TeamDev S.r.l.
Via Tiberina, 70
06050 Collepepe di Collazzone (PG)
tel. +39 075 9724382 – fax +39 075 63062111
info@teamdev.it – www.teamdev.it

R.E.A. 255377
P.IVA e C.F. 02982970549

Piano di Sviluppo Rurale per l'Umbria 2007/2013
MIS 124

PROGETTO

Sistema Informativo Geografico a supporto del Precision Farming –
ACROMINO: S.I.G._2015 –
DOMANDA DI AIUTO SIAN n. 44750052381

REPORT FINALE

TeamDev S.r.l.
Via Tiberina, 70
06050 Collepepe di Collazzone (PG)
tel. +39 075 9724382 – fax +39 075 63062111 R.E.A. 255377
info@teamdev.it - www.teamdev.it P.IVA e C.F. 02982970549

1. PREMESSA

Il progetto SIG2015 ha visto la realizzazione di un sistema sperimentale di supporto alle decisioni (DSS) da applicare agli appezzamenti agricoli coltivati a seminativo.
Il progetto ha visto l'applicazione delle diverse tecnologie di precision farming alla gestione di due appezzamenti per arrivare alla messa a punto di un workflow testato riguardante sia l'acquisizione di dati dalle colture che la loro rielaborazione in mappe utili alla messa in atto di pratiche colturali diversificate.
Il workflow di lavoro e le metodologie testate sono confluite nel DSS e saranno da supporto per la gestione agricola differenziale degli appezzamenti colturali. Tale applicativo avrà anche la possibilità di integrazione delle informazioni con il SIGPA- Sistema Integrato per la Gestione delle Procedure Aziendali in Umbria, il quale utilizza procedure informatiche per gli adempimenti a carico delle aziende agricole. Il DSS si basa su informazioni geographic oriented, fondamentali per lo scopo del progetto e per lo sviluppo dell'applicazione.
Gli appezzamenti su cui sono state condotte le sperimentazioni sono seminativi (grano):

- Appezzamento in località Casalina (comune di Deruta) di proprietà di Fondazione per l'Istruzione Agraria in Perugia

TeamDev S.r.l.
Via Tiberina, 70
06050 Collepepe di Collazzone (PG)
tel. +39 075 9724382 – fax +39 075 63062111 R.E.A. 255377
info@teamdev.it – www.teamdev.it P.IVA e C.F. 02982970549

- Appezzamento in località Tavernelle (comune di Piegaro) di proprietà dell'Azienda Agraria Blasi Luca.

Il progetto sviluppato si colloca nell'ambito della "Precision Farming", o agricoltura di precisione. Questa è una strategia di gestione delle coltivazioni che utilizza le tecnologie dell'informazione per acquisire dati sul campo, i quali, opportunamente rielaborati, sono di supporto nella fase decisionale della gestione di alcune operazioni agricole, come lo spandimento di fertilizzanti e fitosanitari o la densità di semina.
Lo scopo dell'agricoltura di precisione è quello di gestire le varie parti di una coltivazione in maniera eterogenea, a seconda delle particolari esigenze di ciascuna area, di cui si rilevano le specifiche caratteristiche per mezzo di supporti tecnologici. Nella normale pratica agricola, invece, gli interventi vengono basati sulle caratteristiche medie della coltivazione, senza considerare le intrinseche variabilità dentro il campo, e l'applicazione di fertilizzanti o fitosanitari potrà essere insufficiente o eccedentaria, con ripercussioni negative sia sull'ambiente che sulla qualità della coltivazione. L'agricoltura di precisione, al contrario, mira ad adattare gli apporti di questi elementi tenendo conto della variabilità locale delle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche del campo, nonché della tempistica di applicazione.
Questo sistema permette di ottenere diversi vantaggi in campo agricolo, ambientale, economico e sociale:

- Miglioramento delle rese della coltivazione,
- Diminuzione dell'inquinamento ambientale per l'utilizzo dei prodotti solo nelle aree dove realmente ce n'è necessità, in accordo con le indicazioni della nuova PAC;
- Miglioramento della qualità della coltivazione, perchè condotta con pratiche più sostenibili;
- Risparmio economico per l'utilizzo di prodotti localizzato;
- Alleggerimento della gravosità del lavoro agricolo.

Il Precision Farming utilizza diverse tecnologie per monitorare la variabilità intra-campo e la successiva applicazione selettiva di input produttivi:

- telerilevamento delle colture per mezzo di sistemi aeromobili a pilotaggio remoto (SAPR) o satellite;
- software GIS (Geographic Information System) per l'archiviazione e rielaborazione di dati georiferiti e per la realizzazione di mappe tematiche delle colture;
- macchinari agricoli che utilizzano tecnologie a rateo variabile (VRT) per lo spandimento differenziale di input produttivi, o per la raccolta differenziale;
- GPS (Global Positioning System) per la georeferenziazione di elementi (punti, campionamenti) sul campo.

Gli obiettivi che si vogliono raggiungere attraverso la realizzazione del DSS sono i seguenti:

- Definizione del miglior metodo di acquisizione di immagini multispettrali delle colture;
- Definizione del miglior metodo di campionamento del suolo per l'elaborazione di mappe di prescrizione;
- Miglioramento delle performance ambientali delle aziende agricole attraverso la realizzazione di mappe di prescrizione;
- Sviluppo di uno strumento per la produzione di mappe di distribuzione, prescrizione e vigoria.
- Sviluppo uno strumento interoperabile per l'integrazione con altri data provider e con il SIGPA (Sistema Integrato per la Gestione delle Procedure Aziendali);
- Calibrazione degli strumenti di telerilevamento (satellite e sistemi aeromobile a pilotaggio remoto) alle varie scale;
- Ottimizzazione nel calcolo degli algoritmi d'interpolazioni spaziali per la produzione di mappe di distribuzione.

Verranno qui di seguito descritte le attività condotte nei mesi di sperimentazione dal partner TeamDev srl, secondo l'ordine delle Fasi indicate nel progetto presentato alla Regione Umbria.

TeamDev S.r.l.
Via Tiberina, 70
06050 Collepepe di Collazzone (PG)
tel. +39 075 9724382 – fax +39 075 63062111 R.E.A. 255377
info@teamdev.it – www.teamdev.it P.IVA e C.F. 02982970549

2. DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' SVOLTE PER IL PROGETTO SIG2015

Si riporta di seguito la descrizione delle attività svolte in riferimento alle fasi progettuali, esposte secondo l'ordine di quest'ultime.

1.1 FASE 1 - Stipula dell'ATI

E' stata regolarizzata l'aggregazione dei vari partner del progetto attraverso la costituzione di un'associazione temporanea nella quale è stato individuato CRATIA come soggetto responsabile del progetto. TeamDev srl e tutti gli altri partner dell'aggregazione si sono impegnati a sottoscrivere il contratto finalizzato alla realizzazione del progetto e a garantire lo sviluppo di innovazioni di processo.

1.2 FASE 2 – Sviluppo del DSS

Lo sviluppo del Sistema di Supporto alle Decisioni è stato condotto secondo le seguenti fasi:

- Analisi delle specifiche
- Progettazione del software
- Sviluppo
- Testing
- Documentazione
- Deployment

Attività preliminari di raccolta specifiche tecniche
Sono stati svolti diversi incontri con esperti del settore, agronomi, responsabili di aziende agricole, tecnici di confagricoltura per stilare un elenco di specifiche tecniche per la realizzazione del software. E' stato studiato il funzionamento della piattaforma di caricamento dati nel SIGPA – Sistema Integrato per la Gestione delle Procedure Aziendali, con il quale il software si dovrà interfacciare. Inoltre, è stato raccolto diverso materiale utile a comprendere le necessità aziendali di raccolta dati per la compilazione di registri quali il "Quaderno di Campagna" o il "Magazzino fertilizzanti e fitosanitari".

Studio di elementi per la gestione aziendale
A partire da format riguardanti il Piano di Concimazione e il Piano Colturale è stato predisposto un diagramma di flusso contenente tutti gli elementi per la compilazione di questi. Il diagramma rappresenta un formato utile per lo sviluppo di un software.
Sono stati poi realizzate le specifiche riguardanti le funzionalità da attribuire alla sezione "Quaderno di campagna" e gestione "Magazzino fertilizzanti e fitosanitari".

Tutte le informazioni sono confluite in un documento di sintesi, che ha rappresentato le "specifiche tecniche" per guidare il personale coinvolto nello sviluppo del software.
Parallelamente sono stati studiati i workflow di raccolta dati dalla coltura, sia riguardanti il campionamento del suolo, che il telerilevamento vegetazionale, che venivano effettuati sui due appezzamenti sperimentali. Tali procedure sono state analizzate per poter essere automatizzate ed entrare a far parte del software.

Realizzazione del prototipo e test
A partire da tutte le specifiche raccolte è iniziato lo sviluppo della configurazione di un primo prototipo del software DSS. E' stata progettata sia la parte grafica di interfaccia con l'utente, che la parte funzionale per lo svolgimento delle operazioni. E' stato progettato anche l'ambiente cloud per la memorizzazione delle informazioni caricate nel sistema.
Per poter far lavorare il software sono stati caricati nello stesso tutti i dati che parallelamente venivano rilevati dai due appezzamenti sperimentali e che riguardavano sia il terreno che la vegetazione. Tutte le operazioni di rielaborazione di tali dati sono state rese automatiche nel software.
Il primo prototipo è stato così testato. La fase di test ha permesso di rilevare alcuni bug (malfunzionamenti) del sistema appena sviluppato. E' stato prodotto quindi un report di sintesi contenente le verifiche effettuate e le correzioni da apportare.
I mesi successivi sono stati dedicati quindi al miglioramento dei processi funzionali di:

- Archivio dei dati
- Rielaborazione dei dati e realizzazione di mappe di prescrizione

La messa a punto del Sistema ha riguardato anche test di "user experience", cioè la capacità del Sistema di essere utilizzato con facilità dall'utente, che spesso non ha dimestichezza con sistemi informatici. I test di "user experience" hanno permesso di correggere alcuni aspetti poco intuitivi del software e alcuni particolari nella parte grafica.
Il software è stato poi adattato sia per la visualizzazione su pc, che su dispositivi mobili come tablet o smartphone.
A queste fasi di messa a punto è seguita un'ulteriore fase di test che ha portato alla correzione di altri requisiti e alla produzione di una versione più completa e definitiva del DSS.

Il prototipo
Il Sistema sviluppato ha quindi le seguenti funzionalità:

- Memorizzazione dei campionamenti degli elementi chimici e fisici del suolo analizzati (Azoto, Fosforo, Potassio, PH, ecc.);
- Strumento di facilitazione per l'individuazione dei punti di campionamento (distribuzione casuale o a griglia);
- Realizzazione di mappe di distribuzione degli elementi chimici e fisici del suolo campionati in base alla data di analisi (interpolazioni spaziali con metodi di stima locale deterministici e stocastici);
- Realizzazione di mappe di prescrizione. Queste mappe permettono di guidare il controller delle attrezzature VR (Variable-Rate) su quanto prodotto applicare in base all'ubicazione dell'attrezzatura stessa sul campo. Le mappe di prescrizione sono generate a partire dalle mappe di distribuzione degli elementi chimici azoto, fosforo e potassio.
- Realizzazione di mappe di vigoria. Queste mappe saranno generate attraverso il calcolo NDVI da acquisizioni multispettrali satellitari o da sistemi aeromobile a pilotaggio remoto

(APR o UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*). Saranno disponibili acquisizioni multiple prima e dopo il periodo dei trattamenti.

- Memorizzazione sul sistema e visualizzazione dei dati catastali dell'azienda agricola come layer aggiuntivo.
- Visualizzazione multilayer e possibilità di caricamento/creazione di ulteriori layer personalizzati (carte pedologiche, colture, ecc.) su cui effettuare editing geografico (perimetrazione, ecc.)
- Esportazione delle mappe create in formato vettoriale e in formato raster (prescrizione e mappe di distribuzione). Il formato vettoriale shapefile può essere utilizzato dalle più diffuse macchine VR e dai più diffusi software desktop GIS e di precision farming;
- Gestione magazzino e trattamenti effettuati finalizzati alla gestione del quaderno di campagna e adempimenti correlati, nonché dei registri previsti dall'applicazione SIGPA.

Il software dovrà costituire un mezzo per facilitare e guidare scelte agronomiche a partire da dati riguardanti il terreno o la vigoria delle piante, al fine di indirizzare la gestione sul modello del precision farming.
Il software ha come base l'applicazione di Sistemi Informativi Geografici (GIS) progettati per la raccolta, memorizzazione e analisi di oggetti e fenomeni per i quali l'ubicazione geografica riveste una caratteristica importante o critica per la loro analisi. Il Sistema infatti è stato sviluppato per la memorizzazione, interrogazione, visualizzazione e analisi di dati georiferiti, relativi agli appezzamenti.
Infatti, tutti i dati analizzati negli appezzamenti sperimentali, derivanti dai campionamenti di terreno, dalle misure a terra, nonché da dati acquisiti mediante telerilevamento SAPR e satellitare, sono stati raccolti in layers mediante il software GIS.

1.3 FASE 3 – Attivazione di un'utenza per il DSS e collaudo del sistema

E' stata attivato un Nome Utente e Password al fine di poter collaudare il DSS sviluppato attraverso diverse verifiche di funzionalità:

1) Verifica della memorizzazione dei campionamenti degli elementi chimici e fisici del suolo analizzati (Azoto, Fosforo, Potassio, PH, ecc.);
2) Verifica della generazione in modo assistito di punti di campionamento secondo distribuzione casuale o a griglia;
3) Verifica della realizzazione di mappe di distribuzione degli elementi chimici e fisici del suolo campionati in base alla data di analisi;
4) Verifica della realizzazione di mappe di prescrizione generate a partire dalle mappe di distribuzione degli elementi chimici;
5) Verifica della realizzazione di mappe di vigoria derivanti da acquisizioni multispettrali satellitari e da sistemi aeromobili a pilotaggio remoto;
6) Verifica della memorizzazione e visualizzazione sul sistema dei dati catastali dell'azienda agricola;
7) Verifica della visualizzazione di più layer su cui poter effettuare anche editing geografico;
8) Verifica dell'esportazione delle mappe create in formato vettoriale e in formato raster.

La sicurezza nell'ambiente cloud è stata garantita da un metodo di autenticazione "Token Based".

Per il collaudo sono stati utilizzati i dati raccolti dagli appezzamenti agricoli sperimentali ubicati a Tavernelle e Casalina:

- Elementi e parametri caratterizzanti il suolo derivanti da campionamento e analisi del terreno
- Vigoria delle piante rilevata da telerilevamento da SAPR e satellitare

Oltre a queste elementi, sono stati raccolti ulteriori dati solo per l'appezzamento di Casalina:

- Analisi della vegetazione con SPAD
- Analisi della vegetazione con ceptometro
- Analisi del contenuto di azoto fogliare

1.4 FASE 4 - Sperimentazione del sistema attraverso acquisizione immagini telerilevate

Introduzione al telerilevamento

I tradizionali metodi di studio del territorio, caratterizzati da limitazioni legate alla scarsa omogeneità di copertura territoriale e temporale, sono sostituiti da metodologie più sofisticate in grado di restituire informazioni ad elevata accuratezza spaziale e maggiore frequenza di aggiornamento. Fra questi il telerilevamento (o *remote sensing*) permette di ottenere informazioni dall'alto attraverso l'analisi di dati acquisiti da un dispositivo che non è in contatto con l'oggetto, area o fenomeno investigato (Lillesand and Kiefer, 2000). Nell'uso attuale, il termine indica l'acquisizione a distanza di dati riguardanti il territorio e l'ambiente, nonché l'insieme dei metodi e delle tecniche per la successiva elaborazione ed interpretazione (Gomarasca, 1997). Le informazioni derivano da immagini acquisite dall'alto da sensori installati su piattaforme satellitari o altri velivoli, sfruttando la radiazione elettromagnetica riflessa o emessa dalle superfici in una o più regioni dello spettro elettromagnetico (Campbell, 2002). In tal modo è possibile misurare radianze spettrali, provenienti da superfici a terra, dalle dimensioni di qualche metro fino all'intero globo, e derivare informazioni quantitative aggiornate che non possono essere ottenute attraverso tecniche convenzionali a terra. Il telerilevamento, pertanto, costituisce uno strumento diagnostico che, nell'ambito della gestione del territorio e della conservazione della natura, è in grado di fornire importanti informazioni riguardanti le superfici territoriali in modo distribuito nello spazio e nel tempo. Numerosi studi hanno dimostrato come le dinamiche della vegetazione possono essere monitorate dallo spazio (Tucker and Sellers, 1986; Tucker, 1979) sfruttando le relazioni tra le caratteristiche spettrali dell'immagine e i processi biofisici che avvengono all'interno dei tessuti delle piante (Potter and Brooks, 1998; Richard and Poccard, 1998; Tucker and Miller, 1977). La riflettanza della vegetazione nelle lunghezze d'onda del rosso, red-edge e vicino infrarosso possono essere combinate matematicamente per dare origine a diversi indici di vegetazione (Cao et al., 2015). Tra questi, il più comune è sicuramente l'NDVI (*Normalized Difference Vegetazion Index*) che può assumere valori compresi tra -1 e 1. In presenza di vegetazione densa e vigorosa, l'NDVI cresce, assumendo valori via via sempre più vicini a 1. In relazione a tali caratteristiche, esso è stato utilizzato in diversi studi come indice di presenza della vegetazione. Inoltre, data la sua sensibilità allo stato vegetativo della coltura, l'NDVI è stato spesso utilizzato per valutare lo stato di salute

della vegetazione forestale su area vasta (Ali et al., 2014; Bhandari et al., 2012; El-Gammal et al., 2014). Recentemente, diversi studi hanno mirato allo sviluppo di metodi che permettano di utilizzare l'NDVI come indicatore dello stato delle colture al fine di valutare diversi parametri, tra cui lo stress idrico e nutrizionale (El Nahry et al., 2011; Tilling et al., 2007) e quindi la resa (Noureldin et al., 2013).
La immagini acquisite da sensori remoti vanno selezionate in relazione all'obiettivo dello studio prefissato.

Infrarosso vicino e indici di vegetazione

L'utilizzo di un sensore a infrarossi (NIR) per le osservazioni fenologiche consente di gestire in modo puntuale la produzione e di ottimizzare le risorse produttive delle coltivazioni, sia in termini di qualità che di produzione. Le immagini saranno così utilizzate come base per la creazione di mappe di vigoria.

Infatti, le piante assorbono buona parte della luce visibile (in particolare nelle bande del blu e del rosso, mentre riflettono il verde) e in minor parte nel vicino infrarosso (NIR); piante tendenzialmente in buono stato di salute e con una colorazione scura delle loro foglie riflettono in misura maggiore la luce nel NIR e minore nel rosso di quanto non facciano foglie senescenti o con colorazioni meno intense. Tale principio viene sfruttato per convertire le informazioni di riflettanza delle piante osservate in indici matematici, chiamati Indici di Vegetazione, tra i quali il **NDVI** (acronimo dall'inglese Normalized Difference Vegetation Index), che permette di quantificare la biomassa fotosinteticamente attiva (PAB) della vegetazione.
Le mappe tematiche, quindi, rappresenteranno tale indice, così calcolato:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

dove RED e NIR stanno rispettivamente per le misure di riflettanza spettrale acquisite nella regione visibile del rosso e nel vicino infrarosso. La riflettanza è, il potere riflessivo di un corpo sottoposto a radiazione. La riflettanza spettrale è la riflettanza misurata all'interno di uno specifico intervallo di lunghezza d'onda.
Il valore di questo indice assume valori compresi tra -1 e +1. Esso mette in relazione l'assorbimento spettrale della clorofilla nella banda del rosso (RED) con il fenomeno di riflessione nel vicino infrarosso (NIR) laddove è fortemente influenzata dal tipo di struttura fogliare e si basa sulla combinazione di bande spettrali del rosso e dell'infrarosso vicino. Valori positivi indicano un buono stato di salute del suolo e delle piante.

L'indice NDVI presenta valori positivi su aree vegetate, crescenti all'aumentare delle condizioni di vigoria della vegetazione sia in termini di efficienza fotosintetica nel visibile e riflessive nell'infrarosso vicino, sia in termini di densità e area fogliare. I suoli in genere mostrano una riflettanza spettrale nel vicino infrarosso leggermente maggiore rispetto al rosso a causa del contenuto organico del terreno stesso; i suoli nudi, pertanto, presentano NDVI bassi ma positivi (0.1; 0.2), tali valori, a parità di pedologia, risultano indipendenti dal contenuto idrico del suolo.
Corpi idrici, quali i laghetti collinari, presentano NDVI variabile in funzione delle condizioni delle acque: acque limpide presentano NDVI (fortemente) negativo in quanto la radiazione incidente nel NIR è assorbita completamente già nello strato superficiale della colonna d'acqua; acque ipertrofica presentano NDVI positivi a causa della riflessione dei pigmenti fotosintetici in superficie. Eventuali nuvole presenti nella scena sono caratterizzate da NDVI negativo.

L'applicabilità di relazioni derivate da correlazioni empiriche fra dati telerilevati e misure in situ solleva quesiti circa l'invariabilità delle relazioni nel tempo e tra diversi siti che vanno accuratamente verificati; vi sono, inoltre, aspetti legati alla variabilità del NDVI con la scala spaziale delle immagini telerilevate, che si restringe al peggiorare della risoluzione spaziale delle immagini e che devono essere debitamente tenuti in conto nel momento in cui si utilizzano dati acquisiti da sensori differenti.
L'aumento del dettaglio geometrico delle immagini introduce, inoltre, informazioni su pixel misti suolo in ombra/vegetazione, suolo esposto/vegetazione, parete della vegetazione/tetto della vegetazione, orientamento dei filari. Di queste informazioni non si riesce a tenere conto nei modelli calibrati su base empirica né, talvolta, nei modelli fisicamente basati; pertanto non è detto che l'introduzione del dettaglio spaziale determini un'informazione interpretata correttamente dai modelli.
La diffusione atmosferica incrementa la riflettanza spettrale maggiormente nel rosso che nell'infrarosso, dove è pressoché trascurabile. Il NDVI applicato su una immagine non corretta dalla diffusione atmosferica non è, pertanto, pari al valore desunto da una immagine corretta per l'effetto atmosferico che aggiunge variabilità temporale legata alle condizioni meteo e non alle caratteristiche spettrali del sistema suolo vegetazione.
Nuvole (otticamente) spesse sono facilmente filtrate (rimosse) dalle immagini telerilevate, tuttavia, nubi sottili quali i cirri possono contaminare significativamente la quantificazione dell'indice di vegetazione. Parimenti, le ombre delle nuvole influiscono sul NDVI e, nel caso in cui tali aree non siano filtrate, possono causare una erronea interpretazione del sistema suolo-vegetazione.
Generalmente l'indice NDVI derivato da piattaforma aerea mostra una variabilità statistica più ampia rispetto a quella da piattaforma satellitare, a conferma che risoluzioni spaziali più di dettaglio estremizzano la variabilità rilevata.
Sebbene l'indice NDVI enfatizzi il contrasto tra suolo e vegetazione e minimizzi l'effetto delle condizioni di illuminazione, esso mostra comunque un'elevata sensibilità alla riflettanza del substrato risultando di difficile interpretazione in condizioni di basse coperture vegetali.

Utilizzo dell'NDVI per l'analisi dello stato nutrizionale delle colture

L'azoto gioca un ruolo chiave nel ciclo e nella resa delle colture agrarie, poiché rappresenta il principale nutriente necessario per la produzione di clorofilla e di altre componenti della cellula della pianta. Per questo motivo, l'ottimizzazione delle quantità di azoto nella concimazione è un tema di fondamentale importanza per la ricerca agronomica (Agostini et al., 2010; Benincasa et al., 2011; Muñoz-Huerta et al., 2013) Nelle tecniche di agricoltura di precisione, la possibilità di monitorare precocemente lo stato nutrizionale delle colture è basilare per fornire una corretta quantità di azoto alle colture che permetta di massimizzare le rese evitando consumo di lusso nelle colture (Benincasa et al., 2011; Tei et al., 2003, 2002, 2000) e limitando perdite di nutrienti per lisciviazione, runoff o volatilizzazione atmosferica (Eitel et al., 2011; Tei et al., 1999). Pertanto, la conoscenza dello stato nutrizionale delle colture potrebbe fornire informazioni utili sulla quantità di azoto da somministrare alla concimazione successiva. Perché sia efficace, è utile che la valutazione dello stato nutrizionale delle colture avvenga non solo durante le fasi più delicate di accrescimento della coltura, ma anche con metodi e tecniche che consentano di ottenere un' adeguata differenziazione spaziale, in modo da localizzare correttamente le aree con diversi fabbisogni e quindi dosare in modo differenziato l'azoto (Beeri and Peled, 2009; Tilling et al., 2007). Tecniche di monitoraggio dello stato nutrizionale delle colture a terra sono ormai ben collaudate ed accurate (Farneselli et al., 2010; Ulissi et al., 2011a, 2011b), ma hanno il limite di essere laboriose, intempestive, e comunque puntiformi, ovvero spesso non rappresentative di tutta la variabilità spaziale all'interno del campo. Al contrario, gli indici di vegetazione calcolati da dati telerilevati,

possono fornire un valido supporto alla valutazione dello stato nutrizionale delle colture, avendo una copertura territoriale continua e non richiedendo prelievi in campo. Pertanto, essi potrebbero rappresentare una solida base per sviluppare metodi orientati alla realizzazione di mappe di prescrizione utilizzabili per ottimizzare le dosi di concimazione da somministrare alle colture.
Sulla base di quanto detto, lo scopo di questa sperimentazione è stato quello di mettere a punto due sistemi di telerilevamento, da satellite e da drone, confrontandoli con misure a terra dello stato nutrizionale/vegetativo di una coltura di frumento sottoposta a differenti livelli di disponibilità di azoto.

Telerilevamento delle colture degli appezzamenti sperimentali per mezzo di SAPR
(L'attività di rilievo da SAPR e di trattamento dei dati dal sensore multispettrale è stata eseguita attraverso la consulenza di Topcon Positioning Italy.)

L'operazione di telerilevamento (remote sensing) per mezzo di SAPR (Sistemi Aeromobili a Pilotaggio remoto, più comunemente detti droni) è stata condotta al fine di ottenere dati sulla vigoria vegetazionale attraverso il calcolo, a partire dai valori di radiazione elettromagnetica, dell'Indice NDVI - Normalized Difference Vegetation Index. Tali mappe NDVI sono state confrontate con le stesse mappe ottenute per mezzo del telerilevamento satellitare per determinare il miglior metodo di remot sensing nell'analisi vegetazionale.
Il Telerilevamento di prossimità o a bassa quota (spesso indicato anche con la locuzione inglese LARS - Low Altitude Remote Sensing) è un insieme di tecniche di raccolta di dati attraverso l'uso di sensori di varia natura (ottici, chimici, ecc.) montati su vettori che operano a poche centinaia di metri di quota. Di norma il telerilevamento di prossimità viene utilizzato in tutti quei casi in cui non è possibile o conveniente utilizzare le piattaforme tradizionali per raccogliere dati da altezze elevate: è il caso ad esempio di riprese da effettuare nella stagione umida, quando la copertura nuvolosa ostacola le riprese da satellite, o quando sia richiesta un'elevata risoluzione al suolo su aree molto piccole (aree di pregio ambientale, piccoli appezzamenti agricoli, scavi archeologici, indagini su edifici o infrastrutture. Dal punto di vista logistico, i droni sono caratterizzati da una operatività nettamente semplificata rispetto alle piattaforme satellitari o ad altri tipi di piattaforma aerea. Ad esempio i droni di piccole dimensioni di tipo VTOL (Vertical Take-Off and Landing) possono decollare e atterrare in aree pianeggianti di dimensioni estremamente ridotte, non necessitano di piani di volo, sono facilmente trasportabili in prossimità delle aree da rilevare, con un conseguente abbattimento dei costi di trasporto, messa in campo e ritiro della strumentazione, e hanno bassi consumi energetici e ridotti costi di manutenzione. Il telerilevamento di prossimità viene eseguito sfruttando specifiche tipologie di velivoli. Escludendo i palloni aerostatici (che rappresentano punti di osservazione fissi e quindi di limitata flessibilità operativa) o elicotteri ed aerei leggeri (caratterizzati da soglie di investimento e costi di gestione significativi), quelli con maggiore potenzialità sono i mini e micro UAV (Unmanned Aerial Vehicles), che operano a quote inferiori ai 300 metri. Gli UAV (chiamati anche droni) sono in grado di operare senza equipaggio, controllati via radio da un operatore situato a terra, e possono anche essere programmati per eseguire voli automatici. Gli UAV sono vettori di origine militare, tuttavia il loro impiego in ambito civile è in rapido e costante aumento. Oltre che a fattori di natura economica, questa diffusione è legata soprattutto alla buona affidabilità raggiunta ed alla crescente disponibilità di sensori e strumentazione dedicata che consentono agli UAV di accreditarsi come strumenti di misura. I droni sono in grado di montare sensori a bordo per effettuare rilievi del territorio e, grazie a questo, sono numerosi i contesti tematici in cui i droni trovano utilizzo in ambito civile. Tra le applicazioni più interessanti ci sono certamente quelle relative all'Agricoltura di Precisione, laddove i dati multispettrali ad alta risoluzione ottenuti con i droni consentono di produrre mappe tematiche, in

formato digitale, che rappresentano il vigore vegetativo delle coltivazioni grazie alla tematizzazione degli indici di vegetazione (NDVI). Molto diffusi sono anche gli utilizzi per il monitoraggio di abusi edilizi ed estrattivi o dello smaltimento illecito dei rifiuti, fino ad arrivare all'ingegneria civile: dai rilievi di edifici e manufatti, che consentono restituzioni bi-tridimensionali delle strutture, per giungere all'esame delle linee elettriche che possono essere così soggette a monitoraggio rapido e poco costoso. Anche nel campo della sicurezza e della protezione civile si evidenzia il vantaggio di questa tecnologia: si pensi alla videosorveglianza, per il controllo ad esempio dei confini e delle coste.
Per l'acquisizione delle immagini ad altissima risoluzione è stato impiegato un drone multirotore di dimensioni compatte e con struttura integralmente in carbonio, particolarmente leggera e robusta (compreso il supporto per la macchina fotografica) e centralina ottimizzata per il volo stabile.

Camera Tetracam ADC Micro

La camera scelta come oggetto della sperimentazione è la Tetracm ADC Micro. La camera fotografica Tetracam ADC Micro ha 3 bande corrispondenti al NIR (range da 760nm a 900nm), Red (range da 630nm a 690nm) e Green (range da 520nm a 600nm). Nello specifico, le bande Red, Green and NIR (approssimativamente TM2, TM3 and TM4 del Landsat) permettono, tra gli altri, l'estrazione degli indici NDVI, SAVI, NIR/Green. Il peso ridotto, inferiore ai 100 grammi, permette una sicura installazione a bordo dei sistemi APR. La camera è dotata di un unico sensore ed è montata su Gimbal, il supporto cardanico corrisposto in 2 o 3 assi, a seconda del tipo di utilizzo o applicazioni ricercate. Il Gimbal è stato collegato ad un apposito giroscopio che regola automaticamente l'inclinazione verticale ed orizzontale del supporto allo scopo di ottenere immagini stabilizzate e nadirali.
Il sensore all'interno della Tetracam presenta pixel di dimensione decisamente superiore e un NIR response migliore. Il formato della camera, in mm, è di 6.55 x 4.92; la dimensione del singolo pixel

TeamDev S.r.l.
Via Tiberina, 70
06050 Collepepe di Collazzone (PG)
tel. +39 075 9724382 – fax +39 075 63062111
info@teamdev.it – www.teamdev.it
R.E.A. 255377
P.IVA e C.F. 02982970549

(pixel size) è invece di 3.2 micron, mentre la lunghezza focale è di 8.43 mm. Il formato risultante dell'immagine è di 2048 x 1536 pixel.
La successione di acquisizioni ha potuto riprendere le varie fasi fenologiche della crescita del grano.

12 febbraio

31 marzo

30 aprile

6 maggio

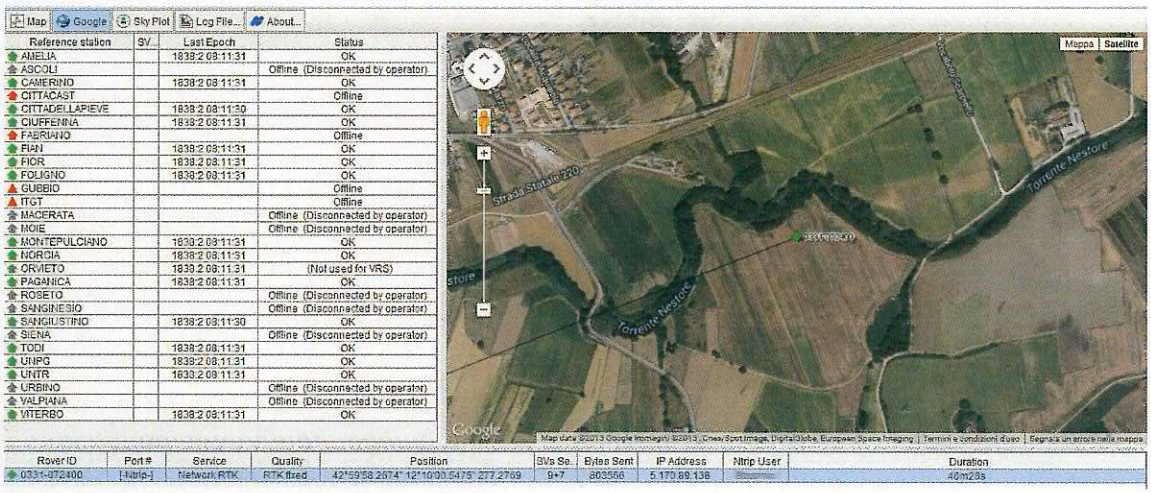
Grazie al supporto di Topcon, i punti individuati in ufficio nella griglia sono stati trasferiti in campo attraverso un'operazione di picchettamento con ricevitore GNSS rover Topcon operante con la tecnica NRTK (Network RTK), che consiste nella ricezione di dati di correzione differenziale in tempo reale da una rete di stazioni permanenti attraverso il protocollo NTRIP via Internet.
DI seguito una tabella excel estratta dal picchettamento eseguito lo scorso Febbraio.

PICCHETTI BLASI						
Punto	Latitudine	Longitudine	H ell.	Nord	Est	H s.l.m.
15_00	42°59'51,91817"N	12°10'05,30673"E	276,998	4764457,478	269164,707	229,184
14_01	42°59'51,81202"N	12°10'00,89427"E	276,707	4764457,574	269064,681	228,893
12_02	42°59'53,47956"N	12°10'03,02584"E	276,069	4764507,388	269114,684	228,258
9_03	42°59'55,16106"N	12°10'05,16265"E	275,666	4764557,629	269164,820	227,857
6_04	42°59'56,83605"N	12°10'07,28984"E	274,845	4764607,677	269214,730	227,039
3_05	42°59'58,40039"N	12°10'05,01003"E	274,682	4764657,677	269164,735	226,879
5_06	42°59'56,72105"N	12°10'02,87808"E	275,474	4764607,499	269114,713	227,668
8_07	42°59'55,04974"N	12°10'00,75003"E	276,319	4764557,566	269064,786	228,51
4_08	42°59'56,61173"N	12°09'58,46753"E	275,813	4764607,497	269014,728	228,006
2_09	42°59'58,28123"N	12°10'00,60068"E	275,162	4764657,370	269064,769	227,359

PICCHETTI FONDAZIONE						
Punto	Latitudine	Longitudine	H ell.	Nord	Est	H s.l.m.
4_00	42°58'08,00991"N	12°23'46,58255"E	209,46	4760649,976	287662,170	161,856
9_01	42°58'06,44031"N	12°23'48,84547"E	209,178	4760599,967	287711,934	161,574
13_02	42°58'04,77239"N	12°23'46,70995"E	209,295	4760550,013	287661,960	161,688
14_03	42°58'04,87230"N	12°23'51,12255"E	209,032	4760549,997	287762,022	161,429
10_04	42°58'06,54065"N	12°23'53,26223"E	209,468	4760599,962	287812,089	161,868
10_00	42°58'06,54835"N	12°23'53,26146"E	209,463	4760600,200	287812,079	161,863
5_00	42°58'08,10921"N	12°23'50,98490"E	209,469	4760649,949	287761,997	161,869
6_07	42°58'08,21011"N	12°23'55,39984"E	209,289	4760649,963	287862,110	161,692
11_08	42°58'06,63641"N	12°23'57,66698"E	209,377	4760599,826	287911,968	161,781
15_09	42°58'04,96961"N	12°23'55,54249"E	209,389	4760549,897	287862,247	161,790
19_10	42°58'03,29595"N	12°23'53,39369"E	209,012	4760499,774	287811,967	161,409

RILIEVO PARCELLINI (aggiornato il 20/2)						
Punto	Latitudine	Longitudine	H ell.	Nord	Est	H s.l.m.
parcellini1	42°58'11.79321"N	12°23'54.26453"E	209.443	4760761,295	287839,814	161.848
parcellini2	42°58'10.11374"N	12°23'54.93042"E	209.407	4760709,018	287853,295	161.811
parcellini3	42°58'10.22288"N	12°23'55.44040"E	209.577	4760712,027	287864,952	161.982
parcellini4	42°58'11.90319"N	12°23'54.77430"E	209.630	4760764,330	287851,468	162.036

Dato che il progetto RTK PSR 2007-2013 mis.124 si è svolto nello stesso periodo, allora il rover GNSS è stato collegato durante le operazioni di picchettamento nelle varie di campagne di acquisizione alla rete AGUMBRIA sperimentata nel progetto citato. Si riporta un salvaschermo del ricevitore collegato alla rete e in picchettamento sulle aree test dell'azienda Blasi.

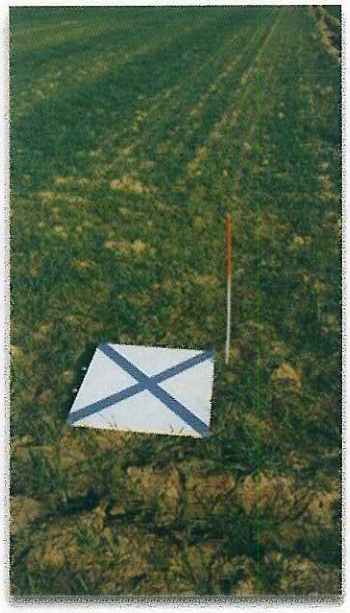


Per aiutare nella georeferenziazione delle immagini acquisite dal velivolo, sono stati sistemati a terra, in punti georiferiti, 10 marker, tavolette in legno bianche con un centro scuro. I marker utilizzati durante il primo volo avevano una dimensione di 25x25 cm.

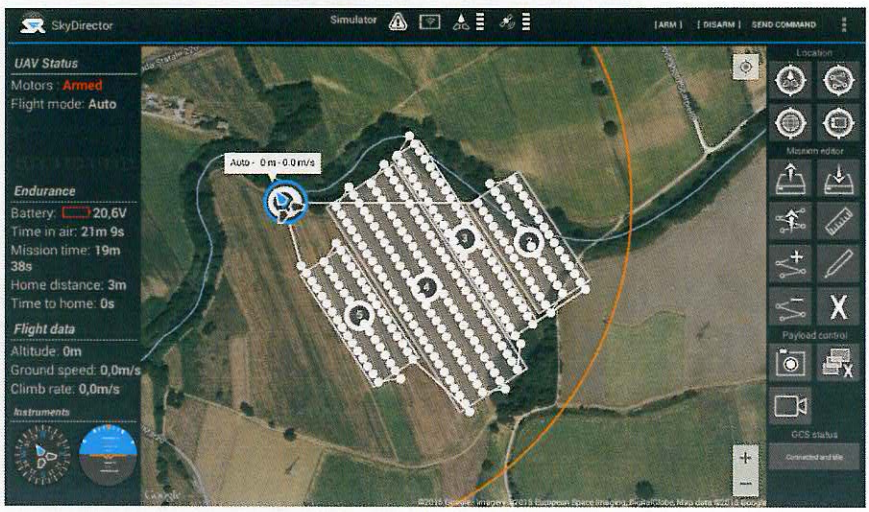
TeamDev S.r.l.
Via Tiberina, 70
06050 Collepepe di Collazzone (PG)
tel. +39 075 9724382 – fax +39 075 63062111
info@teamdev.it – www.teamdev.it
R.E.A. 255377
P.IVA e C.F. 02982970549

Tali misure si sono rivelate però troppo piccole e mal visibili nelle immagini acquisite dal drone. Nei voli successivi sono stati pertanto utilizzati marker più grandi, costruiti appositamente secondo linee guida internazionali, di dimensioni 50x50 cm, in legno bianco, recanti una croce grigia.

TeamDev S.r.l.
Via Tiberina, 70
06050 Collepepe di Collazzone (PG)
tel. +39 075 9724382 – fax +39 075 63062111 R.E.A. 255377
info@teamdev.it - www.teamdev.it P.IVA e C.F. 02982970549



Prima di ogni volo è stato definito preventivamente il piano di volo utilizzando il tablet facente parte della componentistica UAV. Il piano deve prevedere un'area di volo più ampia nel senso della direzione del volo, al fine di compensare lo shift dell'immagine derivante dalla differenza tra velocità di volo e scatto dell'immagine. Nel piano di volo vengono anche decisi i punti di acquisizione delle immagini e il loro numero. La direzione del volo ottimale è quella che segue l'andamento delle scoline del campo; ciò permette di ottenere immagini finali più nitide perché la sovrapposizione delle singole immagini cade sulle scoline e non tra le piantine di grano.



Telerilevamento satellitare

L'operazione di telerilevamento (remote sensing) per mezzo di satellite è stata condotta al fine di ottenere dati sulla vigoria vegetazionale attraverso il calcolo, a partire dai valori di radiazione elettromagnetica, dell'Indice NDVI - Normalized Difference Vegetation Index. Tali mappe NDVI sono state confrontate con le stesse mappe ottenute per mezzo del telerilevamento da SAPR per determinare il miglior metodo di remote sensing nell'analisi vegetazionale.

Per il calcolo degli indici NDVI da satellite sono state impiegate due immagini multi-spettrali ad alta risoluzione, una rilevata dal satellite GeoEye-1, e l'altra rilevata dal satellite WorldView-2.

Entrambi le immagini presentano quattro bande (tre nel visibile e una nel vicino infrarosso), una risoluzione geometrica al suolo di 2 m e una risoluzione radiometrica di 11 bit (2048 livelli per ciascuna banda). Entrambe le immagini sono state oggetto di correzione atmosferica e geometrica. Nel primo caso, previa conversione dei valori numerici dei pixel in misure di radianza, è stata calcolata la riflettanza (energia riflessa / energia incidente) a livello del suolo, con l'obiettivo di limitare al massimo l'effetto dello strato atmosferico e delle differenti condizioni di illuminazione e di ripresa sui valori misurati dal sensore satellitare. La correzione geometrica, realizzata in due tempi utilizzando un modello digitale del terreno a 20 m e dei punti di controllo a terra, ha permesso di incrementare l'accuratezza geometrica dell'immagine e limitare le deformazioni dovute alla morfologia della superficie terrestre. Al fine di incrementare ulteriormente il livello di attendibilità dei valori calcolati e la confrontabilità fra le immagini rilevate in date diverse e con sensori differenti, è stata sviluppata una procedura di co-registrazione utilizzando superfici cosiddette "pseudo-invarianti". Tali superfici sono state individuate mediante selezione a video di 30 punti collocati in corrispondenza di oggetti che possono essere considerati molto stabili dal punto di vista radiometrico (superfici di edifici, strade, etc.)(Hadjimitsis et al., 2009). Mediante regressione lineare fra le risposte medie ottenute nelle bande rosso (red) e vicino infrarosso (NIR) in aree circolari di raggio pari a 5 mt costruite attorno ai suddetti punti (R^2 rispettivamente pari a 0.91 e 0.9), sono stati calcolati i coefficienti utilizzati per calibrare la prima immagine in relazione alla seconda. I valori NDVI sono stati ottenuti per le due immagini applicando la seguente formula:

$$NDVI = (NIR - red)/(NIR + red)$$

Mediante intersezione geometrica fra i layer NDVI e le geometrie delle parcelle oggetto di sperimentazione sono stati individuati, per le due date, i pixel NDVI (e i relativi valori) associati a ciascuna parcella. La variabilità spaziale e temporale di tali valori è stata studiata mediante rappresentazioni cartografiche e grafici statistici a scatole e baffi (box-plot). Per testare la reale efficacia dell'indice nel misurare lo stato nutrizionale delle colture i valori medi misurati nelle parcelle MINI sono stati poi confrontati con gli indici derivati da dati agronomici e le misure "a terra".

Satellite WordlView-2

Lanciato ad ottobre 2009, il satellite Worldview-2 acquisisce immagini multispettrali ad 8 bande con risoluzione di 1,8 metri, per fornire la migliore rappresentazione a colori naturali della Terra, oltre che immagini pancromatiche con risoluzione di 46 centimetri (commercializzate con la risoluzione di 50 cm nel pancromatico e 2 metri nel multispettrale). In particolare WorldView-2 è il primo satellite commerciale ad alta risoluzione in grado di acquisire, accanto alle quattro tipiche bande Blu, Verde, Rosso ed Infrarosso Vicino, quattro ulteriori bande mulispettrali, "inedite" su un satellite ad altissima risoluzione:
la Coastal Band (400 - 450 nm), utile per lo studio di aree costiere, grazie alle sue caratteristiche di penetrazione nell`acqua, e ideale per migliorare i risultati nei processi di correzione atmosferica; la Yellow Band (585 - 625 nm): molto importante per rendere meglio i colori naturali delle immagini e per ottimizzare i processi di classificazione; la Red Edge Band (705 - 745 nm): fondamentale per l`analisi approfondita delle condizioni di salute della vegetazione; la Near Infrared 2 Band (860 - 1040 nm): una seconda banda nell`infrarosso vicino, meno influenzata dalle condizioni atmosferiche, estremamente utile a supporto dell'analisi della vegetazione e delle biomasse.

Un satellite dotato di tecnologie innovative e performance di alto livello in termini di rapidità e flessibilità di acquisizione e per le possibilità di uso applicativo: aggiornamento speditivo di cartografia tematica, monitoraggio di ambienti marini e costieri, agricoltura di precisione, Oil and Gas e studi sulla vegetazione e sulle biomasse.
La radiazione incidente nella banda del blu (blue) è assorbita dalla clorofilla, ed è meno affetta dalle condizioni atmosferiche; la banda del verde (green) è più stretta rispetto a quella di altri sensori satellitari ad alta risoluzione spaziale ed acquisisce con più accuratezza spettrale il picco di riflessione nel verde della vegetazione; la banda del rosso (red) è più stretta rispetto a quanto disponibile in altri sensori satellitari ad alta risoluzione e leggermente traslata verso lunghezze d'onda maggiori, ciò consente di determinare con più accuratezza il picco di assorbimento della clorofilla nel rosso.

Agilità

WorldView-2 è l'unico satellite commerciale, insieme a WorldView-1, ad essere dotato di un sistema di controllo dell`orientazione che gli conferisce grande agilità e che migliora le sue capacità di manovra e di acquisizione di target predefiniti. Worldview-2 può rapidamente ruotare per acquisire con estrema precisione punti localizzati in posizioni differenti. Le tecnologie di cui è dotato gli consentono di acquisire vaste aree (strisciata di 300km) in tempi rapidissimi (9 secondi), in un singolo passaggio ed anche in modalità stereoscopica.

Frequenza

Grazie al suo sistema di scanning bidirezionale (le immagini hanno un'ampiezza di circa 16,4 Km), WorldView2 è inoltre in grado di acquisire ben 975.000 kmq al giorno, anche in modalità stereoscopica, con un tempo medio di rivisita di 1,1 giorni, approssimativamente alle 10:00-10:30 am UTC.

Accuratezza

L'elevata accuratezza planimetrica offerta da WorldView-2 è garantita dalla sua avanzata tecnologia di posizionamento.

Satellite GeoEye-1

Lanciato lo scorso 6 settembre 2008, GeoEye-1 è il satellite ottico ad altissima risoluzione, per l'osservazione della terra, in grado di acquisire immagini con una risoluzione di 50 cm in modalità pancromatica e di 2 m nelle quattro bande multispettrali. GeoEye-1 è dotato, inoltre, di una notevole agilità che gli consente di acquisire aree piuttosto ampie anche in modalità stereoscopica: in questo modo si ottengono coppie di immagini con condizioni simili di acquisizione, particolarmente valide per l'estrazione di Modelli Digitali del Terreno (DEM).
GeoEye-1 acquisisce dati con una risoluzione spaziale al nadir di 0,41 m nel pancromatico (ricampionato a 50 cm) e 1,65 m nel multispettrale (ricampionato a 2 metri). Il periodo di rivisitazione varia in funzione della modalità di acquisizione: 8,3 giorni con un angolo di acquisizione nadirale pari a 10°; 2.8 giorni con un angolo off-nadir di 28°, 2,1 giorni a 35°. Le immagini vengono telerilevate ad 11 bit in una banda pancromatica e 4 multispettrali: panchromatic (450-800 nm); blue (450-510 nm); green (510-580 nm); red (655-690 nm) e Near InfraRed (780-920 nm)

Risoluzione

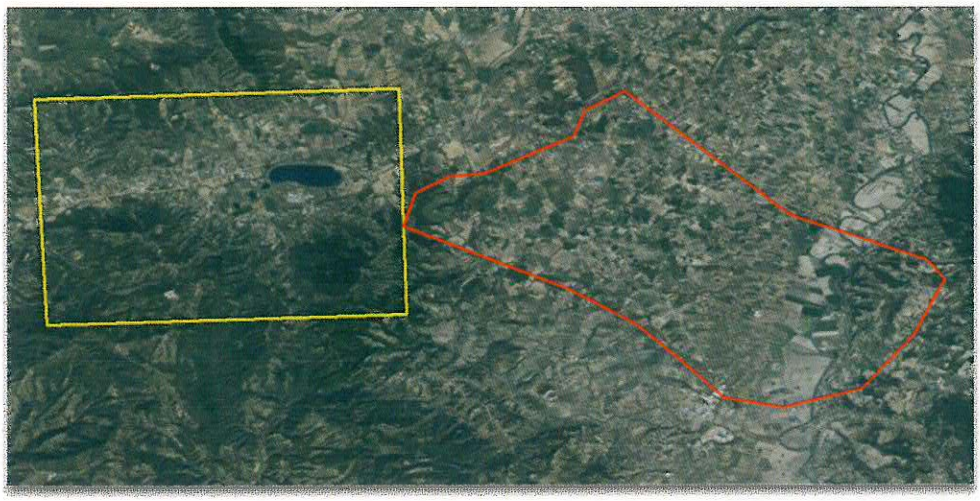
Il massimo grado di dettaglio ottenibile da piattaforma satellitare: 50 cm nel pancromatico e 2 m nel multispettrale.

Accuratezza

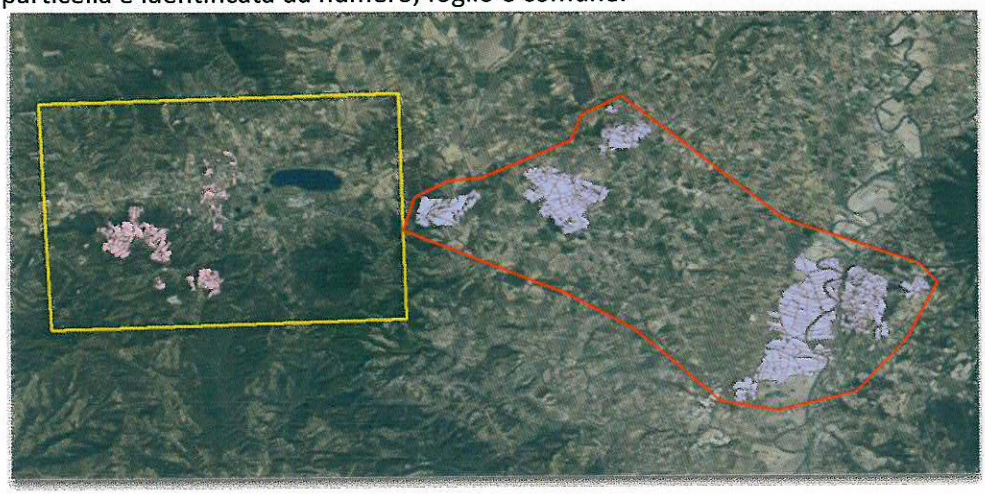
L'accuratezza planimetrica offerta da GeoEye-1 consente all'utente di mappare oggetti naturali ed antropici direttamente sull'immagine acquisita con un errore inferiore ai 3 metri rispetto alla loro reale posizione sulla superficie terrestre.

Agilità
GeoEye-1 dispone di notevoli capacità di manovra che migliorano la capacità di acquisire durante un singolo passaggio. Frequenza Seguendo un'orbita polare, ogni punto della Terra è mediamente rivisitato da GeoEye-1 ogni 3 giorni, in base all'angolo di acquisizione desiderato.
Volume
Con la capacità di acquisire sino a 700.000 kmq al giorno in modalità pancromatica e 350.000 kmq al giorno in modalità multispettrale, GeoEye-1 è ideale per tutte le esigenze specifiche di mapping a grande scala.

Sono state effettuate due acquisizioni satellitari per ognuno dei due appezzamenti, ciascuna ad un mese dalla concimazione, in modo da vederne gli effetti sulla vigoria della vegetazione. Le aree di acquisizione (AOI – Area Of Interest) sono state disegnate in modo da coprire un'estensione di 100 kmq, area di copertura dell'immagine satellitare.



Per meglio sfruttare i dati provenienti da tali acquisizioni, i 100 kmq disponibili sono stati fatti ricadere sulle particelle di proprietà rispettivamente dell'Azienda Agraria Blasi Luca e Fondazione per l'Istruzione Agraria. Per fare questo sono state ricostruite utilizzando il software GIS tutte le particelle di proprietà delle due aziende, prendendo i poligoni relativi dal catasto terreni. Ciascuna particella è identificata da numero, foglio e comune.



Per tutte le particelle è stato calcolato l'indice NDVI. Questo rappresenta un dato aggiuntivo rispetto alle attività definite nel progetto iniziale, ma che permette di testare il remote sensing satellitare e l'indice NDVI su diversi tipi di coltivazioni (seminativi, vigneti, oliveti).

Elaborazione dati in ambiente GIS

Lo studio di un fenomeno o di una superficie effettuato con tecniche di telerilevamento di prossimità prevede tre fasi distinte:

- acquisizione dei dati mediante telerilevamento
- elaborazione dei dati con creazione di immagini digitali
- interpretazione e uso dei dati

Le potenzialità e i risultati offerti da tale metodologia sono notevoli se si considera la relativa facilità di ottenere informazioni di qualsiasi tipo (in particolar modo i parametri ambientali), in breve tempo, a distanza, ripetute nel tempo, con maggior oggettività e precisione ed anche con una maggiore economicità complessiva rispetto ai metodi di rilevazione convenzionali.

Esso rappresenta dunque una vera e propria rivoluzione nell'ambito del monitoraggio ambientale di prossimità grazie al fatto che è possibile disporre di dati puntuali e con un elevato grado di risoluzione sul territorio che permette di ottenere informazioni da incrociare con dati a scala maggiore.

Per ottenere questi dati gli UAV assolvono alla funzione di sensori di prossimità: questi sistemi possono essere utilizzati infatti per rilievi aerei a bassa quota (telerilevamento di prossimità), montando a bordo sensori di dimensioni sempre più miniaturizzati. Registrando, durante la missione di volo, la traiettoria seguita, si potrà ripetere nel tempo, il medesimo percorso permettendo un'analisi multi temporale dei dati della stessa area in analisi.

La fotogrammetria

La fotogrammetria è l'insieme dei processi di utilizzazione delle prospettive fotografiche centrali nella formazione di cartografie che rappresentano il terreno. La fotogrammetria consente la ricostruzione degli oggetti e la determinazione di alcune loro caratteristiche senza richiedere il contatto fisico con gli stessi, consentendo la realizzazione di rappresentazioni grafiche in scala dell'oggetto esaminato.

Le deformazioni geometriche dell'immagine fotografica, indotte dall'inclinazione dell'asse ottico di presa e dalle variazioni in quota del terreno durante le prese, possono essere eliminate ricorrendo al raddrizzamento differenziale delle prese aerofotogrammetriche nadirali. Procedendo al raddrizzamento differenziale dei fotogrammi e alla mosaicatura geometrica e radiometrica, si può pervenire alla formazione di ortofotomosaici.

La precisione richiesta è definita di volta in volta dalle tolleranze planimetriche ed altimetriche che ne regolano la formazione, e che vengono stabilite in funzione della scala di rappresentazione e delle finalità preposte. L'impiego di piani ortofotografici a grandissima scala cioè a 1:2000 e 1:1000, dovrebbe richiedere al confronto una maggior precisione metrica ed una risoluzione maggiore del fotogramma.

L'utilizzo di un sensore a infrarossi (NIR) sviluppato "ad hoc" e solidale al gimbal montato a bordo di un sistema UAV consente di facilitare le tecniche fotogrammetriche, l'analisi e la mosaicatura delle immagini e di ottenere immagini accurate sia in termini geometrici che radiometrici.

Le foto con assetto nadirale, infatti, sono caratterizzate dalla verticalità dell'asse ottico della camera e dalla conseguente orizzontalità del fotogramma. Le foto verticali, eseguite con la camera sviluppata, presentano la particolarità di essere lette in stereoscopia e di facilitare la misura di un particolare di cui si renda necessario conoscere le dimensioni.

TeamDev S.r.l.
Via Tiberina, 70
06050 Collepepe di Collazzone (PG)
tel. +39 075 9724382 – fax +39 075 63062111 R.E.A. 255377
info@teamdev.it – www.teamdev.it P.IVA e C.F. 02982970549

Fase di acquisizione

Nelle immagini sono riportate le due aree di acquisizione.

Le immagini di ogni volo sono state acquisite con obiettivo impostato su distanza focale pari a 8.43 mm. La quota media di volo è stata pari a 100 m, con una velocità media di volo di 5 metri al secondo, e sono state acquisite immagini nadirali nell'infrarosso ad altissima risoluzione, consentendo di definire la risoluzione spaziale finale a circa 3 cm. La direzione di volo è stata pianificata in modo da ottenere le immagini orientate nella stessa direzione dei singoli parcelloni.
Prima di ogni volo è stato eseguito uno scatto su un foglio rigido di teflon (avente una riflettanza neutra con valori tra il 24% e il 36%), allo scopo di utilizzare tale foto per la successiva calibrazione delle immagini. Questa operazione permette di rendere confrontabili le acquisizioni di una stessa area eseguite in epoche diverse.

Fase di calibrazione

Le foto così ottenute sono state convertite dal formato nativo RAW in TIF, eseguendo un processamento di spalmatura del colore sulle immagini. Successivamente è stata eseguita la loro calibrazione grazie ad un file generato allo scopo servendosi della foto scattata su teflon. Caricata la foto si è selezionato un riquadro dove il teflon è risultato di una risposta spettrale omogenea, successivamente è stato generato un file di calibrazione che è stato poi utilizzato per calibrare la radiometria di ogni singola immagine.

TeamDev S.r.l.
Via Tiberina, 70
06050 Collepepe di Collazzone (PG)
tel. +39 075 9724382 – fax +39 075 63062111 R.E.A. 255377
info@teamdev.it - www.teamdev.it P.IVA e C.F. 02982970549

Fase di elaborazione

Tipicamente una parte cospicua del lavoro di acquisizione delle informazioni di telerilevamento consiste nell'elaborazione delle stesse in immagini opportune e nella successiva analisi.

Tra queste operazioni c'è la digitalizzazione delle informazioni elettromagnetiche ricavate dal sensore a bordo del drone: l'immagine ricavata è rappresentata attraverso pixel sul monitor di visualizzazione in un grigliato di righe Y e colonne X. Ciascun valore elettromagnetico rilevato per ciascun pixel di territorio osservato viene digitalizzato ovvero codificato in vari livelli discreti di quantizzazione dando vita a numeri adimensionali detti Digital Number (DN) favorendone la rappresentazione e quantificazione: tanto maggiori sono i livelli di quantizzazione tanto più fine e dettagliata è la risoluzione cromatica dell'immagine espressa in scala di grigi. Tali valori di DN risultano così proporzionali alla grandezza elettromagnetica di interesse. In genere inoltre è possibile ottenere la distribuzione di frequenza dei DN dell'immagine sotto forma di istogramma, sia globalmente sia per arbitrari profili di riga Y e colonna X, con relativi parametri statistici di media, varianza, deviazione standard, moda, mediana.

Le immagini possono riferirsi a singole bande spettrali di osservazione oppure a più bande cumulate fino al caso dell'intero spettro del visibile e dell'infrarosso (immagine pancromatica).

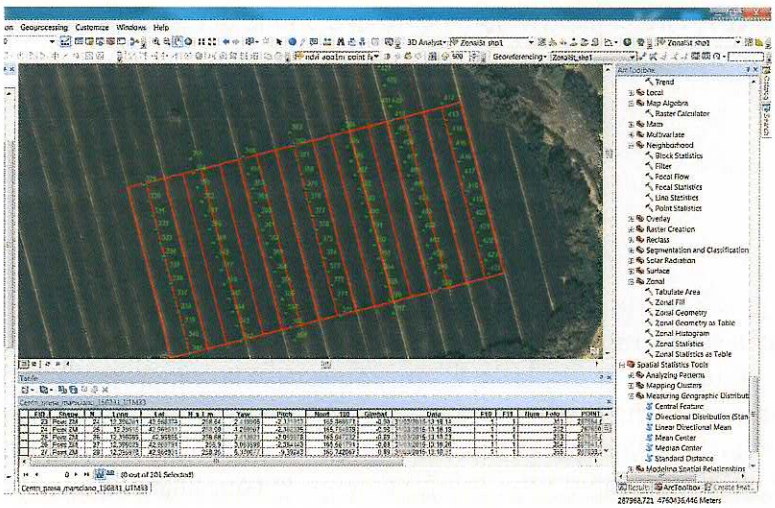
A partire da una foto in scala di grigi è possibile ottenere un'immagine a colori associando alle bande ottiche di scansione i rispettivi colori fisici (true color): l'immagine così ottenuta è approssimativamente quella che si avvicina di più ad un'immagine fotografica anche se non con la risoluzione spettrale su tutti i colori che possiede invece l'occhio umano.

È possibile inoltre associare altri colori non corrispondenti a quelli reali delle bande di scansione (false color), spesso utilizzati per far risaltare meglio le diverse tipologie di superficie investigate potendo così creare mappe tematiche.

In alternativa è possibile creare mappe tematiche più dettagliate selezionando manualmente porzioni omogenee di immagini (training field) rappresentanti classi diverse di superfici (suolo nudo, prato, bosco, ambiente sub-urbano ed urbano, infrastrutture), assegnando loro un opportuno colore, con il software che estende il colore selezionato al resto dell'immagine con superfici di pari set di radianza.

Nell'ambito della Precision Farming per la rilevazione e lo studio fenologico della copertura vegetale l'obiettivo del progetto è quello di realizzare le cosiddette mappe NDVI che consentono di visualizzare meglio le informazioni relative a tale tipo di superficie e alla densità di vegetazione in

relazione alle eventuali fasi di crescita annuali. E' inoltre possibile creare mappe di radianza (o DN) di cambiamento nel tempo tra due immagini acquisite in istanti temporali diversi (ad esempio a distanza di mesi), utilizzate ad esempio per monitorare lo stato fenologico nelle diverse fasi vegetative dell'anno o la crescita della copertura vegetale.
Dal file log generato dal sistema UAV, che riporta le informazioni sul volo foto per foto, come il pitch (beccheggio), il roll (rollio) e lo yaw (imbardata), sono state acquisite le informazioni circa la direzione di volo (in particolare l'angolo rispetto al nord) e le coordinate dei centri di presa delle immagini.
A partire da tali coordinate, opportunamente convertite nel sistema di riferimento lineare adottato (proiezione UTM33 WGS84), è stato generato un layer di punti che è stato inserito all'interno di un GIS (Sistema Informativo Geografico), che ci ha permesso di visualizzare in dettaglio la posizione a terra dei centri di presa.



Per risalire al corretto posizionamento e ingombro a terra delle foto associate ai centri di presa è stato calcolato quello che viene definito "abbracciamento del fotogramma".
In ciascun fotogramma di formato l, ottenuto all'altezza di volo H, è rappresentata una porzione di terreno di lato L, detto appunto abbracciamento del fotogramma. Il suo valore può essere facilmente ottenuto impostando questa proporzione:

$$L : H = l : f$$

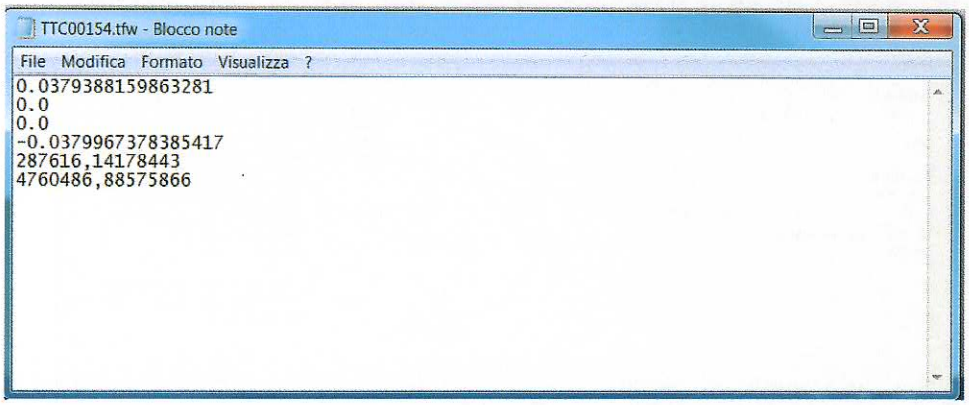
dove:
L è il lato a terra del fotogramma
H è l'altezza di volo del drone rispetto al terreno
l è il lato del fotogramma (formato)
f corrisponde alla lunghezza focale

8							
9	Abbracciamento fotogramma (dimensione a terra del fotogramma)						
10	L:H=l:f	L=H*l/f	77,6986951	6,55	100	8,43	
11			58,3629893	4,92	100	8,43	
12			L	l	H	f	
13							
14	L: lato a terra del fotogramma						
15	H: altezza di volo rispetto al terreno						
16	l: lato del fotogramma (formato)						
17	f: lunghezza focale						
18							

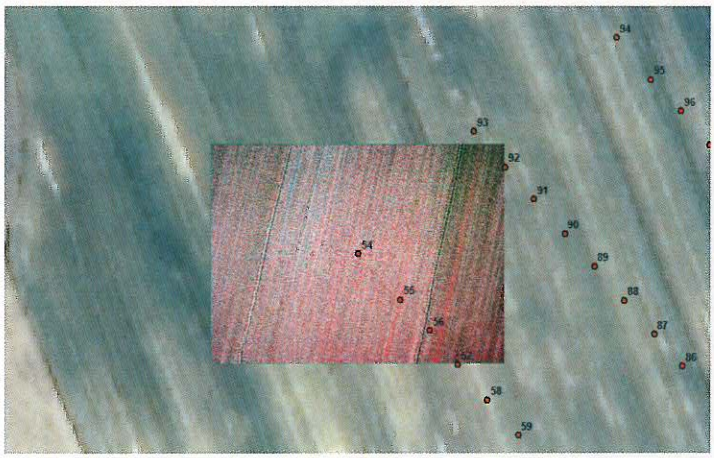
Ricavato l'abbracciamento del fotogramma e conoscendo le coordinate del punto centrale della foto, a questo punto possiamo procedere al posizionamento a terra dell'immagine agendo sul file tfw che ci andiamo a costruire. Il file tfw non è altro che un file di testo che contiene nelle prime 6 righe, 6 numeri in virgola mobile:

0.0379388159863281
0.0
0.0
-0.0379967378385417
287616,14178443
4760486,88575866

I primi 4 valori del file rappresentano una matrice A2x2 di roto/scalatura; gli ultimi 2 valori rappresentano un vettore T di traslazione. In totale il file rappresenta la trasformazione (rotazione/scala/traslazione) che occorre fare per trasportare ogni pixel nella posizione geografica che gli compete. In notazione algebrica la posizione geografica *g* di un punto *p* è data da $g = A*p+T$.
Sostanzialmente gli ultimi due valori sono semplicemente le coordinate del pixel in alto a sinistra dell'immagine. Nella maggior parte dei casi non è presente una rotazione, in questo caso il secondo e terzo valore sono zero, mentre il primo ed il quarto sono il fattore di scala verticale ed orizzontale. Il fattore di scala è semplicemente la dimensione di un singolo pixel.
Per cui conoscendo l'ingombro a terra dell'immagine e le coordinate del centro di presa è possibile ricavare quella che è la coordinata X e Y del pixel in alto a sinistra (sottraendo alla coordinata X del centro di presa metà lunghezza a terra della foto e sommando invece alla coordinata Y del centro di presa metà della sua altezza) e il fattore di scala, quest'ultimo ricavabile semplicemente dividendo l'estensione a terra del fotogramma per la sua risoluzione (sia per la X che per la Y).
In sostanza: 77,6986951 / 2048 = 0.0379388159 ; 58,3629893 / 1536 = -0.0379967378
Da notare che la scala verticale è negativa perché il sistema di riferimento geografico cresce verso l'alto (come le coordinate cartesiane), mentre il numero di riga di un immagine cresce verso il basso: la prima riga (la numero 0) è quella in alto, l'ultima quella in basso.
Inserendo nel file di testo tfw queste informazioni, riusciamo a georiferire l'immagine associata al tfw che dovrà avere lo stesso nome della foto tif (TTC00154.tif e TTC00154.tfw).

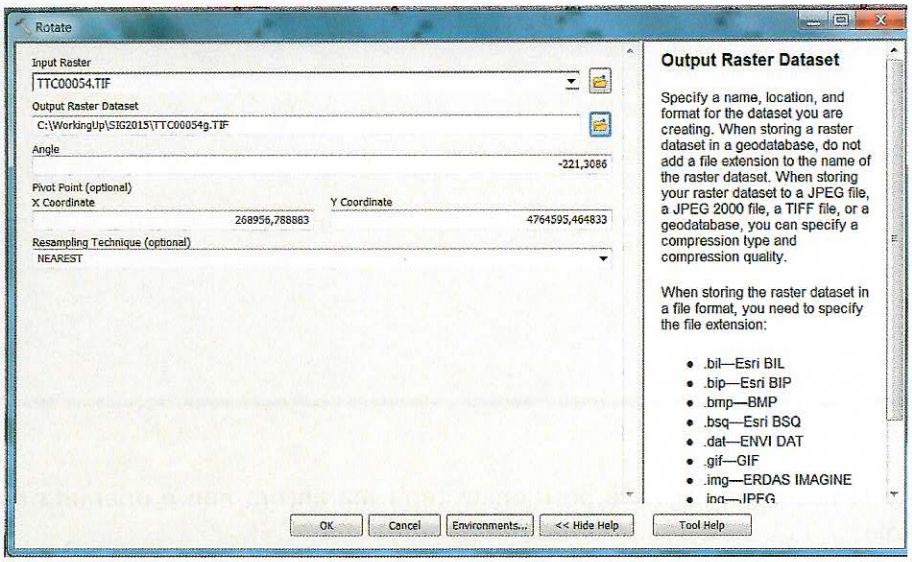


A questo punto la nostra immagine è posizionata terra ma ancora non è orientata rispetto alla direzione del volo.

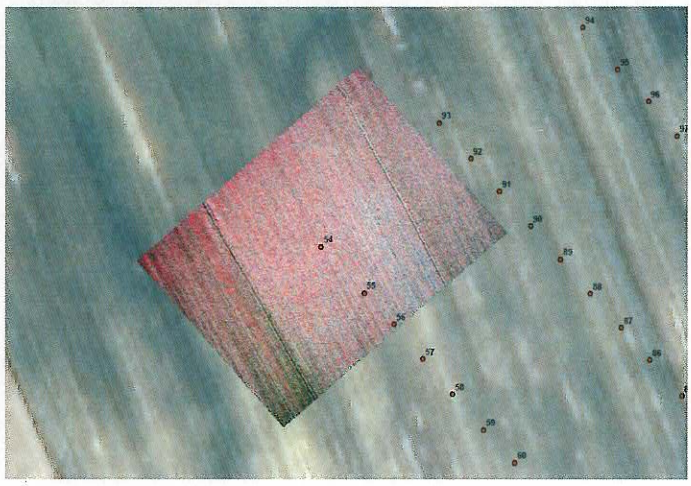


Per far questo tramite gli strumenti GIS, dopo aver letto le informazioni nel log file sulla direzione di volo rispetto al NORD, applico questo angolo all'interno del tool di rotazione raster, facendo attenzione di inserire come punto "pivot", il centro di presa.

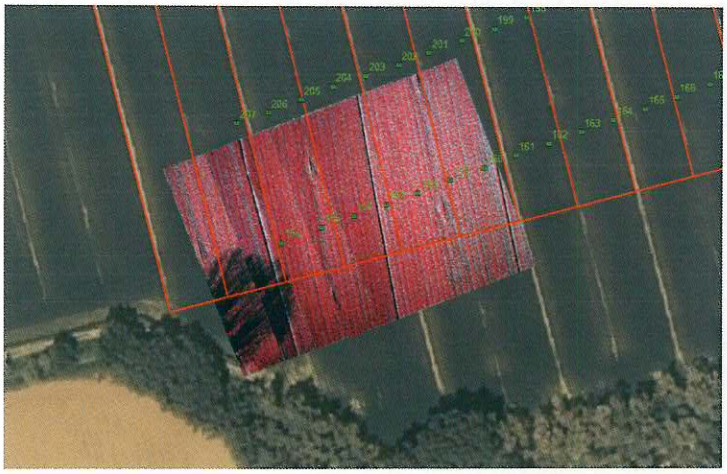
TeamDev S.r.l.
Via Tiberina, 70
06050 Collepepe di Collazzone (PG)
tel. +39 075 9724382 – fax +39 075 63062111 R.E.A. 255377
info@teamdev.it - www.teamdev.it P.IVA e C.F. 02982970549



Ora l'immagine è posizionata a terra e correttamente orientata, mantenendo quella precisione centimetrica che mi proviene dal sistema GPS di correzione differenziale RTK.

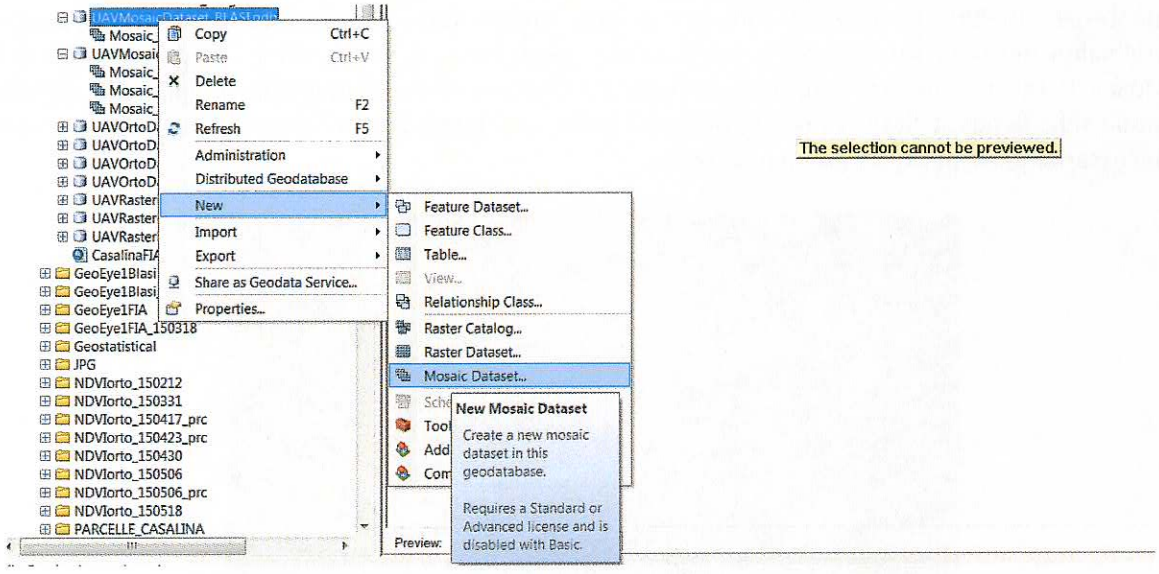


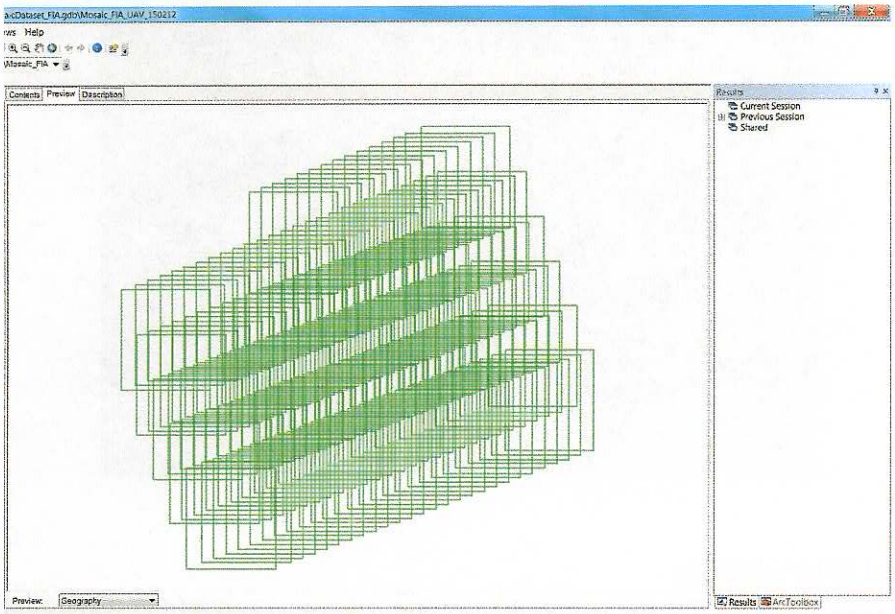
Fatto questa operazione, è possibile "spalmare" le foto a terra, una per una, all'interno del nostro progetto GIS, mantenendo la precisione centimetrica sia di abbracciamento che di posizione grazie al supporto del sistema Gimbal che ci garantisce l'assoluta nadiralità rispetto al volo.



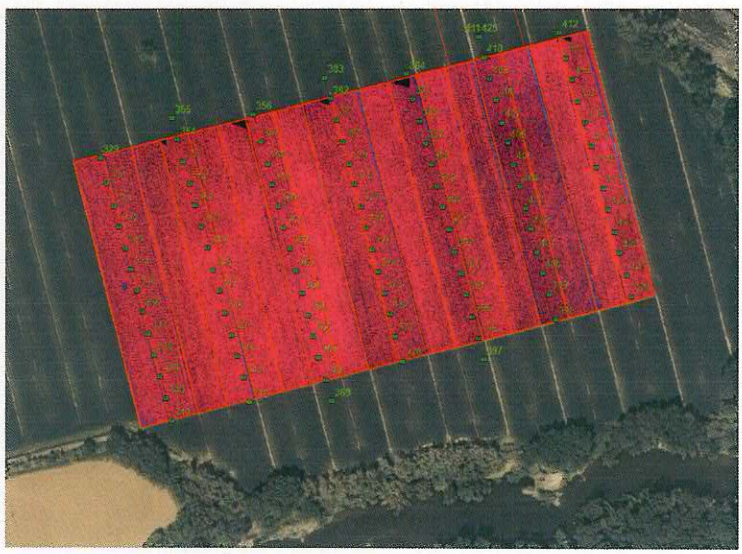
Integrazione nel Mosaic Dataset

Una volta orientate tutte le immagini, in ambiente GIS, è stato creato prima un geodatabase e poi un Mosaic Dataset al suo interno. In questo modo è stato possibile sia archiviare in un unico contenitore tutte le foto così ottenute che renderle fruibili per una loro mosaicatura.





Fatto questo è stato possibile generare una loro mosaicatura utilizzando come metodo di ricampionamento quello del "prossimo più vicino" (nearest neighbor resampling) che consente di mantenere inalterati i valori di radianza di ogni singola foto. Così facendo garantiamo quella originalità del dato fondamentale per il calcolo degli indici di vegetazione. La particolarità del Mosaic Dataset è quella di consentire di risalire in ogni momento all'immagine originale; in questo modo si ha la possibilità di calcolare qualsiasi indice vegetativo anche per singola immagine e non necessariamente per tutta l'area mosaicata.



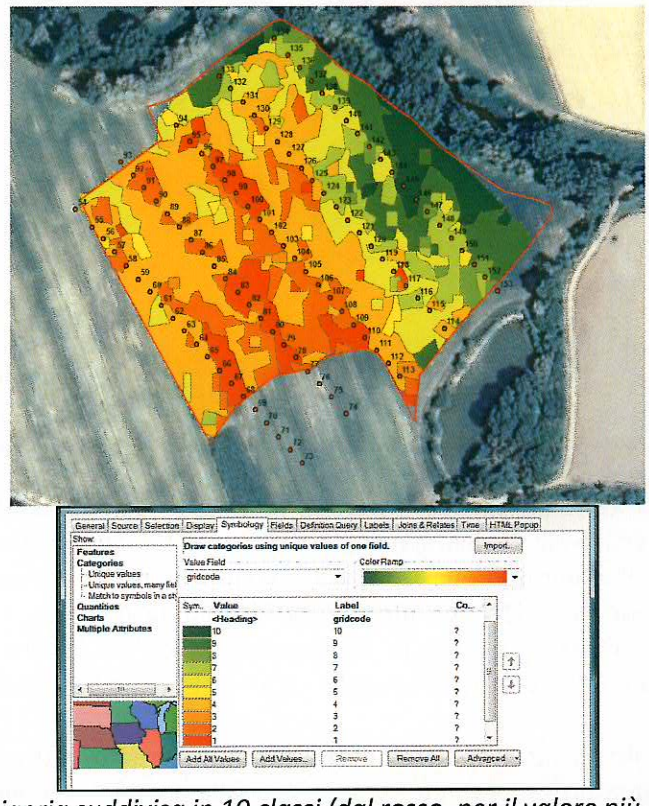
Produzione mappe di vigoria della vegetazione

Sulla base dell'indice NDVI, sono state essere realizzate "Mappe di vigoria della vegetazione". Esse sono mappe tematiche, in formato digitale, che rappresentano mediante opportune scale di colore aree omogenee per lo stato vegetativo delle piante, in base ai valori calcolati di NDVI. Ogni tonalità di colore indica un livello di vigore vegetativo.

Le mappe di vigoria evidenziano l'eventuale diversità, tra le varie aree di una stessa coltura, della quantità di biomassa fogliare fotosinteticamente attiva e di conseguenza l'eventuale disomogeneità all'interno della coltura di caratteristiche qualitative, produzione, stress.
Le mappe di vigoria costituiscono, nell'ambito della Precision Farming, la base dati per una gestione diversificata e più sostenibile di varie operazioni colturali.
Alcune applicazioni di questa tecnologia, basata sulla diversa riflettanza delle piante, possono essere:

- Concimazione differenziale delle varie aree;
- Irrigazione differenziale delle varie aree;
- Previsioni di rendimenti colturali differenziali nelle varie aree;
- Raccolta differenziale nelle varie aree (Es: vendemmia);
- Trattamento differenziale con fitofarmaci.

Le informazioni ottenute attraverso le mappe possono essere inserite in un sistema GPS sistemato su macchine agricole, in modo che le operazioni siano automaticamente svolte in modo differente a seconda dell'area dell'appezzamento che si sta trattano (Tecnologia a Rateo Variabile) con evidente risparmio in termini di impatti ambientali ed economici.
La creazione di mappe di vigoria può rivelarsi utile anche per un confronto multitemporale: l'analisi di mappe di vigoria realizzate in tempi successivi fornisce informazioni circa l'evoluzione di un appezzamento agricolo e l'efficacia dei trattamenti effettuati.



Esempio di mappa di vigoria suddivisa in 10 classi (dal rosso, per il valore più basso, al verde, per il valore più alto)

TeamDev S.r.l.
Via Tiberina, 70
06050 Collepepe di Collazzone (PG)
tel. +39 075 9724382 – fax +39 075 63062111 R.E.A. 255377
info@teamdev.it - www.teamdev.it P.IVA e C.F. 02982970549

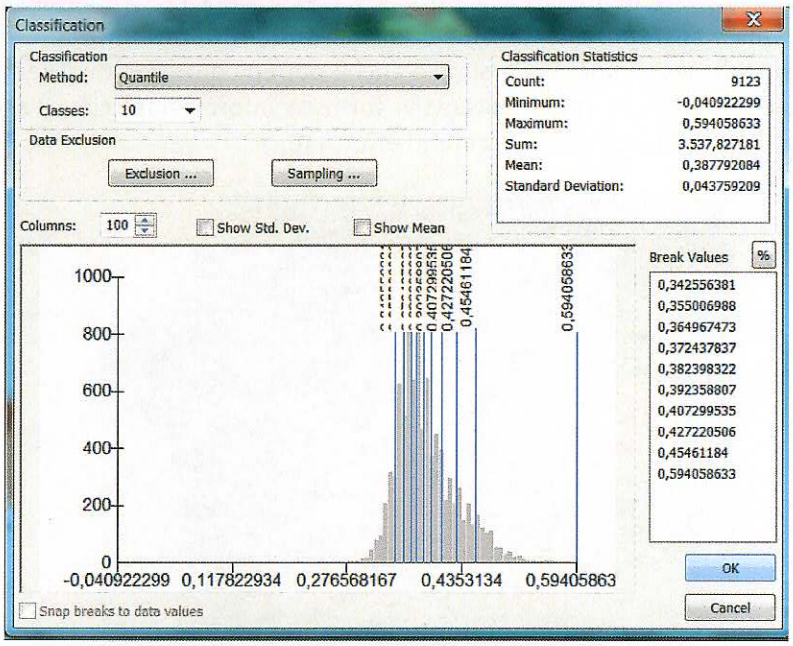
Analisi

Dalla generazione di un mosaico è stato possibile calcolare l'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) che mette in relazione l'assorbimento spettrale della clorofilla nella banda del rosso (RED) con il fenomeno di riflessione nel vicino infrarosso (NIR) laddove è fortemente influenzata dal tipo di struttura fogliare. Esso si basa sulla combinazione delle bande spettrali del rosso (RED) e dell'infrarosso vicino (NIR). Questo indice è normalizzato (varia tra -1 e +1) alla biomassa vegetale fotosinteticamente attiva.

Questo per tutti i voli effettuati nei due terreni agricoli oggetto di studio nell'arco temporale del progetto.

In particolare, da come si evince dalle immagini, si è notato come l'indice NDVI sia cresciuto in maniera decisa nel periodo compreso tra il febbraio e il maggio.

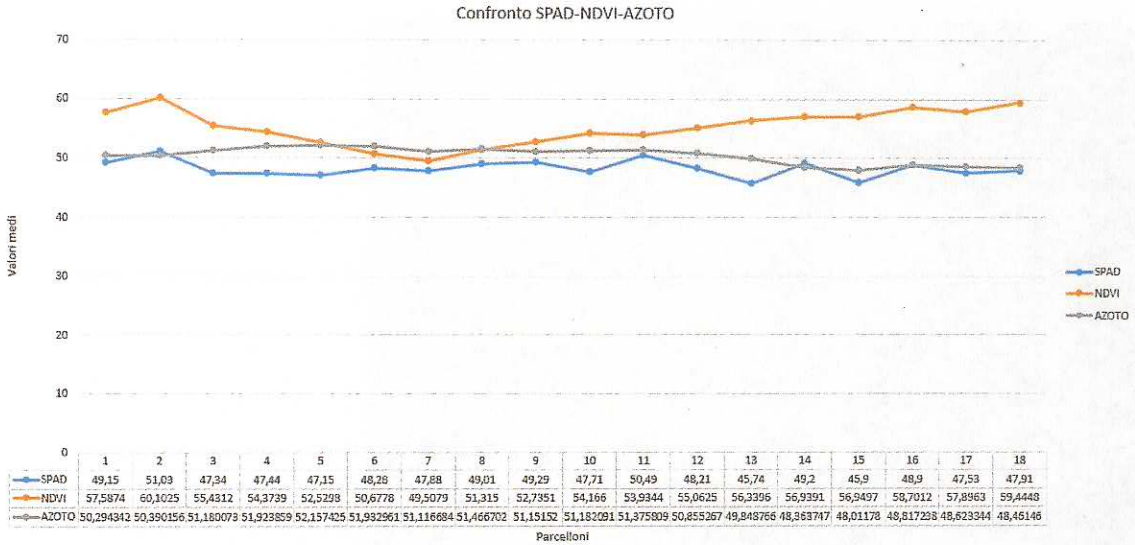
Per la rappresentazione grafica è stata eseguita una classificazione in 10 classi applicando il metodo dei quantili, che meglio rappresenta la distribuzione del dato.



Nei due terreni agricoli è stata utilizzata una scala cromatica in n tonalità, dal marrone al verde scuro, per indicare n diversi livelli di vigore vegetativo (marrone: vigore vegetativo minimo; verde scuro: vigore vegetativo massimo). In questo modo, ciascun campo risulta suddiviso in n classi di vigore, ciascuna pari all'incirca a 1/n dell'intera superficie vitata della parcella. Di ogni terreno, come detto, vengono prodotte le mappe in 10 classi, in modo da fornire all'utente un'ampia gamma di opportunità predefinite in relazione alle differenti possibili ricadute ed applicazioni in campo.

Insieme al dato in formato raster è stato prodotto anche il formato vettoriale dell'indice NDVI, generalizzato mediante una procedura automatica di classificazione in ambiente GIS. Questo per eliminare tutte quelle piccole aree isolate non significative ai fini della produzione di mappe di vigoria; tali aree sono state inglobate in quelle adiacenti di dimensioni più estese. La generazione di un formato vettoriale permette di rendere il dato confrontabile e utilizzabile per ulteriori analisi di comparazione con altri indici (SPAD, ceptometro, campionamenti per la misura di azoto, ecc.).

TeamDev S.r.l.
Via Tiberina, 70
06050 Collepepe di Collazzone (PG)
tel. +39 075 9724382 – fax +39 075 63062111 R.E.A. 255377
info@teamdev.it – www.teamdev.it P.IVA e C.F. 02982970549

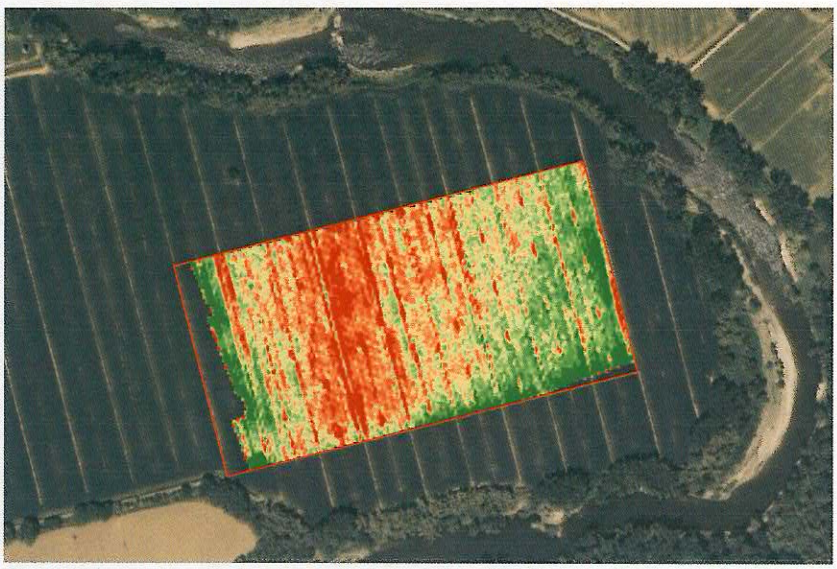


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SPAD	49,15	51,03	47,34	47,44	47,15	48,28	47,88	49,01	49,29	47,71	50,49	48,21	45,74	49,2	45,9	48,9	47,53	47,91
NDVI	57,5874	60,1025	55,4312	54,3739	52,5293	50,6778	49,5079	51,315	52,7351	54,166	53,9344	55,0625	56,3396	56,9391	56,9497	58,7012	57,8963	59,4448
AZOTO	50,294342	50,390156	51,180073	51,923859	52,157425	51,932961	51,116684	51,466702	51,15152	51,182091	51,375809	50,855267	49,848766	48,363747	48,01178	48,817238	48,623344	48,46146

Dal confronto dell'indice NDVI dei due terreni agricoli, quello di Blasi Luca ha riscontrato nel corso del progetto un valore decisamente più basso e con una maggiore difficoltà di crescita, dovuto anche al fatto che l'area sud-occidentale è stata colpita dal fenomeno fungineo denominato "ruggine gialla", prima forma di ruggine a manifestarsi in primavera. In caso di gravi attacchi, se il fenomeno non viene controllato, la capacità di assimilazione delle piante colpite si riduce drasticamente e questo ha conseguenti ripercussioni negative sulla produzione.

TeamDev S.r.l.
Via Tiberina, 70
06050 Collepepe di Collazzone (PG)
tel. +39 075 9724382 – fax +39 075 63062111 R.E.A. 255377
info@teamdev.it - www.teamdev.it P.IVA e C.F. 02982970549

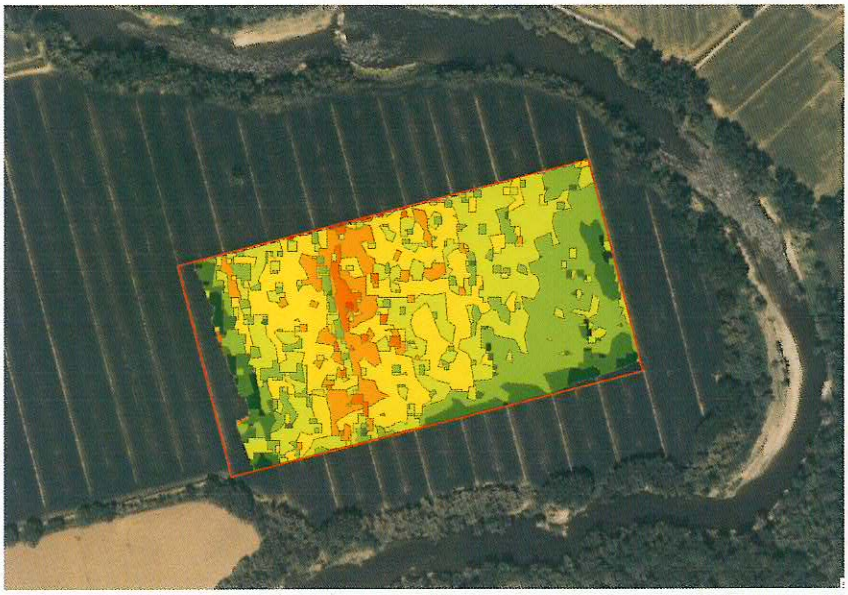
Azienda Blasi Luca, Indice NDVI. Acquisizione febbraio 2015



Fondazione di Istruzione Agraria, Indice NDVI. Acquisizione del febbraio 2015

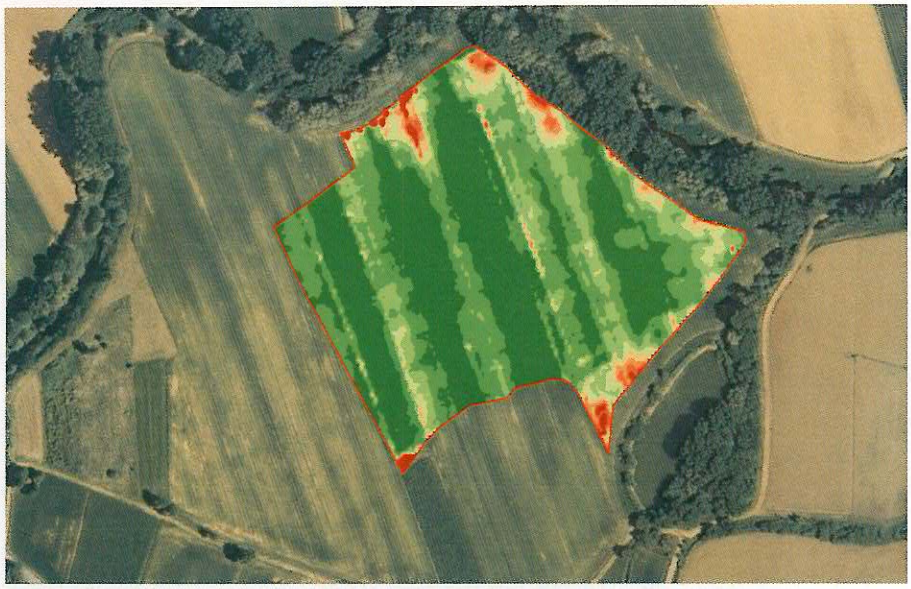
TeamDev S.r.l.
Via Tiberina, 70
06050 Collepepe di Collazzone (PG)
tel. +39 075 9724382 – fax +39 075 63062111
info@teamdev.it – www.teamdev.it
R.E.A. 255377
P.IVA e C.F. 02982970549

Azienda Blasi Luca, Indice NDVI generalizzato in formato vettoriale. Acquisizione febbraio 2015

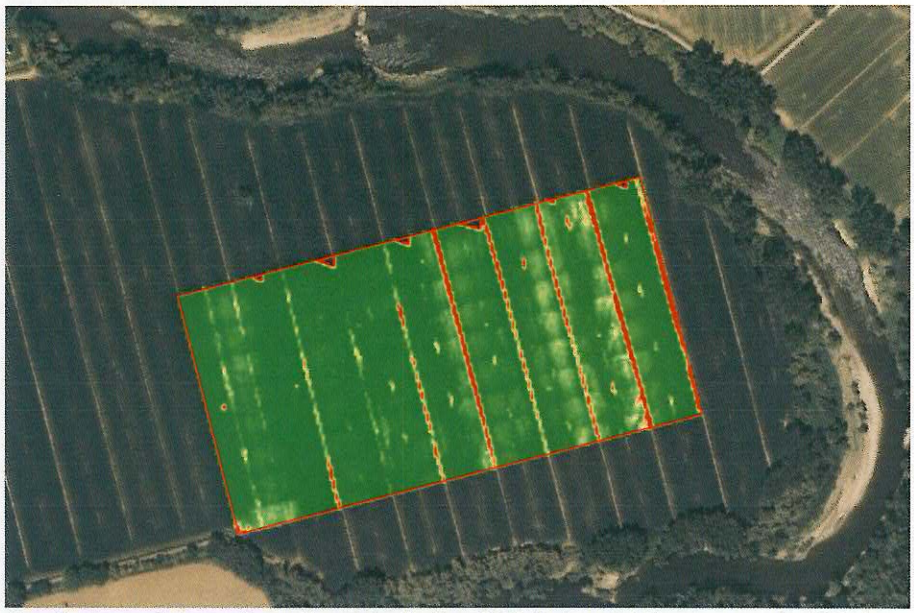


Fondazione di Istruzione Agraria, Indice NDVI generalizzato in formato vettoriale. Acquisizione febbraio 2015

TeamDev S.r.l.
Via Tiberina, 70
06050 Collepepe di Collazzone (PG)
tel. +39 075 9724382 – fax +39 075 63062111 R.E.A. 255377
info@teamdev.it - www.teamdev.it P.IVA e C.F. 02982970549

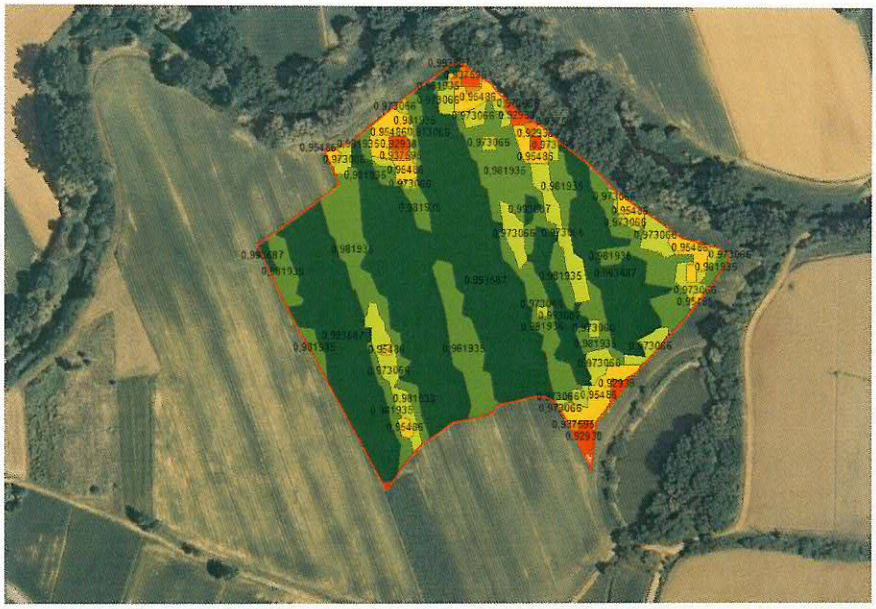


Azienda Blasi Luca, Indice NDVI. Acquisizione maggio 2015



Fondazione di Istruzione Agraria, Indice NDVI. Acquisizione maggio 2015

TeamDev S.r.l.
Via Tiberina, 70
06050 Collepepe di Collazzone (PG)
tel. +39 075 9724382 – fax +39 075 63062111 R.E.A. 255377
info@teamdev.it – www.teamdev.it P.IVA e C.F. 02982970549



Azienda Blasi Luca, Indice NDVI generalizzato in formato vettoriale. Acquisizione maggio 2015

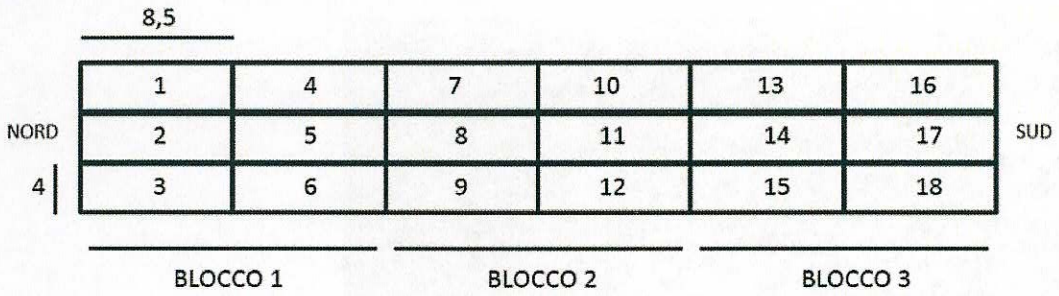
Fondazione di Istruzione Agraria, Indice NDVI generalizzato in formato vettoriale. Acquisizione maggio 2015

1.5 FASE 5 - Sperimentazione del sistema attraverso prove comparative in campo

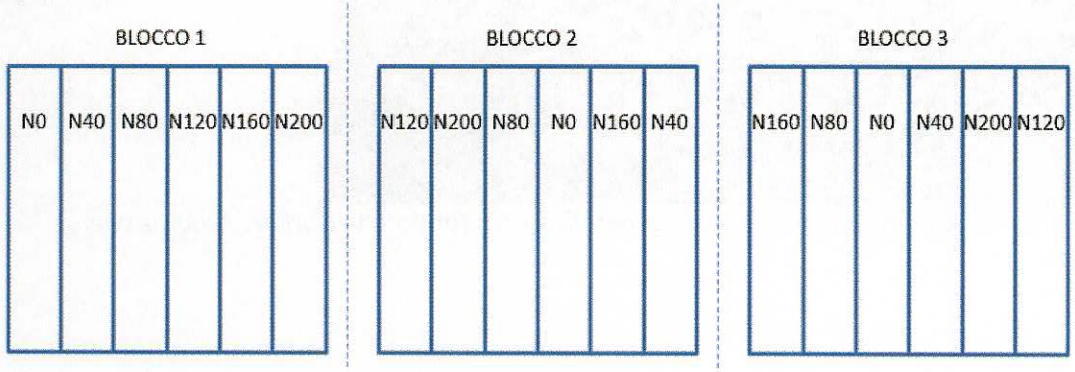
Le prove agronomiche in campo effettuate sono state le seguenti:

- campionamenti di terreno;
- concimazione.

Oltre a queste prove previste dal progetto, l'Università degli Studi di Perugia, Dipartimento Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali ha dato un importante contributo implementando la ricerca sulle modalità di acquisizione dati dalla coltura.
In uno schema sperimentale a blocco randomizzato con tre ripetizioni sono stati messi a confronto 6 differenti livelli di disponibilità di azoto ottenuti mediante le seguenti dosi di concimazione azotata: 0, 40, 80, 120, 160, 200 kg N ha^{-1}. La concimazione azotata è stata eseguita in due interventi, a fine accestimento e in pre-levata, distribuendo in ogni intervento il 50% della dose totale sottoforma di urea.
La prova complessiva si articolava in due sottoprove distinte. Una prima prova è stata organizzata in **parcelle di piccole dimensioni** (4 m x 8,5 m), volta ad ottenere una calibrazione dei sistemi di telerilevamento mediante riscontro a terra dello stato vegetativo/nutrizionale della coltura.



L'altra prova è stata organizzata in **parcelle di grandi dimensioni** (28 m x 265 m), volta a verificare la capacità di tali sistemi nel monitorare e valutare la presenza di variabilità spaziale su ampie superfici.



Le parcelle della prova MINI, disposte lungo la direttrice nord-sud, sono state ricavate in una porzione di appezzamento ritenuta rispondente in termini di uniformità di condizioni ambientali (suolo e microclima) per la crescita del frumento.

TeamDev S.r.l.
Via Tiberina, 70
06050 Collepepe di Collazzone (PG)
tel. +39 075 9724382 – fax +39 075 63062111
info@teamdev.it – www.teamdev.it
R.E.A. 255377
P.IVA e C.F. 02982970549

In queste particelle sono state effettuate le seguenti analisi:

- Analisi di azoto presente nel terreno dei parcellini (le analisi sui parcelloni erano già previste nel progetto iniziale)
- Misure SPAD su piante nei parcellini e parcelloni
- Misure con ceptometro su piante nei parcellini
- Analisi azoto fogliare per le piante nei parcellini

I dati raccolti in campo sono stati elaborati con il software GIS per la creazione di mappe tematiche attraverso complessi algoritmi di interpolazione, che permettono, a partire da dati puntuali (dati di campionamento) di ottenere valori approssimati per superfici vaste.

Campionamenti di terreno

Sono stati effettuati campionamenti di suolo in entrambi gli appezzamenti di terreno (Piegaro e Casalina).

Lo scopo del campionamento del terreno è stato quello di ottenere informazioni sui valori di parametri ed elementi nel terreno: tessitura del suolo (% limo, argilla e sabbia), pH, calcare totale, sostanza organica, azoto totale, fosforo assimilabile, potassio scambiabile. Questi dati serviranno per costruire mappe di distribuzione degli elementi da poter utilizzare come supporto decisionale per la successiva attività di concimazione differenziale.

I dati derivanti dal campionamento verranno anche confrontati con i del telerilevamento sia satellitare che per mezzo di UAV, per verificare una correlazione tra elementi nel terreno e vigoria della vegetazione.

La metodologia di campionamento utilizzata è stata quella indicata da uno studio condotto da "University of Nebraska" (R.B. Ferguson and G. W. Hergert).

La pianificazione preliminare del campionamento ha visto l'utilizzo del software GIS per determinare la localizzazione dei punti in cui effettuare il campionamento.

Le metodologie di determinazione dei punti sono state due:

- Campionamento secondo griglia (GRID)
- Campionamento random

Campionamento secondo griglia
Con l'utilizzo del GIS è stata creata una griglia formata da quadrati di 50m x 50m. Nei punti alterni individuati dalla griglia è stato fissato il punto di campionamento.

Campionamento random
Con l'utilizzo di uno specifico software sono stati determinati punti random di campionamento per coprire l'intera area dell'appezzamento
La mappa con la localizzazione di entrambe le tipologie di punti individuate è stata caricata in ArcGIS on line, una piattaforma accessibile via web per la consultazione di mappe on line.

Attività in campo: prelievo dei campioni
Con l'utilizzo di uno smartphone si è avuto accesso alla mappa di punti caricata su ArcGIS on line, attraverso l'applicazione "Collector for ArcGIS". L'applicazione permette di visualizzare grazie al GPS la propria posizione sul campo e guidare al ritrovamento del punto da campionare, precedentemente inserito in mappa.
Una volta trovato il punto, nell'arco di 3 m da esso sono stati prelevati 5 subcampioni di terreno in punti casuali, utilizzando una trivella manuale apposita per poter andare alla profondità di circa 20 cm, in considerazione dello sviluppo radicale del grano e in modo da non raccogliere il terreno superficiale che non darebbe indicazioni veritiere sulla quantità di elementi presenti.