

# L'utilizzo dei sistemi APR nel protocollo irriguo di precisione ALADIN

Jacopo Aleotti, Michele Amoretti, Elisa Dall'Asta, Gianfranco Forlani, Riccardo Roncella, Renzo Valloni

Dipartimento di Ingegneria e Architettura, Università degli Studi di Parma,  
Parco Area delle Scienze 181/A, 43124 Parma,  
{jacopo.aleotti, michele.amoretti, gianfranco.forlani, riccardo.roncella, renzo.valloni}@unipr.it,  
elisa.dallasta@studenti.unipr.it

## Riassunto

Il progetto ALADIN, finanziato dal bando POR FESR Emilia-Romagna 2014-2020, si propone di ottimizzare e automatizzare l'irrigazione all'interno del singolo appezzamento. A tale scopo è stato messo a punto e sperimentato un protocollo irriguo che, con sensori da terra, droni o satelliti, misura lo stato di stress idrico della coltura e, appoggiandosi al servizio Irriframe del CER, ricava una ricetta irrigua differenziata per varie zone di campo, la traduce in comandi per la macchina irrigatrice e tramite un'applicazione di tipo mobile (app) la invia all'utente. L'articolo, dopo una descrizione del progetto, discute le alternative nella georeferenziazione delle immagini da drone e più in generale tra acquisizione dati da drone o da satellite.

## Abstract

*The irrigation protocol ALADIN aims to minimize water consumption in crop irrigation. From a high resolution NDVI map and a crop growth model, the water demand of the different parts of the field is computed, converted in a list of commands and sent via mobile application to the irrigation system. The paper, after the project description, discusses drone image georeferencing and pros and cons using drone or satellite images.*

## Introduzione

Oggi, l'uso ottimale delle risorse idriche è un tema centrale in agricoltura, specie dove il settore ha forte valenza economica. A tal fine il Consorzio CER (Canale Emiliano-Romagnolo) ha realizzato il servizio Irrinet (ora Irriframe, [www.Irriframe.it](http://www.Irriframe.it), 2017) che stima il fabbisogno idrico delle colture sulla base di un bilancio idrico, di un modello di crescita colturale e di un modello di evapotraspirazione tarati sulla base di informazioni sulle caratteristiche chimico-fisiche dell'appezzamento, sui dati di profondità della falda, di temperatura e piovosità media, ecc. Un servizio con finalità analoghe, ma basato solo su impiego di dati telerilevati da satellite, è fornito in Campania da Irrisat ([www.irrisat.com](http://www.irrisat.com), 2017).

Ottenere avanzamenti concreti nella ottimizzazione dell'irrigazione delle colture intensive di pieno campo di mais e pomodoro è l'obiettivo al centro del progetto "Agroalimentare Idrointelligente" (ALADIN), finanziato dal Bando POR FESR Emilia-Romagna nell'ambito dei progetti di ricerca industriale strategica

2014-2020. Nel seguito si illustrano dapprima l'articolazione del progetto, teso alla creazione di un protocollo di irrigazione automatica di precisione, e le attività sperimentali eseguite nel campo. Si focalizza poi l'attenzione sull'utilizzo delle piattaforme APR (Aeromobili a Pilotaggio Remoto) per la generazione di mappe georeferenziate dell'indice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), esaminando alcune alternative nella fase di elaborazione delle immagini per raggiungere un buon compromesso tra accuratezza della georeferenziazione e automazione della procedura sulla base della sola telemetria dell'APR. Infine si discute l'alternativa tra impiego di immagini da satellite Sentinel-2 o da APR, attualmente in fase di approfondimento nel progetto.

### **Il progetto ALADIN**

In un contesto di cambiamento climatico caratterizzato dallo sviluppo di strategie di risparmio idrico e tutela ambientale, un tema centrale è la pianificazione di politiche d'intervento per una corretta gestione delle risorse idriche. Prendendo spunto dal servizio Irrinet del Consorzio Canale Emiliano-Romagnolo (CER), che fornisce agli utenti consigli irrigui (tempi e volumi necessari per tipo di coltura), il progetto ALADIN (Botarelli et al., 2016) mira all'ottimizzazione dell'irrigazione all'interno del singolo appezzamento.

Partecipano al progetto CIDEA (Unipr), Terra & Acqua Tech (Unife), Consorzio CER (BO), CRPA LAB (RE), DipSA (Unibo), SSICA (PR), ARPAE Idro-Meteo-Clima (BO) e Azienda Agricola Sperimentale Stuard (PR) e le imprese AeroDron (PR), Sacmi (Imola), RM Irrigation Equipment (PR) e Tomato Colors (BO).

Tramite una sperimentazione biennale sul campo, il progetto mira ad ottimizzare il consumo idrico nelle colture di mais e pomodoro, intervenendo su tutte le fasi del ciclo, dalla valutazione dell'esigenza idrica, differenziata entro l'appezzamento, all'equipaggiamento delle macchine irrigue con elettronica *special purpose* per l'irrigazione a rateo variabile, alla gestione informatizzata del servizio.

Per la sperimentazione sul campo sono state individuate due aree della pianura bolognese e parmense. In particolare, nell'area di Bologna sono stati impiegati per le stagioni agrarie 2016 e 2017 due campi dell'azienda Marsili di Budrio, di proprietà del Consorzio CER, ed uno dell'Università di Bologna, nel podere annesso all'istituto di Meccanica Agraria presso Cadriano. Nell'area di Parma sono stati invece impiegati un campo dell'azienda Stuard (per 2 stagioni) e due altri campi, coltivati rispettivamente a pomodoro e mais, siti nei comuni di Vigheffio e Panocchia (ciascuno per una stagione). Sui siti sono stati eseguiti dalla ditta Aerodron, nel periodo giugno-agosto 2016 e 2017, riprese con esacottero skyrobot SF6 equipaggiato con camera multispettrale (MS) Airinov multiSPEC 4c (risoluzione 1280 x 960 pixel) e camera termica FLIR AX5 (risoluzione 640 x 512 pixel). La stessa ditta ha eseguito le elaborazioni per la produzione della mappa NDVI e della mappa termica georeferenziate, che misura lo stress idrico attuale della coltura.

Contemporaneamente ai voli sono state effettuate misure a terra, compresa l'estrazione di carote di terreno georeferenziate per l'analisi chimico-fisica e la valutazione del contenuto di umidità. Sempre in corrispondenza dei campioni sono state eseguite misure con spettrometro (per misurare direttamente la

radianza al suolo) e con altra strumentazione dalla quale si ricavano il LAI (*Leaf Area Index*), statisticamente legato a NDVI, il contenuto di umidità del suolo, ecc. La raccolta di questi dati, la cui discussione esula dagli scopi di questo contributo, è stata fatta per validare indipendentemente le indicazioni tratte dai dati di *remote sensing*.

Nella campagna di misure 2017 si è curato, per quanto possibile, di effettuare i voli in giornate prive di copertura nuvolosa ed in corrispondenza col passaggio di uno dei satelliti Sentinel-2, così da poter confrontare la capacità di discriminazione delle determinazioni NDVI da satellite e da drone.

### Il protocollo irriguo ALADIN

L'avanzamento apportato dal protocollo ALADIN è rappresentato da un servizio, supportato dal sistema Irriframe, che gestisce l'irrigazione automatica delle zone a diversa esigenza idrica interne al singolo appezzamento.

Il servizio Aladin gestisce il flusso di informazioni con Irriframe e, grazie ad una app su *smartphone*, con l'utente e la macchina irrigatrice. Quando si rende disponibile una mappa NDVI, il modulo GeotiffTool calcola il valore medio di NDVI in ogni cella di una griglia disegnata sull'appezzamento in base alle caratteristiche della macchina irrigatrice, carica la griglia sul DB del Servizio che a sua volta la invia a Irriframe che la associa all'appezzamento. A seguito della richiesta di un utente, Servizi Aladin interroga Irriframe e riceve la ricetta idrica cella per cella, la traduce nella lista di comandi per la macchina irrigatrice e la invia all'app Aladin Mobile che avvia l'irrigazione (Figura 1).

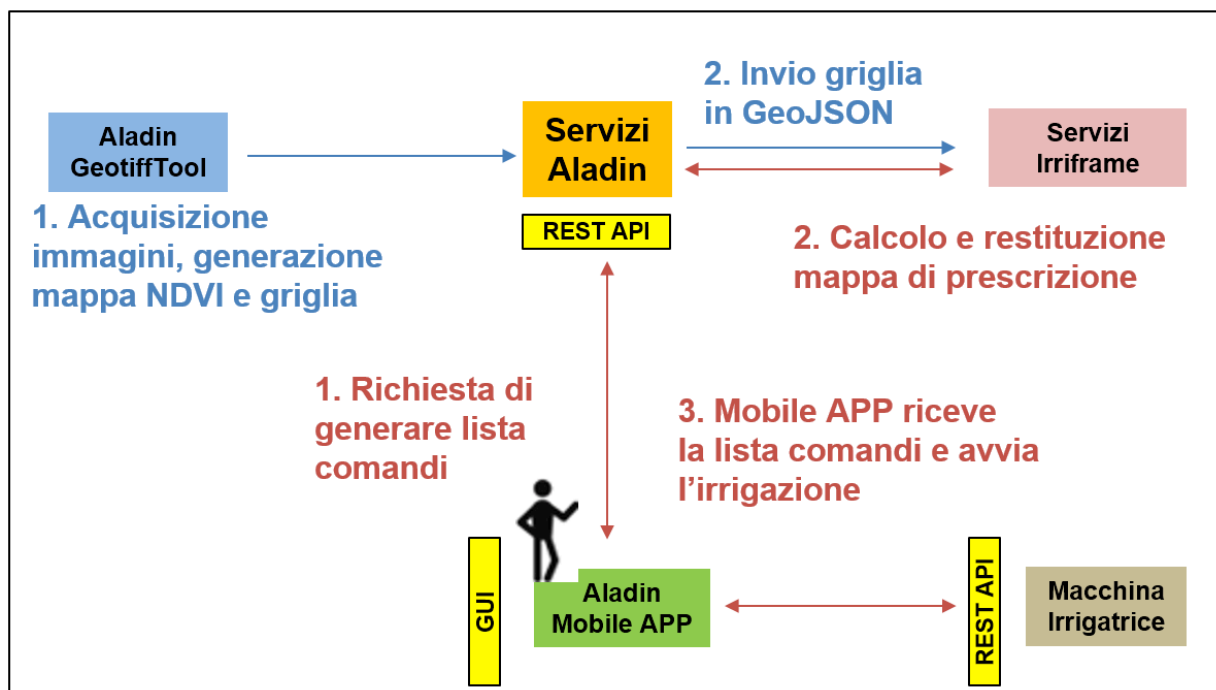


Figura 1 - Protocollo ALADIN di irrigazione automatica.

Attualmente il fattore limitante del sistema è primariamente legato alle capacità del sistema di irrigazione. Negli irrigatori a getto tradizionali la portata è costante lungo una passata e solo ultimamente è comparso sul mercato un getto "a settore angolare variabile"; nelle ali piovane la portata erogata da ogni

ugello è la medesima e quindi il rateo può essere variato solo nella direzione di movimento dell'ala, ad esempio agendo sulla velocità di arretramento.

### **La produzione della mappa NDVI**

La mappa NDVI inviata a Irriframe per il calcolo della ricetta irrigua sull'appezzamento viene generata dall'elaborazione delle immagini MS riprese dal drone: orientamento del blocco, calibrazione dei toni di grigio delle immagini per confronto con un *target* di albedo nota e con l'intensità luminosa al momento dello scatto (irradianza), generazione della mappa georeferenziata di riflettività per le due bande rosso e infrarosso e infine calcolo dell'NDVI.

Nell'orientamento delle immagini la densità dei punti di legame sul mais è nettamente inferiore a quella sul pomodoro o sulle aree circostanti a prato. In campi di mais di modesta larghezza ogni immagine abbraccia anche il terreno circostante, per cui si trovano punti omologhi sufficienti; nel sito di Panocchia, di oltre 150 m di larghezza, le strisciate centrali inquadrano solo mais: qui solo le strisciate di bordo e i fotogrammi di testata sono stati orientati.

Per quanto riguarda la georeferenziazione vi sono essenzialmente due opzioni: uso delle posizioni dei centri di presa al momento dello scatto misurati dal GPS di bordo e registrati in formato EXIF nell'immagine; uso di punti di controllo a terra (*target* misurati ad ogni volo o elementi riconoscibili e permanenti). La scelta del metodo dipende dai fattori limitanti sul lato macchina irrigatrice sopra accennati e dalle esigenze di granularità dell'irrigazione, mentre la risoluzione del sensore è sovrabbondante essendo il GSD tipico tra 5 e 12 cm.

Al momento pertanto la scelta tecnico-economica più adatta per la georeferenziazione del blocco appare l'impiego dei dati del sistema GNSS di bordo, inseriti in una compensazione a stelle proiettive con punti di legame estratti automaticamente, per i quali ci si può attendere un errore medio di qualche m nelle tre coordinate.

Nel corso della sperimentazione, tuttavia, in almeno uno dei voli per ciascun sito e per ciascuna stagione sono stati anche impiegati dei *target*, necessari per avere buona coerenza tra la mappa NDVI e le posizioni delle misure a terra, fatte in corrispondenza dei fori di carotaggio dei campioni di suolo. Ciò ha consentito una valutazione della precisione media di georeferenziazione. Per ogni volo sono stati usati 4 punti di appoggio collocati in coppie agli estremi dei campi, tutti di forma rettangolare allungata (con dimensioni tipiche di 40-45 m x 200-240 m). Gli errori riscontrati variano da blocco a blocco, senza evidenza di comportamenti simili: in qualche caso nelle discrepanze prevale una componente sistematica, in altri i valori hanno segno e valori molto diversi. Nel complesso le massime differenze riscontrate non superano i 6.5 m in planimetria ed in quota (salvo un caso, vedi oltre). La presenza di sistematismi (*shift*) non ha conseguenze sul servizio irriguo, in quanto attualmente il sistema di movimentazione della macchina irrigatrice non è georeferenziato. In qualche caso il fattore di scala della ricostruzione del blocco ha errori consistenti (il *range* registrato è da 0.990 a 1.040) con la conseguenza che la lunghezza del campo può essere errata di alcuni m. Anche questo non inficia la procedura di irrigazione se non in maniera del tutto marginale.

Va infine segnalato che in due dei quattro campi una linea elettrica ad alta tensione attraversa il campo: in due voli si sono registrate anomalie sulle

posizioni GPS dei centri di presa (con errori casuali in quota ben superiori a 10 m) o difficoltà nel controllo via telemetria della ripresa. In particolare nel primo caso l'elaborazione con Photoscan con precisione di 10 m ai centri di presa fornisce risultati apparentemente credibili ma in realtà errati, ed occorre "forzare" una quota media su tutti i centri di presa per ottenere una soluzione corretta.

### **Procedura rigorosa e procedura approssimata**

Orientando il blocco coi soli dati della telemetria di bordo, la sequenza di produzione della mappa NDVI è sufficientemente consolidata e già incorporata in diversi dei più diffusi *software* di SfM (*Structure from Motion*) per l'elaborazione di dati da APR, a testimonianza del ruolo non secondario del *Remote Sensing* tra gli impieghi dei droni. In particolare, nelle elaborazioni sono stati impiegati Pix4D e, prevalentemente, Photoscan. Pix4D, commercialmente legato ad Airinov, ha un *workflow* specifico per l'elaborazione, incluso il riconoscimento automatico dei target di calibrazione. Photoscan riconosce nelle immagini *raw* la presenza di una camera MS con ottiche separate, ciascuna con parametri di OI propri, che vengono stimati individualmente. Non è però chiaro se la ricerca di punti omologhi sia eseguita in una o tutte le bande e se si tenga conto, nella stima dell'orientamento esterno, dei bracci di leva e degli assetti relativi delle quattro ottiche. Anche Photoscan permette, con un calcolatore *raster*, di produrre la mappa NDVI dalle diverse bande; tuttavia, nel caso specifico, si è preferito eseguire in QGIS le operazioni di conversione dei *digital numbers* (DN) in riflettività attraverso il target di albedo nota e di generazione della mappa NDVI.

Alla luce delle problematiche emerse nel *matching* e della modalità di georeferenziazione si è deciso di valutare se la produzione dell'ortomosaico con metodi più speditivi fosse compatibile con le finalità del progetto. L'ipotesi per semplificare il procedimento è quella di disporre di parametri di orientamento interno e di un DTM approssimato "stabilizzati" (ovvero invariati nei periodici sorvoli dell'appezzamento) e di utilizzare direttamente i dati di navigazione per calcolare l'orientamento esterno di ogni immagine, evitando quindi l'estrazione dei punti di legame e la compensazione del blocco. In linea di principio, questa scelta consente anche di ridurre in modo consistente il numero di immagini, dovendo il ricoprimento assicurare solo la copertura monoscopica dell'appezzamento. Poiché la telemetria registra ordinariamente la sola posizione, i valori degli angoli di assetto vanno però imposti. Trattandosi di un volo nadirale è naturale assumere in prima istanza che gli angoli  $\omega$  e  $\phi$  siano prossimi a zero, specie con camera stabilizzata o in assenza di vento. In pratica nei voli delle due campagne gli angoli determinati dall'orientamento del blocco sono sempre prossimi a zero per il beccheggio, mentre il rollio varia in genere tra 3°-5° ma resta molto stabile entro l'intero blocco o nella strisciata; per riprese da 70 m di quota relativa, questo significa tuttavia spostamenti medi di 5-6 m al suolo, di carattere sistematico.

Infine, per quanto riguarda l'angolo  $k$ , in prima battuta esso potrebbe essere ricavato dalla direzione delle strisciate; il vantaggio di questa soluzione sarebbe la semplicità di automazione del processo, dal momento che è banale stimare tale direzione dai dati. Di fatto tuttavia la conduzione del volo, vuoi per

effetto di venti trasversali vuoi per difficoltà di allineamento della camera, registra differenze considerevoli tra direzione della strisciata e  $k$  stimata dall'orientamento. Un'alternativa più accurata, che però compromette l'automazione, è misurare su un fotogramma l'angolo di direzione del lato maggiore del campo nel sistema pixel, registrando le coordinate pixel di due punti qualunque. La medesima direzione va poi misurata rispetto al sistema terreno, scegliendo a tal fine due punti qualsiasi, non necessariamente coincidenti coi primi, ad esempio su una ortofoto o su *google Earth* o *Bing*. La differenza tra i due angoli di direzione rappresenta infatti l'angolo tra gli assi dei sistemi di riferimento terreno e immagine, ovvero la  $k$  del fotogramma nel caso di foto pseudonadirali. Per verificare l'accuratezza di questa determinazione, per 6 dei blocchi sono stati misurati su 3 immagini almeno 3 coppie di punti, ricavando per ognuna i tre valori di  $k$ . Le massime differenze col valore stimato di  $k$ , pur in presenza di immagini con distorsioni radiali molto evidenti, sono state sempre inferiori a  $3^\circ$  e in media inferiori a  $1^\circ$ . Per rendere operativa questa procedura occorre però che le variazioni di  $k$  nel blocco siano contenute, così da poter adottare un valore unico per tutto il blocco. Specie per le immagini di inizio e fine strisciata questo non è sempre vero: le differenze puntuali possono essere notevoli.

Per confrontare la mappa NDVI ottenuta con le due procedure si è applicata ad entrambe la griglia  $10 \times 10$  m di discretizzazione della macchina irrigatrice, andando a valutare le differenze entro ogni cella. Ovviamente tali differenze saranno tanto maggiori, a parità di tutto il resto, quanto più marcate sono le differenze in NDVI tra celle adiacenti.

Il confronto è stato fatto per i voli 2017 ed un volo 2016 sul podere Marsili, in quanto sono presenti sia il pomodoro sia il mais ed inoltre su un volo 2017 su Cadriano, in totale sette casi. Dal momento che il servizio ALADIN passa a Irriframe il valor medio NDVI in ogni cella  $10 \times 10$  m della griglia, calcolato dai pixel di circa 6 cm (GSD delle immagini), si sono costruite le statistiche dei valori assoluti delle differenze NDVI cella per cella tra metodo rigoroso e approssimato. Per interpretare tali differenze va tenuto presente che, anche nel caso di procedura rigorosa, si può ritenere che le approssimazioni nel calcolo della ricetta irrigua siano compatibili con incertezze di qualche centesimo nel valore di NDVI. Assumendo allora un valore soglia della differenza pari a 0.04-0.05, sono state disegnate e raccolte nella Figura 2 le curve cumulative di tali differenze nei sette casi. Come si vede la situazione varia da molto insoddisfacente (nel caso di Cadriano) ad accettabile (nel caso Marsili pomodoro 3/08/2017). In Figura 3 sono mostrati a scala di colore i valori di NDVI del caso Marsili del 13/06/2017; a centro figura i campi di pomodoro (sx) e mais (dx).

### **Acquisizione dati: droni o satelliti?**

Nel progetto ALADIN il vettore individuato per l'acquisizione dei dati multispettrali dai quali derivare la mappa NDVI era l'APR: tra gli obiettivi vi era infatti anche la sperimentazione di droni e sensori "low-cost" destinati a questo scopo. In particolare è stata utilizzata una camera Raspberry Pi NoIR Camera v2 con sensore Sony IMK219 con risoluzione  $3280 \times 2464$ ).



L'analisi dei dati raccolti è ancora in corso; i risultati preliminari sembrano indicare che non vi è piena corrispondenza tra i risultati delle due camere, anche perchè per ragioni logistiche non è stato possibile effettuare test contemporanei coi due sistemi APR. Data la forte dinamica nel settore e la scarsa letteratura su prove con soluzioni "low-cost" (si veda ad esempio (Kartsiotis e Rossetti, 2017)) non è possibile dare indicazioni definitive in proposito, peraltro al di fuori delle finalità di questo lavoro.

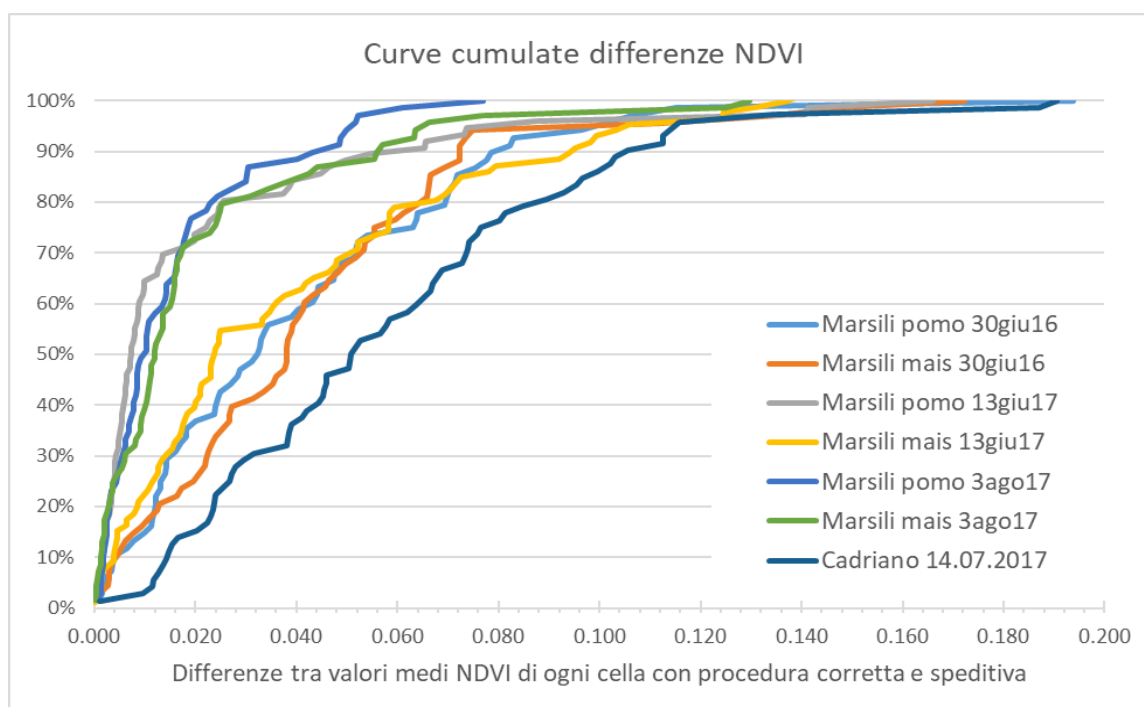


Figura 2 - Curve cumulative delle distribuzioni delle differenze tra NVDI di una medesima cella con georeferenziazione corretta e approssimata.

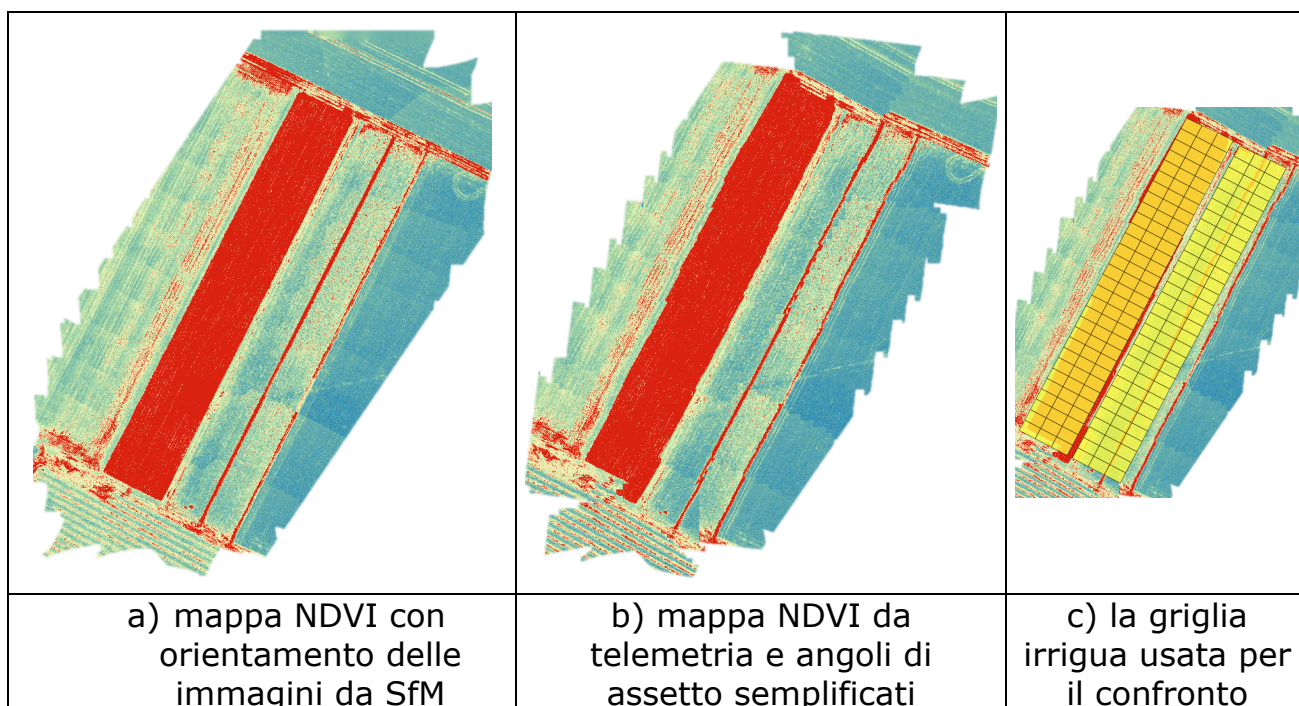


Figura 3 - Generazione rigorosa e approssimata della mappa NDVI.

Anche ammesso che una soluzione “*low-cost*” produca risultati equivalenti, la sostenibilità economica di un *mapping* con APR ai soli fini della irrigazione di precisione è ovviamente tutt’altro che scontata. In Casa (2017) vi è una rassegna di piattaforme per i sensori e dei costi per ettaro di diverse operazioni in agricoltura di precisione: per l’irrigazione i droni sono sconsigliati. Indubbiamente, senza un modello di *business* molto efficiente, i costi di gestione di un servizio irriguo con drone sono troppo elevati in rapporto al costo attuale della risorsa idrica e del risparmio potenziale conseguibile e vanno visti entro un quadro più generale di servizio da drone (es. concimazione, lotta ai parassiti, ecc.). Pur non escludendo che la dinamica dei costi dei diversi fattori in gioco possa far riconsiderare il drone come piattaforma, nell’ambito del progetto si stanno effettuando confronti tra le mappe NDVI ricavate nelle medesime giornate dell’estate 2017 da APR e da Sentinel-2. Il punto da chiarire è se la mappa NDVI da satellite è in grado di cogliere le medesime differenze di quella da drone, qualora queste siano rilevanti ai fini della ricetta idrica (ovvero entro una cella della griglia).

## **Conclusioni**

La sperimentazione dell’estate 2017 ha dimostrato la fattibilità del progetto e l’operatività del servizio irriguo di precisione, dall’individuazione di necessità idriche differenziate entro l’appezzamento all’irrigazione a rateo variabile.

Per quanto riguarda le fasi di elaborazione della mappa NDVI da immagini APR, pur in assenza di esigenze di georeferenziazione spinte, non appare applicabile con sufficiente affidabilità una procedura semplificata di generazione delle mappe di riflettività che sfrutti la sola telemetria di bordo, senza ricorrere alla SfM. Il limite, dovuto all’assenza di informazioni sull’assetto della camera provenienti dalla sensoristica di bordo, potrebbe peraltro essere rimosso con modesti costi aggiuntivi.

## **Riconoscimenti**

Lavoro svolto nell’ambito del progetto ALADIN, finanziato sul Bando POR FESR Emilia-Romagna, Progetti di ricerca industriale strategica 2014-2020.

## **Bibliografia**

Kartsiotis S., Rossetti G. (2017), “Attività sperimentale di agricoltura di precisione sui vigneti dell’azienda Savignola Paolina nel Chianti. Confronto tra i sensori Mapir e Parrot Sequoia”, Quadricottero news, sett. 2017.

Botarelli et al. (2016), “Il progetto ALADIN: un agroalimentare idro-intelligente contro l’approccio settoriale al risparmio idrico”, Atti del XIX Convegno AIAM, Bologna, 14-16 giugno 2016, DOI 10.6092/unibo/amsacta/5164

Casa R. (2017), L’applicazione dell’agricoltura di precisione per il miglioramento della gestione delle produzioni vegetali, intervento al Convegno APTRA, 7/3/2017, Bari.

## **Sitografia**

<http://www.Irriframe.it> visitato il 26 settembre 2017.

<https://www.irrisat.com> visitato il 26 settembre 2017.