

Ottimizzazione delle pratiche colturali dei vigneti tramite l'uso di dati telerilevati acquisiti da piattaforme di prossimità

Alessandro Scordo, Mario Tulone, Salvatore Nizza, Vincenzo Pampalone
Vito Di Giuseppe, Andrea Borruso

Consorzio Ticonzero, Via Giovanni Di Giovanni 14, 90139 Palermo, Tel. (+39) 091 6023687, Fax (+39) 091 6023687
e-mail: ascordo@ticonzero.net, mtulone@ticonzero.net, snizza@ticonzero.net, vpampalone@ticonzero.net,
vdigiuseppe@ticonzero.net, aborruso@ticonzero.net

Riassunto

L'utilizzo di buone pratiche di gestione consente al viticoltore di ottenere un'uva di qualità, di ridurre i costi di produzione, di ottimizzare l'equilibrio qualità-quantità e di ottenere una determinata qualità in relazione all'obiettivo enologico. Inoltre, si deve tendere a ridurre la variabilità spaziale del vigneto che, dal punto di vista agronomico, rappresenta un fattore negativo perché impone l'adozione di soluzioni diversificate ed ostacola il raggiungimento di elevati standard qualitativi. L'uso congiunto di dati telerilevati acquisiti da piattaforme di prossimità, quali micro-droni e veicoli terrestri, e di informazioni puntuali relative alle principali caratteristiche del sistema pianta-suolo e dei parametri meteo-climatici, consentono l'ottimizzazione spaziale e temporale delle diverse pratiche colturali quali la concimazione, l'irrigazione, la defogliazione e la vendemmia; è inoltre possibile applicare tali tecniche, anche ai trattamenti di difesa contro le avversità, come quelle di natura parassitaria.

L'obiettivo del presente lavoro è quello di mettere a punto, per ciascuna pratica colturale del vigneto, un sistema ciclico di gestione suddiviso in tre fasi. La prima fase consiste nella determinazione dello stato di fatto del vigneto attraverso l'acquisizione di diverse tipologie di dati e la loro analisi, la seconda prevede la definizione degli interventi correttivi tramite l'uso di sistemi GIS e la loro applicazione in campo con tecniche a *ratio* variabile ed infine, si valuta la bontà degli interventi effettuati attraverso una nuova campagna di acquisizione di dati e confrontandoli con quelli iniziali.

Abstract

The best management practices allow the farmer to obtain high-quality grapes, reduce production costs, optimize the quality-quantity balance and reach a specific quality of wine. Also, we must aim to reduce the spatial variability of vineyard which is a negative factor from the agronomic point of view, because it requires diversified solutions, and hinders reaching high-quality standards.

Combined use of remote sensing data acquired from proximity platforms, such as micro-drones and ground vehicles, and timely informations on main features of the plant-soil-climate system and weather parameters, allows spatial and temporal optimization of the different agricultural practices such as fertilization, irrigation, defoliation and harvest. These techniques are useful also against adversities, such as the parasitic ones.

The aim of this paper is to develop, for each agricultural practice of the vineyard, a cyclical management system consisting of three phases. The first one determining the state of the vineyard by the acquisition of different data types and their analysis. The second one involves the definition of corrective actions through the use of GIS and their application with variable ratio techniques. Finally, evaluating the effectiveness of the interventions through a new data acquisition campaign and the comparison between current and initial data.

Introduzione

La variabilità spaziale all'interno di un vigneto dipende da molteplici cause (fisiologiche, stress idrici e nutrizionali, variazioni pedologiche, agronomiche e dei materiali di propagazione). E' stata sempre un problema di difficile gestione e, dal punto di vista agronomico, rappresenta un fattore negativo perché determina delle differenze vegetative e produttive che si ripercuotono anche sul prodotto finale, ossia, il vino (Lunelli, Rossetti, 2009).

L'efficienza delle aziende agricole può essere incrementata attraverso l'applicazione delle tecniche dell'agricoltura di precisione le quali permettono una gestione ottimale differenziando spazialmente sia l'utilizzo delle risorse che le pratiche agricole da adottare in modo da aumentare la resa e ridurre gli sprechi (Morais et al., 2008). Tali tecnologie si basano sull'uso congiunto dei sistemi di posizionamento globale (GPS), dei sistemi informativi territoriali (GIS), dei sensori di monitoraggio puntuale, delle tecniche di telerilevamento e della tecnologia a *ratio* variabile nelle diverse macchine agricole (Seelan et al., 2003).

Attraverso l'uso congiunto di dati telerilevati acquisiti da piattaforme di prossimità, quali microdroni e veicoli terrestri, di informazioni puntuali relative alle principali caratteristiche del sistema pianta-suolo e dei parametri meteo-climatici, è possibile effettuare l'ottimizzazione delle pratiche colturali tipiche dei vigneti. A seguire verranno descritti la strumentazione, le piattaforme di prossimità di acquisizione dei dati telerilevati e la metodologia da seguire per realizzare i vari interventi da realizzare. Inoltre, verranno presentati alcuni risultati ottenuti dalle sperimentazioni condotte nel 2010 presso cinque aziende vitivinicole operanti nel territorio siciliano.

Strumentazione

Per poter applicare le tecniche di gestione dei vigneti descritte nel presente articolo è necessario utilizzare dei dati telerilevati acquisiti da piattaforme di prossimità e, in alcuni casi, delle informazioni puntuali relative ad alcune grandezze caratterizzanti il sistema pianta-suolo-atmosfera. La strumentazione proposta in questa metodologia è la seguente:

- camera multispettrale *Tetracam* mod. ADC Lite dotata di sensore CMOS da 3.2 megapixel che acquisisce nelle bande del verde (G), del rosso (R) e del vicino infrarosso (NIR);
- termocamera Digitale NEC *THERMO SHOT* F30 avente una risoluzione di 160 X 120 pixel con uno spectral range tra gli 8 ed i 13 μm , dotata di un trigger radiocomandato;
- misuratore di umidità *Fieldscout* TDR 100 della *Spectrum Technologies*, che determina l'umidità del suolo basandosi sulla correlazione fra il contenuto volumetrico di acqua nel terreno e la sua costante dielettrica;
- rifrattometro digitale per la misura del grado zuccherino dei campioni d'uva della *Hanna Instruments*, modello HI 96814, il quale si basa sulla misurazione dell'indice di rifrazione di una soluzione ed effettua sulle misure una compensazione automatica con la temperatura;
- misuratore portatile di pH della *Hanna Instruments*, modello HI 98185, dotato di sonda di temperatura che permette di ottenere misure compensate automaticamente;
- minititolatore per l'analisi dell'acidità totale della *Hanna Instruments*, modello HI 84102, che determina il contenuto totale di acidi attraverso una reazione di neutralizzazione tra gli acidi contenuti nel campione di uva e una soluzione basica di titolazione nota;
- lisimetri a suzione con punta in ceramica porosa per il campionamento della soluzione circolante del suolo;
- fotometro multiparametro per analisi dei nutrienti in agricoltura (macroelementi primari e secondari) della *Hanna Instruments*, modello HI 83225, che è in grado di determinare le concentrazioni "c" dei diversi parametri della soluzione circolante presente nel terreno.

Nella tabella 1 vengono riportati gli strumenti utilizzati in ciascuna pratica colturale considerata.

		Pratiche colturali			
		Concimazione	Irrigazione	Defogliazione	Vendemmia
S t r u m e n t i d i m i s u r a	Camera multispettrale	X	X	X	X
	Termocamera		X		
	TDR Soil Moisture Meter		X		
	Rifrattometro digitale				X
	Misuratore portatile di ph				X
	Minititolatore per acidità totale				X
	Fotometro multiparametro	X			

Tabella 1 – Strumenti di misura utilizzati in ciascuna pratica colturale considerata.

Piattaforme di prossimità

Le piattaforme di acquisizione di dati telerilevati di prossimità maggiormente utilizzate sono quelle aeree, in particolare per applicazioni in ambito civile-ambientale si utilizzano i droni (Montagna et al., 2009; Sarazzi et al., 2011).

I droni o UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) sono velivoli senza pilota a bordo in grado di seguire automaticamente una rotta pianificata a priori o pilotati da terra attraverso un sistema di controllo radio (principalmente nelle fasi di decollo e atterraggio). Rispetto alle altre piattaforme di volo tradizionali, aeree o satellitari, gli UAV presentano numerosi vantaggi tecnici e logistici. Tra i più importanti: bassa quota operativa (che si traduce in un'elevatissima risoluzione spaziale), tempestività nella messa in esercizio e nell'ottenimento dei dati, ridotti costi di esercizio.

In particolare, l'md4-200 è un UAV della classe VTOL (*Vertical Take-off and Landing*), un elicottero quadrirotore che decolla e atterra verticalmente praticamente in qualunque contesto, slegandosi totalmente dalla necessità di aviosuperfici preparate allo scopo. E' dotato di un sofisticato sistema inerziale e di sottosistemi integrati di volo che lo rendono un'apparecchiatura assolutamente sicura. Su tale piattaforma vengono installate alternativamente la camera multispettrale e la termocamera per l'acquisizione ad altissima risoluzione spaziale dei dati telerilevati.

In alternativa alla piattaforme aeree è possibile fare ricorso a quelle terrestri, quali i *quad* o i mezzi da lavoro agricoli, entrambi opportunamente equipaggiati con gli strumenti di ripresa e di posizionamento globale (Scordo, Tulone, 2010).

Nella figura 1 si mostra il sistema di acquisizione di dati multispettrali composto dal drone md4-200 e dalla Tetracam ADC lite.



Figura 1 – Sistema di acquisizione di dati multispettrali di prossimità composto dal drone md4-200 e dalla Tetracam ADC lite.

Metodologia

La metodologia riportata nel presente articolo consente di migliorare la gestione delle singole pratiche colturali del vigneto attraverso l'uso congiunto di dati telerilevati ed informazioni puntuali in un sistema ciclico di gestione (Srinivasan, 2006) costituito da tre fasi:

- determinazione dello stato di fatto;
- scelta e realizzazione degli interventi da apportare;
- valutazione degli interventi.

Durante la prima fase si eseguono una o più campagne di misura in cui si acquisiscono i dati spaziali (immagini multispettrali e/o termiche) con le piattaforme di prossimità sopra descritte e, laddove necessario, delle informazioni puntuali tramite il prelievo di opportuni campioni.

Analizzando le informazioni acquisite *in situ* si effettua una zonizzazione del terreno caratterizzandolo per aree a comportamento omogeneo. I risultati ottenuti da tali analisi devono essere utilizzati dal gestore del vigneto per realizzare le varie pratiche colturali a *ratio* variabile.

Infine, per valutare la bontà degli interventi eseguiti, si deve realizzare un'ulteriore rilievo di prossimità. Se l'intervento correttivo ha dato gli esiti sperati la variabilità spaziale presente all'interno dell'appezzamento investigato sarà minore.

Per gestire e monitorare in maniera ottimale le varie operazioni condotte nei singoli appezzamenti è opportuno implementare un GIS aziendale contenente tutte le tipologie di informazioni acquisite ed elaborate durante il ciclo di gestione.

Le immagini telerilevate acquisite durante la prima e la terza fase della procedura prima di essere interpretate devono opportunamente elaborate. In particolare, a partire dalle immagini acquisite dalla camera multispettrale si determina l'NDVI (Rouse et al., 1973) che è l'indice di vegetazione maggiormente utilizzato a livello globale e viene definito dalla differenza tra la riflettanza (ρ) nella banda spettrale dell'infrarosso vicino (NIR) e quella nella banda spettrale del rosso (R), normalizzata rispetto alla loro somma, secondo la seguente espressione:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad [1]$$

Con tale indice è possibile individuare la vegetazione verde rispetto al suolo nudo e il *range* di variabilità è compreso tra -1 e 1: allo zero corrisponde il valore approssimato di nessuna vegetazione. L'NDVI risulta fortemente collegato con l'attività fotosintetica della *canopy* (Sellers, 1985) e che tale indice può essere applicato a diversi problemi di natura ambientale sia a livello regionale che globale (Tucker, Sellers, 1986; Nicholson et al., 1990).

Classificando in due o più classi le immagini di NDVI si ottengono le mappe di vigore vegetativo che, per ciascun stato fenologico della coltura, forniscono informazioni qualitative circa lo stato di salute della stessa.

Nei paragrafi che seguono verrà descritto il modo di operare per ciascuna pratica colturale esaminata.

Irrigazione

Anche se la vite, fin dai tempi più antichi, è stata considerata una pianta piuttosto resistente ai periodi siccitosi, negli ultimi anni si è iniziato a considerare l'irrigazione una pratica colturale in taluni casi necessaria (Eynard, Dalmaso, 2010) soprattutto in climi aridi e semiaridi dove la scarsità d'acqua è già un problema reale (Arnell, 2004; Richter et al., 2009).

Per quanto concerne la coltura della vite una buona disponibilità di acqua nel suolo e, quindi, l'eventuale adozione di opportune pratiche irrigue, risulta essere necessaria specialmente quando l'acino è in crescita, ossia dalla chiusura del grappolo all'invaiaitura. Una carenza di acqua in questo periodo di ingrossamento dell'acino causerebbe una riduzione del peso del grappolo, un ritardo di maturazione e uno scadere della qualità con diminuzione di zuccheri, di acidità e di sostanze coloranti. Di contro, dopo l'invaiaitura (cambio di colore degli acini) e per tutta la durata della maturazione, l'irrigazione riveste un'importanza secondaria; anzi, una moderata siccità con conseguente stress idrico della pianta, migliora la qualità del prodotto incrementando gli zuccheri e le sostanze coloranti, mentre deprime leggermente la produzione (Valli, 2005).

Risulta, quindi, di fondamentale importanza essere a conoscenza del contenuto idrico nel suolo per poter supportare l'imprenditore agricolo per un corretto svolgimento di tale pratica gestionale.

Tra i metodi per la stima dello stato di umidità o contenuto d'acqua del suolo basati sull'utilizzo di dati telerilevati acquisiti da piattaforma satellitare in questa sede si suggerisce di applicare il "Metodo del Triangolo" (Carlson et al., 1995) attraverso il quale lo stato di umidità del suolo viene stimato a partire dei soli valori di temperatura superficiale del suolo (LST) e dell'indice di vegetazione NDVI. In tal modo una porzione di terreno rappresentata da un punto nello spazio LST-NDVI (figura 2) viene riconosciuta come secca o umida a seconda della sua posizione rispetto al bordo secco (*warm edge*) o a quello umido (*wet edge*).

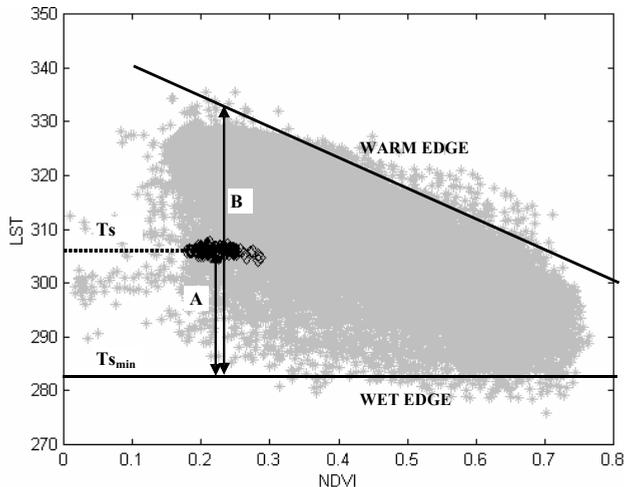


Figura 2 – Rappresentazione sul piano cartesiano NDVI-LST della formulazione dell'indice TDVI.

In particolare, attraverso il *Temperature Vegetation Dryness Index* (TVDI) proposto nel 2002 da Sandholt et al. è possibile valutare lo stato di umidità del suolo mediante il rapporto fra la distanza di un punto dal bordo umido (A) e la distanza fra i due bordi (B) per il dato valore di NDVI:

$$TVDI = \frac{A}{B} \quad [2]$$

Inoltre, è possibile migliorare la stima ottenuta dello stato di umidità del suolo attraverso la realizzazione di campagne di rilevamento al suolo, quali le misure puntuali ottenibili dall'utilizzo di sonde TDR.

Defogliazione

Attraverso l'interpretazione di una semplice mappa di vigore vegetativo, ossia un'immagine classificata in due o più classi dell'indice di vegetazione NDVI, acquisita nel periodo compreso tra l'invasatura e la maturazione completa del frutto è possibile pianificare un intervento di defogliazione volto a favorire una completa e più uniforme maturazione dei grappoli in modo tale da incrementare l'illuminazione e migliorare il microclima complessivo del frutto.

Una parete vegetativa efficiente deve essere composta di sole foglie perfettamente o almeno ben illuminate ed una minima quota di foglie in ombra. Per ottenere questo risultato la parete fogliaria deve avere uno spessore contenuto ed essere il più verticale possibile (Barbagallo et al., 2007).

Gli interventi di defogliazione, pertanto, devono essere concentrati laddove il vigore vegetativo risulta essere maggiore e possono essere realizzati sia a mano che attraverso l'utilizzo di macchine defogliatrici.

Vendemmia

Una mappa di vigore vegetativo acquisita in prossimità della raccolta consente di ricavare delle informazioni qualitative utili per la pianificazione della vendemmia. In particolare, le porzioni di vigneto caratterizzate dall'aver una minore vigoria saranno quelle in cui i singoli grappoli avranno raggiunto una maggiore maturazione.

Nel caso in cui si vogliano avere delle informazioni più accurate sul grado di maturazione delle uve è possibile determinare delle mappe quali-quantitative di grado zuccherino, acidità totale e pH attraverso la raccolta di un congruo numero di campioni d'uva e la successiva correlazione dei parametri misurati puntualmente con le grandezze multispettrali.

Al fine di prelevare dei campioni d'uva rappresentativi è opportuno raccogliere alcuni acini da più grappoli dalla stessa pianta; in particolare, per ciascun grappolo si consiglia di raccogliere due acini nella parte apicale, due nella parte più in basso e quattro nella parte centrale due esposti al sole e due all'ombra. I campioni di uva così raccolti dovranno essere conservati e trasportati in laboratorio a temperatura controllata in modo da preservarne le caratteristiche fisico-chimiche.

Concimazione

Per realizzare una corretta concimazione occorre essere a conoscenza della composizione chimica delle soluzioni nutrienti contenute nel suolo che, conseguentemente, saranno poi assorbite dalla pianta. L'azoto (N), il fosforo (P) ed il potassio (K) sono chiamati macronutrienti in quanto sono gli elementi principali maggiormente necessari alle piante; gli altri elementi, necessari in piccole quantità, sono chiamati micronutrienti. Le piante hanno bisogno di una soluzione nutritiva bilanciata, composta di macro e micronutrienti. La carenza di sostanze nutritive può causare una crescita irregolare della pianta, scarsa resistenza alle malattie, scarsa produzione, sia in termini di quantità che qualità, mentre i nutrienti in eccesso possono causare lo spreco di fertilizzante, l'inquinamento delle acque sotterranee e l'accumulo di sostanze pericolose nella produzione agricola. Tenuto conto che gran parte della fertilizzazione viene eseguita nel periodo di riposo vegetativo è possibile pianificare gli interventi di concimazione con una mappa di vigore vegetativo

dell'anno precedente in modo da differenziare gli apporti di nutrienti per ciascuna zona omogenea del singolo appezzamento.

In alternativa, nel caso in cui si vogliono avere delle informazioni più precise, è possibile correlare la mappa di vigore vegetativo con le concentrazioni dei macronutrienti ottenute analizzando con il fotometro multiparametro i campioni di soluzione circolante raccolti dai lisimetri a suzione.

Applicazione sperimentale

Nell'estate del 2010 E.Lab S.r.l., Spin-Off Accademico dell'Università degli Studi di Palermo, e il Consorzio Ticonzero hanno acquisito in alcuni campi sperimentali di cinque aziende vitivinicole operanti nel territorio siciliano delle immagini multispettrali e delle analisi puntuali di grado zuccherino, acidità totale e pH.

Le aziende che hanno aderito allo svolgimento delle varie attività progettuali sono state: Donnafugata (Contessa Entellina, Palermo), Tenuta Rapitalà (Camporeale, Palermo), Tenuta Gorgi Tondi (Campobello di Mazara, Trapani), Alessandro di Camporeale (Camporeale, Palermo), De Gregorio (Sciacca, Agrigento). Nella tabella 2 viene riportata l'estensione dei campi pilota espressa in ettari per tipologia di *cultivar* per ciascuna azienda.

Azienda	<i>Cultivar</i>				
	<i>Chardonnay</i>	<i>Souvignon</i>	Pinot bianco	Nero d'Avola	<i>Merlot</i>
Donnafugata	2,42	-	-	1,36	-
Tenuta Rapitalà	1,15	-	-	-	1,38
Tenuta Gorgi Tondi	1,28	-	-	1,36	-
Alessandro di Camporeale	-	0,86	-	1,16	-
De Gregorio	1,00	-	-	0,98	0,41

Tabella 2 – Estensione dei campi pilota espressa in ettari per tipologia di *cultivar*.

Per ciascun campo sperimentale sono state realizzate, mediamente, quattro campagne di acquisizione dati *in situ* di:

- dati multispettrali di prossimità acquisiti con il sistema MuLO - *MULTispectral Land Observation* (figura 3) costituito da un *quad*, una camera multispettrale Tetracam mod. ADC Lite e da un GPS (Scordo et al., 2010);
- prelievi di campioni di uve in 16 punti distribuiti secondo delle maglie regolari seguendo la metodologia precedentemente descritta.



Figura 3 – Sistema di acquisizione MuLO - *MULTispectral Land Observation* costituito da un *quad* (a), una camera multi spettrale (b) ed un'antenna GPS (c).

La figura 4 mostra le curve di maturazione di grado zuccherino, pH ed acidità totale ottenute durante campagne di acquisizione dati *in situ* nel campo sperimentale di nero d'avola dell'azienda Alessandro di Camporeale. Sono rappresentati gli andamenti dei valori medi delle analisi per ogni campagna di misura (punti e linea continua) e lo scostamento dalla media con lo scarto quadratico medio $\mu \pm \sigma$ (linee tratteggiate).

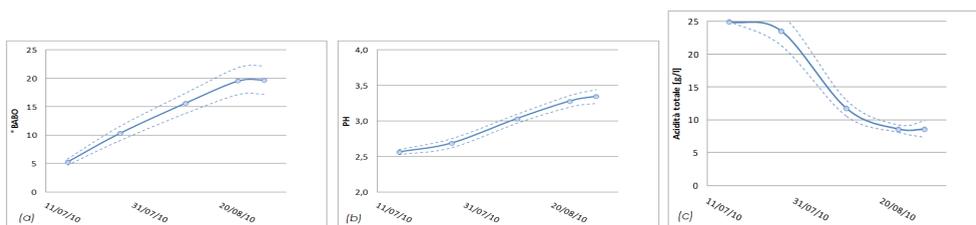


Figura 4 – Evoluzione temporale del grado zuccherino (a), di pH (b) e di acidità totale (c) del campo sperimentale di nero d'avola dell'azienda Alessandro di Camporeale.

Nelle figura 5 si riportano a titolo esemplificativo alcune mappe di vigore vegetativo ottenute.

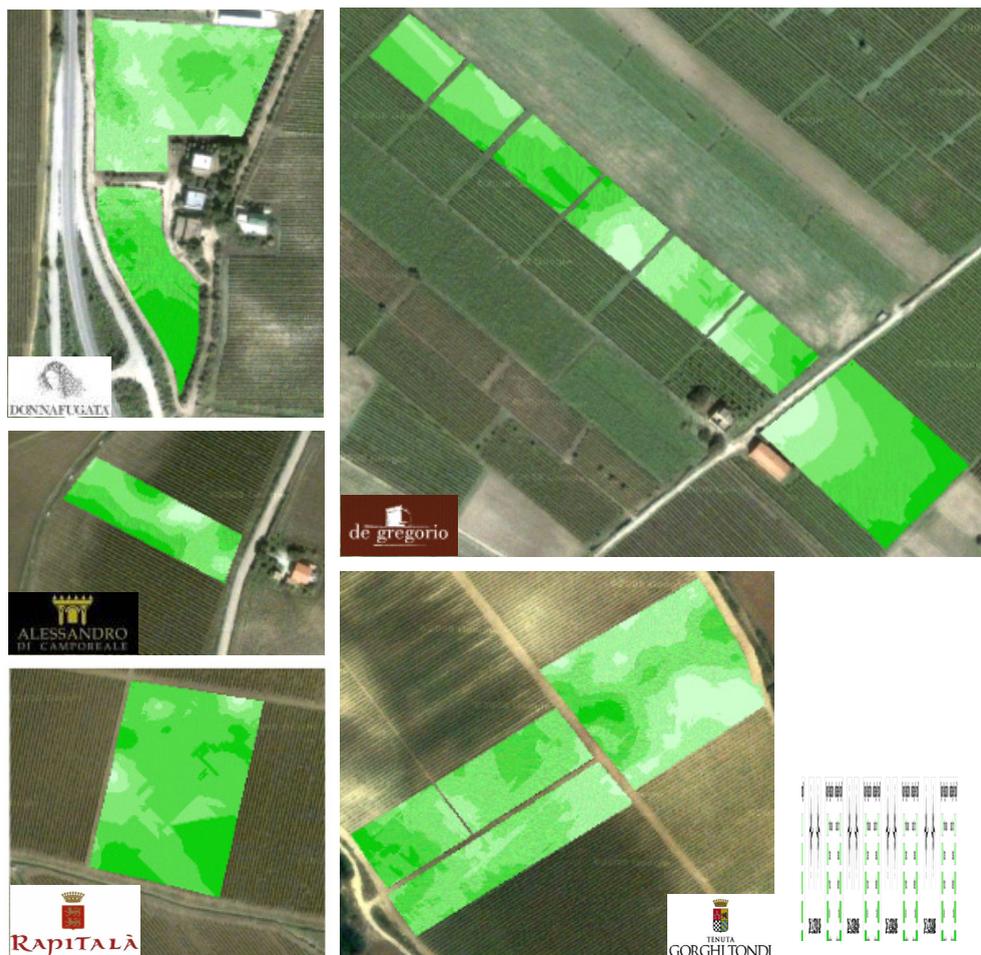


Figura 5 – Mappe di vigore vegetativo dei campi sperimentali di alcune aziende vitivinicole acquisite nel periodo luglio-agosto 2010.

Le applicazioni sperimentali brevemente descritte in questa sede sono state realizzate nell'ambito delle attività sviluppate all'interno del progetto "Enolab: telerilevamento di prossimità nella viticoltura" promosso e sostenuto dal Consorzio ARCA di Palermo con il "Bando per il sostegno allo start up delle aziende incubate: Progetto IDRA – Impresa Dalla Ricerca Avanzata, Azione C.2

– concessione di contributi di *seed capital* e cofinanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico al fine di promuovere e sostenere lo start up di imprese innovative che contribuiscano allo sviluppo del territorio regionale siciliano.

Conclusioni

Le informazioni ottenibili dalle piattaforme di prossimità di acquisizione di dati telerilevati, quali micro-droni e veicoli terrestri, possono essere utilizzate congiuntamente a quelle puntuali relative le principali caratteristiche del sistema pianta-suolo per cercare di ottimizzare le pratiche colturali tipiche dei vigneti, quali la defogliazione, l'irrigazione, la raccolta e la concimazione.

L'applicazione di tali metodologie di gestione in cinque aziende vitivinicole operanti nel territorio siciliano ha consentito di testare, anche se in dei campi sperimentali di piccola estensione, alcune delle metodologie di gestione colturali descritte nel presente articolo. In attesa che tali pratiche gestionali del vigneto siano applicate su larga scala, verranno effettuati ulteriori test rivolti anche ai trattamenti di difesa contro le avversità, come quelle di natura parassitaria.

Riferimenti bibliografici

- Arnell, N.W.(2004), "Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios", *Global Environmental Change* 14, 1:31-52.
- Barbagallo M.G., Vesco G., Pisciotta A., Crosta L., Di Lorenzo R. (2007), "Effetti del regime colturale e della sfogliatura sull'attività vegetativa e produttiva della cultivar 'Nero d'Avola'". *Quaderni di Scienze Viticole ed Enologiche*. Università di Torino. pp 141-154.
- Carlson T.N., Gillies R.R., Schmugge T.J. (1995), "An interpretation of methodologies for indirect measurement of soil water content", *Agricultural and forest meteorology*, 77:191-205.
- Eynard I., Dalmasso G. (2010), *Viticultura moderna*, Edizioni Hoepli, Milano.
- Lunelli M., Rossetti M. (2009), "Programma vitivinicolo di precisione applicato alla Tenuta podernovo", *Convegno Internazionale Viticoltura ed Enologia Sostenibili: indirizzi, tecnologie e prospettive*, SIMEI, 23° Edizione.
- Montagna M., Rigon P., Bresciani M., Fila G. L. (2009), "Monitoraggio dei canneti di Sirmione tramite drone MD4-200" *Atti 13ª Conferenza Nazionale ASITA*, 1459-1464
- Morais R., Fernandes M. A., Matos S. G., Serôdio C., Ferreira P. J. S. G., Reis M. J. C. S. (2008), "A ZigBee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture", *Computer and electronics in Agriculture*, 62:94-106.
- Nicholson S. E., Davenport M. I., Malo A. D. (1990), "A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and east Africa using NDVI from NOAA AVHRR", *Climatic Change*, 17:209-241.
- Richter K., Vuolo F., D'Urso G. (2009), "Estimation of potential evapotranspiration: empirical versus physical approaches of crop characteristics", *IX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria*, 2-32.
- Rouse, J.W., R.H.Haas, J.A.Schell, D.W.Deering (1973) "Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS", *Third ERTS Symposium*, NASA SP-351 I:309-317.
- Sandholt I., Rasmussen K., Andersen J. (2002), "A simple interpretation of the surface temperature-vegetation index space for assessment of surface moisture status", *Remote Sensing of Environment*, 79:213-224.
- Sarazzi D., Julitta F., Quartieri A., D'Argenio A. (2011), "Acquisizione ed elaborazione fotogrammetrica di immagini da micro e mini UAV", *5° Workshop Tematico "Telerilevamento e Scienze della Terra"*
- Scordo A., Tulone M. (2010), "Sistemi integrati di rilievo a terra e in volo per la produzione di mappe di vigore in viticoltura di precisione", *GIS Day 2010 - Palermo*
- Seelan S. K., Laguette S., Casady G.M., Seielstad G. A. (2003), "Remote sensing for precision agriculture: a learning community approach", *Remote Sensing of Environmental*, 88:157-169.
- Sellers P. J., (1985), "Canopy reflectance photosynthesis and transpiration", *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 6, no. 8:1335-1372.
- Srinivasan A. (2006), *Handbook of Precision Agriculture*, The Haworth Press.
- Tucker C. J., Sellers P. J (1986), "Satellite Remote Sensing of primary production", *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 7, no.11:1395-1416.
- Valli R. (2005), "Irrigare la vite", *Notiziario Fitopatologico*, 2: 22.