REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

FSC Fondo per lo Sviluppo e la Coesione

Deliverable D4.1

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

Acronimo: Atlantide

Codice di intervento: RC_CRP_068

CUP: J88D20000070002

Deliverable D4.1

Informazioni sul deliverable	
Da consegnare entro	03 aprile 2021
Consegnato	03 giugno 2021
Work Package	WP4
Partner coinvolto	UNISS
Autore	Luigi Ledda
Revisori	Tutti i partner
Approvato da	Tutti i partner
Livello di disseminazione	Pubblico
Tipologia	Documento
Allegati	

Tabella 1. Cronologia delle revisioni

Data	**Versione**	**Commenti**
31/04/2021	0.1	Bozza
03/06/2021	1.0	Versione finale

Deliverable D4.1

Definizione delle esigenze di informazione georeferenziata a supporto delle imprese agricole, stratificate per tipo di attività, sistema colturale adottato ed eventuale gestione irrigua. Partendo dai dati di uso del suolo e di destinazione colturale della superficie agricola utilizzabile, è stata predisposta una griglia delle esigenze informative, specifica per tipologia aziendale. Le grandezze chimico-fisiche da osservare quali tessitura, profondità e umidità del suolo (es: costanti idrologiche: capacità di campo, punto di appassimento), stato idrico della coltura, contenuto di azoto a livello fogliare, LAI ed i parametri morfo-fisiologici (es: contenuto in clorofilla, biomassa presente) e fenologici delle colture sono stati selezionati in funzione dei sistemi colturali considerati.

1.1. Individuazione delle tipologie aziendali

Preliminarmente è stata svolta un'indagine bibliografica volta a fornire un inquadramento del settore agro-zootecnico sardo al fine di evidenziare per ciascun comparto produttivo punti di forza e criticità. Il principale documento di riferimento è stato il PSR 2014-2020 della Regione Sardegna che ha consentito di individuare le "aree di interesse" su cui dovrebbero essere orientate le misure predisposte dalla più recente Politica Agricola Comune (PAC). Tra le filiere produttive di cui il documento si occupa, nello specifico sono incluse la filiera cerealicola, ortofrutticola e quella foraggero-zootecnica. Pertanto, sulla base di quanto riscontrato dal PSR 2014-2020, è stata svolta una disamina dei database più comunemente utilizzati per individuare la ripartizione della superficie regionale occupata dai diversi sistemi produttivi ed individuare così quelli più rappresentativi a livello regionale. La banca dati di riferimento è stata quella dell'ISTAT da cui è emerso che nel 2017 i sistemi colturali erbacei maggiormente presenti sul territorio sono stati quello cerealicolo (spicca il frumento duro con il 44% della superficie cerealicola totale), orticolo (carciofo con il 61% della superficie coltivata totale) e foraggero (pascoli, erbai e prati che occupano complessivamente l'83% del territorio) occupando una superficie pari a poco meno l'81% di quella totale coltivata. Alla luce delle informazioni ottenute dall'indagine bibliografica sono stati selezionati alcuni sistemi colturali riportati di seguito insieme al sito di riferimento: 1) Carciofo presso l'azienda "Sarciofo", situata ad Uri (SS); 2) Pascoli naturali situati a diverse altimetrie ricadenti in aree ad uso civico presso il comune di Irgoli (NU); 3) Pascoli arborati presso il comune di Buddusò (SS); 4) Frumento e leguminose da granella presso l'azienda sperimentale "San Michele" (Ussana, CA) di AGRIS; 5) Mais e triticale presso l'azienda sperimentale CREA situata a Sanluri (CA); 6) Mais da trinciato presso l'azienda Carboni situata nell'area della Nurra (SS); 7) Orzo, e colture da biomassa presso l'azienda sperimentale "Mauro Deidda" dell'Università degli Studi di Sassari sita ad Ottava (SS); 9) Colture cerealicole (orzo) e orticole (carciofo) presso l'azienda Surigheddu, Alghero, Centro Interdipartimentale "Innovative agriculture".

1.2. Selezione delle grandezze chimico-fisiche del suolo e ambientali

La geostatistica è parte fondamentale per l'analisi della variabilità pedologica delle caratteristiche del suolo, considerando la variabilità come un aspetto chiave sulla corretta gestione agronomica della coltura. Il suolo presenta caratteri fisici (tessitura, struttura) chimici (contenuto di sostanza organica, concentrazione degli elementi naturali) ed interazioni fra questi che comportano diverse situazioni di fertilità relativa, intrinseca nello stesso elemento, ma determinata da più fattori. La pendenza, la litologia, geologia del suolo e il microclima presente influiscono sulle caratteristiche idrologiche del terreno, importanti per la corretta gestione dell'irrigazione per esempio. Al fine di coniugare tecniche produttive compatibili con la tutela dell'ambiente e esigenze tecnico-economiche smart dei moderni sistemi produttivi è necessario individuare e definire i parametri agronomico-ambientali fondamentali che siano funzionali alla corretta gestione della colture. Tra questi, oltre alla tessitura del suolo, sono da tenere in considerazione anche il grado di umidità del suolo (quantità di acqua a disposizione), il contenuto in C organico e in N totale, il pH, e la densità apparente, in quanto hanno un'influenza diretta

sullo sviluppo e produttività delle colture agrarie. Inoltre, il monitoraggio della temperatura del suolo, strettamente connessa al contenuto idrico del suolo, consentirà di individuare il microclima ideale a preservare lo status fisiologico ottimale delle piante. Al tempo stesso anche la determinazione costante e precisa della conducibilità elettrica che fornisce informazioni generali sulla quantità di ioni presenti nel terreno rappresenterà un altro aspetto di rilievo sia ai fini produttivi che ai fini dell'impatto ambientale. Altri parametri ambientali, oltre alla temperatura dell'aria, anche la misurazione della radiazione solare e l'umidità relativa, rappresenteranno un importante parametro, strettamente legato al tasso di fotosintesi netta che è essenziale per il monitoraggio dello stato di accumulo della biomassa epigeica delle piante. La domanda evaporativa dell'ambiente e la traspirazione dell'area fogliare sono in stretta relazione con i consumi idrici. Per determinare la domanda evaporativa dell'ambiente, dato che spesso, in campo, al variare della temperatura varia anche l'umidità relativa ed è difficile distinguere l'effetto dell'una e dell'altra, si preferisce ricorrere al deficit di pressione di vapore oppure al gradiente di pressione di vapore tra la foglia e l'ambiente circostante. Gli indicatori fisici più importanti sono la domanda evaporativa dell'ambiente (VPD), il contenuto idrico del terreno e il potenziale idrico della zona radicale. Le condizioni pedoclimatiche dell'agroecosistema esercitano un'influenza inevitabile sul comportamento fisiologico della pianta, che si adatta all'ambiente mettendo in atto degli accorgimenti. Le misurazioni del contenuto idrico del suolo forniscono un'indicazione sulle disponibilità di acqua e, solo indirettamente, sullo stato idrico della coltura. Le misurazioni di evapotraspirazione stimano la quantità di acqua consumata dalla coltura, permettono di ricavare delle indicazioni sulla disponibilità residua e quindi, indirettamente, sulle condizioni della pianta. Questi indicatori, di grande utilità e praticità per la gestione dell'irrigazione, non riescono a stimare con precisione lo stato idrico della coltura se non integrati con l'utilizzo di indicatori fisiologici.

1.3. Selezione di parametri indicatori dello stato idrico, e fisiologico delle colture

Oltre alla valutazione delle esigenze idriche della pianta, è possibile effettuare una determinazione del suo stato idrico per mezzo di indicatori fisiologici e fisici. Il primo tipo caratterizza direttamente o indirettamente lo stato idrico; il secondo si riferisce a quei fattori dell'ambiente che influenzano l'equilibrio idrico della pianta. Gli indicatori fisiologici diretti sono quelli che esprimono il contenuto idrico relativo o il potenziale idrico fogliare, mentre gli indiretti sono quelli che descrivono i fenomeni provocati dal cambiamento dello stato idrico della pianta come la variazione della conduttanza stomatica, la temperatura fogliare, le variazioni delle caratteristiche ottiche delle foglie e i sintomi osservabili visivamente. Anche se una misurazione mediante un indicatore diretto può sembrare la più adatta ed utile nella gestione della coltura, occorre considerare la variabilità dei comportamenti fisiologici delle diverse specie o varietà. Molte piante innescano dei meccanismi che le rendono capaci di tollerare periodi più o meno prolungati di siccità. Molte specie sono in grado di autoregolare il proprio contenuto idrico in modo che non scenda al di sotto di un certo livello, anche in condizioni di carenza idrica e di forte domanda evaporativa dell'ambiente. Nel lungo periodo questo controllo si realizza attraverso cambiamenti nell'area fogliare e nelle radici, mentre nel breve periodo attraverso cambiamenti nell'angolo di inserzione della foglia, nella conduttanza stomatica, nelle proprietà idrauliche del sistema di trasporto. Nelle piante con comportamento isoidrico lo stato idrico fogliare si mantiene stabile anche in condizioni di stress. Nella piante con comportamento anisoidrico le misure dirette dello stato idrico possono fornire risultati positivi. In ogni caso occorre tenere in considerazione che spesso uno dei prerequisiti necessari affinché si possano innescare i meccanismi di autoregolazione è proprio un cambiamento nello stato idrico. Esistono opinioni discordanti sull'individuazione del miglior indicatore di stress idrico. Alcuni ritengono che sia il potenziale dello stelo misurato a mezzogiorno a causa della migliore correlazione con la conduttanza stomatica, mentre altri ritengono che sia il potenziale fogliare misurato all'alba per la forte influenza che le condizioni ambientali esercitano sul potenziale durante il giorno. L'efficacia dei potenziali nello stimare lo stato idrico delle piante può essere fortemente influenzata dalle caratteristiche fisiologiche della specie o della varietà,

dalle condizioni ambientali e dalle modalità di misurazione. Il potenziale fogliare ad esempio, specialmente in caso di stress medi o moderati, non è adatto per quelle specie che sono soggette ad una riduzione della fotosintesi e della produzione senza che vi siano associati degli effetti sulle relazioni idriche della chioma. Sia il potenziale dello stelo che il potenziale fogliare tendono a decrescere durante la giornata raggiungendo il minimo valore a mezzogiorno. Il contenuto idrico dei tessuti può contribuire a definire lo stato idrico della pianta essendo influenzato dalle disponibilità di acqua. Dato che il contenuto idrico dei tessuti è direttamente correlato al turgore cellulare, si può esprimere come contenuto di acqua relativo (RWC) a quello presente al massimo turgore. L'RWC si può calcolare sia sull'intera foglia che su parte di essa, ma in ogni caso non è efficace qualora le variazioni del contenuto idrico siano di piccola entità. Lo stato di idratazione dei tessuti può essere espresso anche come valore percentuale del loro contenuto in acqua, riferito al peso secco o fresco. Il valore riferito al peso fresco ha scarsa validità, a causa delle considerevoli variazioni a cui può andare incontro il contenuto idrico dei tessuti durante la giornata. Il valore riferito al peso secco non è molto attendibile perché tende a variare anche notevolmente sia nell'arco della giornata, a causa del movimento e della continua sintesi di carboidrati, sia durante la stagione, a causa della variazione dello spessore e della composizione delle pareti cellulari. L'utilizzo del contenuto idrico dei tessuti come indicatore dello stato idrico della pianta soprattutto nelle specie fortemente isoidriche è sfavorito dal fatto che lo stato idrico e specialmente il contenuto di acqua della foglia, è generalmente controllato dalla chiusura stomatica e da altri meccanismi di regolazione. Le piante regolano gli scambi gassosi, assorbendo CO2 dall'atmosfera e contemporaneamente limitando la perdita di acqua. Nonostante il gradiente di concentrazione per l'assorbimento della CO2 sia molto più piccolo del gradiente di concentrazione che porta alla perdita di acqua le piante risolvono efficacemente il problema con la regolazione stomatica, che permette alla pianta di assorbire CO2 durante il giorno e di risparmiare acqua di notte, quando non vi è fotosintesi e quindi richiesta di CO2. Gli stomi controllano in maniera diretta la traspirazione e si aprono o chiudono in risposta alla concentrazione di CO2 nel mesofillo fogliare e alla variazione del potenziale osmotico delle cellule di guardia. Queste funzionano come valvole idrauliche e sono sensibili a molti fattori come l'intensità e la qualità della luce, la temperatura, l'umidità relativa, e le concentrazioni intercellulari di CO2. In particolare, in condizioni di stress, le cellule di guardia sono particolarmente sensibili alla presenza dell'acido abscissico (ABA), l'ormone principalmente responsabile della chiusura stomatica.
La sintesi dell'ABA da parte delle foglie e soprattutto delle radici aumenta in caso di stress in modo da poter rilasciare l'ormone in grande quantità nelle cellule del mesofillo. Durante l'arco della giornata, il controllo stomatico sul potenziale idrico fogliare risulta particolarmente utile ed efficace in caso di carenza idrica o tassi traspiratori eccessivamente elevati. Quando il flusso traspiratorio è elevato, se si riducono le disponibilità idriche del suolo, il tasso di assorbimento radicale può non essere sufficiente per sopperire alle perdite di acqua. La pianta allora reagisce nel breve periodo regolando la chiusura stomatica, in modo da aumentare la resistenza alla diffusione del vapor d'acqua. La resistenza stomatica è un parametro che può essere facilmente determinato misurando la velocità di un flusso di aria che è forzato ad attraversare la foglia e si esprime in s/mm. Si parla di un meccanismo di chiusura idropassiva, quando la perdita diretta di acqua dalle cellule di guardia degli stomi avviene troppo rapidamente per essere bilanciata; questo avviene generalmente quando l'umidità dell'aria è ridotta. Si parla invece di chiusura idroattiva, quando la foglia intera o la radice si disidratano. Il reciproco della resistenza stomatica è la conduttanza stomatica che si può esprimere quindi in mm/s. In ogni caso, il tipo di regolazione stomatica in risposta a stress idrici rende la conduttanza stomatica un indicatore più preciso rispetto ad altri indicatori fisiologici dello stato idrico utilizzabili. La misurazione degli scambi gassosi e della traspirazione di un'intera pianta può essere effettuata mediante l'utilizzo la misurazione degli scambi gassosi della pianta è l'analizzatore ad infrarosso, che impiega una tecnica di lettura all'infrarosso non dispersiva. Lo strumento possiede quattro analizzatori di gas, per l'anidride carbonica e per l'acqua. E' equipaggiato con una camera fogliare di tipo Parkinson, una pompa di flusso per l'approvvigionamento di aria esterna, un mixer di CO2 e una fonte luminosa esterna regolabile. Il

funzionamento è a ciclo aperto ed il sistema è in grado di misurare i diversi parametri attraverso una serie di sensori e le quattro celle di lettura. L'aria acquisita dall'esterno viene filtrata e riaggiustata in relazione a valori predefiniti dall'operatore, in modo da avere una composizione sempre costante. Si può lavorare con lo strumento utilizzando l'irradiazione naturale oppure fornendo alla foglia un'intensità luminosa predefinita. Lo strumento rileva le variazioni di concentrazione di CO2 e di vapore acqueo che si verificano all'interno della camera fogliare nell'unità di tempo, a causa dell'attività fotosintetica di fissazione della CO2 e dell'emissione di gas per traspirazione. Le foglie sottoposte all'analisi devono essere mature, espanse ed esposte alla luce solare diretta in diversi momenti della giornata in modo da valutare la risposta delle piante alla variazione di alcuni parametri ambientali. L'impiego di termometri ad infrarosso consente di valutare la temperatura fogliare che può essere utilizzata come indicatore fisiologico indiretto dello stato idrico della pianta. Le foglie non assorbono tutta l'energia solare, ma la dissipano attraverso la perdita percettibile di calore e attraverso la perdita di calore latente (energia termica coinvolta nella variazione dello stato di aggregazione). Quando la disponibilità idrica della pianta è ottimale, la traspirazione è alta e la perdita di calore latente elevata. In piante soggette a stress idrico invece la traspirazione tende a ridursi attraverso la regolazione stomatica per contenere la perdita di acqua e la dissipazione di calore per traspirazione diminuisce. In queste condizioni la foglia tende a riscaldarsi e a dissipare calore sensibile. E' possibile quindi mettere in relazione l'aumento significativo della temperatura che è indicativo della chiusura stomatica con lo stato di stress. La variazione della temperatura fogliare è influenzata sia da fattori ambientali (temperatura dell'aria, irradianza, vento, umidità) sia dalle caratteristiche colturali (stadio fenologico, orientamento dei filari, grado di copertura del suolo) che dal metodo di misura (superficie rilevata, angolo di osservazione). Le maggiori differenze tra piante irrigate e piante sottoposte a stress si riscontrano in giornate calde, soleggiate e in assenza di vento e nell'arco della singola giornata, nelle ore di massima insolazione. Si possono invece non riscontrare affatto differenze di temperatura tra piante stressate ed irrigate in presenza di nuvolosità. Lo studio delle caratteristiche ottiche delle foglie è stato sviluppato negli ultimi 20 anni. Le caratteristiche ottiche delle foglie rappresentano la percentuale di radiazione incidente che è riflessa (riflettanza), assorbita (assorbanza) e trasmessa (trasmittanza) dalla superficie fogliare o, come nell'applicazione della metodologia al frutto, dall'epidermide del frutto. Gli spettri che si ottengono misurando le caratteristiche ottiche, per mezzo di uno spettroradiometro accoppiato ad una sfera integrante, lungo uno spettro generalmente compreso tra 400 e 1100 nm di lunghezza d'onda, sono caratterizzati da andamenti diversi sia per le differenti specie sia nelle eterogenee condizioni colturali, ed eventualmente di stress, imposte alle piante. La radiazione incidente utilizzata normalmente comprende le lunghezze d'onda del visibile (400-700 nm), dell'infrarosso (700-2500 nm) e, talvolta, di parte dell'ultravioletto (4- 400 nm). I numerosi studi effettuati su moltissime specie erbacee, orticole ed arboree negli ultimi anni hanno evidenziato una strettissima correlazione tra le percentuali di riflettanza, assorbanza e trasmittanza e le caratteristiche delle foglie in diverse condizioni colturali. Numerosi studi hanno dimostrato come, nel caso di spettri fogliari, l'alterazione della riflettanza nel visibile (~400-720 nm) dipende dalla sensibilità della clorofilla a stress di varia origine, mentre l'aumento della riflettanza nel rosso lontano (690-720 nm; *Far-Red*) sia una generica risposta a situazioni di stress. La riflettanza nel visibile aumenta in seguito alla diminuzione della disponibilità di nutrienti, all'eccesso di salinità nel suolo, agli attacchi di insetti, alla competizione tra le piante. Tra 600 e 700 nm sono state rilevate differenti percentuali di riflettanza in risposta all'ozono, alle piogge acide, alla perdita di acqua, all'insufficiente infezione delle radici da parte di ectomicorrize ed ad altri agenti di stress. Gli studi effettuati in questo campo hanno portato alla definizione di alcuni indici, derivanti da rapporti tra riflettanza a determinate lunghezze d'onda, particolarmente efficaci nel descrivere determinate situazioni di stress. Gli indici che si ricavano dai valori di riflettanza hanno il generale vantaggio di non essere ridotti dalla dimensione del loro campo di vista, consentendo misurazioni sia su piccola che su grande scala, incluso il satellite. Il rapporto tra la riflettanza misurata a 698 nm e quella misurata a 760 nm è strettamente correlato

alla concentrazione di clorofilla, mentre i rapporti tra le riflettanze misurate rispettivamente a 695 e 420 nm e a 695 e 760 nm sono strettamente correlati con varie situazioni di stress dovute a erbicidi, patogeni vari, danni da ozono, senescenza fogliare e disidratazione dei tessuti. Molti altri indici sono strettamente correlati con altre caratteristiche delle foglie, tra le quali: contenuto di antociani, nutrizione azotata, rapporti carotenoidi/clorofilla, efficienza d'uso della radiazione fotosintetica, e contenuto idrico. Fra di essi, gli indici più semplici, come il rapporto (SR = NIR/R, i.e., il rapporto tra near-infrared e rosso visibile) ed il così definito normalised difference vegetation index [NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)], sono correlati con la quantità di biomassa verde per area e col PPFD assorbito e hanno mostrato perfino di riflettere a seconda della conduttanza degli stomi e della fotosintesi in piante non stressate. Il principale svantaggio che preclude il loro uso per l'irrigazione, è che sono piuttosto statici e non riescono a seguire conduttanza stomatica e fotosintesi in caso di progressivo sviluppo della siccità. L'indice idrico è stato definito (WI = R900/R970) per seguire da vicino il contenuto idrico della foglia e la sua conduttanza stomatica durante la siccità. Gli indici di riflettanza fotochimica [PRI = (R531-R570)/(R531 + R570] sono correlati fortemente allo stato di de-epossidazione del ciclo delle xantofille. Il PRI è stato impiegato per correlare fotosintesi e conduttanza stomatica ed è stato così capace di riflettere la siccità al livello fogliare in molte specie. I suoi principali svantaggi sono che il valore preciso del PRI nonché la relazione tra fotosintesi e conduttanza stomatica sembrano dipendenti dalla specie e/o dall'uso dello strumento e può accadere che non riesca a seguire la siccità alla scala dell'intera pianta probabilmente a causa di cambiamenti nell'orientamento della foglia come conseguenza dell'appassimento.

Sassari 3 giugno 2021

Il Coordinatore di progetto

