

## VALUTAZIONE DELL'EQUILIBRIO VEGETO-PRODUTTIVO CON METODICHE DI PROXIMAL SENSING

P. Carnevali <sup>(1)</sup>, L. Brancadoro <sup>(1)</sup>, S. Di Blasi <sup>(2)</sup>, M. Pieri <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Dipartimento di Produzione Vegetale, Università degli Studi di Milano  
Via Celoria 2, Milano, Italia

[paolo.carnevali@unimi.it](mailto:paolo.carnevali@unimi.it)

<sup>(2)</sup> Società Consortile Tuscania s.r.l.

Piazza Strozzi 1, Firenze, Italia

[info@consorziotuscania.it](mailto:info@consorziotuscania.it)

### RIASSUNTO

Nel biennio 2008-2009, nell'ambito di un progetto multidisciplinare coordinato e finanziato dal Consorzio Tuscania, 4 vigneti in differenti zone della Toscana sono stati monitorati con strumenti di *proximal sensing* al fine di valutare la variabilità riscontrabile e ottenere delle indicazioni sulle risposte vegetative delle piante e quanti-qualitative delle produzioni.

La creazione di mappe di NDVI (uno degli indici di vegetazione più comunemente utilizzati) e di spessore delle chiome (CT, derivato dalla lettura dei sensori ad ultrasuoni), ha permesso di evidenziare nette differenze tra i vigneti studiati e all'interno dei singoli appezzamenti, oltre ad una forte influenza temporale sulle caratteristiche delle chiome; tali evidenze sono state confermate da un'analisi della varianza multivariata.

I dati rilevati sono stati correlati con alcuni indici comunemente utilizzati per la valutazione vegeto-produttiva delle piante ottenendo delle correlazioni significative, a conferma della validità dei rilievi effettuati e del loro possibile utilizzo come metodo di monitoraggio della situazione esistente in vigneto e di supporto nei processi decisionali

### PAROLE CHIAVE

Proxima sensing - Greenseeker – ultrasuoni – espressione vegetativa

### ABSTRACT

In 2008, collaborating with Tuscania Consortium, Ibimet of Florence and IASMA, a research was started with the aim of understanding and monitoring existing variability in vineyards and, basing on it, evaluating agronomical practices useful for qualitative and quantitative responses optimization. With this purpose, some experimental parcels were chosen in 4 different Sangiovese and Cabernet S. vineyards placed in 3 areas of Tuscany. Parcels were made by the use of different canopy management techniques in various vigour zones.

In established periods (fruit setting, veraison and before technological maturity) some instrumental records were made, using ATV mounted optical and ultrasonic sensors; at the same time, indirect measurements of leaf surface and a Point Quadrat were performed. Statistical analysis allowed to validate instrumental relives and to underline the capability of the system of surveying both spatial and temporal variability both an artificial one, made by agronomical practices.

### KEYWORDS

Proximal Sensing - GreenSeeker – Ultrasounds – Vegetative expression

## INTRODUZIONE

Il concetto di *terroir*, a cui si fa spesso riferimento in ambito vitivinicolo, fonda le sue basi su un sistema di interazioni tra fattori di tipo naturale ed un insieme di fattori umani (Roudié, 2001), che conferiscono originalità e tipicità ad un prodotto originario di una determinata zona. Basandosi su ciò, la comprensione della variabilità insita in tali ambienti e dei differenti fattori che la caratterizzano risulta un requisito fondamentale per adottare le più corrette pratiche agronomiche ed enologiche che conducano all'obiettivo desiderato. Se da un lato studi conoscitivi quali le zonazioni vitivinicole permettono di delineare il più corretto modello viticolo da adottare per un determinato ambiente a diverse scale di interesse, bisogna ricordare come tale conoscenza non possa esulare da un continuo monitoraggio dei cosiddetti fattori dinamici e, di conseguenza, dall'individuazione delle più appropriate pratiche colturali da attuare nel corso dell'annata (Brancadoro e Failla, 2002).

In tale ottica, negli ultimi anni sono state applicate pratiche di monitoraggio che, sfruttando le caratteristiche della chioma e la loro impronta spettrale, si avvalgono di sensori per la determinazione della variabilità in vigneto. I rilievi a cui si fa riferimento sono ascrivibili alle pratiche di *remote* e *proximal sensing*, cioè l'utilizzo di strumenti ottici per la valutazione della vegetazione da remoto o direttamente in vigneto.

I valori ottenuti dalle letture strumentali vengono trasformati nei cosiddetti Indici di Vegetazione (VI) che risultano essere fortemente legati al LAI (*Leaf Area Index*) ed alla superficie fogliare (Stamatiadis *et al.*, 2006), parametri descrittivi la potenziale attività fotosintetica della vegetazione in risposta all'interazione tra clima, suolo e pratiche di coltivazione (Goutouly *et al.*, 2006).

Le informazioni determinabili da tali strumenti sono inoltre correlate alla produzione di biomassa e possono essere utilizzate per interpretare l'evoluzione spaziale di patologie, stress, stato idrico del vigneto, caratteristiche delle produzioni e qualità delle uve (Johnson *et al.*, 2003).

Lo scopo del presente lavoro è di presentare i risultati parziali del biennio 2008-2009 di una ricerca triennale inserita all'interno di un progetto multidisciplinare finanziato e coordinato dal Consorzio Toscana; fine ultimo dello studio è quello di utilizzare strumenti di *proximal sensing* in vigneto, nello specifico sensori ottici e ad ultrasuoni portatili, per descrivere a differenti livelli di dettaglio la variabilità spaziale, temporale ed indotta da alcune pratiche di gestione della chioma.

La scelta di utilizzare sensori ad ultrasuoni deriva dalla necessità di monitorare la distribuzione spaziale delle chiome ed il loro spessore, caratteristiche queste ritenute fondamentali nel determinare un'ottimale intercettazione luminosa e pertanto influenti sulla qualità delle produzioni (Smart e Robinson, 1991).

## MATERIALI E METODI

Nel 2008 è stata avviata una ricerca volta alla determinazione delle risposte vegeto-produttive di 4 vigneti, due coltivati a Sangiovese e due a Cabernet S., dislocati in tre differenti aree della Toscana: Chianti Classico DOCG, Bolgheri DOCG e Monteregio di Massa Marittima DOC. I vigneti oggetto di studio presentano la medesima densità d'impianto (circa 6250 ceppi/ha) e la stessa forma d'allevamento (cordone speronato). Basandosi su pregresse mappe di vigore, ogni vigneto è stato suddiviso in differenti blocchi sperimentali, in base alle diverse espressioni vegetative riscontrate; all'interno di ciascun blocco, sono state ottenute delle parcelle sperimentali dall'attuazione combinata di alcune pratiche di gestione della chioma (potatura degli speroni a 1 o 3 gemme, esecuzione o no di una sfogliatura precoce in prefioritura).

Nel corso di ciascuna delle due annate considerate (2008 e 2009) e in tre periodi prefissati (allegagione, invaiatura e nel corso della maturazione) sono stati eseguiti dei rilievi strumentali in continuo sull'intera estensione dei vigneti, avvalendosi di un mezzo mobile equipaggiato con una coppia di sensori ottici (GreenSeeker<sup>®</sup>, NTech Industries inc.), due coppie di sensori ad ultrasuoni, un PC portatile ed un GPS differenziale.

I sensori ad ultrasuoni, posti all'altezza della fascia produttiva e in quella mediana, permettono di misurare lo spessore della chioma (CT, acronimo di *Canopy Thickness*), mentre i sensori ottici misurano la riflettanza della vegetazione nel rosso e nel vicino infrarosso, restituendo un dato numerico relativo alla quantità di biomassa fotosinteticamente attiva, chiamato NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*):

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (\text{Dobrowski et al., 2002}).$$

Contemporaneamente ai rilievi strumentali, su 6 piante contigue di ciascuna parcella sono state eseguite delle misurazioni volte a descrivere le differenti tesi dal punto di vista vegetativo: sono state effettuate misure tramite la tecnica del Point Quadrat e la stima della superficie fogliare per pianta attraverso metodi indiretti (nel 2008 mediante software fillometrico di foto di foglie di un numero rappresentativo di germogli, nel 2009 utilizzando la tecnica dei dischetti fogliari). Inoltre, alla vendemmia e in fase di potatura invernale sono state raccolte informazioni riguardanti il peso della produzione/ceppo, il numero dei grappoli, il numero di germogli, il numero di nodi per germoglio, il peso del legno di potatura.

I dati così raccolti sono stati sottoposti ad analisi statistica, mediante analisi della varianza multivariata, analisi delle correlazioni bivariate ed analisi della regressione lineare e quadratica.

## RISULTATI E DISCUSSIONE

Al fine di validare i rilievi strumentali effettuati, i dati da essi derivati sono stati correlati con le corrispondenti variabili frutto di rilievo manuale: i valori di NDVI con la superficie fogliare totale per pianta (Tab.1) e gli spessori delle chiome con gli strati fogliari calcolati mediante il metodo del Point Quadrat (Tab.2).

**Tab. 1: Analisi delle correlazioni bivariate tra i valori di NDVI rilevati e la superficie fogliare/ceppo misurata.**

NDVI	Cabernet S.	SF tot. (m <sup>2</sup> )	
		Correlazione di Pearson	,506
		Sig. (2-code)	,000
	Sangiovese	Correlazione di Pearson	,468
		Sig. (2-code)	,000

**Tab. 2: Correlazione bivariata tra gli spessori delle chiome e il numero di strati fogliari a due differenti altezze della parete vegetale.**

CT fascia bassa (cm)	Correlazione di Pearson	Strati fogl. fascia bassa	Strati fogl. fascia mediana
		Sig. (2-code)	,567
CT fascia mediana (cm)	Correlazione di Pearson		,834
	Sig. (2-code)		,000

Nel caso della correlazione NDVI/superficie fogliare si è ritenuto opportuno separare le due varietà, a causa della loro differente impronta spettrale: si può comunque notare come in entrambi i casi l'NDVI correli in modo altamente significativo con la superficie fogliare, ad indicazione della bontà del rilievo eseguito; allo stesso modo si può osservare come la CT correli in modo altamente significativo con il rilievo manuale effettuato all'altezza corrispondente al sensore.

In seguito, è stata effettuata un'analisi della varianza multivariata, che ha previsto, come modello, le variabili indipendenti anno, vigneto, l'interazione blocco\*vigneto (ad indicare il blocco intravigneto), il mese di esecuzione dei rilievi, il livello di potatura e l'esecuzione della sfogliatura (Tab.3). Anche in questo caso l'analisi è stata svolta separatamente per le due varietà.

**Tab. 3: Livelli di significatività all'analisi GLM per le variabili rilevate strumentalmente.**  
 (\*\*\*: $p \leq 0,001$ ; \*\*: $0,001 < p \leq 0,01$ ; \*: $0,01 < p \leq 0,05$ ; n.s.: $p > 0,05$ )

		NDVI	CT fascia bassa	CT fascia mediana
<b>Cabernet S.</b>	Anno	***	***	***
	Vigneto	***	***	***
	Blocco*Vigneto	***	***	***
	Mese	***	***	***
	Potatura	***	***	n.s.
	Sfogliatura	***	***	*
<b>Sangiovese</b>	Anno	n.s.	***	***
	Vigneto	***	***	***
	Blocco*Vigneto	***	***	***
	Mese	***	***	***
	Potatura	n.s.	***	*
	Sfogliatura	***	***	***

Le variabili indipendenti prese in considerazione nell'analisi, risultano avere degli effetti significativi per tutte le variabili dipendenti esaminate, nel caso del Cabernet S., ad eccezione per l'effetto della potatura sulla misura dello spessore della chioma nella fascia mediana della vegetazione; per quanto riguarda il Sangiovese, i rilievi descrittivi la CT risultano significativamente influenzati dal modello utilizzato, mentre i valori di NDVI non mostrano un effetto significativo dell'anno e del livello di potatura: ciò indica come, a fronte di due annate con decorso meteorologico differente e di due interventi di potatura differenti, questa varietà non mostra delle risposte differenti della vegetazione, suggerendo una capacità del Sangiovese di raggiungere un equilibrio nella biomassa fotosinteticamente attiva, a fronte di differenti cariche gemmarie e di diverse influenze mesoclimatiche.

Il medesimo modello è stato adottato nell'analisi delle variabili produttive quantitative (Tab.4) e qualitative (Tab.5).

**Tab. 4: Significatività all'analisi della varianza multivariata per le variabili produttive quantitative.**  
 (\*\*\*: $p \leq 0,001$ ; \*\*: $0,001 < p \leq 0,01$ ; \*: $0,01 < p \leq 0,05$ ; n.s.: $p > 0,05$ )

		Grappoli/ pianta	Peso produzione/ pianta (g)	Peso medio grappolo (g)	Peso prod./ germoglio (g)
<b>Cabernet S.</b>	Anno	***	n.s.	***	***
	Vigneto	***	***	n.s.	***
	Blocco*Vigneto	**	n.s.	***	n.s.
	Potatura	***	***	n.s.	n.s.
	Sfogliatura	n.s.	***	***	*
<b>Sangiovese</b>	Anno	***	*	***	***
	Vigneto	***	***	***	*
	Blocco*Vigneto	***	***	***	***
	Potatura	***	n.s.	***	*
	Sfogliatura	n.s.	**	**	n.s.

**Tab. 5: Significatività all'analisi della varianza multivariata per i parametri tecnologici dei mosti.**  
 (\*\*\*: $p \leq 0,001$ ; \*\*: $0,001 < p \leq 0,01$ ; \*: $0,01 < p \leq 0,05$ ; n.s.: $p > 0,05$ )

		Zuccheri (°Brix)	pH	Ac. titolabile (g/l)
<b>Cabernet S.</b>	Anno	n.s.	**	***
	Vigneto	***	***	n.s.
	Blocco*Vigneto	*	n.s.	**
	Potatura	n.s.	*	n.s.
	Sfogliatura	n.s.	n.s.	n.s.
<b>Sangiovese</b>	Anno	***	n.s.	***
	Vigneto	***	***	***
	Blocco*Vigneto	*	**	n.s.
	Potatura	n.s.	**	n.s.
	Sfogliatura	***	n.s.	n.s.

Per quanto concerne le variabili quantitative, si nota come il Sangiovese mostri una maggiore sensibilità alle variabili descritte dal modello, mentre il Cabernet S. denota comportamenti tipici di una varietà internazionale: peso della produzione non influenzato dall'annata, peso medio del grappolo non soggetto all'effetto del vigneto, una produzione costante all'interno dei singoli vigneti, un effetto della carica di gemme che si traduce in un aumento del numero di germogli emessi ma non causa cambiamenti nel peso medio del grappolo. Dall'osservazione delle variabili qualitative emerge come, nel caso del Sangiovese, non vi sia influenza dell'anno nella determinazione dei valori di pH e come l'acidità titolabile sia influenzata perlopiù dalle caratteristiche pedoclimatiche, più che dalla variabilità riscontrabile all'interno del vigneto; per contro l'accumulo zuccherino risulta molto sensibile ai fattori pedoclimatici, alla variabilità intrinseca dei vigneti ed alla sfogliatura. Nel caso del Cabernet S., gli zuccheri alla vendemmia mostrano di non essere significativamente influenzati né dalle pratiche adottate né dall'annata, ma si sottolinea l'effetto altamente significativo del vigneto; il pH mostra di essere influenzato principalmente dagli aspetti pedoclimatici e non dalla variabilità, sia naturale che antropica. Infine si nota come, nel caso dell'acidità titolabile, vi siano effetti significativi dell'anno e del blocco intravigneto.

Infine è stata svolta un'analisi delle correlazioni bivariate tra i valori di NDVI ed alcuni dei principali parametri descrittivi delle caratteristiche vegeto-produttivo delle piante che, per esigenze di sintesi, sono state abbreviate come di seguito: il peso della produzione/ceppo (PP), il peso medio del grappolo (PMG), l'indice di espressione vegetativa (EV), il rapporto tra il legno di potatura (PL) ed EV, il rapporto superficie fogliare/peso produzione (SF/PP), la produzione per germoglio (PG) e l'indice di Ravaz (IR) (Tab.6).

**Tab. 6: Analisi delle correlazioni bivariate tra l'NDVI ed alcune variabili vegeto-produttive utilizzate.**

		PP	PMG	EV	PL/EV	SF/PP	PG	IR	
<b>NDVI</b>	<b>Cabernet S.</b>	Correlazione di Pearson	,330	,335	,385	-,380	-,252	,370	,392
		Sig. (2-code)	,000	,000	,001	,001	,033	,001	,001
	<b>Sangiovese</b>	Correlazione di Pearson	,409	,457	,438	-,361	-,362	,416	,351
		Sig. (2-code)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000

Le alte significatività delle correlazioni effettuate mostrano, da un lato la validità dei rilievi strumentali come metodo alternativo della valutazione dell'equilibrio vegeto-produttivo in vigneto, dall'altra la possibilità, attraverso campionamenti mirati nelle zone a differenti livelli di espressione vegetativa rilevati, di utilizzare tali letture per ottenere mappe tematiche relative ad altri parametri, oltre a quelli direttamente misurati.

## CONCLUSIONI

La variabilità esistente in vigneto può essere descritta e monitorata utilizzando differenti tipi di rilievi, sia di tipo tradizionale e quindi manuale sia di nuova concezione e basati su

strumenti di *remote* e *proximal sensing*. Le differenti risposte produttive riscontrabili tra differenti vigneti ed all'interno dei uno stesso appezzamento sono perlopiù causate da fattori spaziali, a differenti scale di interesse, temporali e dall'insieme delle pratiche di gestione delle chiome utilizzate per modificare l'equilibrio vegeto-produttivo delle piante e il microclima della copertura vegetale. Da questo punto di vista, i rilievi eseguiti mediante strumenti di proximal sensing si sono rivelati adatti a descrivere con un notevole livello di dettaglio la situazione realmente osservabile in vigneto ed hanno permesso di evidenziare le differenti fonti di variabilità, spaziale, temporale ed antropica. Ciò permette, da un lato, di poter effettuare monitoraggi approfonditi del vigneto con metodi rapidi e durante le comuni operazioni colturali, in quanto è possibile equipaggiare con tali strumenti qualsiasi macchina operatrice, da un altro, di applicare in modo sito-specifico i differenti fattori della produzione e le varie operazioni di gestione della chioma, in funzione di una situazione osservabile in campo e di un obiettivo tecnologico desiderato.

Gli indici di vegetazione utilizzati in tale studio si sono dimostrati delle valide alternative ad una serie di parametri comunemente utilizzati nella descrizione delle *performance* vegeto-produttive del vigneto e delle caratteristiche delle chiome, i quali si rivelano nella maggior parte dei casi delle metodiche complesse e spesso troppo dispendiose, soprattutto perché richiedono tempi di esecuzione molto lunghi e conoscenze specifiche: i rilievi strumentali ovviano a tali carenze, permettendo di effettuare rilievi in continuo durante le comuni pratiche agronomiche e non richiedono particolari conoscenze; ciò, in ogni caso, non può prescindere da una lettura critica dei risultati ottenuti da parte di agronomi qualificati.

#### **RINGRAZIAMENTI**

Si intende ringraziare la società Consortile Tuscania e gli altri partner del progetto, la Fondazione Edmund Mach e l'Istituto di biometeorologia del CNR di Firenze.

#### **BIBLIOGRAFIA**

- Brancadoro L., Failla O., 2002. Un approccio sito-specifico alla coltivazione della vite. *L'informatore Agrario*, 1: 45-52.
- Dobrowski, S. Z. *et al.*, 2002. Remote estimation of vine canopy density in vertically shoot-positioned vineyards: determining optimal vegetation indices. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 8(2): 117-125.
- Goutouly J.P. *et al.*, 2006. Characterization of vine vigour by ground based NDVI measurements. VIth International Terroir Congress, Bordeaux.
- Johnson L.F. *et al.*, 2003. Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. *Comput. Electron. Agric.*, 38: 33-44.
- Roudié P., 2001. Vous avez dit "terroir"? Essai sur l'évolution d'un concept ambigu. Un raisin de qualité: de la vigne à la cuve. V. e. V. P. Internationales. Bordeaux (France): 7-11.
- Smart R., Robinson M., 1991. Sunlight into Wine. A Handbook for Winegrape Canopy Management. Winetitles, Adelaide.
- Stamatiadis S. *et al.*, 2006. Relation of Ground-Sensor Canopy Reflectance to Biomass Production and Grape Color in Two Merlot Vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(4): 415-422.