

Prodotti e servizi innovativi per l'agricoltura di precisione da dati multitemporali rilevati tramite sistemi SAPR ad ala fissa

Paolo Dosso

Studio di Ingegneria Terradat, via A. Costa 17 - Paderno Dugnano (MI), tel./fax: 0291703372, p.dosso@terradat.it

Riassunto

I dati rilevati da sistemi SAPR ad ala fissa rappresentano una interessante opzione per la definizione di prodotti e servizi innovativi in supporto di tecniche ed applicazioni di agricoltura di precisione.

Oltre alla produzione delle consuete mappe di vigore in caso di suoli vegetati e di mappe dei suoli in caso di suoli nudi, entrambe con risoluzioni comunque assai elevate (3-5 cm GSD) e fuori dal comune per questo genere di applicazioni, i rilievi da sistemi SAPR permettono la realizzazione di modelli digitali delle superfici estremamente accurati e ad alta risoluzione (passo di 15-20 cm). Grazie al confronto di più rilievi ripetuti nel tempo con presenza ed assenza di vegetazione, è possibile ricavare anche mappe di altezza relativa della biomassa rispetto al piano campagna, che permettono una descrizione delle rese e delle potenzialità dei terreni agricoli contraddistinta da precisione ed accuratezza di classe superiore, non ottenibile mediante l'uso delle classiche mappe di vigore e/o dei suoli.

Il presente lavoro mostra le potenzialità in tale senso connesse all'utilizzo di rilievi da piattaforma SAPR ad ala fissa (sistema SwingleCAM), illustrando le risultanze di un'attività sperimentale condotta su un'area coltivata a mais di 40 ettari sulla quale sono stati effettuati due rilievi: il primo (agosto 2012) con il mais al suo massimo stadio di accrescimento, ed il secondo (aprile 2013) con i terreni lavorati ed in attesa della semina successiva.

Abstract:

Data collected by fixed-wing RPAS systems represent an interesting option for the setup of innovative products and services in support of precision agriculture techniques and applications.

Aside from the production of vigour maps (when flying over vegetated areas) and soil maps (when flying over bare soils), both anyway showing very high and uncommon resolutions (3-5 cm GSD), surveys with RPAS systems allow the creation of extremely accurate high-resolution digital models of the surfaces (up to 15-20 cm). By comparing multiple surveys repeated over time in different conditions (presence/absence of vegetation), it's also possible to derive maps that represent the height of biomass above ground level, which allows to obtain a more accurate and precise assessment of yield potential of farmlands, far beyond you can get by the more common use of vigour maps.

The present work shows the potential in this regard that resides in the use of aerial surveys from a fixed-wing RPAS system (SwingleCAM), showing the results of an experimental activity conducted over an area of 40 hectares covered by corn, on which there have been performed two surveys: the first (August 2012) with the presence of corn at its maximum stage of growth, and the second (April 2013) with the presence of tilled soil, waiting for the next sowing phase.

Studio Terradat e l'agricoltura di precisione

Lo Studio di Ingegneria Terradat di Paolo Dosso opera dal 1999 nel campo dei servizi geomatici a supporto dell'agricoltura di precisione, realizzando mappe di vigore vegetativo e mappe dei suoli a partire da dati ripresi da satellite, aereo, drone o sensori di prossimità.

Le mappe prodotte sono direttamente utilizzabili in applicazioni di agricoltura e viticoltura di precisione: attribuendo a ciascuna classe di vigore la corretta dose, infatti, esse svolgono la funzione di mappe di prescrizione in attività agricole realizzate con tecnologia a rateo variabile (VRT, *Variable Rate Technology*), quali ad esempio le attrezzature prodotte e distribuite dai partner di Studio Terradat nell'ambito del gruppo TEAM (Appleby Italiana e Casella Macchine Agricole).

Il drone SwingletCAM

Nel corso del 2012 Studio Terradat ha acquisito un drone SwingletCAM da utilizzare come sorgente di dati per realizzare mappature dei terreni e delle coltivazioni ancora più sofisticate.

Il drone SwingletCAM è un sistema SAPR (Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto) ad ala fissa di peso totale - payload compreso - inferiore a 500 g (ricade quindi nella categoria dei micro-UAV) ed è caratterizzato da una strumentazione ed una elettronica di bordo estremamente sofisticata (autopilot, GPS, sensore inerziale, tubo di pitot, altimetro barometrico) in grado di gestire il volo in modo completamente automatico, seppur supervisionato, controllato e modificabile in tempo reale da un operatore in contatto radio continuo con il mezzo stesso.



Figura 1. Il micro-UAV SwingletCAM della Sensefly – ad ala fissa, pesa meno di 500 g.

Il sistema comprende una camera digitale da 12/16 Megapixels resistente agli urti ed è in grado di effettuare riprese aeree che possono essere utilmente impiegate nella produzione di ortomosaici digitali e modelli digitali delle superfici con caratteristiche metriche di elevata qualità.

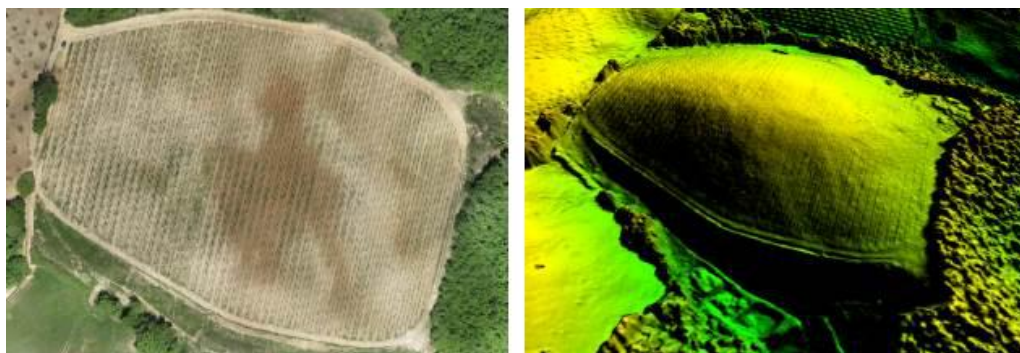


Figura 2. Dettaglio di ortomosaico digitale e modello digitale delle superfici relativi ad un vigneto in Toscana.

L'elevata risoluzione delle immagini (fino a 3 cm GSD) permette di effettuare analisi del territorio di estremo dettaglio, sia in campo ambientale e topografico, che in altri settori quali ad esempio i servizi per l'agricoltura, il monitoraggio delle foreste, del patrimonio storico ed archeologico,

l'attività di ispezione di manufatti, opere ed infrastrutture civili (dighe, linee elettriche, strade, ponti, ecc.).

Per quanto riguarda l'utilizzo in ambito topografico/cartografico, i prodotti ottenuti presentano accuratezze planoaltimetriche tra i 3 ed i 5 cm, mentre le stereocoppie riprese possono essere utilizzate proficuamente per produzione di cartografia in scala 1:500 e 1:1.000 a costi interessanti.

Il drone SwingletCAM può montare a bordo sia camere standard RGB che camere "NIRGB", ove cioè la banda R è sostituita da una banda NIR atta a descrivere dettagliatamente il comportamento della vegetazione.

Elaborando opportunamente ed in maniera congiunta due separati rilievi della medesima area in RGB ed in NIRGB, è possibile produrre un ortomosaico multispettrale a 4 bande NIR-R-G-B perfettamente coregistrato e comparabile - in termini di risoluzione spettrale - ai dati satellitari ad alta risoluzione più noti (Ikonos, QuickBird, GeoEye), garantendo al contempo una risoluzione geometrica incomparabilmente maggiore: a parità di area ripresa il rapporto tra numero di pixel nei rilievi multispettrali da satellite e numero di pixel nei rilievi da drone è mediamente dell'ordine di 1:10.000.

L'area oggetto di indagine

Le attività descritte nel presente lavoro si riferiscono ad una attività di sperimentazione svolta presso l'Azienda Agricola Corte Virginia, comprendente circa 60 ha coltivati prevalentemente a mais e sita in Roverbella, nel mantovano.

Si tratta di una azienda, gestita in proprio dal titolare Luciano Lanza, che nonostante la dimensione familiare si distingue per lo spirito innovativo e volto alla sperimentazione ed al miglioramento continuo delle proprie *performances* anche grazie all'utilizzo mirato delle nuove tecnologie.



Figura 3. L'area dell'azienda Corte Virginia oggetto della sperimentazione (fonte: Portale Cartografico Nazionale).

Sulla superficie investita a mais dell'azienda Corte Virginia (circa 40 ha) sono quindi stati realizzati due distinti rilievi tramite piattaforma aerea SwingletCAM: il primo (21 agosto 2012) con il mais al suo massimo stadio di accrescimento, ed il secondo (18 aprile 2013) con i terreni lavorati ed in attesa della semina successiva.

Parallelamente, ed in modalità autonoma, si è proceduto alla raccolta meccanica del mais con mietitrebbia dotata di dispositivo di pesatura in continuo del prodotto raccolto, in grado di produrre

un log georeferenziato di tali dati, i quali sono stati successivamente postprocessati al fine di generare una mappa di produzione (Figura 7).

Infine, sono state realizzate una serie di analisi mirate su specifici punti di campionamento, individuati sulla base della mappa dei suoli prodotta a partire dalle riprese di aprile 2013, al fine di validarne l'efficacia nel descrivere la variabilità dei terreni (analisi dei terreni, condotta a luglio 2013) e di verificare l'effetto sullo stato di salute della pianta dei diversi terreni individuati nella mappa (analisi fogliare, condotta a giugno 2013).

Il drone SwingletCAM in supporto all'agricoltura di precisione

I vantaggi dell'utilizzo dei dati da drone in sostituzione di quelli da satellite sono essenzialmente i seguenti:

- maggiore risoluzione (3-5 cm GSD anziché 2-5 m GSD);
- possibilità di effettuare le riprese quando desiderato (maggiore tempestività, versatilità e capacità di programmazione);
- possibilità di ottenere con un unico passaggio più livelli informativi;
- possibilità di effettuare analisi multitemporali sofisticate.

Con **un solo passaggio**, infatti, in caso di **suoli nudi** è possibile ottenere sia la **mappa dei suoli** che la **mappa delle altezze del piano campagna**, utile per descrivere pendenze e drenaggi, mentre con **suoli parzialmente lavorati** (ad esempio vigneti con lavorazione sull'interfila, oppure colture erbacee in pieno campo con sarchiatura tra le file) si possono produrre sia la **mappa dei suoli** che la **mappa di vigore**; infine con **terreni coltivati** si ottiene la sola **mappa di vigore**.

Venendo invece al tema delle riprese multitemporali, con **due passaggi** sulla medesima area opportunamente distanziati nel tempo (**terreno nudo** e **terreno coltivato**) è possibile infine, per differenza, ricavare la **mappa delle altezze relative della biomassa** rispetto al piano campagna.

Le attività oggetto della sperimentazione

La sperimentazione qui descritta ha avuto come scopo l'esplorazione delle potenzialità addizionali nel campo dei servizi a supporto all'agricoltura di precisione offerte dall'utilizzo di dati ad elevata risoluzione ripresi da piattaforma SAPR.

Più in dettaglio, gli scopi della sperimentazione sono stati i seguenti:

1. dimostrare la perfetta compatibilità, interscambiabilità e congruenza tra mappe di vigore derivate da dati da satellite e mappe di vigore derivate da drone;
2. dimostrare la significatività delle mappe dei suoli realizzabili da dati ripresi da drone mediante il confronto con dati di analisi chimico-fisiche dei terreni ed analisi fogliari corrispondenti a campioni aventi specifica collocazione spaziale;
3. dimostrare come l'utilizzo di dati multitemporali rilevati da drone permette di integrare in modo efficace le più semplici analisi monotemporali (mappe dei suoli e mappe di vigore) al fine di rendere ancor più efficaci le tecniche di agricoltura di precisione in campo.

A tale scopo, sono state realizzate le seguenti elaborazioni:

- **mappa di vigore**: utilizzando algoritmi proprietari appositamente ottimizzati per i dati rilevati da drone, è stata realizzata una mappa di vigore che - considerato il momento della ripresa in relazione al calendario fenologico del mais ed all'andamento meteorologico - si caratterizza sia quale mappa di maturazione (le aree contraddistinte da basso vigore si trovano in condizioni di senescenza maggiormente avanzata di quelle a basso vigore) sia quale mappa di produzione (cfr. Figura 4sx e Figura 7);
- **mappa dei suoli**: sempre utilizzando algoritmi proprietari appositamente ottimizzati per i dati rilevati da drone, è stata realizzata una mappa dei suoli in cui la superficie oggetto di indagine è ripartita in tre qualità di suolo sensibilmente differenti; si tratta di una

classificazione *unsupervised*, che prescinde quindi - come del resto anche nel caso della produzione della mappa di vigore - dall'utilizzo di dati di verità a terra rilevati in campo (Figura 4dx);

- mappa delle altezze relative del piano campagna (Figura 5sx) e mappa delle altezze relative della biomassa rispetto al piano campagna (Figura 5dx), entrambe derivate da comparazione dei DSM generati dai due voli di agosto 2012 e aprile 2013; la prima mappa risulta estremamente utile per descrivere pendenze e drenaggi, mentre la seconda risulta fortemente correlata sia con la mappa dei suoli sia con la mappa di produzione e permette pertanto - come vedremo - di migliorare l'interpretazione complessiva delle potenzialità dei differenti terreni presenti nell'area di interesse.

Dall'analisi comparata di tutti i dati disponibili (mappe da drone, mappa di produzione, analisi dei terreni ed analisi fogliari) possono essere formulate le seguenti considerazioni:

- la produzione puntuale in campo, come visibile nella mappa di produzione, è ben rappresentata dalla mappa di vigore; quest'ultima, inoltre, risulta assai più idonea della mappa di produzione stessa quale input per attività di rateo variabile in campo grazie all'assenza di disturbi "sale-e-pepe" ed in generale di rumore e di distorsioni sistematiche che appaiono invece in modo evidente nella mappa di produzione;
- la significatività della mappa dei suoli e la sua capacità di discernere tra suoli con caratteristiche radicalmente differenti risulta confermata sia dai dati delle analisi dei terreni (Figura 8sx, con dati relativi a tutte e 3 le tipologie di terreni), sia dai dati delle analisi fogliari (Figura 8dx, con dati relativi ai due terreni più estremi, dei quali il terreno di tipo A corrisponde - da rilievo visivo in campo - al mais in maggiori condizioni di stress, ed il terreno di tipo C corrisponde al mais nelle migliori condizioni vegetative); anche tale mappa risulta quindi idonea quale input per attività di rateo variabile, specialmente quelle in grado di correggere in modo mirato le dotazioni minerali dei diversi terreni (concimazione a rateo variabile);
- la mappa delle altezze relative del piano campagna, se confrontata alle altre mappe disponibili, evidenzia in modo chiaro dove possa risultare opportuno intervenire mediante drenaggi al fine di migliorare le potenzialità dei terreni;
- la mappa delle altezze relative della biomassa rispetto al piano campagna svela - grazie al tipico andamento a fasce - vecchi reticoli idrici e sottili differenze pedologiche contenute anche in ambiti molto ristretti, e mostra quindi in modo chiaro la presenza di forti differenze in termini di disponibilità idrica strutturale tra le diverse aree; tale dato, opportunamente incrociato con la mappa dei suoli, mostra che la medesima striscia contraddistinta da una altezza del mais sopra la media (ove quindi l'acqua non costituisce un fattore limitante) produce alte rese e mais nelle migliori condizioni vegetative in corrispondenza delle zone di terreno di tipo C (nessun fattore limitante presente), mentre non si concretizza in un'alta resa né in condizioni vegetative prive di stress in corrispondenza delle zone di terreno di tipo A (in queste situazioni la dotazione minerale del terreno costituisce fattore limitante, pur in presenza di una buona dotazione idrica).

Conclusioni

I tradizionali rilievi satellitari mirati alla produzione di mappe di vigore continuano a rivestire un ruolo fondamentale nella definizione di strategie di agricoltura di precisione mediante tecnologie a rateo variabile, a maggior ragione quando tali tecnologie, una volta utilizzate in campo, producono modifiche della situazione preesistente che vanno monitorate con la dovuta continuità e regolarità.

Tuttavia, la disponibilità di piattaforme di rilievo quali i sistemi SAPR ad ala fissa permette di poter integrare l'usuale metodica di monitoraggio delle superfici agricole tramite mappe di vigore vegetativo con rilevamenti multitemporali caratterizzati da estrema flessibilità e versatilità ed in

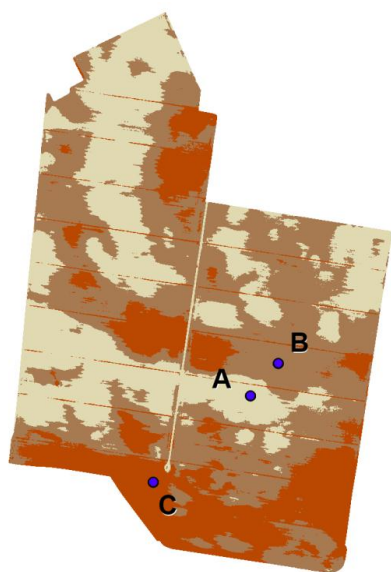


Figura 6. I punti di campionamento dei terreni e della coltura.

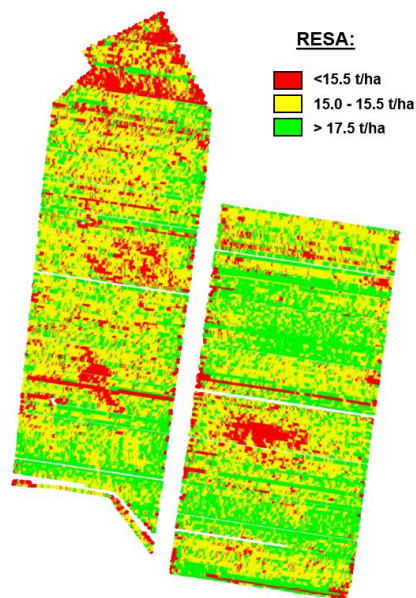


Figura 7. Mappa di produzione.

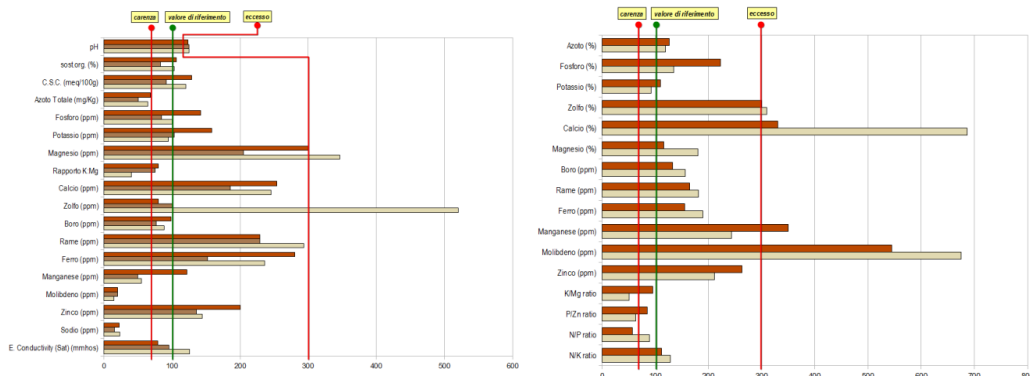


Figura 8. Dati di campo: analisi dei terreni (sx) ed analisi fogliari (dx).

grado di fornire una caratterizzazione non solo degli effetti complessivi dei vari fattori produttivi (come rappresentato nella mappa di vigore vegetativo), ma anche dell'entità e dislocazione geografica effettiva dei singoli fattori limitanti (disponibilità idrica e dotazione minerale puntuale), tramite l'utilizzo di nuovi e significativi livelli informativi quali la mappa dei suoli, la mappa delle altezze relative del piano campagna e la mappa delle altezze relative della biomassa rispetto al piano campagna.

In tal senso, un rilievo multitemporale (2 passaggi) una-tantum può risultare il miglior sistema per l'implementazione sin dall'inizio di corrette pratiche di agricoltura di precisione, che possono poi essere seguite e modulate correttamente nel corso degli anni anche mediante metodiche di rilievo più routinarie e caratterizzate da un minor costo (ad esempio, rilievo da satellite).

Riferimenti bibliografici

- S. Poni, M. Gatti, P. Dosso (2013), *Fisiologia e viticoltura di precisione basata su dati da Remote Sensing: quale grado di parentela?*, Italus Hortus, 20 (1) 2013
- R. Gini, D. Pagliari, D. Passoni, L. Pinto, G. Sona, P. Dosso (2013), *UAV Photogrammetry: block triangulation comparisons*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W2, 2013, UAV-g2013, 4 – 6 September 2013, Rostock, Germany.
- Roberto Bartolini (2013), *Mais, il drone e le mappe per dosare i mezzi tecnici*, Terra e Vita n.47/2012 del 24/11/2012, p.70.
- A. Ferrini (2010), *Un nuovo TEAM per l'agricoltura di precisione*, GrandiVini, maggio 2010.
- P. Dosso, G. Spezia (2006), *Viticoltura di precisione: grande risorsa per il futuro*, Informatore Agrario n°24/2006.
- L. Brancadoro, P. Donna, P. Dosso, M. Faccincani, A. Scienza, F. Serina, L. Usanza, *Viticoltura di precisione assistita da satellite in Franciacorta: le attività realizzate nel 2005*, Atti del Workshop CITIMAP "Il Telerilevamento per un'agricoltura sostenibile", Piacenza, aprile 2006.
- L. Brancadoro, P. Dosso, M. Faccincani, A. Scienza, F. Serina, *Viticoltura di precisione assistita da satellite in Franciacorta*, VQ – marzo 2006.
- P. Donna, P. Dosso, F. Serina, V. Usanza, *Concimazione a dosi variabili in viticoltura*, Informatore Agrario n°4/2006.
- P. Dosso, M. Fregoni, A. Vercesi, *Se la vigna si "coltiva" via satellite*, Civiltà del Bere - giugno 2005.
- P. Dosso, *La nuova viticoltura di precisione*, Phytomagazine n°33/2004.
- F. Campostrini, A. Castagnoli, P. Dosso, *Un sistema esperto a supporto della zonazione vitivinicola*, Informatore Agrario n°42/2003.
- A. Vercesi, A. Castagnoli, P. Dosso, *Metodologie per la caratterizzazione agrometeorologica dei territori*, Informatore Agrario n°14/2003.
- A. Castagnoli, P. Dosso, *Servizi ad alta tecnologia per la viticoltura di precisione*, Informatore Agrario n°13/2002.
- A. Castagnoli, P. Dosso, *La viticoltura assistita da satellite*, Informatore Agrario n°18/2001.
- Fraser, C.S. (1997), *Digital camera self-calibration*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 52, pp. 149-159.
- Gini, R., Passoni, D., Pinto, L., Sona, G. (2012). *Aerial images from an UAV system: 3d modeling and tree species classification in a park area*, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., Vol. XXXIX-B1, pp. 361-366.
- Baret G; Guyot G (1991), *Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment*, Remote Sensing of Environment, 35, 161-173.
- Ferrara R.M., Fiorentino C., Martinelli N., Garofalo P., Rana G. (2010), *Comparison of Different Ground-Based NDVI Measurement Methodologies to Evaluate Crop Biophysical Properties*, Italian Journal of Agronomy, 5, 2:145-154.
- Gates DM (1980), *Biophysical Ecology*, Springer-Verlag, New York, p.611.
- Gavin A. Wood; John C. Taylor; Richard J. Godwin (2003), *Calibration methodology for mapping within-field crop variability using remote sensing*. Biosystems Engineering 84 (4): 409-423.
- Mengel K., Kirkby E.a. (1987), *Principles of Plant Nutrition*, International Potash Institute, Bern, Switzerland, p.685.
- Richardson A J; Wiegand C L (1991), *Distinguishing vegetation from soil background information*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43(12), 1541-1552.
- Tucker C J (1979), *Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation*, Remote Sensing of Environment, 8, 127-170.
- Wiegand C L; Richardson A J; Escobar D E; Gerbermann A H (1991), *Vegetation indices in crop*