

Report interno CRS4 2023 progetto ARSINOE M1-18

Il progetto ARSINOE, il ruolo del CRS4 nel progetto, le attività svolte nel periodo M1-M18 e le attività future previste

Marino Marrocu, Simone Manca, Luca Massidda, Gabriella Pusceddu

Sommario	1
1. Il progetto ARSINOE	2
2. Gli WP del progetto e l'impegno del CRS4	3
3. Il test case Sardo.	6
4. Attività svolta dal CRS4 in ARSINOE nel periodo M-18	7
4.1 Le motivazioni del lavoro del CRS4	8
4.2 L'infrastruttura Web Arsinoe per il caso di prova sardo	11
4.2.2 Dati spaziali	12
4.2.3 API	14
4.2.4 Dati meteo-climatici di pubblico dominio	16
4.2.5. Applicazione Web del modello Aquacrop	18

Sommario

Il 1 ottobre 2021 sono iniziate le attività del progetto EU denominato ARSINOE in cui il CRS4 è coinvolto insieme ad altri 41 partner di 14 differenti nazioni europee. ARSINOE si propone di migliorare la capacità delle regioni di fronteggiare gli effetti del cambiamento climatico attraverso l'utilizzo di soluzioni e innovazioni sistemiche. Il progetto prevede l'adozione dell'Approccio di Innovazione dei Sistemi (SIA) e della Finestra di Innovazione per il Clima (CIW) al fine di creare un ecosistema di soluzioni di adattamento al cambiamento climatico. Il successo di questo approccio verrà dimostrato attraverso nove progetti pilota, che metteranno alla prova la sua applicabilità, replicabilità, potenziale ed efficacia. Il presente report oltre che descrivere in breve gli obiettivi generali del progetto e il ruolo specifico del CRS4 nello stesso riporta le attività svolte dal gruppo di lavoro del CRS4 nei mesi da 1 a 18 che rientrano nella prima rendicontazione periodica.

1. Il progetto ARSINOE

Il progetto ARSINOE (<https://cordis.europa.eu/project/id/101037424>) è un'iniziativa finanziata dall'UE con un budget totale di 15 milioni di euro, che ha l'obiettivo di utilizzare un approccio innovativo per affrontare i problemi climatici in diversi settori chiave, tra cui la biodiversità, le inondazioni, l'innalzamento del livello del mare, la siccità, la scarsità di acqua, le ondate di calore e la deforestazione. ARSINOE mira a costruire un ecosistema di soluzioni per l'adattamento ai cambiamenti climatici, utilizzando un approccio a tre livelli che combina l'Approccio di Innovazione dei Sistemi (System Innovation Approach: SIA) e la Finestra dell'Innovazione Climatica (Climate Window Innovation) attraverso un innovativo quadro metodologico. Questo nuovo approccio verrà messo alla prova attraverso nove dimostratori, ognuno diverso dall'altro, come prova di concetto. L'obiettivo finale del progetto è quello di indicare la strada per un futuro sostenibile, inclusivo, resiliente, digitale e green.

L'approccio all'innovazione dei sistemi (SIA) affronta la crescente complessità, le interdipendenze e l'interconnessione delle società e delle economie moderne, concentrandosi sulle funzioni del sistema intersettoriale nel suo complesso e sulla varietà degli attori.

CWI è un portale di riferimento per le innovazioni sull'adattamento ai cambiamenti climatici. È stato sviluppato nell'ambito di BRIGAD, un progetto finanziato da H2020 che riunisce innovatori e utenti finali durante il ciclo di sviluppo dell'innovazione. Il portale fornisce informazioni e contatti su diverse innovazioni per l'adattamento ai cambiamenti climatici sviluppate dai partner di BRIGAD e in particolare da un ampio numero di altri innovatori impegnati con BRIGAD. Gli innovatori che aderiscono a BRIGAD rimangono in pieno e indiscusso possesso dei diritti di proprietà intellettuale sulla loro innovazione. CWI consente agli utenti di sfogliare il database delle innovazioni in base ai rischi (inondazioni costiere, siccità, ondate di calore, forti precipitazioni, alluvioni fluviali, tempeste, incendi e rischi multipli, ecc.) e agli argomenti (agricoltura, disastri e ICT, energia, foreste, soluzioni basate sulla natura, fiumi, aree urbane, disponibilità di acqua, qualità dell'acqua, sicurezza dell'acqua, ecc.) La maturità di ogni innovazione è valutata attraverso il Technical Readiness Level (TRL), una scala composta da nove livelli in cui ogni livello caratterizza il progresso nello sviluppo dell'innovazione, dall'idea iniziale (Livello 1) alla piena adozione del prodotto sul mercato (Livello 9).

ARSINOE proverà a dare forma ai percorsi di resilienza utilizzando l'approccio SIA nel quadro delle possibilità offerte dal CIW, per costruire un ecosistema di soluzioni di adattamento ai cambiamenti climatici. All'interno dell'ecosistema ARSINOE, i percorsi verso le soluzioni saranno co-creati e co-progettati dagli stakeholder, che potranno quindi selezionare tecnologie CIW esistenti o tecnologie di nuovi fornitori (o una combinazione) per formare un nuovo pacchetto di innovazione. Questo pacchetto potrà essere progettato per l'implementazione in una regione specifica, ma i suoi elementi costitutivi dovranno essere trasferibili e riutilizzabili oltre che essere riadattabili e aggiornabili. In questo modo, l'utente (regione) ottiene un pacchetto di innovazione costituito da tecnologie validate in casi studio reali (espandendo il mercato per la CIW); le nuove tecnologie implementate nello specifico pacchetto di innovazione locale avranno l'opportunità di essere convalidate e diventare parte della CIW, mentre la società (cittadini, stakeholder) ne beneficia nel suo complesso. ARSINOE applica un approccio a tre livelli: (a) utilizzando la SIA integra aspetti tecnologici, digitali, commerciali, di governance e ambientali con l'innovazione sociale per lo sviluppo di percorsi di adattamento ai cambiamenti climatici per regioni specifiche; (b) si collega con le CIW per formare pacchetti di innovazione abbinando gli innovatori con gli utenti finali/regioni;

(c) promuove la sostenibilità e la crescita dell'ecosistema con la fertilizzazione incrociata e la replicabilità tra regioni e scale, a livello europeo e oltre, utilizzando modelli di business specifici, azioni di sfruttamento e di sensibilizzazione. L'approccio ARSINOE verrà sperimentato in 9 dimostratori molto diversi tra loro, come prova di concetto per quanto riguarda la sua applicabilità, replicabilità, il suo potenziale e la sua efficacia.

2. Gli WP del progetto e l'impegno del CRS4

In termini di risorse di personale l'impegno del CRS4 nei 48 mesi di durata del progetto ammonta a 28MP (Mesi Persona: MP), di cui 1MP nel WP1, 24MP nel WP6 e 3MP nel WP8. Di seguito un elenco di massima delle attività previste in ciascun WP, con indicazione di quelli in cui è coinvolto direttamente il CRS4 e il suo ruolo in ognuno di essi.

Il WP1 (CRS4 1MP) si occupa della gestione di alto livello del progetto per garantire che gli obiettivi dello stesso siano raggiunti in modo efficiente ed efficace nei tempi e con le risorse previste. Fornisce inoltre un'efficace rendicontazione e comunicazione all'interno del progetto e verso la CE. Garantisce il controllo della qualità dei risultati, il riaggiustamento se necessario del piano di lavoro e le misure correttive. Infine, assicura un'efficace gestione dell'innovazione, della conoscenza e delle informazioni e l'attuazione del Piano di gestione dei dati. Il ruolo del CRS4 sarà quello di supervisionare le proprie attività tecnico-scientifiche e la rendicontazione finanziaria delle stesse.

Il WP2 (CRS4 0MP) (Approccio all'innovazione sistemica) è il fulcro della metodologia proposta per risolvere problemi complessi e multiparametrici. L'innovazione sistemica può essere vista come un insieme di tecniche interconnesse, in cui ciascuna influenza l'altra, con l'innovazione sia nelle parti del sistema che nei modi in cui si interconnettono. I metodi proposti e i modi in cui interagiscono nel WP2, nel WP3 e nel WP4 contribuiscono all'approccio innovativo di ARSINOE. L'enfasi è posta sulle funzioni del sistema intersettoriale "nel suo complesso" e sulla varietà degli attori, invece di concentrarsi solo su funzioni specifiche o benefici individuali/settoriali. Il contesto e le soluzioni per affrontare il cambiamento climatico saranno identificati attraverso l'analisi qualitativa nei Living Labs (LL) e attraverso interviste e workshop, in cui i portatori di interesse e i cittadini saranno chiamati a co-progettare una visione condivisa del futuro e a definire un elenco di possibili percorsi per raggiungere i loro obiettivi. L'attività del CRS4 nel WP6.2, quello dei casi studio, prevede la partecipazione all'implementazione dell'approccio SIA al test case Sardo. Quindi sebbene non direttamente in WP2 il CRS4 ha il compito di contribuire alle milestone/report di questo WP dando un contributo al coordinatore.

Il WP3 (CRS4 0MP) (Quadro di modellazione e valutazione della resilienza dinamica multisettoriale: MSDMF) è strettamente legato ai WP2, WP4 e WP6 e introduce un quadro di modellazione e valutazione della resilienza dinamica e multisettoriale unico nel suo genere, il Quadro di modellazione dinamica multisistemica ARSINOE (MSDMF) Il MSDMF (Task 3.1, Task 3.5) combina versioni avanzate di modelli maturi sviluppati nell'ambito di iniziative precedenti e in corso, tra cui i servizi climatici avanzati (T3.3), gli strumenti di risposta ai servizi territoriali (T3.4) e gli strumenti di scienza della complessità dinamica (T3.5). Questi strumenti sono applicati a livello di CS (WP6). L'ABM socio-ambientale partecipativo (T3.2), l'analisi di sensibilità/incertezza (T3.6) e lo stato dell'arte della citizen science (T3.7) sono utilizzati per popolare questa gamma di modelli di scienza della complessità e come mezzi di analisi dei dati. L'attività del CRS4 nel WP6.3 prevede la partecipazione alla valutazione della resilienza per il test case Sardo. Quindi sebbene non direttamente in WP3 il CRS4 ha il

compito di contribuire alle milestone/report di questo WP dando un contributo al coordinatore.

L'obiettivo del WP4 (Gestione e servizi di intelligence ambientale) è quello di progettare il cruscotto di gestione e servizi ambientali di ARSINOE per la resilienza climatica. Per raggiungere questo obiettivo, ci sarà un cruscotto interattivo di visualizzazione incentrato sui cittadini per la modellazione partecipativa per co-progettare soluzioni resilienti al clima, gemelli digitali tematici per la gestione ambientale e un allarme precoce basato sul rischio per la risposta alle crisi a breve termine e la pianificazione strategica a lungo termine. Un altro obiettivo del WP4 è quello di costruire l'ARSINOE's Collective Intelligence Data, che raccoglierà, acquisirà, immagazzinerà, integrerà e analizzerà i dati provenienti da varie fonti di dati implementando il framework di persistenza del T4.2.1 e arricchendolo con tecniche di "agile data fusion" e AI, per sfruttare in modo efficiente i dati multidisciplinari e produrre conoscenze accurate e significative per gli utenti di ARSINOE. Inoltre, l'obiettivo di questo WP è quello di sviluppare un Knowledge Graph (KG) di Intelligenza Ambientale Collettiva, che integrerà il Multi-System Dynamic Modelling Framework (MSDMF) di ARSINOE, che sarà sviluppato come parte di T3.5.1. Il KG sarà popolato ed evoluto dinamicamente sulla base della continua integrazione dei dati attraverso i CS di ARSINOE. Una volta popolato il KG saranno resi disponibili strumenti di interrogazione per scopi di knowledge mining (ricerca semantica, identificazione di somiglianze tra i dati). L'attività del CRS4 nel WP6.4 prevede la partecipazione allo sviluppo ed implementazione dei pacchetti di innovazione per il test case Sardo. Quindi sebbene non direttamente in WP4 il CRS4 ha il compito di contribuire alle milestone/report di questo WP dando un contributo al coordinatore.

Il WP5 (Portafoglio di innovazioni e schemi di supporto) ha come obiettivo: (i) Bazar dell'innovazione, gare d'appalto aperte per le innovazioni, (ii) sviluppo di metodologie di valutazione precise, criteri di selezione, (iii) finestra climatica da scegliere in una selezione guidata dalla domanda, (iv) modelli di business e contratti / replicazione del mercato (v) previsione di IOT / replicazione del mercato.

Il WP6 (CRS4 24MP) è composto da 9 Casi Studio (CS) diversi e complementari. Per ciascun CS è necessario svolgere una serie di attività e azioni, implementate specificamente, ma anche orizzontalmente tra di loro. Gli obiettivi di questo WP sono (i) sviluppare una sequenza ben definita di azioni per tutti i CS; (ii) coordinare le attività e le azioni in tutti i Casi di Studio; (iii) guidare e monitorare l'implementazione del coinvolgimento degli stakeholder, della valutazione della resilienza e dei pacchetti di innovazione per tutti i CS nel corso del progetto; (iv) sviluppare e monitorare i Key Project Indicator; (v) sviluppare e coordinare le procedure di validazione dei pacchetti di innovazione in tutti i CS; (vi) fornire conoscenze e raccomandazioni basate su evidenze scientifiche a livello europeo.

Il CRS4 è coinvolto direttamente nel test case sardo (M8-M45) con capofila AGRIS (Agenzia per la ricerca in agricoltura in Sardegna), e partecipanti oltre il CRS4, UNICA (Università di Cagliari), BLGL (Blue Gold), UT (Università di Tours), LMU (Università di Monaco di Baviera) Questo caso studio esplora il nesso acqua-cibo-energia (WFE) nelle aree agricole della Sardegna meridionale per potenziare un sistema integrato di agricoltura e trasformazione resiliente ai cambiamenti climatici che consenta di aumentare la produzione alimentare sostenibile e la sicurezza alimentare, con particolare attenzione alla produzione di alimenti di base, nonché di preservare la fertilità naturale dei suoli agricoli. Questo obiettivo sarà raggiunto attraverso l'uso innovativo di tecnologie avanzate che implicano l'impiego di nuove varietà di sementi e fertilizzanti, pratiche agronomiche conservative come la lavorazione minima del terreno e/o la semina a zolle, tecnologie di telerilevamento per ottimizzare l'irrigazione e l'apporto di nutrienti, la valutazione dello stress idrico dinamico della

vegetazione, lo sviluppo di scenari idrologici per prevedere lo stress idrico futuro e l'ottimizzazione delle reti di stoccaggio e distribuzione dell'acqua in agricoltura. Questo approccio multidisciplinare implica incontri e focus group con le parti interessate (WP2, WP3). Nel WP8 (quello della divulgazione) si svolgeranno anche dimostrazioni pratiche nei campi in presenza di agricoltori e stakeholder.

Il WP6 è suddiviso in differenti attività ed il CRS4 è coinvolto nel WP6.2, WP6.3.

- Il WP6.2 (capofila: UT) prevede l'implementazione dell'approccio all'innovazione di sistema (SIA) in ogni caso di studio (durata M5-M45). Guidato dalla Roadmap generale del WP, questa attività si concentrerà sull'implementazione dell'approccio all'innovazione del sistema (SIA: come definito nel WP2) per tutti i CS. In particolare, questo compito identificherà gli stakeholder attraverso una mappatura dinamica degli stessi e implementerà le attività di coinvolgimento degli stakeholder per la co-creazione sviluppate nel WP2 in ogni CS. Questo compito svilupperà anche KPI specifici per monitorare i progressi di ogni CS, in collaborazione con gli stakeholder. Il risultato di questo compito sarà un deliverable combinato che descriverà l'implementazione del SIA in ogni CS
- IL WP6.3 Capofila: UNEXE (Università di Exter) prevede l'implementazione del quadro di resilienza in ogni caso di studio (M8-M45). Guidato dalla roadmap generale, questo task guiderà e coordinerà l'implementazione di tutte le attività di modellazione richieste in ogni CS per il quadro di modellazione della resilienza (WP3) e l'implementazione dei servizi di intelligence ambientale (WP4). Ogni CS ha un contenuto diverso in termini di requisiti di modellazione per l'implementazione del quadro di resilienza. Di conseguenza, in ogni CS le attività di modellazione includeranno (oltre agli strumenti generici dettagliati nei WP3 e WP4) ulteriori attività di modellazione specifiche per ogni caso, necessarie per la valutazione della resilienza ai rischi climatici. Tutte queste azioni saranno implementate e riportate nell'ambito di questo task.
- Il WP6.4 prevede lo sviluppo di pacchetti di innovazione e verifica in ogni caso di studio (M25-M48) con capofila AUEB (Università di Atene). Si identificheranno le innovazioni necessarie per ogni CS in collaborazione con il WP5, in modo da formare un pacchetto di innovazioni specifico per ogni CS, che sarà convalidato dalle parti interessate. La validazione sarà allineata alle procedure seguite in BRIGRID. L'attività svilupperà e proporrà anche gli strumenti finanziari necessari per l'attuazione delle innovazioni selezionate per ogni CS. Questi saranno definiti separatamente per ogni CS e saranno collegati alla governance e alle politiche.

WP7 (Aspetti finanziari e strumenti di finanziamento/modelli di business) mira a creare un portafoglio di soluzioni di finanziamento che collettivamente possano contribuire al miglioramento della resilienza di varie regioni. Ciò comporta il raggiungimento di obiettivi quali la prosperità economica, l'eliminazione della povertà estrema, l'adattamento al clima, il contenimento del riscaldamento antropico adottato nell'Accordo di Parigi. In altre parole, i governi/regioni/città devono investire in tecnologie che aiutino a raggiungere gli obiettivi dell'EGD per un'Europa sostenibile, giusta, digitale, inclusiva e neutrale dal punto di vista ambientale entro il 2050. Inoltre, gli investimenti per la ripresa economica dalla crisi COVID 19 devono consentire alle regioni e alle città di garantire la necessaria sostenibilità economica a lungo termine. Nella post-pandemia, gli investimenti non devono essere orientati a ripristinare la situazione precedente, ma devono aiutare le nazioni a ricostruire meglio. Sulla strada verso società sostenibili entro la metà del 21° secolo, è necessario un approccio sistemico per sfruttare le complementarità tra i diversi aspetti della transizione

verde, identificando le sinergie tra le parti interessate e i compromessi tra i diversi obiettivi di sostenibilità.

Il WP8 ha come obiettivi quelli di massimizzare l'impatto del progetto attraverso la sensibilizzazione, la comunicazione delle attività del progetto e la diffusione dei risultati. A tal fine, ARSINOE produrrà tutto il materiale promozionale e i canali di comunicazione necessari per garantire la visibilità e l'accesso ai soggetti interessati. Inoltre, questo WP garantirà la diffusione, lo sfruttamento, la sostenibilità e la creazione di valore aggiunto durante e oltre il ciclo di vita del progetto. Questo WP supporterà anche tutti i WP con le attività di divulgazione e comunicazione, in particolare con il coinvolgimento degli stakeholder e la comunicazione nei diversi casi. Più in dettaglio è strutturato in differenti e specifiche attività tutte volte alla massimizzazione dell'impatto, allo sfruttamento dei risultati, alla comunicazione, diffusione, sensibilizzazione e replicazione degli stessi.

3. Il test case Sardo.

La coltura del grano ha una grande importanza in Sardegna, come in tutta l'area mediterranea, in quanto è una delle principali fonti di cibo e sostentamento per la popolazione della regione. Il grano viene utilizzato per produrre una vasta gamma di alimenti, tra cui pane, pasta, biscotti e cereali per la colazione, ed è una fonte importante di carboidrati, fibre, vitamine e minerali. Inoltre, la coltura del grano ha una lunga storia nell'area mediterranea, che risale all'antichità. La regione ha una grande varietà di terreni e di condizioni climatiche, che la rendono adatta per la coltivazione di diverse varietà di grano, come il grano duro, il grano tenero e il farro. La coltura del grano ha anche un ruolo importante nella sostenibilità dell'agricoltura, in quanto è una coltura resistente alla siccità e alle condizioni climatiche avverse. Inoltre, la coltura del grano può essere integrata con altre colture, come ad esempio le leguminose, per migliorare la fertilità del terreno e ridurre l'utilizzo di fertilizzanti chimici. La coltura del grano ha anche un impatto economico significativo nella regione mediterranea, in quanto rappresenta un'importante fonte di reddito per gli agricoltori e l'industria alimentare. In molti paesi mediterranei, la coltura del grano è un'attività tradizionale che ha sostenuto la vita rurale e l'economia locale per secoli.

I cambiamenti climatici stanno avendo un impatto significativo sulla coltura del grano in tutto il mondo, compresa l'area mediterranea. In generale, gli effetti dei cambiamenti climatici sulla coltivazione del grano comprendono l'aumento delle temperature, la diminuzione delle precipitazioni e l'aumento della frequenza di eventi meteorologici estremi come siccità, alluvioni e ondate di calore. Uno degli effetti più importanti dei cambiamenti climatici sulla coltura del grano è l'aumento della frequenza e della gravità delle siccità. Le siccità possono danneggiare gravemente la produzione di grano, riducendo la resa e la qualità del raccolto. Inoltre, le siccità possono anche aumentare la diffusione di malattie e parassiti, che possono danneggiare il raccolto. Anche l'aumento delle temperature può avere un impatto negativo, in quanto può causare la riduzione dell'umidità del suolo e quindi la sofferenza delle piante. Le temperature medie più elevate possono anche accelerare il ciclo di crescita del grano, riducendo il periodo di sviluppo e quindi la resa del raccolto. Anche gli eventi meteorologici estremi come le alluvioni, le tempeste e le ondate di calore possono avere un impatto negativo. Tutti questi eventi possono contribuire a danneggiare le piante di grano, ridurre la qualità del prodotto e nei casi estremi a distruggere il raccolto.

Per mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici sulla coltura del grano, gli agricoltori possono adottare pratiche agricole sostenibili, come la rotazione delle colture, la

conservazione del suolo, l'irrigazione efficiente e l'utilizzo di varietà di grano resistenti alla siccità e alle alte temperature. Inoltre, è importante che i governi e le organizzazioni internazionali lavorino insieme per sviluppare politiche e strategie per mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici sull'agricoltura. Il test case sardo è centrato sullo studio della sostenibilità dell'irrigazione di soccorso per il grano duro mediante la sperimentazione di differenti scenari di irrigazione che saranno effettuati nei campi sperimentali di AGRIS localizzati nelle campagne di Ussana. L'irrigazione di soccorso è una pratica agricola che consiste nell'utilizzo di acqua aggiuntiva per le colture in caso di siccità prolungata. Questa pratica può essere utile per garantire la produzione di grano duro in condizioni di stress idrico, tuttavia, la sua sostenibilità dipende da diversi fattori.

Innanzitutto, la disponibilità di acqua per l'irrigazione di soccorso è un fattore importante da considerare. In alcune aree mediterranee, l'acqua è una risorsa limitata e preziosa, e l'utilizzo dell'acqua per l'irrigazione di soccorso potrebbe essere problematico se non vi è sufficiente disponibilità. Inoltre, l'acqua utilizzata per l'irrigazione di soccorso potrebbe provenire da fonti non rinnovabili, come ad esempio le falde acquifere, e l'utilizzo eccessivo di queste risorse potrebbe compromettere la loro sostenibilità a lungo termine. Un altro fattore da considerare è la gestione dell'irrigazione di soccorso. È importante che l'irrigazione venga effettuata in modo mirato, per evitare lo spreco di acqua e per garantire che l'acqua venga fornita alle piante al momento giusto. Inoltre, l'irrigazione di soccorso dovrebbe essere integrata con altre pratiche di gestione del suolo, come ad esempio la conservazione del suolo e la rotazione delle colture, per migliorare la sostenibilità del sistema agricolo. Infine, è importante considerare l'impatto ambientale dell'irrigazione di soccorso. L'utilizzo di acqua aggiuntiva può aumentare il rischio di erosione del suolo e di perdita di nutrienti, e potrebbe anche influire sulla qualità delle acque superficiali e sotterranee. Pertanto, è importante monitorare l'impatto ambientale dell'irrigazione di soccorso e adottare misure per mitigare gli eventuali effetti negativi.

In particolare il CRS4 oltre alle attività di monitoraggio diretto mediante dati telerilevati e indiretto tramite l'elaborazione di dati ambientali sia modellistici che da misure in situ si occuperà anche di caratterizzare gli aspetti energetici legati al maggior consumo di acqua in relazione all'irrigazione di soccorso. La produzione di grano e quindi di cibo insieme agli aspetti legati alla gestione della risorsa irrigua e dei consumi energetici vengono descritti in un contesto unificato che va sotto il nome di Water Energy Food nexus.

4. Attività svolta dal CRS4 in ARSINOE nel periodo M-18

Il CRS4 partecipa oltre che al WP di coordinamento WP1 ai task T6.2, T6.3, T6.4, T7.1. In quest'ultimo task l'impegno di personale è nullo.

Il periodo M1-M3 è stato utilizzato per decidere mediante riunioni congiunte del team che sviluppa il test case Sardo (AGRIS, CRS4, UNICA, BLGLD) la strategia più efficace per raggiungere gli obiettivi generali che il CRS4 ed il team sardo si prefiggevano nel progetto in modo da assicurare l'innovatività e la replicabilità del caso studio in differenti periodi ed aree geografiche.

Le maggior parte delle attività del CRS4 nel test case sardo ricadono nei T6.1. e T6.2 e come indicato nel grant agreement del progetto sono essenzialmente due:

1. strumenti per elaborare i dati di telerilevamento multispettrali di Sentinel II per la stima e il monitoraggio del potenziale di crescita a scala di campo per la coltura del grano duro;
2. stima della produzione di energia da fonti rinnovabili in uno scenario di CC per il

dimensionamento di un impianto fotovoltaico allo scopo di alimentare un ipotetico sistema di pompaggio per l'irrigazione del grano duro.

Schematicamente nel periodo M1-18 abbiamo:

- Sviluppato le procedure per la raccolta in tempo reale dei dati sentinel II, delle previsioni meteorologiche, dei dati climatici e dei dati misurati in situ.
- Creato un servizio web per la fruizione di dati e del modello aquacrop a supporto delle attività sul campo: <http://arsinoe.crs4.it>

In prosecuzione del piano di lavoro (M18-45) è prevista:

- La messa a punto e calibrazione fine mediante confronto con i dati collezionati nel web server del modello AquaCrop per la simulazione in tempo reale del sito di prova (gemello digitale)
- Intercomparazione dei modelli colturali aquacrop e...
- Messa a punto di un servizio web per lo studio di scenari alternativi, mediante l'uso interattivo del modello aquacrop: <http://arsinoe.crs4.it:8503/>

Nei paragrafi che seguono dopo avere argomentato le motivazioni alla base delle attività intraprese dal CRS4 nell'ambito del progetto ARSINOE daremo alcuni dettagli tecnici relativi alle attività elencate nei punti 1 e 2 del presente paragrafo. Il report si conclude con una sezione in cui si illustreranno le attività future per completare il piano di lavoro previsto.

4.1 Le motivazioni del lavoro del CRS4

Il monitoraggio delle colture con i dati telerilevati [7] consente di ottenere in tempo quasi reale preziose informazioni sulle colture e sui terreni coltivati. In particolare i dati multispettrali Sentinel II possono essere utilizzati per identificare le colture, mappare le aree coltivate, monitorare la crescita delle piante, valutare la salute delle colture, prevedere i rendimenti e fornire informazioni sulle condizioni climatiche e sulle risorse idriche. In letteratura sono discussi vari approcci al monitoraggio. In [1] vengono descritte le possibili applicazioni dei dati Sentinel-1, con o senza l'uso congiunto di dati Sentinel-2. Lo studio sottolinea l'interesse dei dati SAR e in particolare del rapporto VH/VV (polarizzazione orizzontale e verticale), poco documentato negli studi precedenti. Lo studio [2] dimostra che un approccio di apprendimento automatico che combina i dati Sentinel-2 con le informazioni ambientali è in grado di fornire stime relativamente accurate della variabilità della resa all'interno del campo quando sono disponibili i dati della mietitrebbia da calibrare. La combinazione di Sentinel-2 con i dati ambientali fornisce stime più accurate. Questo studio ha inoltre proposto un metodo che può essere adattato ad altre colture e località, quando sono disponibili dati di addestramento adeguati. In [3] sono stati utilizzati tre algoritmi di apprendimento automatico per la stima della resa del grano duro sulla base dei dati satellitari Sentinel-2 e confrontati con un modello di regressione lineare multipla basato su indici di vegetazione (VI-MLR). I risultati della modellazione sono stati esaminati rispetto ai dati di resa osservati. Tutti gli approcci di apprendimento automatico hanno mostrato performance superiori rispetto alla regressione lineare, quando sono state utilizzate tutte le immagini durante i periodi di crescita. Con Random Forest e KNN è possibile produrre previsioni precoci sulla resa sin da marzo, cioè 3 mesi prima del raccolto. In [4] l'obiettivo principale è identificare in quale fase di crescita del grano si ottiene un moderato accordo tra NDVI e resa, al fine di stabilire con precisione quante fasi di concimazione dovrebbero essere e con quale quantità di N. I risultati sono controversi perché in un terzo dei campi i risultati sono ragionevolmente buoni, mentre in altri lo sono meno e in alcuni non c'è accordo tra i valori NDVI e la resa del grano. Pertanto, sono necessari ulteriori studi per aumentare le

conoscenze su questo tema. In [5] si dimostra il potenziale della combinazione di indici derivati da Sentinel-2 e indici derivati da modelli colturali per costruire un modello di previsione della resa migliorato, adatto a campi in condizioni climatiche diversificate.

Il crop monitoring delle colture può essere molto utile anche per la gestione dell'irrigazione [8], in quanto può consentire di gestire in modo efficiente l'uso dell'acqua. I principali vantaggi del monitoraggio remoto delle colture per la gestione dell'irrigazione sono:

1. Il monitoraggio delle condizioni delle colture in tempo reale consente di rilevare i segnali di stress delle piante causati dalla mancanza o dall'eccesso di acqua, permettendo di intervenire tempestivamente per evitare eventuali danni alle piante e nello stesso tempo garantire un utilizzo efficiente della risorsa idrica.
2. Aiuta a pianificare l'irrigazione fornendo informazioni spazialmente distribuite sulle esigenze di acqua e con i dati SAR anche una stima della quantità di acqua che effettivamente raggiunge le radici. Ciò consente di pianificare l'irrigazione in modo più accurato, evitando anche in tal caso inutili sprechi.
3. Consente di gestire l'irrigazione a distanza tramite l'utilizzo di sistemi automatizzati interconnessi, permettendo di risparmiare tempo e risorse ed evitando la necessità della presenza in loco degli operatori necessaria per l'irrigazione manuale.
4. La riduzione degli sprechi di acqua e il miglioramento dell'efficienza del suo utilizzo consente di promuovere la sostenibilità ambientale e la gestione responsabile delle risorse naturali.

Riassumendo è evidente che il monitoraggio remoto delle colture può essere un potente strumento per la gestione dell'irrigazione, in quanto può consentire di monitorare le condizioni delle colture in tempo reale, pianificare l'irrigazione in modo preciso, gestire l'irrigazione a distanza e favorire la sostenibilità ambientale.

Un altro valido aiuto per l'ottimizzazione dell'irrigazione può venire dall'uso delle previsioni meteorologiche [9] ed in principio anche da quelle stagionali [10] una volta che sia dimostrato che hanno skill apprezzabili.

Avere informazioni sulle condizioni meteorologiche previste, come precipitazioni, temperatura, umidità e velocità del vento può aiutare a regolare il programma di irrigazione e a ottimizzare la quantità d'acqua utilizzata in funzione del tipo di coltura e del risultato atteso. Alcuni esempi specifici di vantaggio che può derivare dall'utilizzo delle previsioni meteorologiche per la pratica irrigua sono i seguenti:

1. Determinare con precisione quando irrigare. Sapere in anticipo quando pioverà e quanto può consentire di regolare il programma di irrigazione e di conseguenza risparmiare acqua, energia e denaro.
2. Regolare la frequenza di irrigazione. In base alla temperatura e all'umidità previste, si può regolare la frequenza di irrigazione per evitare di irrigare troppo o troppo poco. Ad esempio, se si prevedono alte temperature, potrebbe essere necessario innaffiare le piante più frequentemente. Al contrario, se si prevedono temperature basse e clima umido, potrebbe essere meglio irrigare meno frequentemente.
3. Determinare l'esatta quantità d'acqua da utilizzare. Se le previsioni indicano temperature elevate, bassa umidità e vento intenso potrebbe essere necessario aumentare la quantità d'acqua applicata per compensare l'aumento dell'evapotraspirazione.
4. Regolare i tempi di irrigazione. Se le previsioni indicano venti forti, sarà meglio ritardare di qualche giorno per evitare inutili perdite d'acqua dovute all'eccessiva evaporazione.

In generale, utilizzando le previsioni meteorologiche per ottimizzare l'irrigazione, è possibile risparmiare acqua, energia e denaro, garantendo alle piante la quantità d'acqua ottimale di cui hanno bisogno per crescere.

Potenzialmente anche le previsioni stagionali potrebbero essere utilizzate per pianificare l'irrigazione a lungo termine. Ad esempio, se si prevede una stagione estiva più calda e secca del solito, potrebbe essere necessario irrigare i campi più frequentemente o in anticipo rispetto alla reale necessità del momento e in generale utilizzare tecniche di irrigazione più efficienti. Tuttavia, è importante notare che poiché le previsioni stagionali non hanno mostrato sinora un grado di accuratezza tale da poter essere usate per pianificare attività a così lunga scadenza, è opportuno che gli agricoltori continuino a monitorare attentamente le condizioni del suolo e delle colture per assicurarsi di irrigare in modo appropriato e questo è un altro motivo a sostegno della soluzione da noi individuata. In ogni caso non escludiamo nello svolgimento delle attività progettuali di verificare anche il potenziale utilizzo delle previsioni stagionali se non altro per evidenziare quali siano gli attuali limiti legati allo scarso valore predittivo delle stesse.

Abbiamo visto come il monitoraggio colturale e l'uso congiunto delle previsioni meteorologiche possano fornire un utile strumento per ottimizzare la resa della coltura, e quindi la produzione di cibo, e l'utilizzo dell'acqua. Sinora abbiamo tuttavia trascurato la componente ambientale nelle nostre considerazioni ed in particolare quella legata al consumo energetico derivante dalle tecniche di coltivazione come aratura, dissodatura, concimazione, raccolto ed irrigazione. Il WEF nexus è un quadro di lavoro [11] che prova ad affrontare le interconnessioni tra i sistemi idrico, energetico e alimentare assumendo che questi siano inestricabilmente legati e che le azioni in uno degli aspetti possano avere significativi impatti sugli altri. L'approccio WEF favorisce un processo decisionale integrato e olistico, mediante lo sviluppo di politiche e investimenti che tengano conto dei possibili equilibri e sinergie tra i 3 aspetti. In generale, il WEF nexus è stato accolto positivamente e ha ottenuto consensi tra i decisori politici, i ricercatori e i professionisti di tutto il mondo. L'approccio è considerato un modo promettente per affrontare alcune delle sfide globali più pressanti, come la scarsità di acqua, i pericoli a cui è esposta la sicurezza alimentare e l'accesso all'energia. Promuovendo un approccio integrato e più sostenibile alla gestione delle risorse, il nesso WEF ha il potenziale per contribuire a ridurre il degrado ambientale, migliorare la crescita economica e aumentare il benessere sociale. Ciononostante, l'approccio del WEF è anche oggetto di critiche. Alcuni sostengono infatti che l'approccio è troppo tecnocratico e potrebbe non considerare adeguatamente i fattori politici, sociali e culturali che determinano l'uso e la gestione delle risorse. Altri suggeriscono che il nesso WEF possa rafforzare gli squilibri di potere e le disuguaglianze esistenti, in particolare nei Paesi in via di sviluppo, dove i gruppi emarginati possono avere un accesso limitato alle risorse e ai processi decisionali. In generale non si può negare che il WEF sia un quadro di lavoro utile per promuovere pratiche di gestione delle risorse più integrate e sostenibili. Tuttavia, è importante anche riconoscerne i limiti e continuare a perfezionare l'approccio per affrontare le complesse sfide della sicurezza idrica, energetica e alimentare in modo equo e inclusivo.

A conclusione della valutazione della bibliografia in relazione agli obiettivi generali del progetto ARISNOE, e tenuto conto delle specifiche esigenze legate al caso studio sardo, si è deciso di realizzare un'infrastruttura web in grado di archiviare e fornire su richiesta tutti i dati necessari per comprendere lo stato attuale, passato e stimare nel miglior modo quello futuro che possono influire sulla coltura del grano duro nel campo sperimentale in Sardegna. Questo consentirà di fornire indicazioni preziose per la gestione ottimale dell'irrigazione di

soccorso secondo i principi generali illustrati in precedenza. Inoltre, verranno sviluppate metodologie per la stima del potenziale di produzione di energia da fotovoltaico, al fine di calcolare la quantità di superficie per produrre l'energia necessaria per supportare l'irrigazione di soccorso in un contesto di cambiamento climatico futuro. Quest'ultima parte del lavoro fornirà una descrizione integrata del sistema colturale, irriguo ed energetico, in linea con il contesto descritto dal nesso WEF.

4.2 L'infrastruttura Web Arsinoe per il caso di prova sardo

Il CRS4 ha progettato e realizzato un'infrastruttura WEB e un portale per l'utente finale che contiene dati e applicazioni relativi alle attività del test case sardo. Il portale è ospitato presso il CRS4 ed è disponibile all'indirizzo: <http://arsinoe.crs4.it/>.

Il portale è composto da un modulo backend e da un modulo front-end, entrambi scritti in linguaggio python. Il backend è responsabile della gestione e del recupero dei dati e contiene un database storico per l'area circostante i campi di prova. Include i servizi di base per il funzionamento del sistema, la gestione dei dati spaziali, il servizio di archiviazione delle misure storiche, le procedure per il popolamento dei dati satellitari e meteorologici, il recupero dei dati e la gestione e il funzionamento del modello di acquacoltura aquacrop. Il front-end fornisce l'accesso ai dati satellitari e meteo-climatici e ai risultati delle simulazioni del modello attraverso l'interfaccia web.

La maggior parte dei dati gestiti dal progetto è di natura geografica, in particolare di tipo raster, costituita da informazioni strutturate come matrici di pixel che contribuiscono a descrivere specifiche grandezze fisiche del territorio. Queste "istantanee" si riferiscono a misure in un momento specifico, e una loro sequenza temporale consente quindi una valutazione della variabilità nello spazio e uno studio dell'evoluzione nel tempo.

Il sistema raccoglie, attraverso procedure automatizzate e temporizzate, informazioni multidimensionali da fonti eterogenee, quali la missione multispettrale Copernicus Sentinel-2, GFS, Weather forecast ICON, ERA5LAND, ecc. per l'intero territorio regionale della Sardegna, che vengono filtrate attraverso il ritaglio dell'area o del punto descrittivo di quella grandezza fisica per l'area studiata.

Il frontend è il portale rivolto all'utente e visualizza le query e le interfacce applicative. È costituito da moduli quali un livello API (Application Programming Interface) per la navigazione e il caricamento/scaricamento dei dati, documentazione ed esempi di API e un'interfaccia personalizzata per il modello Aquacrop e la visualizzazione dei dati. È sviluppato utilizzando Python e il framework Streamlit.

Questi moduli comunicano tra loro attraverso la rete, utilizzando un livello API HTTP/REST, che utilizza semplici chiamate HTTP per elaborare e trasferire informazioni tipicamente in formato JSON e CSV.

Il portale è composto dai seguenti moduli:

- servizio di archiviazione delle misure storiche;
- implementazione di catene di dati ETL (extract, transform, load);
- procedure di popolamento e indicizzazione dei dati satellitari e meteorologici;
- API per la consultazione e l'upload/download di dati numerici;
- API per la visualizzazione di mappe raster;
- API per il tracciamento di carte storiche;
- Documentazione ed esempi di API
- Interfaccia del modello di acquacoltura

Il database spaziale è progettato per gestire dati raster ad alta dimensionalità, cioè dati su

griglie regolari e georeferenziate (a partire da sistemi di coordinate eterogenei), multi-banda, multi-temporali. Per questo motivo, è stato utilizzato un sistema di indicizzazione e archiviazione che gestisce le componenti spaziali e temporali.

4.2.1 Servizio di archiviazione dati

L'utilizzo del file system per l'archiviazione dei dati, rispetto a un database strutturato, può offrire diversi vantaggi quando si tratta di archiviare dati storici. La struttura gerarchica dei file e delle directory consente un accesso facile e casuale ai dati, mentre i dati atomici vengono memorizzati in file come CSV o JSON. Questi file possono essere facilmente rintracciati attraverso il loro percorso e il loro nome, rendendo facilmente disponibili le funzioni di indicizzazione.

I file system sono in genere ottimizzati per grandi quantità di dati e forniscono tempi di accesso rapidi, il che li rende ideali per i dati storici. Inoltre, sono spesso dotati di funzionalità di ridondanza e backup integrate, che garantiscono l'integrità dei dati e la protezione contro le perdite dovute a guasti hardware o altri problemi.

Inoltre, i file system sono facilmente accessibili e manipolabili attraverso vari strumenti e script, il che li rende comodi per l'analisi e la gestione dei dati. Nel complesso, l'utilizzo di un file system per l'archiviazione dei dati storici rappresenta un modo affidabile ed efficiente per archiviare e gestire grandi quantità di dati nel tempo.

Questa soluzione è adatta al contesto del progetto, tuttavia, con l'aumentare della complessità, l'uso di un database di file system può soffrire di problemi quali la limitata scalabilità, l'impossibilità di utilizzare indici diversi dal nome del file e le limitazioni nelle query.

La tabella seguente elenca i parametri fisici attualmente presenti nel database del server web, la loro estensione temporale e il percorso relativo nel file system che ospita il server.

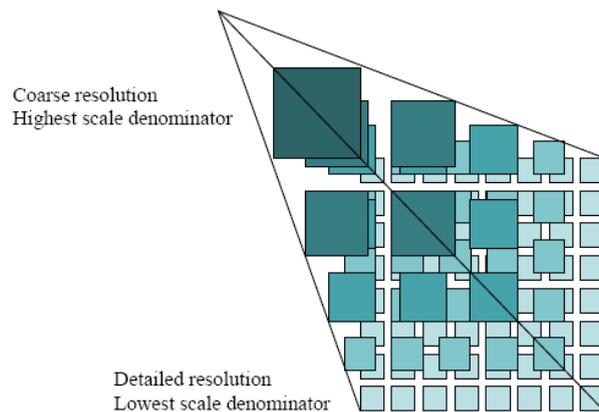
Dataset	Site	Time range	Path
Sentinel-2	Ussana	11-2018 / 01-2023	/DATA/sentinel2
Sentinel-2 NDVI	Ussana	2018 / 2022	/Data/ndvi
Era5Land	Ussana	03-2017 / 12-2021	/Data/era5land
ICON	Ussana, Cagliari	04-2022 / 01-2023	/Data/icon
GFS	Ussana, Cagliari	04-2022 / 01-2023	/Data/gfs
GENS	Ussana, Cagliari	04-2022 / 01-2023	/Data/gens

4.2.2 Dati spaziali

Per la memorizzazione dei dati spaziali raster è stata scelta una soluzione che utilizza lo standard Tile Map Service (TMS). Questo standard è molto simile al formalismo utilizzato da Open Street Map o da Google Maps o da servizi simili per la rappresentazione grafica, e consente di dividere e proiettare l'intero pianeta in porzioni (Tiles) per consentire l'indicizzazione e la mappatura (Web Mercator). Il TMS è utilizzato come paradigma per l'archiviazione delle informazioni geografiche.

In questo approccio, i dati spaziali originali sono suddivisi in sottodomini chiamati TILES di dimensioni 256x256 celle, che conservano la migliore approssimazione dell'informazione

originale, interpolata al livello TMS più vicino ai dati originali (ora chiamato Livello massimo). Il Tile rappresenta una porzione di territorio visualizzata con una proiezione Web Mercator. La topologia semplificata consente di ragionare in termini di Tile, riducendo al minimo le informazioni necessarie per descrivere la posizione. La dimensione temporale è considerata costante per tutte le celle di un dato Dataset. Come già detto, tutte le Tile contengono 256x256 celle (pixel), dove la singola cella rappresenta l'entità atomica del database. Le celle di Livello Massimo contengono i dati più piccoli riferibili a una porzione di territorio ben definita e ben identificata (datum + sistema di proiezione) e le coordinate dei vertici della cella.



È importante notare che per l'elaborazione, e in particolare per l'elaborazione numerica, vengono utilizzati i dati del livello massimo, che è il più dettagliato e la migliore approssimazione dei dati satellitari originali. Le informazioni dei livelli meno dettagliati sono implementate solo a scopo di visualizzazione, essendo una proiezione piana interpolata (e precalcolata) ai diversi livelli di zoom, sovrapposta ai sistemi cartografici disponibili sul web.

Il dataset spaziale principale utilizzato nel caso di test di Arsinoe Sardinia è il dato Copernicus/sentinel-2 Level2A, con le seguenti bande:

Name	Description	Tile Zoom
B01	Coastal aerosol	11
B02	Blu (visibile)	14
B03	Verde (visibile)	14
B04	Rosso (Visibile)	14
B05	Vegetation Red Edge	13
B06	Vegetation Red Edge	13
B07	Vegetation Red Edge	13
B08	NIR - Near Infrared	14
B8A	Vegetation Red Edge	13
B09	Water Vapour	11
B11	SWIR - Short Wave Infrared	13
B12	SWIR - Short Wave Infrared	13

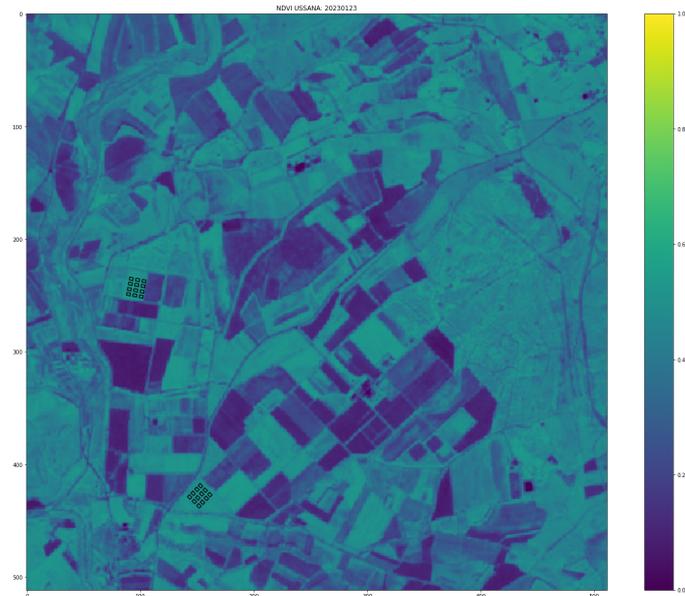
4.2.3 API

Le REST-API sono utilizzate per il recupero e la visualizzazione dei dati. Forniscono un punto di accesso programmatico alle informazioni memorizzate nel database e consentono di effettuare richieste specifiche per ricevere risultati formattati per l'uso diretto nell'applicazione frontend. Le API possono essere utilizzate per supportare diversi tipi di richieste, come il recupero di dati numerici, la visualizzazione di dati geografici su una mappa, il tracciamento di diagrammi storici o la creazione di report personalizzati. In questo modo, le API offrono una soluzione flessibile e personalizzabile per l'accesso ai dati geografici, consentendo la creazione di applicazioni avanzate e la visualizzazione intuitiva e accattivante delle informazioni geografiche.

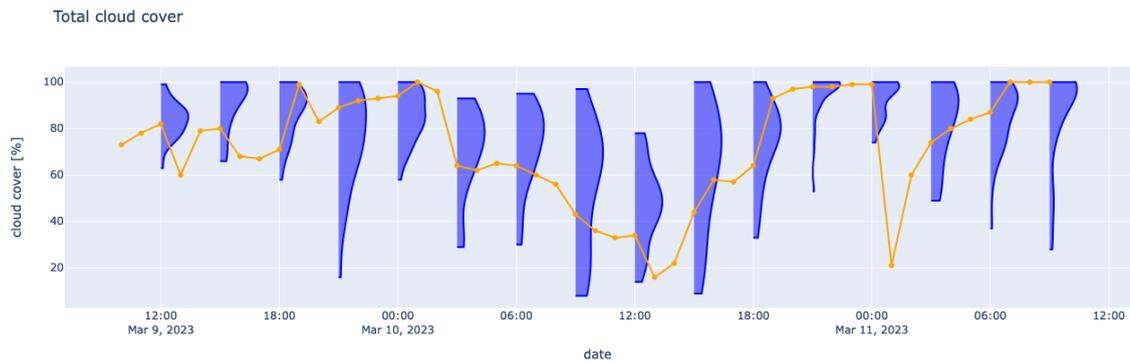
Per questi scopi sono stati implementati diversi endpoint:

Endpoint	Description
/view/gfs/{site}	Diagram Plot: 48 hours weather forecast in a demonstration site from GFS
/api/gfs/{site}/{field}	48 hours weather forecast in a demonstration site from GFS
/api/icon/{site}/{field}	Weather forecast ICON limited area model
/api/sentinel2/{site} /api/sentinel2/{site}?date=YYYYMMDD	Sentinel-2 multispectral bands data in pkl (python pickle) file format
/api/sentinel2_ndvi_image/{site}	Sentinel-2 NDVI last reedered png Image
/api/sentinel2_ndvi_timeseries/{site}	Sentinel2 time series of NDVI on test site
/api/era5land/{site}	ERA5LAND
/api/arsinoe/pvgis/{site}	Photovoltaic energy production estimate csv
/view/arsinoe/pvgis/Ussana?tilt=35&azimuth=180	Photovoltaic energy production estimate plot

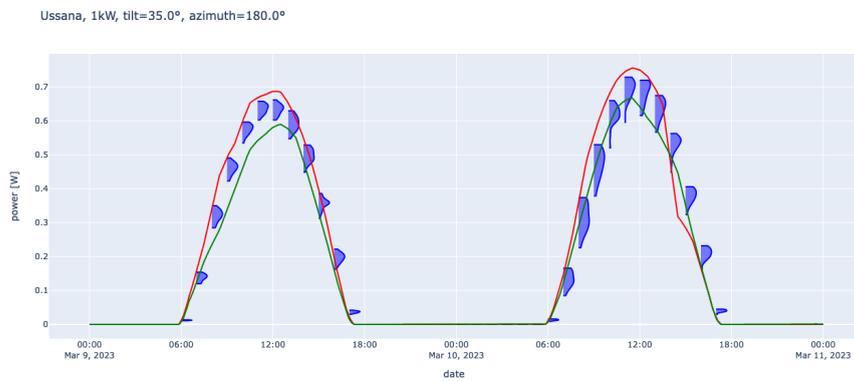
I dati possono essere scaricati sia in forma numerica nel formato json tramite gli endpoint /api/ oppure visualizzati direttamente nel browser mediante gli endpoint /view/. Alcuni esempi di visualizzazione direttamente nel browser sono mostrati nel seguito. Questa modalità standardizzata di accesso ai dati attualmente ospitati nel server, ed eventuali altri che se ne andranno ad aggiungere, verrà utilizzata nel prosieguo delle attività di progetto per realizzare le procedure anche esterne al server che ci permetteranno di raggiungere gli obiettivi generali illustrati alla fine del paragrafo 4.1.



Esempio di prodotto NDVI ottenuto raccogliendo i dati dal server web arsinoe.crs4.it. Sovrapposti alla mappa NDVI intorno all'azienda AGRIS situata a Ussana (Sardegna), sono mostrati i campi prova oggetto di studio (due gruppi di dodici piccoli rettangoli nella parte centro-occidentale e sud-occidentale del dominio).



Previsione probabilistica per la nuvolosità sul sito studio ottenuto con la query: <http://arsinoe.crs4.it/view/gfs/Ussa>



Previsione probabilistica per la produzione fotovoltaica sul sito studio con query: <http://arsinoe.crs4.it/view/arsinoe/pvgis/Ussana?tilt=35&azimuth=180>

4.2.4 Dati meteo-climatici di pubblico dominio

In questo paragrafo sono descritti i dati meteo-climatici di pubblico dominio disponibili sul portale ARSINOE. Essi si dividono in dati di rianalisi (ERA5-Land), dati da previsione meteorologica a scala globale (GFS), dati da previsione meteo a scala limitata (ICON) e dati da previsione globale probabilistica (GENS).

- ERA5-Land è un dataset di rianalisi che fornisce una visione coerente per diversi decenni dell'evoluzione delle variabili esclusivamente sulla terraferma, escludendo quindi la superficie dei mari. Questa rianalisi, che è una diretta discendente di ERA5, come descritto nella sezione successiva, poiché è stata prodotta utilizzando la componente terrestre della stessa rianalisi, ha una risoluzione più elevata rispetto alla sua progenitrice. ERA5-Land utilizza le variabili atmosferiche di ERA5, come temperatura e umidità dell'aria, come forzanti atmosferiche. Le osservazioni non sono quindi utilizzate direttamente nella produzione di ERA5-Land, ma hanno un'influenza indiretta attraverso il forcing atmosferico: in questo modo, le stime fornite dal modello non possono discostarsi rapidamente dalla realtà. La temperatura, l'umidità dell'aria e la pressione fornite da ERA5 sono corrette per la differenza di altitudine tra la griglia di forzatura e la griglia a più alta risoluzione di ERA5-Land. Per questo dataset, come per tutti i dataset di rianalisi, bisogna considerare che l'incertezza associata alla stima del modello aumenta man mano che si va indietro nel tempo, poiché il numero di osservazioni disponibili per creare il forcing atmosferico è ridotto; pertanto, alle variabili di ERA5-Land può essere associata la stessa incertezza delle corrispondenti variabili di ERA5. I dati sono forniti su una griglia regolare latitudine longitudine estesa su tutto il globo. La risoluzione è $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ (circa 9 km). La copertura verticale va da 2 metri sopra la superficie fino alla profondità di 289 cm, sotto la superficie la struttura verticale è definita su 4 livelli: 0 -7 cm, 7 -28 cm, 28-100 cm, 100-289 cm. Il prodotto è disponibile in formato GRIB dal gennaio 1950 fino ad oggi a cadenza oraria. I dati più recenti vengono forniti con ritardi temporali di circa 3 mesi. Questo dataset è utilizzabile anche per i decisori politici, le aziende e i privati che necessitano informazioni accurate sullo stato del terreno per aumentare la loro comprensione delle dinamiche della vegetazione in relazione alle forzature atmosferiche.

Name	Description
10m u-component of wind (m/s)	Componente orientale del vento a 10 metri. È la velocità orizzontale dell'aria che si muove verso est, ad un'altezza di dieci metri sopra la superficie della Terra, in metri al secondo.
10m v-component of wind (m/s)	Componente nord del vento a 10 metri. È la velocità orizzontale dell'aria che si muove verso nord, ad un'altezza di dieci metri sopra la superficie della Terra, in metri al secondo.
2m dewpoint temperature (K)	Temperatura alla quale l'aria, a 2 metri sopra la superficie della Terra, dovrebbe essere raffreddata perché si verifichi la saturazione; è una misura dell'umidità dell'aria.

2m temperature (K)	Temperatura dell'aria a 2 metri sopra la superficie della terra, del mare o delle acque interne.
Total precipitation (m)	Acqua liquida e congelata accumulata, compresa la pioggia e la neve, che cade sulla superficie terrestre.
Volumetric soil water layer 1 (m3/m3)	Volume di acqua nello strato 1 del suolo (0 - 7 cm)

- I dati di previsione GFS sono prodotti dal modello di previsione GFS (Global Forecast System) sviluppato dal NCEP (National Center for Environmental Prediction), il servizio di previsioni meteorologiche degli Stati Uniti. Con le misurazioni delle variabili atmosferiche effettuate in ognuna delle ore sinottiche (0,6,12,18) dal WMO (World Meteorological Organisation), il centro meteorologico statunitense produce una condizione iniziale per il suo modello meteorologico, che viene chiamata analisi. Grazie alla simulazione effettuata con questo strumento, con analisi per ciascuna delle ore sinottiche, i dati previsti per tutte le variabili atmosferiche e al suolo sono disponibili sull'intero globo. Nella sua configurazione operativa, il dominio del GFS è l'intero globo e la sua risoluzione orizzontale di base è di 28 chilometri, per i primi otto giorni di simulazione. La risoluzione orizzontale scende a 70 chilometri per le previsioni tra una settimana e due settimane.
- Il modello meteorologico e climatico non idrostatico icosaedrico ICON (<https://code.mpimet.mpg.de/projects/iconpublic>) è il risultato di un progetto congiunto tra il Servizio Meteorologico Tedesco e l'Istituto Max Planck per la Meteorologia per sviluppare un sistema unificato di previsione numerica globale e di modellazione del clima. Il modello ICON è stato introdotto nel sistema di previsione operativo del Servizio meteorologico tedesco (DWD) nel gennaio 2015. Oltre a fare le previsioni più dettagliate per il dominio ristretto intorno al territorio tedesco, produce una simulazione a risoluzione intermedia (7 km) su un dominio che copre l'intera Europa occidentale. Le previsioni orarie fino a +72 ore per gli stessi parametri utilizzati con GFS sono scaricate per ciascuna delle 4 corse giornaliere del modello ICON.
- Il Global Ensemble Forecast System (GEFS) è un modello meteorologico creato dai National Centers for Environmental Prediction (NCEP) che genera 21 previsioni separate (membri dell'ensemble) per valutare le incertezze delle misure, legate alla copertura limitata delle stesse, alle distorsioni degli strumenti di misura o dei sistemi di osservazione e ai limiti del modello stesso. GEFS quantifica queste incertezze generando previsioni multiple, che a loro volta producono una gamma di risultati potenziali basati su differenze o perturbazioni applicate ai dati dopo che questi sono stati incorporati nel modello.

4.2.5. Applicazione Web del modello Aquacrop

Il servizio web sviluppato dal CRS4 in ARSINOE ha la funzione di essere uno strumento di gestione delle colture che consente agli agricoltori di prendere decisioni più informate sulla

gestione dell'acqua, sugli investimenti per l'irrigazione ed aumentare la resilienza ai cambiamenti climatici futuri. AquaCrop viene utilizzato in questo contesto per simulare l'impatto sulle colture delle decisioni di gestione dell'acqua e della variabilità del clima al fine di fare scelte ottimali di irrigazione a livello di campo ora e in futuro nel sito di studio sardo di ARSINOE ad Ussana.

In questo paragrafo descriviamo la creazione del servizio web per la fruizione del modello di crescita colturale AquaCrop a supporto delle attività sul campo. Attività future prevedono la calibrazione fine del modello AquaCrop per la simulazione in tempo reale del sito di prova (gemello digitale), la comparazione con modelli colturali differenti e lo studio di scenari climatici alternativi.

AquaCrop è un modello di crescita delle colture sviluppato dall'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Alimentazione e l'Agricoltura (FAO) per affrontare il problema della sicurezza alimentare e valutare l'effetto dell'ambiente e della gestione sulla produzione delle colture. AquaCrop simula la risposta dei raccolti all'acqua ed è particolarmente adatto alle condizioni in cui l'acqua è un fattore limitante per la produzione agricola. AquaCrop bilancia accuratezza, semplicità e robustezza. Per garantire la sua ampia applicabilità, utilizza solo un numero ridotto di parametri espliciti e variabili di input per lo più intuitive che possono essere determinate con metodi semplici. AquaCrop-OSPy è un'implementazione in python del popolare modello AquaCrop, costruito a partire dal codice sorgente di AquaCrop-OS. Si tratta di un modello di simulazione utilizzato per prevedere la crescita e la resa delle colture in diverse condizioni ambientali e strategie di gestione dell'acqua, così come il suo progenitore AquaCrop-OS. Per poter ottenere previsioni sulle necessità idriche della pianta AquaCrop utilizza solo un numero ridotto di parametri espliciti e variabili di input per lo più intuitive che possono essere determinate con metodi semplici. Essi sono:

- un set di dati climatici relativi al periodo in cui si vuole seguire la crescita colturale
- informazioni sulla tipologia di terreno in cui vengono effettuate le colture
- informazioni sulla coltura
- la data di semina

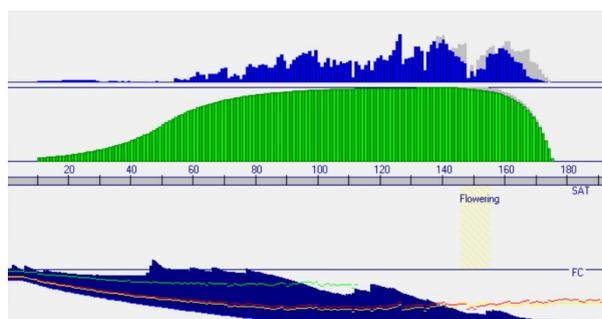
Nella fase di test abbiamo scelto come dati climatici quelli forniti dal dataset di rianalisi ERA5. Questo dataset climatico, progenitore di ERA5-Land descritto nel paragrafo precedente, è la più recente rianalisi dell' ECMWF. La rianalisi combina i dati dei modelli con le osservazioni provenienti da tutto il mondo in un set di dati completo e coerente a livello globale, utilizzando le leggi della fisica. ERA5 fornisce stime orarie per un gran numero di grandezze atmosferiche, oceaniche e relative alla superficie terrestre permettendoci di conoscere con regolarità spaziale e temporale il clima del passato a partire dal 1950. I dati di ERA5 sono stati ricalibrati su una griglia regolare lat-lon di 0,25 gradi. ERA5 fornisce le variabili meteo-climatiche di cui AquaCrop necessita. Esse sono:

- Evaporazione potenziale (m): Questo parametro misura la misura in cui le condizioni atmosferiche prossime alla superficie sono favorevoli al processo di evaporazione. Di solito si considera la quantità di evaporazione, nelle condizioni atmosferiche esistenti, da una superficie di acqua pura che ha la temperatura dello strato più basso dell'atmosfera e fornisce un'indicazione della massima evaporazione possibile.
- Temperatura massima a 2 metri dalla precedente post-elaborazione (K): Questo parametro è la temperatura più alta dell'aria a 2 m dalla superficie.
- Temperatura minima a 2 m dalla precedente post-elaborazione (K): Questo parametro è la temperatura più bassa dell'aria a 2 m dalla superficie.

- Precipitazioni totali (m) : Questo parametro è l'acqua liquida e ghiacciata accumulata, comprendente pioggia e neve, che cade sulla superficie terrestre.

Per il futuro abbiamo individuato ed acquisito il dataset fornito dal Dipartimento di Protezione Civile della Sardegna, che consta di dati da sensori raccolti dalle stazioni a terra della rete di monitoraggio meteo-idro-pluviometrico della Regione Sardegna. In questo modo potremo integrare il modello AquaCrop in modo che operi sul web con dati attuali raccolti nell'area del test case di Ussana invece che con i dati storici di ERA5.

Per la messa a punto del modello colturale del test case sardo sono state eseguite 8 simulazioni dal 1994 al 2011 su 8 stagioni di produzione del grano. I dati di input relativi al terreno e al tipo di coltura sono stati estratti da [6] in cui viene usato il modello Aquacrop per la simulazione dell'impatto dei cambiamenti climatici sulla produzione del grano in Sardegna, in un campo sito vicino al nostro test case. I dati meteorologici per il periodo di coltivazione che viene simulato sono stati estratti dal dataset ERA5: questi includono una serie temporale giornaliera di temperature minime e massime [C], precipitazioni [mm] ed evapotraspirazione della coltura di riferimento [mm]. Per importare questi dati nel modello, abbiamo creato un file in formato testo contenente i dati meteorologici rilevanti. La selezione di un tipo di suolo per una simulazione di AquaCrop avviene fornendo in formato testo tutte le proprietà compositive e idrauliche necessarie per la definizione del terreno. Il modo più semplice per selezionare un suolo è quello di utilizzare uno dei tipi di suolo incorporati, presi dalle impostazioni predefinite di AquaCrop. Nel nostro caso di studio, dobbiamo selezionare un terreno "sandy loam". Il tipo di coltura utilizzato in questa simulazione di prima ipotesi viene selezionato in modo simile al suolo ossia tra le impostazioni predefinite di Aquacrop più simili all'articolo di riferimento. Per selezionare una coltura è necessario specificare il tipo di coltura e la data di semina. L'utente può modificare i parametri delle colture integrate o creare colture personalizzate: questo sarà il passo successivo per affinare la calibrazione del modello sul sito di Ussana. Ulteriore informazione da specificare è il contenuto di acqua nel suolo all'inizio della simulazione, cioè alla semina. Il contenuto d'acqua iniziale è la Capacità di campo (FC) per l'intero profilo del suolo. Ulteriori componenti del modello che si possono specificare sono la gestione dell'irrigazione, la gestione del campo e le condizioni delle acque sotterranee, che nella nostra simulazione non sono stati utilizzati. È necessario infine per completare la modellazione ed avviare la simulazione specificare la data di inizio e di fine della stessa che normalmente coincidono con la data di semina della coltura e con la data di raccolta. E' possibile ottenere degli stati intermedi eseguendo il modello per un numero di giorni definito. Terminata la simulazione, il modello produce quattro diversi file di output. L'output water_flux mostra le variabili del flusso idrico giornaliero, come l'accumulo totale di acqua. L'output water_storage mostra l'accumulo giornaliero di acqua in ogni compartimento. L'output crop_growth riporta le variabili giornaliere relative alle colture, come la copertura delle chiome. L'output final_stats elenca la resa finale e l'irrigazione totale per ogni stagione.



Esempio di prodotto di una simulazione Aquacrop effettuata in un campo dell'azienda AGRIS situata a Ussana (Sardegna). Rappresenta l'annata di produzione del grano 2011-2012 con data di semina 18 dicembre 2011

Nella figura, il primo grafico mostra la traspirazione effettiva (blu) rispetto alla traspirazione massima rispetto allo sviluppo effettivo della coltura (grigio), il secondo grafico mostra lo sviluppo della copertura della chioma verde (verde) rispetto allo sviluppo non limitante della coltura (grigio) e il terzo grafico mostra l'impoverimento della zona radicale, la linea verde è la soglia per l'espansione della chioma, la linea rossa è la soglia per la chiusura stomatica e la linea rossa è la soglia per la senescenza precoce.

Il modulo Aquacrop è sviluppato con il framework Streamlit, una libreria open-source per Python che facilita la creazione di applicazioni interattive e user-friendly per il frontend. È stata progettata per essere utilizzata con modelli di data science e di apprendimento automatico e consente agli sviluppatori di creare rapidamente applicazioni basate sul web. Streamlit fornisce un'API di alto livello per la creazione di interfacce utente, in modo che gli sviluppatori possano concentrarsi sulla scrittura della logica delle loro applicazioni e lasciare che Streamlit gestisca i dettagli di basso livello del rendering dell'interfaccia in un browser. Le applicazioni Streamlit sono scritte in Python e possono essere eseguite localmente o distribuite sul web, il che le rende un'ottima scelta per gli scienziati e gli ingegneri dell'apprendimento automatico che vogliono condividere il loro lavoro con altri.

Lo sviluppo del modulo AquaCrop ha comportato le seguenti fasi:

- Installazione di Streamlit e risoluzione dei problemi relativi all'ambiente virtuale Python;
- Definizione dell'interfaccia utente: Streamlit fornisce un'API di alto livello per la creazione di interfacce utente, consentendoci di scrivere codice Python per definire l'aspetto e l'interazione dell'interfaccia con l'utente. Questo codice è stato utilizzato per creare un'interfaccia utente con componenti quali campi di input, pulsanti e grafici, che consentono agli utenti di interagire con il modello AquaCrop;
- Collegamento del modello: Dopo aver definito l'interfaccia utente, l'abbiamo collegata al modello AquaCrop scrivendo il codice che esegue il modello quando l'utente interagisce con l'interfaccia;
- Esecuzione dell'applicazione: Dopo aver collegato il modello e l'interfaccia utente, l'applicazione può eseguire il modello nell'ambiente virtuale del server e restituire i risultati nel browser web dell'utente.

Utilizzando Streamlit per sviluppare l'applicazione frontend, siamo stati in grado di creare un'interfaccia interattiva e di facile utilizzo per l'esecuzione del modello AquaCrop,

rendendolo più facile da usare e fornendo un modo conveniente per visualizzare e interagire con i risultati del modello in tempo reale.

Bibliografia

- [1] A. Veloso, S. Mermoz, A. Bouvet, T. Le Toan, M. Planells, J.- F. Dejoux, E. Ceschia, Understanding the temporal behavior of crops using sentinel-1 and sentinel-2-like data for agricultural applications, *Remote Sensing of Environment* 199 (2017) 415–426. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.015i>.
- [2] M. L. Hunt, G. A. Blackburn, L. Carrasco, J. W. Redhead, C. S. Rowland, High resolution wheat yield mapping using sentinel-2, *Remote Sensing of Environment* 233 (2019) 111410. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111410>.
- [3] J. Segarra, J. González-Torralba, Aranjuelo, J. L. Araus, S. C. Kefauver, Estimating wheat grain yield using sentinel-2 imagery and exploring topographic features and rainfall effects on wheat performance in navarre, spain, *Remote Sensing* 12 (14) (2020). doi:10.3390/rs12142278.
- [4] A. Uribeetxebarria, A. Castellon, A. Aizpurua, A first approach to determine if it is possible to delineate in-season n fertilization maps for wheat using ndvi derived from sentinel-2, *Remote Sensing* 14 (12) (2022).doi:10.3390/rs14122872.
- [5] Y. Zhao, A. B. Potgieter, M. Zhang, B. Wu, G. L. Hammer, Predicting wheat yield at the field scale by combining high-resolution sentinel-2 satellite imagery and crop modelling, *Remote Sensing* 12 (6) (2020). doi:10.3390/rs12061024.
- [6] A. Soddu, R. Deidda, M. Marrocu, R. Meloni, C. Paniconi, R. Ludwig, M. Sodde, G. Mascaro, E. Perra. (2013). Climate Variability and Durum Wheat Adaptation Using the AquaCrop Model in Southern Sardinia. *Procedia Environmental Sciences*. 19. 10.1016/j.proenv.2013.06.092.
- [7] Grégory Duveiller, Pierre Defourny, A conceptual framework to define the spatial resolution requirements for agricultural monitoring using remote sensing, *Remote Sensing of Environment*, Volume 114, Issue 11, 2010, Pages 2637-2650.
- [8] R. Hadria and B. Duchemin and A. Lahrouni and S. Khabba and S. Er-raki and G. Dedieu and A. G. Chehbouni and A. Olioso, Monitoring of irrigated wheat in a semi-arid climate using crop modelling and remote sensing data: Impact of satellite revisit time frequency, *International Journal of Remote Sensing*, 27, 6, 1093-1117, 2006, Taylor & Francis.
- [9] Dilini Delgoda, Hector Malano, Syed K. Saleem, Malka N. Halgamuge, Irrigation control based on model predictive control (MPC): Formulation of theory and validation using weather forecast data and AQUACROP model, *Environmental Modelling & Software*, Volume 78, 2016, Pages 40-53.
- [10] Melissa A. Ramírez-Rodrigues, Phillip D. Alderman, Lydia Stefanova, C. Mariano Cossani, Dagoberto Flores, Senthold Asseng, The value of seasonal forecasts for irrigated, supplementary irrigated, and rainfed wheat cropping systems in northwest Mexico, *Agricultural Systems*, Volume 147, 2016, Pages 76-86.
- [11] Stefano Fabiani, Silvia Vanino, Rosario Napoli, Pasquale Nino, Water energy food nexus approach for sustainability assessment at farm level: An experience from an intensive agricultural area in central Italy, *Environmental Science & Policy*, Volume 104, 2020, Pages 1-12.