture

Il WP4 ha portato avanti l'attività di ricerca come da cronoprogramma, soprattutto in relazione a quanto previsto nel Task 4.3: impostazione di prove sperimentali sia in pieno campo che in coltura protetta finalizzate al monitoraggio in situ tramite sensoristica a terra.

Le attività suddette sono state pianificate presso le aziende sperimentali dell'Università di Sassari situate a Ottava e Santa Lucia, e presso un'azienda orticola privata ricadente nel Comune di Samassi.

WP5. Sensori e sistemi di gestione innovativi per la coltura protetta

Il WP5 prevedeva i seguenti obiettivi:

D5.1 Progettazione strutture per il monitoraggio delle serre
Il progetto per il monitoraggio e la gestione da remoto delle serre è stato realizzato e il materiale necessario, sensoristica, impianti di distribuzione dei nutrienti, gestione delle temperature e UR in fase di consegna

D5.2 Messa in coltura di specie modello: (M34, DEM, CO)
Sono stati acquisiti substrati da utilizzare in coltura idroponica, su questi sono state effettuate le analisi chimico – fisiche, per valutarne le potenzialità di utilizzo, inoltre è stata realizzata una prima semina rada che ha consentito di evidenziare alcune criticità caratteristiche dei substrati di nuova introduzione. È iniziata la fase di studio della moltiplicazione e di specie spontanee.

WP6. Sviluppo e realizzazione di un sistema per la realtà aumentata in agricoltura
Nel complesso gli obiettivi previsti dal cronoprogramma per il WP6 hanno conseguito un buon livello di avanzamento, consentendo un graduale sviluppo del progetto. Nello specifico, le attività indicate dal cronoprogramma riguardavano:

6.1 Stato dell'arte e raccolta delle informazioni aziendali:
Le attività riguardanti lo studio e la definizione dello stato dell'arte e delle tecnologie disponibili in materia di sistemi per la realtà aumentata sono state ultimate.
Allo stato attuale, si sta lavorando sulle diverse tipologie di informazione reperibili in azienda, oltre che su quelle che possono essere considerate più rilevanti dagli allevatori/agricoltori/operatori.
6.2 Disegno e realizzazione del sistema per la gestione e l'analisi delle informazioni dell'azienda agricola: per il raggiungimento di questo task, sono necessarie una serie di attività propedeutiche che stanno alla base del sistema finale. Allo stato attuale, si sta lavorando allo studio dei fattori che possono determinare l'uso di una nuova tecnologia come, appunto, dispositivi per la realtà aumentata. Inoltre, sono stati portati avanti una serie di test sui dispositivi indossabili (smart glasses), che hanno permesso di valutare le loro prestazioni in diverse situazioni operative. In questo modo, si vogliono evidenziare le criticità che portano ad effettuare una scelta specifica del dispositivo a seconda dell'utilizzo che se ne fa in azienda.
6.3 Disegno e realizzazione di un software applicativo per dispositivi mobili: in questo task si sta lavorando su due fronti paralleli, sia sullo studio della struttura che sull'interfaccia utente, entrambe fondamentali per rendere effettivamente fruibile questa tecnologia.

WP7. Gestione colturale del vigneto con il supporto combinato delle tecnologie di viticoltura di precisione e di Intelligenza Artificiale
Le osservazioni condotte nell'anno 2021 in una griglia predisposta per la rilevazione delle misure vegeto-produttive (62 punti georeferenziati) ha permesso di contestualizzare in maniera puntuale le variabili osservate in proximal sensing, altezza della canopy, spessore, app di monitoraggio 4Grapes, osservazioni fluorimetriche in foglie e grappoli con Multiplex e da remoto (UAS dotato di sensori RGB permesso di valutare e individuare quando la pianta entra in condizione di stress idrico e quindi intervenire con l'irrigazione definendo un modello di gestione dello stress idrico della cv "Cagnulari". In accordo con il settore AGR15, dai 62 punti della griglia georeferenziata, sono stati prelevati alla vendemmia i campioni di grappoli per determinare attraverso analisi con WineScan le caratteristiche chimiche in termini di obiettivi enologici (maturazione tecnologica e fenolica) e mappe di produzione (analisi eseguite e risultati in fase elaborazione). L'impossibilità di eseguire il campionamento del suolo nel vigneto dell'azienda Carpante, che avrebbero ostacolato o rallentato per almeno 2/3

settimane le operazioni di gestione colturale in corso, ha impedito la predisposizione delle opportune analisi pedologiche. Per questo motivo in accordo con il Partner di Progetto e il SSD AGR14, i campionamenti di suolo saranno eseguiti entro gennaio 2022 (durante la fase di riposo vegetativa della pianta) e sull'intera superficie dell'area oggetto di studio, permetterà di ottenere informazioni aggiuntive utili alla predisposizione delle sperimentazioni già avviate e di eseguire una serie di analisi geostatistiche volte allo studio della variabilità spazio-temporale del vigneto. L'addestramento di una rete neurale, Mask R-CNN, già utilizzata per la detection dei grappoli in off-line e come da pubblicazione allegata (Sensors "In-Field Automatic Detection of Grape Bunches under a Totally Uncontrolled Environment") ha prodotto risultati non definitivi nei termini di riconoscimento dei sintomi precoci di infestazione di cicaline della vite, ma prevalentemente associata ad una ridotta numerosità campionaria, con l'ampliamento del dataset.

2. Breve descrizione delle attività svolte

Di seguito saranno descritte brevemente per singolo WP le attività svolte nei primi sei mesi.

WP1. Coordinamento e gestione

L'attività di project management, in capo al coordinatore di progetto (CP) ed al responsabile unico del procedimento (RUP), prevede tutte le azioni per la gestione scientifica e finanziaria del progetto.
Con determinazione n.929 protocollo n. 7610 del 03/11/2020 la RAS riconosce ad Uniss, che ha presentato il progetto Atlantide con nota Prot. UNISS 132608 in data 28.11.2019, il contributo complessivo di € 1.500.000,00 a valere sulle risorse FSC 2014-2020 Linea d'Azione 3.a.1.1. "Interventi di sostegno alla Ricerca" - Tipologia3 - Finanziamento Progetti Collaborativi di Ricerca e sviluppo promossi da medie e Grandi imprese con organismi di ricerca o infrastrutture di ricerca regionali.

- In data 19 maggio 2021 si svolge il primo incontro con il CGP, durante il quale si discute di:
  Stato di avanzamento: aspetti amministrativi
  Relazione sui risultati scientifici
  Programmazione delle attività future

Nella riunione vengono visionati il report periodico (D.1.2) e il Dissemination Plan and Report (D.1.8) che vengono definitivamente approvati in data 15/06/2021 e 28/05/2021. Durante la riunione i WPL illustrano l'attività svolta, gli obiettivi raggiunti e le criticità emerse. Della riunione il CP prepara un resoconto che, in seguito ad approvazione di tutti i componenti il CPG, viene caricato sulla cartella condivisa di progetto in data 4 giugno 2021.

- In data 3 giugno 2021 viene caricato sulla cartella condivisa di progetto il deliverable D.1.8 – Dissemination plan and report.
- In data 15 giugno 2021 viene caricato sulla cartella condivisa di progetto il deliverable D.1.2 – Report periodico.

Alla scadenza di ogni bimestre, quindi giugno, agosto ed ottobre, è stato caricato, inoltre lo stato di avanzamento finanziario (impegni e costi) bimestrale sul portale specifico del Centro Regionale di Programmazione della Regione Autonoma della Sardegna. Il Coordinatore ha assolto a tutte le operazioni di firma di richiesta di ordine, pagamento di quote mensili di borse/assegni e timesheet.

Nei primi sei mesi sono state istruite le seguenti pratiche amministrative:
Personale da reclutare a tempo determinato:
Procedure iniziate prima del semestre

- Bando per n. 1 assegno ricerca di 12 mesi (dodici mesi) per lo sviluppo del seguente progetto di ricerca: “Fitomizi e malattie della vite: determinazione delle soglie di intervento e dei sintomi ad esse associati” per l’Area 07 – “Scienze agrarie e veterinarie”, Macrosettore: 07/D – “Patologia vegetale ed entomologia”, Settore Concorsuale 07/D1 – “Patologia vegetale ed entomologia”, Settore Scientifico-disciplinare AGR/11 “Entomologia generale e applicata”, finanziato dal Dipartimento di Agraria per un importo complessivo di € 25.000,00 (euro venticinquemila/00) a gravare sui fondi nell’ambito del progetto: “ATLANTIDE (D. R. n. 972, prot. n. 35675 del 17/03/2021). Procedura conclusa con presa di servizio del vincitore in data 15/05/2021.

- Bando per n. 1 assegno ricerca di 12 mesi (dodici mesi) per lo sviluppo del seguente progetto di ricerca: “Diagnosi precoce di patogeni della vite attraverso l’utilizzo di tecniche tradizionali e innovative” nell’ambito della “WP7 - Gestione colturale del vigneto con il supporto combinato delle tecnologie di viticoltura di precisione e di Intelligenza Artificiale” per l’Area 07 – Scienze agrarie e veterinarie, Macrosettore: 07/D – Patologia vegetale ed entomologia, Settore Concorsuale 07/D1 – Patologia vegetale ed entomologia, Settore Scientifico-disciplinare AGR/12 Patologia vegetale, finanziato dal Dipartimento stesso per un importo complessivo di € 24.000,00 (euro ventiquattromila/00), a valere sui fondi del progetto: “ATLANTIDE (D. R. n. 1239, prot. n. 42198 del 06/04/2021) per il WP04. Procedura conclusa con presa di servizio del vincitore in data 15/05/2021.

- N. 1 bando per borsa di studio post lauream della durata di 7 mesi per un importo di euro 13,000.00 (selezione bandita con D.D. Rep. n. 1335/2021 Prot. n. 45134 del 13/04/2021) nell’ambito del WP 07, dal titolo “Valutazione delle caratteristiche chimiche, colorimetriche e strutturali di uve”. Procedura conclusa con presa di servizio del vincitore in data 15/05/2021.

- n. 1 bando per il conferimento di un incarico individuale, con contratto di lavoro autonomo di 18 mesi per euro 28,000 per attività di ricerca su protocolli di coltivazione in serra e indoor, nell'ambito del WP5 del progetto ATLANTIDE CUP J88D20000070002 (selezione bandita con D.D. n. 1153/2021 prot. 38764 del 26/03/2021). Procedura conclusa con presa di servizio in data 14/05/2021.

- N. 1 bando per borsa di studio post lauream della durata di 12 mesi (selezione bandita con D.D. 1542/2021 Prot. 0050709 del 28/04/2021) per un importo di euro 14,000 mila nell'ambito del WP07, dal titolo “Monitoraggio delle produzioni viticole mediante spazializzazione degli indici fluorimetrici FERARI, ANTH_RG e ANTH_RB e delle relative curve di maturazione fenolica in varietà a bacca rossa in relazione al vigore vegetativo del vigneto”. Procedura conclusa con presa di servizio in data 07 giugno 2021.
-

Procedure avviate nel semestre di riferimento

- Richiesta rinnovo borsa di studio di cui al bando D.D.G. Rep. n. 514/2021 del 15/02/2021 prot. n. 0018383 del 15/02/2021 per 5 mesi e per un importo di € 8.000, 00 dal titolo “Studio dell’efficienza tecnica e della sostenibilità ambientale di tecnologie innovative per la realtà aumentata implementate in ambito agricolo”. Il contratto di rinnovo è iniziato in data 07/09/2021 e terminerà in data 06/02/2021.
- Bando (D.D.G. del 21/09/2021) per borsa di studio e ricerca per il WP7 della durata di 3 mesi e per un importo di € 6.000, 00 dal titolo “Valutazione critica di monitoraggi di campo atti al perseguimento di specifiche gestioni vegeto produttiva in vigneto”. La procedura è terminata in

data 12 ottobre 2021, il vincitore non ha ancora preso servizio alla data di scadenza di questa relazione.

- Bando (D.D.G. rep. n. 4105 prot. n. 138683 del 29/10/2021) per tecnologo categoria D3 per i WP2-WP4 della durata di 20 mesi (20 mesi prorogabile anche su fondi di altri progetti o convenzioni) e per un importo di € 68.333,00 dal titolo "Messa a punto di un protocollo di monitoraggio dei fenomeni ambientali con tecniche di agricoltura di precisione". La procedura, alla data di scadenza di questa relazione, è ancora in corso.
- Bando n. 1 assegno ricerca di 12 mesi (dodici mesi) per lo sviluppo del seguente progetto di ricerca: "Fenotipizzazione ad alta precisione di piante coltivate allevate in condizioni di pieno campo", per l'Area 07 – "Scienze agrarie e veterinarie", Macrosettore 07/E – "Chimica agraria, genetica agraria e pedologia", Settore Concorsuale 07/E1 – "Chimica agraria, genetica agraria e pedologia", Settore scientifico disciplinare AGR/07 – "Genetica agraria", per un importo complessivo di € 24.000,00. D. R. n. 2067, prot. n. 65607 del 08/06/2021, ai sensi dell'art. 22, comma 4, lettera b, della legge 30/12/2010, n. 240. Procedura conclusa, la vincitrice ha preso servizio.
- Bando n. 1 assegno ricerca di 24 mesi (ventiquattro mesi) per lo sviluppo del seguente progetto di ricerca: "Fenotipizzazione e caratterizzazione "multiomica" di piante coltivate in pieno campo" per l'Area 07 – "Scienze agrarie e veterinarie", Macrosettore 07/E – "Chimica agraria, genetica agraria e pedologia", Settore Concorsuale 07/E1 – "Chimica agraria, genetica agraria e pedologia", Settore scientifico disciplinare AGR/07 "Genetica agraria" per un importo complessivo di € 48.000,00 (euro quarantottomila/00), così ripartiti: € 24.000,00 (euro ventiquattromila/00) a gravare sul WP2 e € 24.000,00 (euro ventiquattromila/00) a gravare sul WP4. Il responsabile scientifico dell'assegno di ricerca è individuato nel Prof. Domenico RAU. D. R. n. 3063, prot. n. 110643 del 31/08/2021, ai sensi dell'art. 22, comma 4, lettera b, della legge 30/12/2010, n. 240. Procedura conclusa, il vincitore ha preso servizio.
- N. 1 contratto a personale per consulenza del valore di euro 23,092.15 per una consulenza relativa alla progettazione di un impianto di automazione del processo per la coltivazione idroponica di specie ortive e officinali all'interno di mini-serre prefabbricate nell'ambito del Progetto ATLANTIDE. CUP: J88D20000070002 CIG: Z84329A760 - Repertorio n. 3131/2021 Prot. n. 113387 del 08/09/2021 - è stata completata la prima (Progetto Preliminare) della quattro fasi del Progetto da terminare in data Luglio 2022.

Spese per materiale di consumo e attrezzature.
Sono stati effettuati n. 14 ordini per il materiale di consumo per un totale di 22133,98 € IVA inclusa.

Spese per missioni
Sono state fatte n. 2 missioni per un totale di € 1,396.73.

In totale è stata impegnata la somma di € 545.732,94 (37% del totale) e fatti pagamenti per € 119,482.22 (8% del totale).

WP2. Fenotipizzazione ad alta precisione in condizioni di pieno campo
L'attività si è svolta seguendo tre principali direttrici.

In prima battuta l'attività è stata volta alla estrazione di campioni di DNA vegetale da linee di orzo.
I semi delle varietà da analizzare sono stati seminati in plateaux, su terriccio sterile e posti a germinare in condizioni controllate di temperatura e umidità. Il DNA vegetale totale è stato dunque estratto da

foglie di plantule di circa due settimane di età. Le foglie, immerse in un buffer di estrazione, sono state finemente macinate con il TissueLyser II della ditta Qiagen. Il tessuto così trattato è stato processato mediante DNeasy Plant Mini Kit della stessa ditta, seguendo il protocollo consigliato. Il DNA estratto è stato saggiato quali- quantitativamente per via spettrofotometrica e mediante gel di agarosio. Le quantità e la qualità sono risultate più che adeguate alla prosecuzione delle successive analisi di genotipizzazione previste a valle.

Una altra parte della attività è stata mirata alla pianificazione delle prove in campo. A tal fine sono state svolte diverse riunioni telematiche finalizzate a specificare tempi, ruoli e le modalità di azione previsti per ciascun attore coinvolto. A tal fine sono avvenuti diversi incontri in presenza tra i partecipanti al WP2. Tuttavia, molta attenzione si è posta nel definire le modalità di interazione ed integrazione con il WP4. Pertanto, ad esempio, in data 29/09/2021 si è svolta una riunione telematica sulla piattaforma SKYPE finalizzata al coordinamento del lavoro tra i componenti del WP2 (coordinatore Prof. Domenico Rau) e del WP4 (coordinatore Prof. Luigi Ledda). Alla presenza, oltre che dei coordinatori dei WPs, anche del prof. A. Porceddu, della Dott.ssa M. Rodriguez e Dott.ssa M. L. Murgia (per il WP2) e della Dott.ssa P. A. Deligios (referente per il WP4) è stato concordato e pianificato il piano sperimentale che prevede l'avvio di un esperimento di pieno campo volto a saggiare l'effetto della variabilità spaziale dell'ambiente fisico (in campo) sul comportamento di diverse varietà di orzo. L'esperimento verrà replicato seguendo il medesimo protocollo in due distinte località dell'Isola piuttosto differenziate sotto il profilo pedo-climatico: l'azienda sperimentale "M. Deidda" e l'azienda sperimentale "Santa Lucia" dell'Università degli Studi di Sassari site in Santa Lucia (OR) e Ottava (SS), rispettivamente. In una seconda riunione telematica, svoltasi su piattaforma TEAMS il 18/10/2021, è stato ulteriormente definito nel dettaglio il protocollo operativo. Questo ha come obiettivo il confronto di due varietà di orzo coltivato (H. vulgare L.). Verranno utilizzate una varietà commerciale ed una varietà locale sarda nota come "S'Orgiu Sardu". Ciascun campo avrà una superficie di circa 5000 m2 e ciascuna varietà verrà replicata 5 volte (500 m2 per varietà, per replica) La semina avverrà mediante seminatrice parcellare, la quale consente di ottenere plot di circa 10 m2. L'intero campo risulterà pertanto "tassellato" in circa 500 parcelle. Queste costituiranno le unità sperimentali di rilevazione.
Il piano prevede di abbinare il monitoraggio puntuale da eseguire in pieno campo e quello eseguito da remoto mediante drone e satellite.
Pertanto, al fine di descrivere l'effetto della variabilità spaziale sul fenotipo delle piante è stata ipotizzata una griglia di monitoraggio con 100 punti di rilevazione. I punti rilevati tramite l'ausilio di un GPS sub metrico saranno disposti ad una distanza di circa 7 m l'uno dall'altro. In media, questo implica il rilevo di una parcella di 10 m2 ogni 5. Per ciascuna parcella il protocollo di monitoraggio prevede, il rilievo dell'evoluzione fenologica delle due varietà durante l'intero ciclo colturale: fase di emergenza, accrescimento vegetativo, transizione dalla fase vegetativa a quella riproduttiva (viraggio), botticella, reste a 1 cm, estrusione della spiga dalla foglia a bandiera, antesi, inizio grain-filling e maturazione. In concomitanza delle fasi di pieno accrescimento vegetativo e durante le fasi critiche di botticella e/o di reste a 1 cm, sono previsti rilievi da effettuare mediante il drone per il rilevamento di indici di vegetazione e di parametri fisici (e.g., temperatura della canopy). In questa fase verranno condotti anche i campionamenti di tessuto vegetale per l'estrazione del DNA al fine di ottenere il profilo epigenetico, per l'estrazione dell'RNA per ottenere il profilo trascrittomico e, infine l'estrazione di metaboliti per l'ottenimento dei profili metabolomici. Durante la fase di accrescimento vegetativo, verrà effettuata la valutazione della percentuale di copertura del suolo e la misurazione della superficie fogliare. Successivamente verranno misurati altri caratteri morfologici quali altezza (all'inserzione della spiga), lunghezza della spiga e lunghezza delle reste. Un successivo "strato" di indagine prevede la determinazione dello stato fisiologico della pianta attraverso misure istantanee del contenuto di

clorofilla nelle foglie (SPAD meter), e attraverso analisi degli scambi gassosi (parametri monitorati: fotosintesi netta, conduttanza stomatica, temperatura fogliare, e traspirazione, con l'utilizzo del CIRAS2). Inoltre, all'interno di parcelle saggio da 10 m2 , già monitorate per le altre variabili, verranno determinate le componenti della resa (numero di culmi di accestimento, numero di spighe, numero di cariossidi/spiga, numero di cariossidi/pianta, peso di 100 semi). Avendo utilizzato la seminatrice di precisone, alla maturazione sarà possibile procedere alla raccolta mediante mietitrebbia parcellare in modo che la produzione media complessiva del campo possa essere scomposta spazialmente nel contributo di ciascuno dei 500 tasselli di cui si compone il campo consentendo così di costruire così una mappa di produzione.
Per la località di Ottava, inoltre, tutte queste variabili rilevate soprassuolo potranno essere messe in relazione con la sottostante variabilità del suolo. Infatti, il campo destinato alla prova di Ottava è oggetto di una indagine pedologica effettuata seguendo uno schema a maglie regolari (7 m × 7 m). L'analisi dei campioni di terreno è già conclusa e sono tutt'ora in corso le elaborazioni geostatistiche volte allo studio della variabilità spaziale del suolo nel campo in oggetto.

WP3. Tecnologie digitali e modellistiche di nuova generazione applicate ai sistemi agrari mediterranei
Nell'ambito del WP3 durante i primi mesi del progetto sono state avviate le attività di ricerca e le prove sperimentali di campo con i seguenti obiettivi specifici:

- Studio delle relazioni fra dati di campo e dataset provenienti da dati telerilevati (Sentinel2) al fine di implementare strumenti digitali per la valutazione dell'impatto della gestione agronomica dei sistemi silvopastorali mediterranei. Le attività, svolte in sinergia con i progetti LIFE-Regenerate (http://regenerate.eu) e AGER-iGRAL (https://agricolturadimontagna.progettoager.it/92-agricoltura-di-montagna/igral) e nell'ambito di un dottorato di ricerca, hanno riguardato la creazione di un dataset triennale di immagini multispettrali nelle aree di studio dei progetti nelle quali è in corso la valutazione dell'impatto di diverse strategie di gestione del pascolamento e di miglioramento pascoli sulla la produttività e la qualità delle risorse foraggere.

Il dataset dei dati multispettrali è stato implementato con le principali variabili di campo georeferenziate rilevate (altezza della biomassa, abbondanza relativa delle specie e dei principali gruppi funzionali). Sono state condotte delle indagini preliminari per valutare l'efficacia di alcuni algoritmi di classificazione (es. Random Forest) nel riprodurre in misura complessiva le variabili osservate a partire dalle firme spettrali rilevate nelle aree di studio. I risultati preliminari indicano una discreta abilità degli algoritmi di riprodurre in misura generale le dinamiche dell'altezza della biomassa. Ulteriori approfondimenti riguarderanno la valutazione dell'efficacia delle stesse metodologie nel riprodurre differenti tipologie di vegetazione associate a differenti strategie di gestione dei pascoli.

- Studio delle relazioni fra indici multispettrali rilevati con sensori su drone e variabili agronomiche delle principali specie foraggere dei pascoli mediterranei in purezza e a diversi livelli di consociazione. Le attività, svolte in collaborazione con un progetto di dottorato di ricerca in co-tutela UNISS – INRAE (Francia) riguardano lo studio delle relazioni fra le variabili agronomiche (altezza della canopy, biomassa, LAI, SLA, contenuto di N) e i principali indici di vegetazione derivati (es NDVI, GNDVI, etc), e i) la valutazione delle dell'effetto del gradiente di consociazione sulle relazioni fra gli indici e traits misurati, e ii) l'effetto dell'altezza di rilevo sull'accuratezza delle stime effettuate al fine di studiare implementare sistemi di upscaling territoriali affidabili e efficaci. Nel mese di maggio si è conclusa la campagna di rilievi relativa al primo anno di sperimentazione.

I dati di campo raccolti saranno impiegati per parametrizzazione specifici modelli di simulazione in grado di riprodurre le dinamiche di produzione di biomassa e di abbondanza relativa delle singole specie nei pascoli e nei prati-pascoli. I modelli saranno calibrati in misura specifica per l'ambiente mediterraneo modelli colturali in grado di simulare la produttività dei prati e prati pascoli e la dinamica dell'abbondanza specifica delle principali specie di interesse foraggero.

WP4. Monitoraggio ambientale per la gestione differenziata delle colture

In collaborazione con ABINSULA, con un'azienda privata (IRRIVOLT) che opera nel campo della progettazione di sistemi di irrigazione di precisione e pompaggio fotovoltaico, e con un'azienda orticola sita nel comune di Samassi (F.lli Setzu), nel settembre del 2021 è stata avviata un'attività sperimentale da condurre su orticole (melanzana, peperone, zucchino) coltivate in ambiente protetto e finalizzata all'efficientamento della gestione della risorsa idrica. Vista la necessità di eseguire una serie di sperimentazioni multidisciplinari sulla medesima superficie (azienda F.lli Setzu, Samassi, Sud Sardegna), si è rivelata fin da subito necessaria la predisposizione di opportune analisi del suolo. I campionamenti sono stati eseguiti sull'intera superficie dell'ambiente protetto (serra tunnel) oggetto di indagine, seguendo uno schema a maglie regolari (7 m × 7 m) stabilito in seguito ad un sopraluogo svoltosi in data 17/09/2021. L'analisi dei campioni, tutt'ora in corso presso i laboratori della sezione di Geopedologia del Dipartimento di Agraria, consentirà di avere informazioni aggiuntive utili alla predisposizione dell'imminente sperimentazione, avere una solida base sulla quale confermare il disegno sperimentale ipotizzato, elaborare una serie di analisi geostatistiche volte allo studio della variabilità spazio-temporale di un sistema colturale in ambiente protetto.
In data 29/09/2021 si è svolta una riunione telematica sulla piattaforma SKYPE finalizzata al coordinamento del lavoro tra i componenti del WP2 (coordinatore Prof. Domenico Rau) e del WP4 (coordinatore Prof. Luigi Ledda). Il piano sperimentale pianificato prevede l'avvio di due esperimenti dal protocollo comune su diverse varietà di orzo, da condurre presso le due aziende sperimentali dell'Università di Sassari site a Santa Lucia (OR) e Ottava (SS). A questo incontro, ha fatto seguito una seconda riunione telematica, svoltasi su piattaforma TEAMS il 18/10/2021, tra il referente del WP2 (Prof. D. Rau) e la referente del WP4 per l'Università di Sassari (Dott.ssa Paola Deligios), nel corso della quale è stato predisposto il protocollo operativo comune da adottare per entrambi i siti sperimentali. Il piano sperimentale pianificato prevede la messa a confronto di due varietà, una delle quali è una popolazione di orzo sardo, su campi dalla superficie media di circa 5000 m2. In un'ottica di abbinare all'attività di monitoraggio puntuale da eseguire in campo, l'attività di monitoraggio da remoto (drone e satellite), è stata ipotizzata una griglia di monitoraggio che identifica 100 punti (tramite l'ausilio di un GPS sub metrico) disposti ad una distanza di 7 m l'uno dall'altro. Il protocollo di monitoraggio prevede i) durante l'intero ciclo colturale, il rilievo dell'evoluzione fenologica delle due varietà nelle fasi di emergenza, accrescimento, viraggio, botticella, resta a 1 cm, fioritura fecondazione, foglia a bandiera, inizio caricamento della cariosside, maturazione. In concomitanza di fasi fenologiche critiche, come la botticella e la resta a 1 cm, sono previsti rilievi da effettuare con il drone; ii) durante la fase di accrescimento vegetativo, la valutazione dell'habitus di ciascuna varietà (es. prostrato vs eretto), e la valutazione della percentuale di copertura del suolo, anche attraverso la misurazione della superficie fogliare; iii) la misurazione dell'altezza, attraverso il rilievo della lunghezza della spiga, lunghezza della resta, e altezza all'ultimo nodo di inserzione della spiga; iv) il rilievo dello stato fisiologico della pianta attraverso misure istantanee del contenuto di clorofilla nelle foglie (SPAD meter), e attraverso analisi degli scambi gassosi (parametri monitorati: fotosintesi netta, conduttanza stomatica, temperatura fogliare, e traspirazione, con l'utilizzo del CIRAS2); v) alla raccolta, su campioni di piante ricadenti nelle aree di saggio oggetto di monitoraggio, determinazione dei componenti della resa (numero di culmi di accestimento, numero di spighe, numero di cariossidi/spiga, numero di cariossidi/pianta, peso di 100 semi), si procederà inoltre alla raccolta con mietitrebbia parcellare in modo da avere il dettaglio sito-specifico della produzione.

WP5. Sensori e sistemi di gestione innovativi per la coltura protetta

È stata portata a termine la progettazione della gestione della serra da remoto, attraverso sensori di nuova concezione. I sensori e le attrezzature sono stati scelti sulla base delle esigenze in coltura idroponica, in accordo con l'ingegnere coinvolto nella progettazione. È stato realizzato appositamente per il progetto un sensore basato sulla spettrometria da utilizzare per valutare eventuali alterazioni delle piante, indice di eventuali anomalie fisiologiche dovute a nutrizione o patogeni/parassiti.
L'analisi fisico chimica dei substrati ha consentito di evidenziare alcune criticità nei materiali scelti, questo è stato confermato anche dalla risposta delle piante indice utilizzate nella prima semina. Al momento stiamo lavorando per un miglioramento delle condizioni dei substrati, in modo da sostenere lo sviluppo delle radici e, di conseguenza, delle piante.
Per la fase di moltiplicazione, è stata iniziata la sperimentazione della moltiplicazione in vitro per le specie più esigenti.

WP6. Sviluppo e realizzazione di un sistema per la realtà aumentata in agricoltura
Nel periodo di riferimento, lo stato di avanzamento del progetto ha riguardato le seguenti attività:

6.1 Stato dell'arte e raccolta delle informazioni aziendali
Lo studio della bibliografia scientifica conferma il continuo interesse verso i sistemi per la realtà aumentata, con l'ausilio o meno di dispositivi indossabili (smart glasses). Nel panorama internazionale, le ricerche e analisi di mercato riguardanti le tecnologie disponibili in materia di sistemi per la realtà aumentata hanno confermato che i dispositivi indossabili, più funzionali ai fini del progetto, rimangono sostanzialmente quelli selezionati e già acquistati dal team di ricerca.
La raccolta delle informazioni aziendali è in via di conclusione e si sta procedendo con l'analisi dei risultati per la definizione degli aspetti e delle problematiche più rilevanti.

6.2 Disegno e realizzazione del sistema per la gestione e l'analisi delle informazioni dell'azienda agricola:
Sono stati avviati i primi test di laboratorio sugli SG acquistati dal progetto, mettendoli a confronto con altri SG già a disposizione del gruppo di ricerca. In particolare, sono state testate le prestazioni degli Epson Moverio BT-300 (BT300) seguendo una metodologia sperimentale appositamente studiata per valutare l'impiego di tale dispositivo in ambito agricolo.
Di seguito sono elencati i test eseguiti con BT300 e i primi risultati ottenuti:
Distanza e tempo di scansione di markers (QR code)
Questo test ha permesso di valutare quale fosse la capacità dei BT300 di raggiungere ed ottenere le informazioni in realtà aumentata, associate a specifici marker, sia in termini di tempo che di distanza. In questo modo è stato possibile valutare quanto tempo è necessario perché l'agricoltore visualizzi l'informazione aumentata sugli SG e inoltre da quale distanza, rispetto al marker, si può ottenere tale informazione. Si è inoltre valutato se il tipo di marker influisse su tempo e distanza di lettura.
È stato osservato che i BT300 sono in grado di ottenere le informazioni aumentate, tramite la scansione di un codice QR, ad una distanza minima di 4 volte e massima di 13 volte la dimensione del codice QR; quindi, avendo un marker di 10x10 cm si potrà ottenere l'informazione ad una distanza di 130 cm. L'intervallo di tempo necessario affinché l'informazione aumentata venga visualizzata sui BT300 va dai 3 ai 6 secondi in base alla complessità del codice QR utilizzato. È stato, inoltre, evidenziato che i BT300 non sono in grado di leggere marker complessi (> 60 moduli per lato) con dimensioni inferiori ai 4x4 cm, indipendentemente dalla distanza di scansione.
Test sulla qualità audio-video
Questo test ha permesso di valutare il livello di dettaglio raggiungibile nella trasmissione audio-video tra BT300 e PC tramite l'ausilio della tabella di acuità visiva Snellen. È stato valutato inoltre il tempo di latenza nella trasmissione audio-video.

I risultati ottenuti hanno evidenziato che è possibile ottenere un buon livello di dettaglio nella trasmissione video, riuscendo a distinguere nitidamente caratteri di 7 mm o superiori. Per quanto riguarda il tempo di latenza, è stato osservato, per quanto riguarda la trasmissione audio, un ritardo medio inferiore al mezzo secondo (0,43 s), mentre, per quanto riguarda la trasmissione video, si è registrato un ritardo di circa mezzo secondo (0,55 s).

Test di scarica della batteria

Durante l'utilizzo dei BT300 è stata monitorata la durata della batteria, sia per un utilizzo specifico e continuativo (identificazione marker), sia con un utilizzo misto (identificazione marker e assistenza in remoto).

La batteria dei BT300 durante la scansione continuativa di marker ha avuto una durata di 2 h 19', mentre durante l'utilizzo misto ha avuto una durata inferiore, mediamente di 2 h.

I test così descritti sono stati portati avanti anche per altri due SG (GlassUp F4, Vuzix M400) già in possesso del team di ricerca, per confrontare le prestazioni di diverse tipologie di SG. È stato evidenziato come gli M400 avessero delle prestazioni superiori rispetto agli altri due dispositivi, mentre è stato evidenziato come i BT300 avessero una visualizzazione delle informazioni aumentate più ampia, dovuta al sistema di visualizzazione binoculare (optical see-through).

Studio dell'accettazione degli SG

Gli SG per la realtà aumentata, sono considerati una tecnologia emergente, e quindi attualmente poco diffusa in ambito lavorativo. Si è dunque ritenuto importante avviare una fase di indagine sul grado di accettazione degli SG per la realtà aumentata da parte degli agricoltori o persone legate all'ambito agricolo. Sulla base della letteratura scientifica è stato scelto un modello causale, il Technology acceptance model (TAM) per studiare quali fossero i fattori principali, e le loro relazioni, che influissero sulle intenzioni di utilizzo degli SG da parte di persone legate all'ambito agricolo. In particolare, in questa prima fase sono stati coinvolti gli studenti del Dipartimento di Agraria, istruiti su argomenti di realtà aumentata e SG, ai quali è stato sottoposto il questionario TAM, adattato al contesto agricolo.

L'obbiettivo dell'indagine è stato quello di ridurre il divario tra un dispositivo di realtà aumentata, in particolare gli SG, e gli stakeholder agricoli, oltre che investigare su quali fattori potessero influenzare l'intenzione d'uso degli SG nel contesto agricolo.

È stato osservato che l'intenzione di utilizzo degli SG è influenzata positivamente dalla attitudine dell'utilizzatore così come dalla facilità di utilizzo e dal beneficio percepito nell'utilizzare gli SG.

Quindi, gli stakeholder agricoli saranno disposti a adoperare gli SG quanto più positiva è la loro attitudine all'uso degli SG e quanto maggiore è il beneficio percepito, a sua volta influenzato dalla sua facilità d'uso.

Negli studi futuri verranno utilizzati altri fattori per poter espandere la capacità esplicativa del modello TAM nell'investigare l'accettazione di questa nuova tecnologia in ambito agricolo.

6.3 Disegno e realizzazione di un software applicativo per dispositivi mobili:

È stato avviato lo sviluppo di un sistema software e firmware per la comunicazione wireless (tramite Bluetooth LE) tra un lettore di tag RFID (Radio Frequency IDentification) e dispositivi mobili per la realtà aumentata. Nello specifico, il sistema in via di sviluppo verrà implementato nei due SG oggetto di studio nel progetto ATLANTIDE (Epson Moverio BT300, Microsoft Hololens2). Avendo i due dispositivi un sistema operativo (SO) e una tecnologia di funzionamento differente, ovvero di realtà aumentata e di realtà mista, è stato avviato lo sviluppo di due software indipendenti, uno per SO Android ed uno per SO Microsoft, ma con medesime funzionalità. In questa prima fase il sistema software e il sistema firmware verranno realizzati con un approccio prototipale ed in modalità sviluppo.

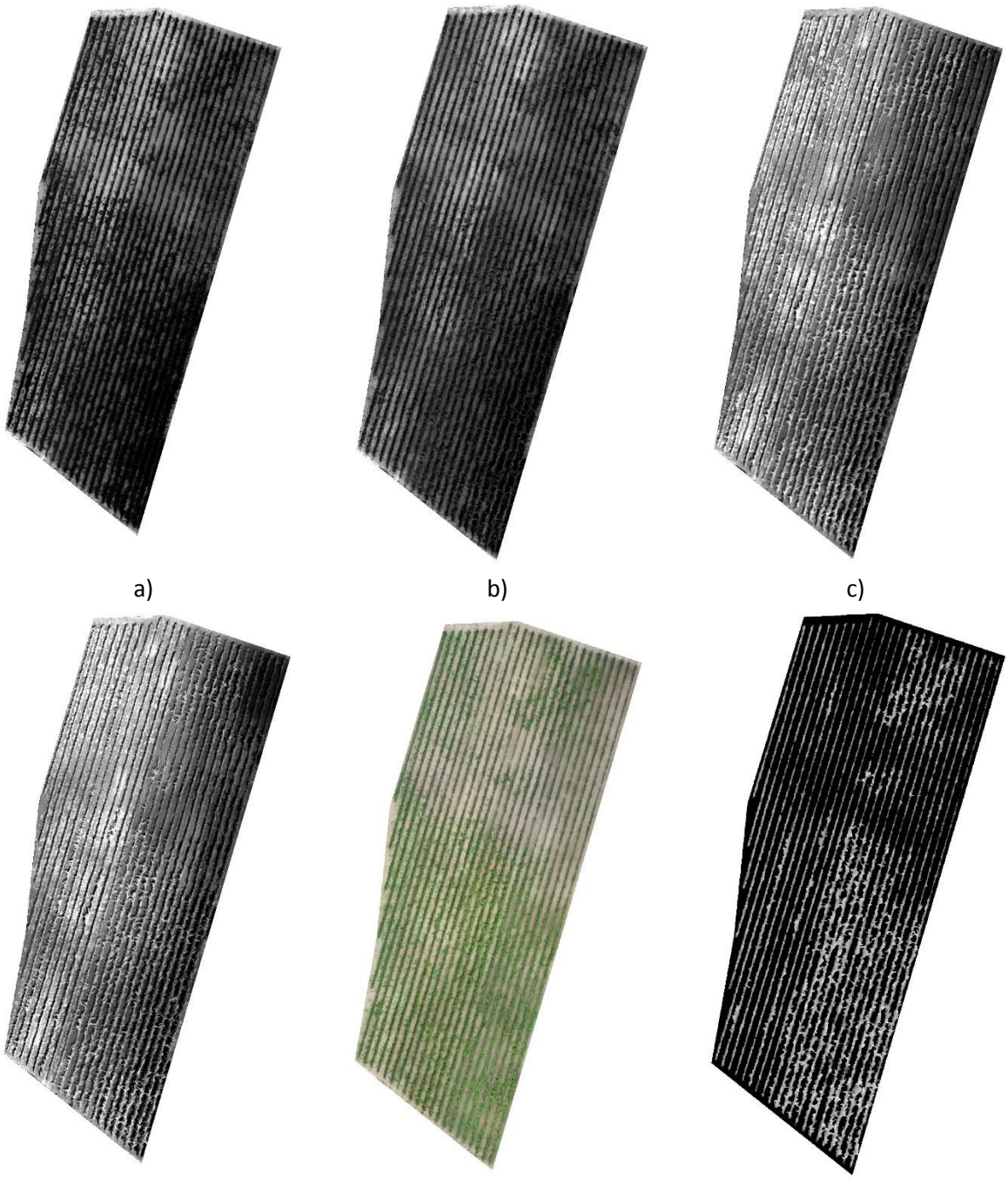
L'applicazione permetterà di ricevere l'ID presente nel tag RFID, recuperare le informazioni relative all'ID da una base dati e mostrare le informazioni specifiche del soggetto riconosciuto (animale, pianta, macchina) sull' interfaccia grafica degli SG, in realtà aumentata o realtà mista.

WP7. Gestione colturale del vigneto con il supporto combinato delle tecnologie di viticoltura di precisione e di Intelligenza Artificiale

Durante la stagione produttiva 2021 sono stati eseguiti 4 voli sperimentali nelle date: 01/06/2021; 08/07/2021; 28/07/2021; 26/08/2021. L'UAS (Unamanned Aerial System) impiegato per i rilevamenti aerofotogrammetrici è il DJI Phantom 4 Pro V1, dotato di sensore RGB (Red Green Blue) e sul quale sono stati implementati due sensori multispettrali: Mapir Survey 3 RGN (Red Green NIR) e Mapir Survey 3 RE (Red Edge). Lo scopo di tali voli è stato il monitoraggio spaziale e temporale dello sviluppo vegeto-produttivo del vigneto dell'azienda Carpante descritto nella relazione iniziale. Come per le misure estrapolate con sistemi prossimali, anche il monitoraggio da SAPR si focalizzerà sull'ottenimento di valori associati a specifici indici vegetazionali (NDVI, NDRE, GNDVI, etc.) a partire dall'acquisizione delle bande spettrali riportate nella figura 1 (Red. Green, NIR e Red Edge dello spettro del visibile ed infrarosso) e misure volumetriche di Tree Row Volume (TRV) e Canopy Height Model (CHM) per ogni pianta oggetto del monitoraggio. La figura 2 riporta il disegno sperimentale adottato durante le sperimentazioni sul campo, il quale si è sviluppato su una maglia regolare costituita da 62 punti georeferenziati (coordinate geografiche WGS 84 e proiettate WGS84, UTM 32N) di campionamento omogeneamente distribuiti sulla superficie oggetto d'indagine. Per ogni punto di campionamento sono state estrapolate le variabili sopra descritte mediante strumentazioni prossimali (Multiplex, Camera a pressione, app di monitoraggio 4Grapes) e da remoto (UAS dotato di sensori RGB e multispettrali). Le misurazioni di TRV, eseguite anche esse per ciascun punto di campionamento, hanno previsto l'impiego di una stadia metrica per la misurazione dell'altezza e dello spessore del filare (Figura 3). Tali misurazioni saranno poi integrate all'interno dell'apposita formula (Formula 1) utilizzata per il calcolo del TRV (Sutton, T.B. and Unrath, C.R., 1984):

$$\mathrm{TRV} = \frac{H * W * 10000}{I}, \qquad (1)$$

L'ottenimento del presunto valore volumetrico di ciascuna pianta ottenuto mediante la tecnica del TRV sarà comparato con la misurazione effettuata da UAS al fine di verificarne le performance e la possibile sostituzione delle difficilmente attuabili e poco attendibili misurazioni manuali, in un'ottica di ottimizzazione e miglioramento delle operazioni di monitoraggio. L'analisi di tutte le variabili presenti in campo e la loro spazializzazione permetterà l'ottenimento di mappe di vigore in grado di mostrare la distribuzione delle stesse su tutta la superficie analizzata durante tutta la stagione produttiva, demarcando eventuali zone omogenee per vigoria della parete fogliare, stress idrico, etc.



a) b) c)

d) e) f)

Figura 1: alcuni output derivati dal processo di acquisizione aerofotogrammetrica da UAS nella data del 08/07/2021: a) banda spettrale del Red; b) banda spettrale del Green; c) banda spettrale del Near Infra-Red (NIR); d) banda spettrale del Red Edge; e) ricostruzione RGB; f) elaborazione del Canopy Height Model (CHM) per il calcolo dei volumi della canopy.



Figura 2: ortomosaico RGB del vignetto oggetto d'indagine e la disposizione spaziale dei punti di campionamento indicati dai punti rossi.



Figura 3: estrapolazione misure di altezza e spessore della chioma per il calcolo del TRV mediante stadia metrica.

Attività di monitoraggio di campo peronospora, oidio e GPGV in collaborazione con AGR 12-AGR09

Breve descrizione delle attività svolte

Il 95% delle talee, cv Carignano, messe a dimora a fine inverno ha germogliato e prodotto una vegetazione regolare. A partire da maggio, una volta reperite in campo foglie di vite con sporulazione fresca di Plasmopara viticola, sono state eseguite una serie di infezioni artificiali con gli sporangi del patogeno per riprodurre i sintomi della peronospora. Sono state inoculate foglie recettive direttamente sulle piantine in vaso oppure staccate e poste in camera umida, ma in nessun caso sono stati riprodotti i sintomi della malattia. L'insuccesso delle inoculazioni artificiali può essere in parte dovuto alla cv inoculata, non particolarmente suscettibile alla peronospora. Questa cultivar, però, è molto suscettibile all'oidio e questa malattia è comparsa naturalmente sulle piantine in vaso, invadendole completamente. Alcune piantine infette da oidio sono state portate nell'azienda didattico sperimentale "A. Milella" del Dipartimento di Agraria e collocate, a guisa di focolai di inoculo, tra le piante adulte della cv Carignano allevate in vaso all'aperto. Anche in questo caso, tuttavia, la malattia non si è propagata. Al contrario, altre piante allevate in vaso, ma all'interno di una serra sperimentale impermeabile agli UV, sono risultate fortemente colpite da oidio. Durante la stagione primaverile – estiva sono giunte diverse segnalazioni di oidio e di peronospora in vigneti commerciali, che hanno fornito ulteriore materiale per la creazione del dataset fotografico da sottoporre ad addestramento. Considerando i sintomi di oidio sulle piantine in vaso e sulle piante adulte allevate in serra, nonché i sintomi di peronospora e di oidio reperiti nei vigneti commerciali, sono state annotate, con il software VIA (VGG Image Annotator), 391 foto con sintomi di oidio e 227 foto con sintomi di peronospora utilizzando macchine fotografiche di tipo Reflex e telefoni cellulari. Il dataset è stato integrato con foto di archivio, per cui sono state annotate ulteriori 98 foto con sintomi di oidio e 37 con sintomi di peronospora. In totale sono state sottoposte a ad addestramento mediante rete neurale Mask R-CNN (estensione della Faster R-CNN) 753 immagini, 489 di oidio e 264 di peronospora, ognuna delle quali con un numero di annotazioni variabile da uno a circa 50. In seguito alla annotazione di numerosi dataset sono state svolte delle prove preliminari di addestramento su alcuni di essi. Dato il numero ancora limitato di immagini utilizzate i risultati non possono essere considerati soddisfacenti dato l'alto numero di falsi allarmi (sintomi trovati dove in realtà non erano presenti) e di mancati allarmi (sintomi non trovati dove in

realtà erano presenti). Analizzando i risultati è stato comunque possibile verificare la progressione nell'apprendimento della rete all'aumentare delle immagini disponibili. Nei prossimi mesi, grazie all'utilizzo di nuovi dati, come le ultime annotazioni di dataset di oidio e peronospera o del dataset CP3 che permetterà di avere a disposizione un numero di immagini più che doppio rispetto all'unione di CP1 e CP2, dovrebbe essere possibile ottenere un'ulteriore miglioramento della "curva di apprendimento" della rete. Il monitoraggio prossimale della cultivar Vermentino è stato adempiuto da un sistema multiparametrico portatile, il Multiplex 3.6 (FORCE-A, Orsay, France), seguendo lo stesso schema a maglia regolare impiegato nelle misure manuali di TRV e camera a pressione precedentemente descritte. Le date di monitoraggio fluorimetrico prossimale si sono svolte in concomitanza con l'acquisizione dei voli da UAS e dai rilievi di campo tradizionali, nelle giornate: 08/07, 27/07, 26/08 e 21/09, ove l'ultima data è coincidente con la vendemmia. Il lavoro si è incentrato sul monitoraggio di foglie e grappoli situati all'altezza del filo portante durante tutto il periodo di studio. Il monitoraggio fluorimetrico fogliare, inizialmente non considerato oggetto di analisi, è stato reputato utile ai fini dell'obiettivo di ricerca in quanto attraverso gli indici fluorimetrici specifici si potrebbe ricercare una relazione tra l'analisi prossimale data dal Multiplex e le analisi di remote sensing offerta da UAS. Oltre i tre indici FERARI, ANTH_RB e ANTH_RG, sono stati elaborati anche gli indici associati alla presenza di clorofilla e contenuto azotato (rispettivamente SFR_G, SFR_R, NBI_G e NBI_R), al fine di creare un dataset per studiare le eventuali relazioni tra contenuto antocianico e attività fotosintetica della pianta. Una volta ottenuti i layer con i vari indici fluorimetrici associati alle coordinate geografiche delle singole misurazioni si procederà all'analisi grafica su software dedicato, relazionando i risultati da Multiplex con quelli ottenuti da UAS. Nel mese di giugno 2021 in collaborazione con l'unità di ricerca AGR012 è stata effettuata un'ispezione fluorimetrica in un vigneto di Vermentino in località Olmedo (SS) affetto da GPGV, analizzando le piante precedentemente saggiate in laboratorio attraverso RT-PCR. Tra i vari indici impiegati in questo monitoraggio, quelli relativi alla presenza di antociani (FER_RG e FER_RB) hanno identificato in seguito ad analisi statistica ANOVA una relazione esistente tra gli indici fluorimetrici citati e i sintomi ascrivibili al GPGV.

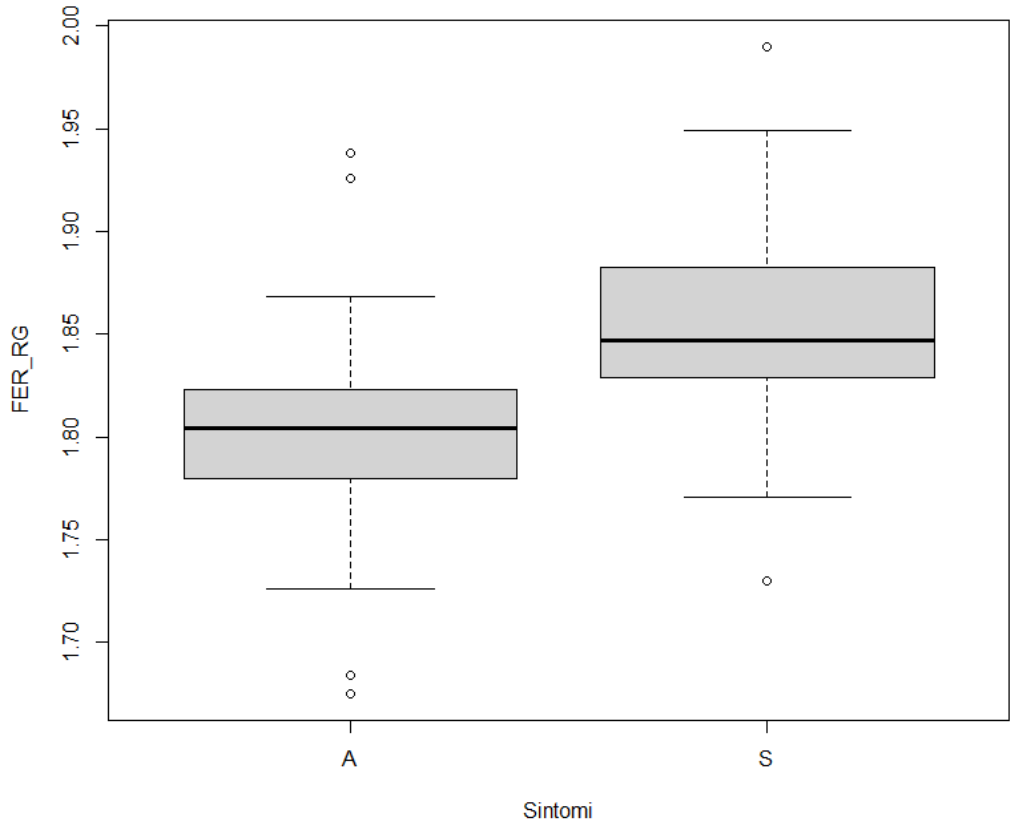


Figura 4 Differenziazione di piante Asintomatiche (A) rispetto a piante Sintomatiche (S) attraverso l'utilizzo dell'inverso (FER_RG^{-1}) dell'indice fluorimetrico FER_RG e correlato al contenuto clorofilla.

Attività di monitoraggio di campo Cicaline in collaborazione con AGR 11 – AGR09

Annotazioni dei sintomi di infestazione

Prima di effettuare le annotazioni dei sintomi dell'infestazione, le fotografie sono state selezionate seguendo dei criteri legati alle caratteristiche delle immagini e alle inquadrature. Per quanto riguarda le caratteristiche, sono state selezionate le foto con una nitidezza ottimale e luminosità adeguata. Per quanto riguarda il contenuto delle fotografie, la scelta è stata fatta sulla base dei seguenti parametri:

- il numero e la sovrapposizione delle foglie sintomatiche, in quanto una eccessiva vicinanza o sovrapposizione delle foglie sintomatiche potrebbe confondere il sistema a causa della mancanza di contrasto con foglie asintomatiche;
- la chiarezza del sintomo nelle foglie, in quanto questo deve essere evidente e riconoscibile all'occhio umano in modo che il sistema sia in grado di isolarlo correttamente;
- l'inclinazione delle foglie nell'immagine, poiché un'inclinazione troppo accentuata potrebbe pregiudicare la riconoscibilità del sintomo.

Il risultato finale del controllo visivo delle immagini ha portato alla selezione di 355 foto che soddisfacevano i criteri sopra citati. Le fotografie in questione sono state ordinate in tre database (CP1 = 107 foto; CP2 = 56 foto; CP3 = 192 foto) organizzati in sottocartelle in cui ogni immagine veniva distinta in base alla località del vigneto, alla data in cui è stata scattata e alla cultivar della pianta ospite. Successivamente, i sintomi dell'infestazione sono stati annotati con l'impiego del software VGG Image Annotator, che non necessita il download e può essere utilizzato online e permette di delimitare i

sintomi entro un'area di interesse all'interno della figura. L'insieme delle immagini di ogni database è stato caricato in un progetto all'interno del software, e sono state definite delle categorie a cui associare i sintomi in relazione al colore della bacca (bianca o rossa) e all'intensità del sintomo (precoce o avanzato), definendo quindi quattro possibili attributi al sintomo: "rossa_precoce", "rossa_avanzato", "bianca_precoce" e "bianca_avanzato". Per ogni immagine, le foglie sintomatiche sono state delimitate tramite un rettangolo (bounding box) a cui è stato associato uno dei 4 possibili attributi in relazione alla cultivar e alla intensità del sintomo. La definizione dello stato del sintomo è stata fatta dall'operatore in base a delle linee guida: il sintomo è considerato precoce nel caso in cui si manifesti una decolorazione marginale della foglia, mentre il sintomo è classificato come avanzato quando la decolorazione/discolorazione interessa anche gli spazi internervali e talvolta è anche associata a bruscature marginali. Generalmente le varietà a bacca bianca presentano alterazioni clorotiche mentre le varietà a bacca rossa mostrano antocianosi. Partendo dai dataset annotati è stato possibile addestrare una rete in grado di riconoscere i sintomi dell'infestazione. Tra i numerosi modelli disponibili in grado di essere addestrati a riconoscere oggetti all'interno di una immagine (Object Detection) è stata selezionata l'implementazione in linguaggio python di una Mask R-CNN (He et al., 2017) liberamente scaricabile dall'indirizzo https://github.com/matterport/Mask_RCNN.

Il lavoro di una Mask R-CNN (dove R-CNN è l'acronimo di Region-based Convolutional Neural Network) è suddiviso in due fasi. Nella prima viene utilizzata una rete convoluzionale pura nota come Region Proposal Network (RPN) il cui scopo è quello di fornire un primo posizionamento dei diversi bounding box all'interno di una immagine. Nella seconda fase vengono invece eseguite una correzione delle piccole imprecisioni nel posizionamento dei bounding box calcolati in precedenza, una classificazione degli oggetti identificati e la segmentazione di ognuno degli oggetti (cioè l'estrazione di una maschera sovrapponibile ad essi da cui il "Mask" nel nome). Grazie all'utilizzo combinato delle tecniche di dataset augmentation e fine-tuning è stato possibile eseguire delle prove preliminari di addestramento sui dataset CP1 e CP2 (163 foto). Le immagini presenti nei due dataset sono state suddivise in modo casuale in cinque blocchi da cui ricavare due nuovi dataset di dimensioni differenti: per l'addestramento vero e proprio sono stati usati quattro blocchi (131 foto) mentre il quinto, composto da 32 foto, è servito per la validazione dei risultati. In questo modo la maggior parte delle immagini è stata usata per l'addestramento e una parte non troppo ridotta è rimasta disponibile per la fase, altrettanto importante, di validazione dei risultati.

Per ognuna delle 32 foto usate per la validazione, la rete restituisce dei bounding box con un valore di "confidence" e cioè una stima calcolata dalla rete di quanto la previsione fatta possa essere considerata attendibile. Per evitare un numero essessivo di falsi positivi, sono stati presi in considerazione i risultati, cioè i bounding box, con livello di "confidence" maggiore impostato arbitrariamente ai valori soglia di 0,7 e 0,9. I risultati della analisi della rete sono stati confrontati con le annotazioni originali e i possibili risultati del confronto sono tre:

True Positive (TP): si ha un vero positivo se il bounding box ottenuto dalla rete è almeno parzialmente sovrapposto a quello di una delle annotazioni originali. In questo caso si considera l'oggetto come correttamente identificato;

False Positive (FP): si ha un falso positivo se il bounding box ottenuto dalla rete non è sovrapposto a nessuna delle annotazioni originali;

False Negative (FN): si ha un falso negativo se in corrispondenza di una delle annotazioni originali la rete non ha rilevato nessun oggetto.

I valori calcolati per ognuna delle 32 immagini usate nella validazione sono stati impiegati per calcolare due misure di errore ampiamente usate nel campo del riconoscimento degli oggetti, Precision e Recall:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

In entrambi i casi il risultato è un numero decimale compreso tra zero e uno. Nel caso in esame, Precision è il rapporto tra le previsioni corrette ed il numero totale di previsioni effettuate dalla rete e di conseguenza diminuisce all'aumentare del numero di previsioni errate, la Recall è invece il rapporto tra le previsioni corrette ed il numero totale di annotazioni e perciò diminuisce all'aumentare del numero di identificazioni mancate. Questi valori permettono di valutare separatamente l'impatto dei due tipi di errore rispetto alle corrette identificazioni. Premesso che tanto più le due misure sono vicine al valore 1 tanto migliori possono essere considerati i risultati, il valore di Precision scende al crescere del numero di falsi positivi rispetto alle corrette identificazioni mentre quello di Recall scende al crescere dei falsi negativi. L'analisi preliminare sul riconoscimento automatico dei sintomi di infestazione da cicaline sulla vite ha mostrato che la rete, per quanto ancora non in grado di fornire prestazioni accettabili, ha comunque imparato ad indentificare alcuni elementi caratteristici delle infestazioni all'interno delle foglie. Dall'osservazione delle previsioni ottenute si nota infatti che gran parte delle foglie con sintomi sono state identificate anche se non sempre con alti valori di "confidence". Purtroppo, il numero di falsi positivi è ancora troppo alto per permettere l'uso del sistema in un caso reale. Una parziale soluzione a questo problema la si è ottenuta variando il valore di soglia da 0,7 a 0,9 anche se, come prevedibile, questo ha portato alla mancata identificazione di tutte quelle foglie con valori di "confidence" non troppo alti. Nel complesso, nella ricerca di un maggiore equilibrio tra i due tipi di errore, una soglia più alta come 0,9 è sicuramente preferibile (Tab.1).

Tabella 1. Valori di Precision e Recall della analisi dei dataset CP1 e CP2 per i valori di soglia 0.7 e 0.9.

	Confidence > 0,70	Confidence > 0,90
Precision	0,28	0,60
Recall	0,76	0,46

Infatti, nella Tabella si nota come, per una soglia maggiore di 0,9, la differenza tra i due valori è molto più limitata rispetto ad una soglia di 0,7 rendendo il sistema più usabile in un reale caso d'uso. Se infatti non sarebbe possibile implementare un sistema totalmente automatico con un numero di errori ancora così alto si potrebbe pensare ad un sistema di segnalazione di errori con operatore esperto e con un rover a guida automatica che, muovendosi in campo, registra un altissimo numero di immagini. Queste verrebbero analizzate dalla rete ed il compito dell'operatore sarebbe quello di confermare la presenza di infestazione nelle immagini identificate dal sistema come "sospette". Ovviamente al crescere del numero di falsi positivi crescerebbe proporzionalmente il numero di immagini segnalate fino a rendere il sistema inutilizzabile. A titolo esemplificativo, vengono mostrate alcune immagini impiegate per la validazione del sistema di riconoscimento e i relativi risultati.



Figura 5. Immagine di foglie di cv. Carignano (a sinistra) e analisi di riconoscimento dei sintomi (a destra). Dall'immagine si evince che il sistema ha confuso la parte centrale del lembo fogliare con i sintomi precoci che si manifestano lungo i margini della foglia



Figura 6. Immagine di foglie di cv. Carignano (a sinistra) e analisi di riconoscimento dei sintomi (a destra). In questo caso, un grappolo è stato erroneamente classificato come sintomo.

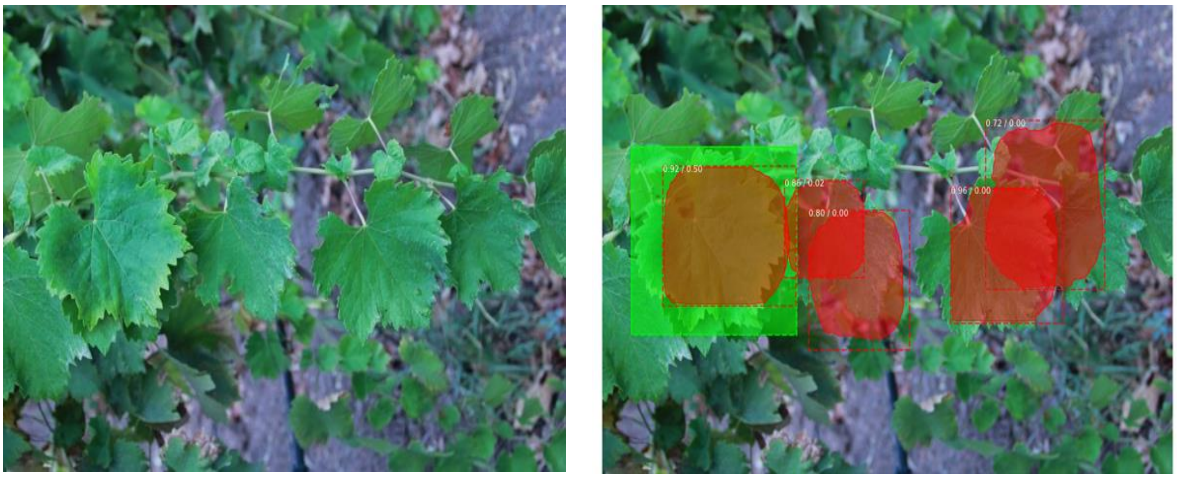


Figura 7. Immagine di foglie di cv. Nasco (a sinistra) e analisi di riconoscimento dei sintomi (a destra). In questo caso si è avuta una notevole sovrastima delle foglie infestate (falsi positivi), ma pochi casi di falsi negativi (foglie infestate non riconosciute dal sistema).

3. Attività di divulgazione svolte

Le attività di divulgazione, quelle previste nel primo Dissemination plan and report (D.1.8), saranno riportate nel secondo Dissemination plan and report (D.1.9) contemporaneo a questo documento.

4. Criticità emerse durante lo sviluppo delle attività

Di seguito le criticità per singolo WP.

WP1. Coordinamento e gestione
Non si rilevano criticità.

WP2. Fenotipizzazione ad alta precisione in condizioni di pieno campo
Alla data attuale, il verificarsi di precipitazioni eccezionali, intense e continuative ha finora impedito la esecuzione delle lavorazioni di preparazione dei campi e le operazioni di semina nei tempi inizialmente stabiliti. Allo stato attuale la possibilità di eseguire l'esperimento non è compromessa potendosi eseguire le semine ancora in tempo utile nella seconda metà di dicembre o, al massimo, entro la prima decade di gennaio.

WP3. Tecnologie digitali e modellistiche di nuova generazione applicate ai sistemi agrari mediterranei
Non si rilevano criticità.

WP4. Monitoraggio ambientale per la gestione differenziata delle colture
Alla data attuale, l'inizio delle attività di campo previste presso le due aziende sperimentali e riguardanti le attività di ricerca pianificate ad hoc per gli obiettivi congiunti del WP2 e del WP4 sta subendo un notevole rallentamento a causa delle avverse condizioni meteorologiche che non hanno consentito il regolare svolgersi delle lavorazioni primarie e accessorie per la preparazione del letto di semina.

WP5. Sensori e sistemi di gestione innovativi per la coltura protetta
Si è registrato un rallentamento nel reperire e acquistare il materiale necessario alla sperimentazione attribuibile a un problema di reperimento di alcuni componenti elettronici.

WP6. Sviluppo e realizzazione di un sistema per la realtà aumentata in agricoltura
Non si rilevano particolari criticità, se non quelle legate al persistere della pandemia, che ha inevitabilmente causato dei ritardi legati al regolare svolgimento delle attività dedicate alla raccolta delle informazioni presso le aziende agricole.

WP7. Gestione colturale del vigneto con il supporto combinato delle tecnologie di viticoltura di precisione e di Intelligenza Artificiale
L'impossibilità di eseguire il campionamento del suolo nel vigneto dell'azienda viticola Carpante, che avrebbero ostacolato o rallentato per almeno 2/3 settimane le operazioni di gestione colturale in corso, ha impedito la predisposizione delle opportune analisi pedologiche. Per questo motivo in accordo con il Partnr di Progetto e il SSD AGR14, i campionamenti di suolo saranno eseguiti entro gennaio 2022 (durante la fase di riposo vegetativa della pianta) e sull'intera superficie dell'area oggetto di studio, seguendo uno schema a maglie regolari (14m x 14m) già definita in seguito al sopraluogo svoltosi in data 14/04/2021. Tale analisi, sarà eseguita in collaborazione con la sezione di Pedologia del Dipartimento di Agraria (SSD AGR14) di Sassari, permetterà di ottenere informazioni aggiuntive utili alla

predisposizione delle sperimentazioni già avviate e di eseguire una serie di analisi geostatistiche volte allo studio della variabilità spazio-temporale del vigneto.

Criticità emerse durante lo sviluppo delle attività. (AGR12-AGR09)
Le cause del mancato successo delle infezioni artificiali eseguite con Plasmopara viticola possono essere diverse, ma legate alla natura biotrofa di questo parassita. Anche l'oidio è un parassita obbligato e quindi anch'esso biotrofo. Purtroppo, lavorare con questo tipo di parassiti non consente il loro mantenimento su substrati artificiali, in quanto dipendenti dall'ospite vivo, per cui è difficile avere a disposizione quantità sufficienti di inoculo e conservare questo inoculo da un anno all'altro. Ogni anno quindi, si è legati al reperimento di inoculo naturale in vigneto e se questo non compare ad inizio stagione le infezioni artificiali, unico modo per moltiplicarlo, possono risentirne. In questo caso specifico, però, la varietà ha svolto un ruolo non trascurabile. Perciò, per il prossimo anno si prevede di utilizzare ancora piantine di Carignano, che è stato molto utile per propagare l'oidio, ma di affiancarle a piantine della cv Cannonau, molto suscettibile alla peronospora. Per quanto riguarda le piante adulte in vaso presso l'azienda "A. Milella", per il prossimo anno si prevede di utilizzare quelle presenti all'interno della serra sperimentale. L'azione schermante agli UV, infatti, le rende molto più suscettibili agli attacchi dei parassiti. Inoltre, sono presenti sia piante di Carignano che di Cannonau, quindi avremo a disposizione ospiti molto suscettibili sia a oidio che a peronospora.

Criticità emerse durante lo sviluppo delle attività. (AGR011-AGR09)
L'analisi preliminare sul riconoscimento automatico dei sintomi di infestazione da cicaline sulla vite per ora ha fornito risultati incoclusivi e ulteriori analisi saranno effettuate per aumentare il livello di affidabilità del riconoscimento. A tale scopo è necessario incrementare notevolmente il numero di immagini in ciascun subset di dati per verificare se il riconoscimento è facilitato su sintomi avanzati o precoci o su cultivar a bacca bianca o rossa. Una fonte di errore o di difficolta nel riconoscimento automatico delle foglie sintomatiche potrebbe essere attribuito al periodo in cui sono state acquisite le immagini. Infatti, la maggior parte delle immagini sono state raccolte nel periodo agosto-settembre, quando i sintomi precoci sono presenti su foglie apicali molto giovani. Il database sarà pertanto arricchito con immagini di foglie sintomatiche raccolte nel periodo giugno-luglio, quando le infestazioni precoci si manifestano su foglie mature e non sui germogli. Data la necessità di una grande quantità di dati per l'addestramento di un sistema basato sul Deep Learning, l'ampliamento del dataset con l'uso di CP3 (192 foto) e quindi con un numero di immagini più che raddoppiato, dovrebbe permettere un significativo miglioramento delle prestazioni.

Sassari, li 17 dicembre 2021

Il Responsabile Scientifico