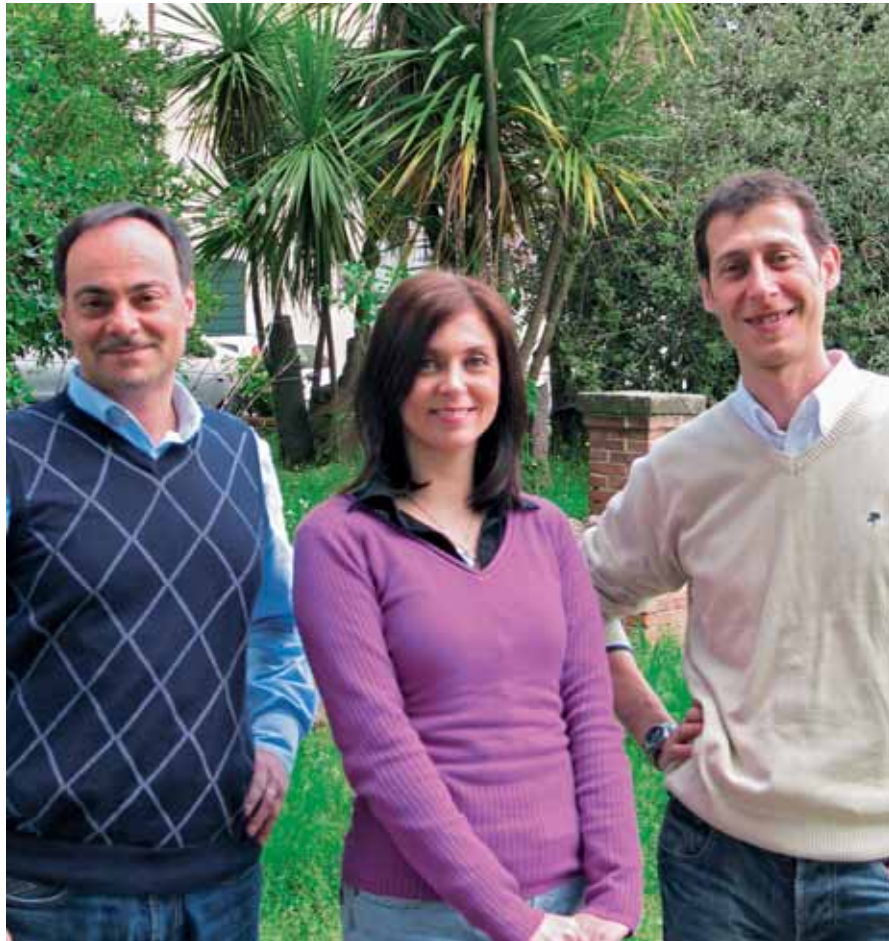


DOCUMENTO  
TECNICO

**\*Gianluca Tramontana**  
**\*Dario Papale**  
**\*Filippo Girard**  
**\*\*Claudio Belli**  
**\*\*\*Domenico Tiberi**  
**\*\*\*Maria C. Comandini**  
**\*\*\*Paolo Pietromarchi**

*\* DISAFRI Dip. di Scienze  
 dell'Ambiente Forestale e delle  
 sue Risorse, Università della Tuscia*  
*\*\* Terrasystem srl - Spin Off  
 dell'Università della Tuscia, Viterbo*  
*\*\*\* CRA Consiglio per la Ricerca  
 e sperimentazione in  
 Agricoltura - Unità di ricerca  
 per le produzioni enologiche  
 dell'Italia centrale*



Da sinistra  
 P. Pietromarchi,  
 M.C. Comandini,  
 C. Belli

## IL TELERILEVAMENTO AEREO A SUPPORTO DELLA VITICOLTURA DI PRECISIONE

Il termine Precision farming indica un insieme di tecnologie quali il telerilevamento, il posizionamento satellitare e i sistemi informativi geografici, strumenti utilizzati per l'acquisizione ed elaborazione di dati riguardanti un territorio. Il presente studio riporta i risultati ottenuti sull'utilizzo del telerilevamento aereo a supporto della vitivinicoltura dei Castelli Romani.

### Introduzione

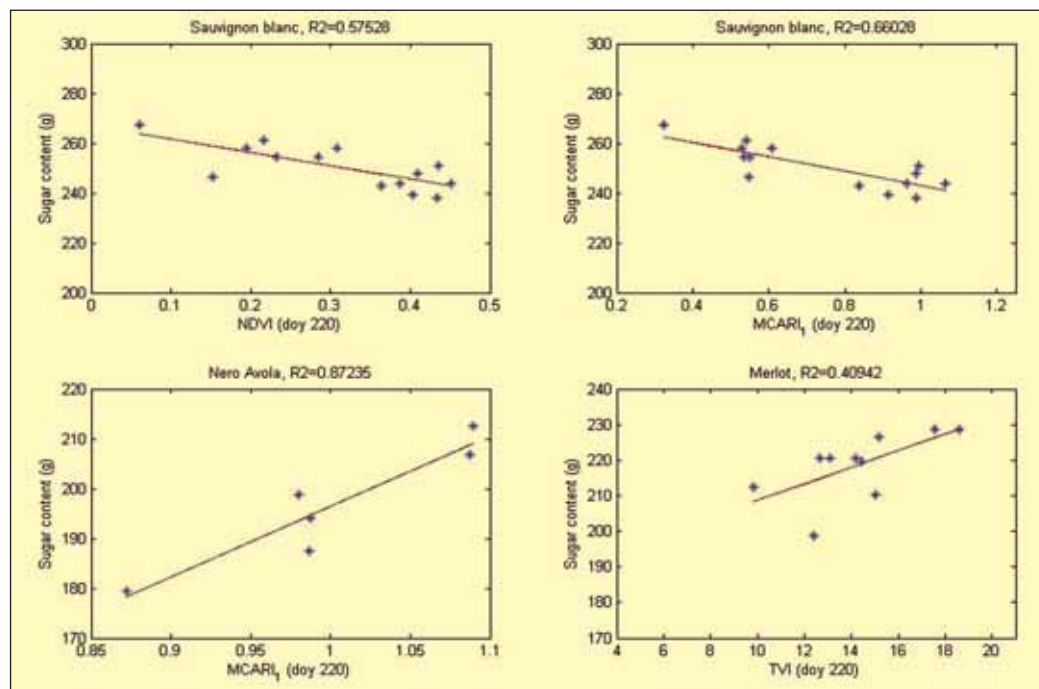
Le variabili enochimiche che si registrano all'interno di uno stesso vigneto sono influenzate da molteplici fattori tra i quali composizione e struttura del terreno, differente microclima e irradiazione solare, elementi che determinano conseguenti risposte fisiologiche da parte delle piante.

La tendenza negli ultimi anni della viticoltura e dell'enologia è quella di ottimizzare la qualità delle produzioni sia mediante il miglio-

ramento delle tecniche colturali e le selezioni varietali, sia attraverso la raccolta e la vinificazione differenziata. A tal riguardo appare evidente che un importante supporto può essere rappresentato dalle mappe previsionali dei parametri enochimici, mediante le quali è possibile individuare le aree che presentano una diversa potenzialità produttiva e trattarle in modo differenziato. In quest'ottica un valido strumento di supporto può essere rappresentato dal telerilevamento aereo multi-

spettrale ad alta risoluzione spaziale. Il monitoraggio in campo dei parametri enochimici offre difatti una conoscenza particolareggiata sull'evoluzione della maturazione delle uve, ma le informazioni sono puntuali e quindi la conoscenza della variabilità spaziale risulta approssimativa. Diversi autori hanno notato che esistono delle relazioni empiriche significative tra i dati telerilevati ed i parametri enochimici. Ciò permette, a mezzo di immagini multispettrali, di esten-

**Fig. 1 - Scatterplot di alcune relazioni staticamente significative tra dati telerilevati e contenuto in zuccheri riduttori alla raccolta.**



dere le stime puntuali a tutta la superficie del vigneto ed individuare subplot a diversa potenzialità produttiva. Sulla base di queste premesse ed in risposta alle necessità dei produttori vitivinicoli e dell'industria di trasformazione, il DISAFRI (Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse, Università della Tuscia) ed il CRA-ENC (Consiglio per le Ricerche e la sperimentazione in Agricoltura - Unità di ricerca per le produzioni enologiche dell'Italia centrale) hanno congiuntamente eseguito, nell'anno 2008, uno studio nell'areale vitivinicolo dei Castelli Romani.

Obiettivo principale della sperimentazione è stato quello di valutare l'utilità del sensore multispettrale aviotrasportato ad alta risoluzione spaziale ASPIS come supporto nella viticoltura di precisione. Nello specifico si è cercato di:

a. individuare delle relazioni empiriche tra parametri enochimici rilevati in campo e indici di vegetazione calcolati a partire dai dati telerilevati;  
b. applicare le relazioni empiriche per produrre delle mappe quali-quantitative dei parametri enochimici alla raccolta e classificare i vigneti

in subplot a diversa potenzialità produttiva.

## Materiali e metodi

Lo studio è stato eseguito su 2 aree localizzate nell'areale vitivinicolo dei Castelli Romani,

- Area A) si tratta del vigneto sperimentale del CRA-ENC, localizzato a 41°41'32.73"N /12°47'3.63"E nel comune di Velletri (Roma). La morfologia è collinare poco acclive, l'altitudine media è di 322 s.l.m.;

- Area B) si tratta del vigneto di un'azienda privata (Ma.Te.Ma s.r.l.) localizzato a 41°35'55.57"N /12°44'35.02"E, sito a confine tra i comuni di Velletri e Lanuvio (Roma). La morfologia è pianeggiante, l'altitudine media è di 69 s.l.m.

Per ogni area sono state prese in considerazione due varietà, una a bacca rossa e l'altra a bacca bianca; nello specifico, nell'area A il *Nero d'Avola* ed il *Sauvignon blanc*, mentre nell'area B il *Merlot* ed il *Sauvignon blanc*. In entrambi i vigneti la forma di allevamento adottata è la spalliera semplice con sistema di potatura a cordone speronato. la lunghezza

media dei filari è di 110 m nell'area A e di 320 m nell'area B. la larghezza dell'interfila è circa 3 m in entrambe le aree, il terreno presenta inerbimento nell'area A mentre è lavorato nell'area B.

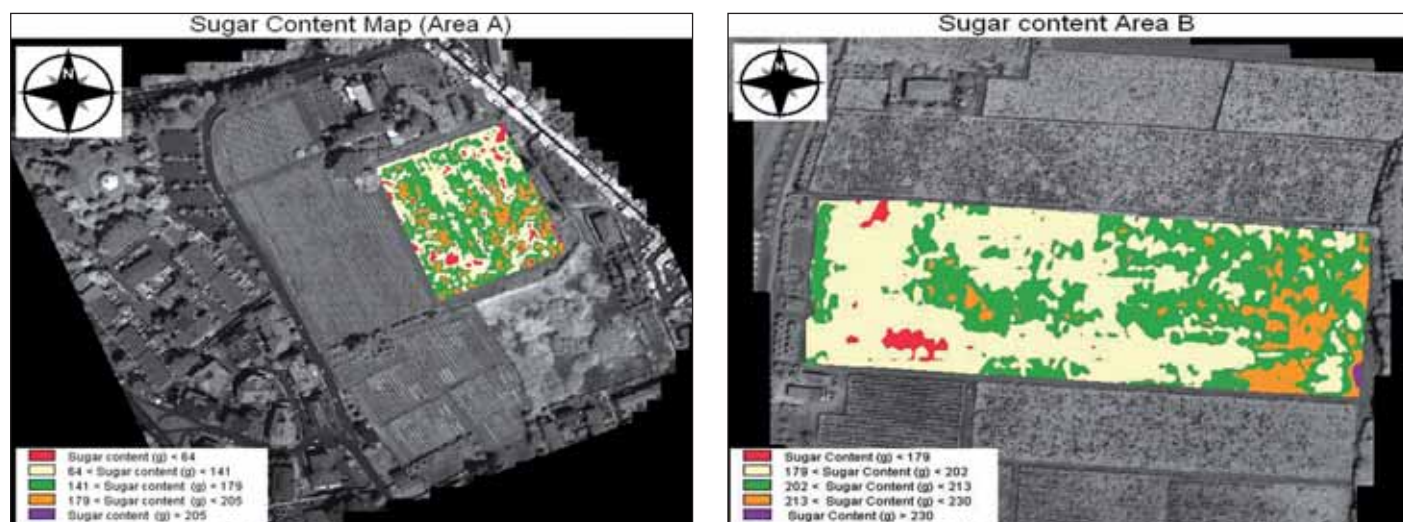
## Acquisizione dei dati telerilevati

I dati telerilevati sono stati acquisiti dal sensore ASPIS (*Advanced Spectroscopic Image System*), sviluppato dal DISAFRI ed alloggiato sul vettore aereo SKY ARROW 650 TC (Papale *et al.*, 2008). Il sensore di ASPIS ha 4 CCD ed un prisma dicroico a 4 canali, l'ottica è unica e l'angolo FOV di 70° totali. Il sensore produce immagini di 2048x2048 pixel; mediante 12 filtri interferenziali (3 per CCD), il sistema è capace acquisire dati in 12 bande spettrali nella regione del visibile e del vicino infrarosso, con una larghezza di banda di 10 o 20 nm. I filtri possono essere selezionati dall'operatore durante il volo. Partendo da un'analisi di firme spettrali, misurate in campo mediante lo spettroradiometro *FieldSpec®HandHeld pro*, sono state determinate le bande da acquisire con la camera multispettrale; nello specifico sono stati scelti 2 set di filtri:

- Set 1: 550 nm, 680 nm e 800 nm (20 larghezza di banda di nm) e 750 nm (10 larghezza di banda di nm);  
- Set 2 (*red-edge*): 700 nm, 715 nm e 750 nm (larghezza di banda di 10 nm) e 780 nm (larghezza di banda di 20 nm).

Le date di acquisizione sono state scelte in relazione alla fenologia delle varietà oggetto di studio. Le aree sono state sorvolate con lo stesso piano di volo il 07-08-2008 ed il 09-09-2008 al fine di eseguire un'analisi multitemporale. Sono state acquisite immagini con una risoluzione geometrica di 0.20 m ottenuta con una quota di volo di 950 m AGL. L'ora di sorvolo è stata scelta in maniera tale da avere la stessa elevazione solare (50°) in entrambe le acquisizioni.



**Fig. 2 - Mappe tematiche del contenuto in zuccheri riduttori al raccolto per l'area A (sinistra) e B (destra).****Tab. 1 - Correlazioni tra indici di vegetazione e acidità titolabile alla raccolta**

Varietà	Remote sensing Acquisition Date	Vegetation Index	R2	P-value	Rmse (g/l)
Sauvignon b	07/08/08	MSR	0,62	0,02	0,31
Merlot	07/08/08	ZM	0,67	0,04	0,37
Nero d'Avola	09/09/08	MCARI_1	0,8	0,02	0,49

**Rilievo Gps e georeferenziazione dei campioni.** Mediante un GPS *Topcon hiper pro*, utilizzato in modalità RTK, sono state rilevate con precisione centimetrica le coordinate geografiche delle unità campionarie, nonché di un set di punti GCP necessari per l'ortoproiezione delle immagini. Ogni unità campionaria è costituita da un gruppo di 5 viti adiacenti lungo la stessa fila; la dimensione totale del campione è risultata di 6 e 10 unità per ciascuna varietà, rispettivamente per l'area A e B.

**Monitoraggio dei parametri enochimici.** A partire dall'invasatura e fino alla raccolta sono state monitorate le curve di maturazione. I prelievi degli acini da destinare alle analisi chimico-fisiche sono stati eseguiti in modo randomizzato ed a cadenza settimanale fino alla vendemmia. Su ciascuna unità campionaria sono stati misurati i principali parametri enochimici quali contenuto in zuccheri riduttori, acidità titolabile, pH, rame e potassio, contenuto in acidi organici (acido tartarico e malico),

inoltre, è stata rilevata quantitativamente per ceppo, la produzione totale, il peso medio degli acini, il numero dei grappoli e il peso dei tralci alla potatura. Nelle due varietà a bacca rossa è stato determinato anche il contenuto in polifenoli totali ed antociani secondo le metodiche riportate in bibliografia (Cayla L. *et al.*, 2002; Di Stefano R. *et al.* 1989; Lamadon F., 1995).

Le analisi chimico-fisiche sono state eseguite secondo le metodiche ufficiali (G.U. L272 Reg. CEE 2676/90).

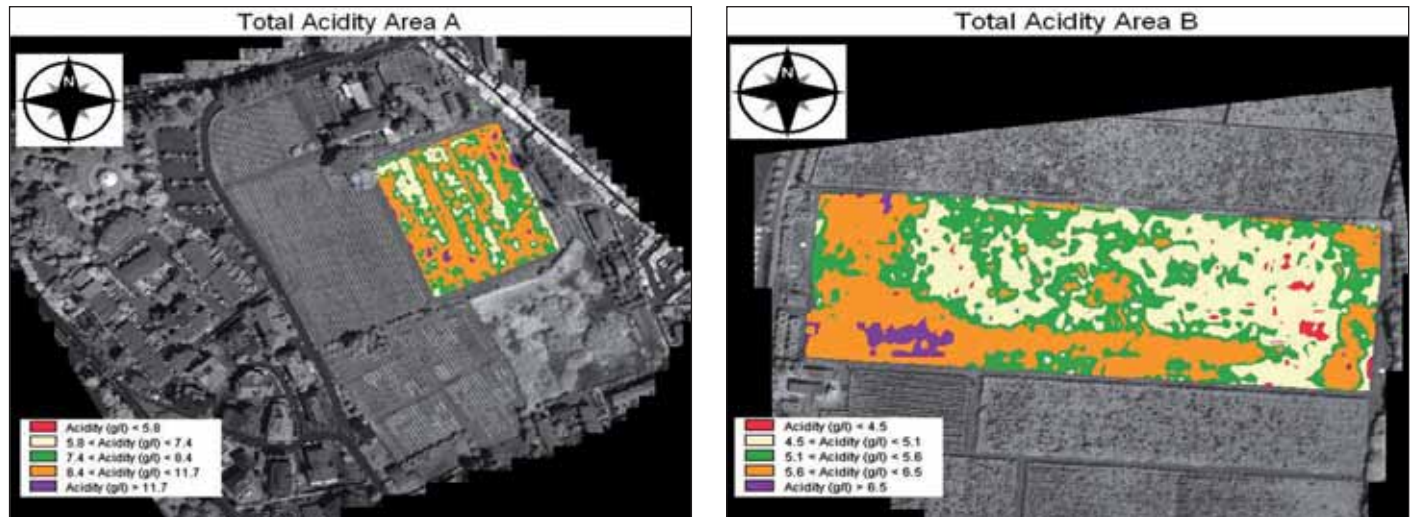
**Analisi statistiche ed elaborazione delle mappe dei parametri enochimici.** L'esistenza di relazioni empiriche tra i parametri enochimici e le variabili telerilevate è stata valutata mediante un'analisi di regressione semplice. Le variabili telerilevate prese in considerazione sono state le 7 bande acquisite e 15 indici di vegetazione riportati da Zarco-Tejada *et al.*, (2005) calcolati a partire dai dati multispettrali disponibili. Le relazioni empiriche sono state validate mediante il metodo *leave one out* e quelle risultate significative sono state appli-

cate per realizzare delle mappe tematiche dei parametri enochimici alla raccolta. Nello specifico i valori stimati a mezzo di immagini, su singole viti, sono stati estratti, i dati puntuali convertiti in shapefile ed infine spazializzati mediante funzioni geostatistiche di Ordinary Kriging.

## Risultati e discussione

Di seguito vengono riportate alcune delle relazioni empiriche più significative ottenute tra le 22 variabili telerilevate ed alcuni dei parametri enochimici generalmente utilizzati per la determinazione della giusta epoca di raccolta: zuccheri riduttori, acidità titolabile e, per le varietà a bacca rossa, contenuto in polifenoli totali ed antociani.

Per quanto riguarda il contenuto in zucchero alla raccolta relazioni significative sono state trovate per le cv. Nero d'Avola e Sauvignon blanc con l'indice di vegetazione *Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance*

**Fig. 3 - Mappe tematiche di acidità titolabile alla raccolta**

Index (MCARI\_1, Fig. 1). L'errore quadratico medio è stato valutato pari a 5 g/L, approssimativamente il 2.5% in termini relativi rispetto al valore medio.

Particolarmente interessante risulta l'elaborazione delle mappe tematiche, nelle quali ben si visualizza il contenuto in zuccheri riduttori (alla raccolta) sull'intera superficie del vigneto elaborate partendo dai dati telerilevati e dalle relazioni statistiche significative (Fig. 2).

Alla raccolta l'acidità titolabile risulta correlata con diversi indici di vegetazione. In particolare relazioni statisticamente significative sono state trovate con l'indice di vegetazione *Zarco and Miller* (ZM) nel Nero d'Avola, *Modified Simple Ratio* (MSR), nel Sauvignon blanc e *MCARI\_1* in Merlot. L'errore quadratico medio è di 0,5 g/L, (Tab. 1). Le mappe tematiche dell'acidità titolabile alla raccolta (Fig. 3), elaborate partendo dai dati telerilevati e dalle relazioni empiriche statistiche significative, evidenziano (come nel caso degli zuccheri) un quadro d'insieme dei vigneti oggetto di studio e la variabilità che si registra all'interno degli stessi.

Polifenoli ed antociani sono riconosciuti come dei parametri chiave ed indicativi della qualità delle uve a bacca rossa. Dalle indagini statistiche il contenuto in polifenoli è risultato significativa-

mente ed inversamente correlato con l'indice di vegetazione *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e direttamente correlato con l'indice *Red/Green Index* (RGI). L'errore quadratico medio stimato è risultato pari a 121 mg/kg uva, circa il 4% in termini relativi.

Per quanto riguarda il contenuto in antociani, l'analisi effettuata evidenzia una correlazione inversa tra contenuto in antociani ed NDVI ed una correlazione diretta con RGI. L'errore quadratico medio stimato è di 35 mg in valore assoluto, circa il 6% in termini relativi. Le relazioni ottenute sono state utilizzate per l'elaborazione di mappe previsionali del contenuto in polifenoli ed antociani (Fig. 5).

## Considerazioni conclusive

Nel presente studio sono state analizzate le capacità del sistema ASPIS, un nuovo sensore multispettrale di telerilevamento aereo sviluppato dal DISAFRI, come supporto nella viticoltura di precisione. La sperimentazione condotta ha evidenziato che uno strumento come ASPIS, in grado di acquisire immagini multispettrali ad alta risoluzione spaziale, spettrale e radiometrica, può supportare gli operatori nell'indagare la variabilità dei parametri eno-

chimici del vigneto attraverso l'utilizzo di indici di vegetazione telerilevati.

In particolare, la risoluzione geometrica delle immagini ha consentito facilmente di estrarre e elaborare solo i pixel puri, ovvero quelli relativi alla sola chioma della vite, escludendo interferenze date dal considerare pixel misti interfila-vite. La disponibilità di un numero maggiore di bande spettrali, rispetto a quelle dei sensori satellitari ad alta risoluzione tipo Quikbird e Ikonos, maggiormente impiegati in viticoltura di precisione, ha consentito di studiare le potenzialità di ulteriori indici di vegetazione oltre all'NDVI. In questo studio risultati maggiormente rilevanti sono stati ottenuti con l'indice di vegetazione *MCARI\_1*.

Relativamente alla varietà di Sauvignon blanc, l'indice *MCARI\_1* ha mostrato una correlazione negativa con il contenuto in zuccheri riduttori ( $R^2$  0,66) e una correlazione positiva con l'acidità titolabile ( $R^2$  0,56). Nel caso delle uve a bacca rossa l'indice *MCARI\_1* è risultato ben correlato con i parametri enochimici misurati sulla varietà Nero d'Avola e nello specifico positivamente con zuccheri riduttori ( $R^2$  0,87) e negativamente per acidità titolabile ( $R^2$  0,80). Tendenze simili sono state registrate per il Merlot anche se le correlazioni tra indice *MCARI\_1* e pa-

rametri enochimici sono risultate meno significative ( $R^2$  0,21 per zuccheri riduttori e  $R^2$  0,56 per acidità titolabile). In conformità con Lamb *et al.*, (2004), una correlazione negativa significativa è stata trovata tra NDVI e contenuto in polifenoli ( $R^2 \sim 0,9$ ) ed antociani ( $R^2 \sim 0,89$ ).

Ciò che emerge è che le immagini multispettrali acquisite dal sensore ASPIS possono integrare le conoscenze acquisite da terra mediante le tecniche tradizionali di monitoraggio in ambito enologico.

Ulteriori sviluppi della ricerca, finalizzate all'ottimizzazione dell'accuratezza delle stime previsionali, riguarderanno lo sviluppo di un approccio sinergico basato sulla sovrapposizione delle immagini multispettrali e multitemporali acquisite dal sensore ASPIS con quelle acquisite dalla telecamera termica, nonché l'integrazione con la modellistica agrometeorologica. ■

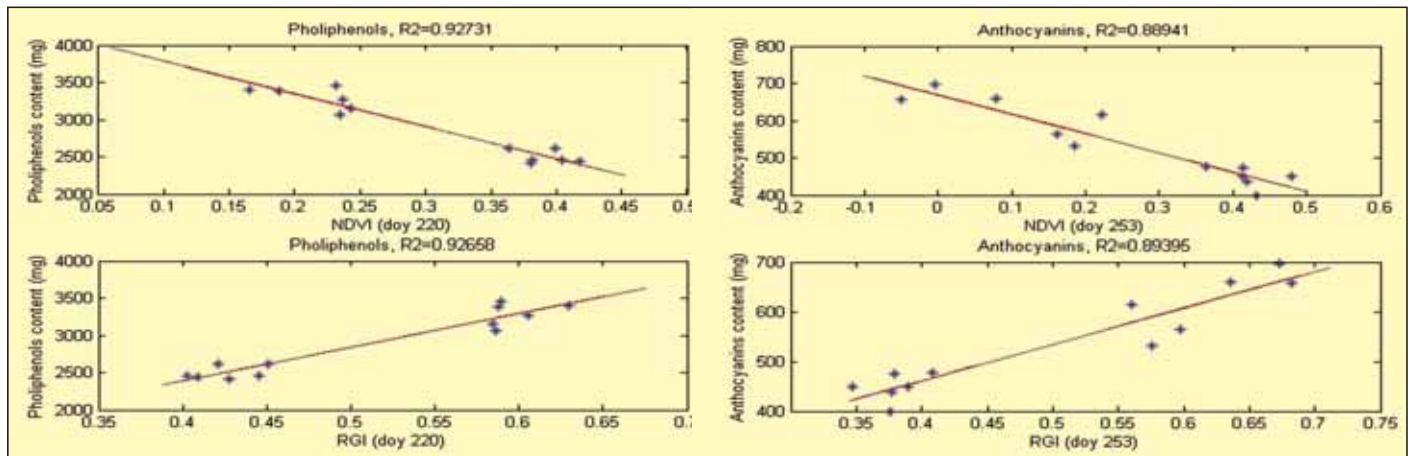
## Bibliografia

Cayla Laure, Cotterau P., Renard R., (2002). Estimation de la maturité phénologique des raisins rouge par la méthode I.T.V. Standard. *Revue Française d'Oenologie*. n°193, 10-16.

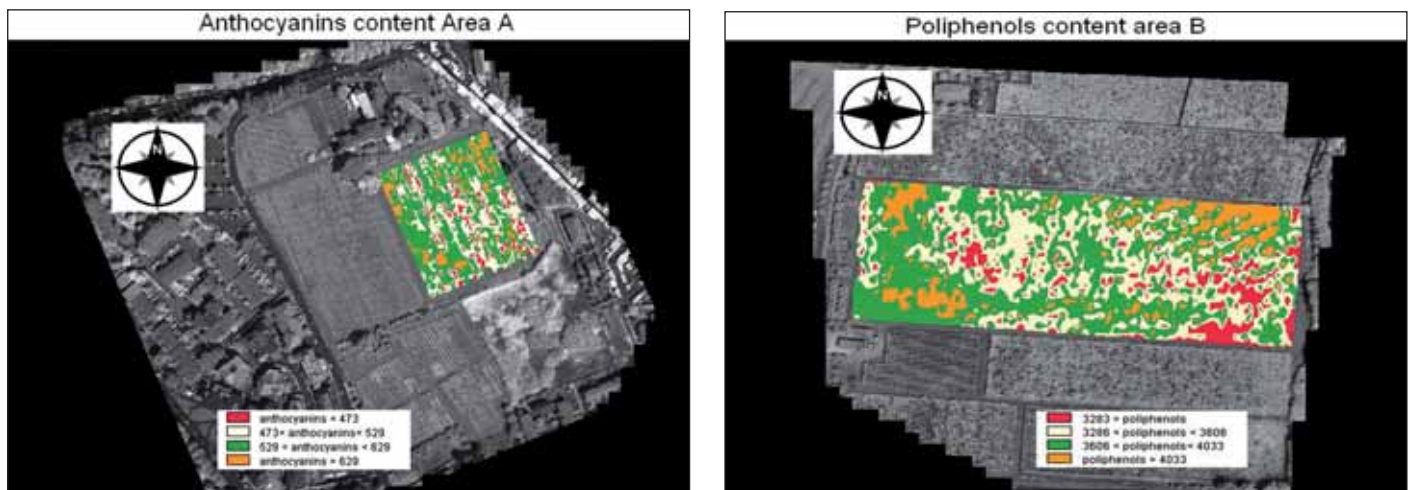
Carothers J. (2000). Imagery technology meets vineyard management. *Pract. Wi-*



**Fig. 4 - A sinistra, scatterplot di alcune relazioni empiriche tra indici di vegetazione calcolati da dati telerilevati ASPIS e contenuto in polifenoli alla raccolta; a destra scatterplot di alcune relazioni empiriche tra indici di vegetazione calcolati da dati telerilevati ASPIS e contenuto in antociani alla raccolta**



**Fig. 5 - A sinistra), mappa tematica del contenuto in antociani al momento della raccolta per l'area di studio A. a destra). mappa tematica del contenuto in polifenoli al momento della raccolta per l'area B.**



nery Vineyard, 1, 54-62.

Castagnoli A. and Dosso P. (2001). Viticoltura assistita da satellite. L'informatore agrario, 18, 77-81.

Castagnoli A., Dosso P. (2002). Servizi ad alta tecnologia per la viticoltura di precisione. Supplemento a L'Informatore agrario 13, 57-62.

Di Stefano R., Cravero M.C., Gentilini N. (1989). Metodi per lo studio dei polifenoli dei vini. L'Enotecnico, 5, 83-89

Dosso P., Spezia G. (2006). Viticoltura di precisione grande risorsa per il futuro. L'Informatore agrario, 24, 58-63.

Haboudanea D., Millera J. R., Pattey E., Zarco-Tejada P. J. and Strachane I. B. (2004). Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop

canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. Remote Sensing of Environment, 90, 337-352.

Hall A., Louis J. and Lamb D. (2003). Characterising and mapping vineyard canopy using high-spatial-resolution aerial multispectral images. Computers and Geosciences, 29, 813-822.

Johnson L.F., Roczen D.E., Youkhana S.K., Nemani R.R. and Bosch D.F. (2003). Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. Computers and Electronics in Agriculture, 38, 33-44.

Lamadon F. (1995). Protocole pour l'évaluation de la richesse polyphénolique des raisin. Revue des Oenologues et de techniques vitivinicoles et oenologiques. 76, 37-38.

Lamb D.W., Weedon M.M. and Bramley R.G.V. (2004). "Using remote sensing to predict grape phenolics and colour at harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard: timing observations against vine phenology and optimising image resolution". Predicting grape phenolics and colour at harvest Australian Journal of Grape and Wine Research, 10, 46-54.

Papale D., Belli C., Gioli B., Miglietta F., Ronchi C., Primo Vaccai C. and Valentini R. (2008). ASPIS, a flexible multispectral System for airborne remote sensing environmental applications. Sensors, 5, 3240-3256.

Tramontana G., Papale D., Girard F.; Belli C., Pietromarchi P., Tiberi D., Comandini

M. C. (2009). Airborne remote sensing in precision viticulture: assessment of quality and quantity vineyard production using multispectral imagery, a case study in Velletri, Rome surroundings (Central Italy) Proceeding of SPIE Remote Sensing 2009, 31 August-3 September 2009, section number 7472: Remote sensing for Agriculture, Ecosystems and Hydrology XI.

Zarco-Tejada P.J., Berj6 A., L6pez-Lozano R., Miller d J. R., Mart6n P., Cachorro V., Gonz6lez M.R., de Frutos A. (2005). Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. Remote Sensing of Environment, 99, 271-287.