NUOVE TECNICHE DI INDAGINE MULTISCALA PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ IN VIGNETO

DI BLASI S.[a], BENEDETTELLI S.[b], BERTAMINI M.[c], BIONDI BARTOLINI A.[a] , BRANCADORO L.[d], GENESIO L.[e]

[a] Consorzio Tuscania; [b] Dipartimento di Scienze agronomiche e gestione del territorio agro-forestale, Università di Firenze; [c] Fondazione E. Mach-IASMA; [d] Diprove Università di Milano; [e] Ibimet CNR

Introduzione

La conoscenza e la capacità di gestione della variabilità territoriale è la base fondamentale sulla quale si fonda tutta la moderna viticoltura di qualità.

Il concetto stesso di *terroir*, talvolta limitato alla descrizione di una parte della variabilità presente, ad esempio quella del suolo, andrebbe interpretato sulla base della caratterizzazione di tutte le variabili che determinano la matrice stessa della qualità: fattori esogeni o ambientali (climatici, geomorfometrici, pedologici e nutrizionali) ed endogeni o varietali e antropici.

Mentre alcuni di questi parametri sono costanti, come è il caso delle caratteristiche orografiche e pedologiche, altri sono variabili indipendenti come i fattori macro e microclimatici che caratterizzano l'annata, altri infine sono modificabili dall'intervento del viticoltore. La vite risponde a queste fonti di variabilità sia in termini di equilibrio vegeto-produttivo sia in termini di qualità del prodotto.

I recenti sviluppi tecnologici, la riduzione dei costi nel campo della fotografia digitale multispettrale e la sua applicazione nel monitoraggio remoto sia da piattaforma aerea che satellitare, hanno dato un forte impulso allo studio della vegetazione e hanno aperto la strada ad una nuova disciplina che va sotto il nome di viticoltura di precisione.

I principi su cui essa si basa sono stati già descritti negli anni '70 (Rouse et al., 1974; Tucker, 1979) ma solo negli ultimi anni se ne sono potute sfruttare appieno le potenzialità, grazie allo sviluppo di fotocamere digitali multispettrali, alla disponibilità di computer e di applicazioni potenti e dedicate e non ultima alla riduzione dei costi.

In particolare si sfruttano le proprietà ottiche delle foglie e della vegetazione per il calcolo di indici vegetazionali che sono stati correlati alla biomassa fogliare, alla frazione di radiazione fotosinteticamente attiva assimilata ed infine all'assimilazione lorda.

L'indice più utilizzato per la valutazione dell'equilibrio vegeto-produttivo del vigneto è l'NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index;* Tucker 1979) detto anche Indice di Vigore Vegetativo che fornisce un'informazione indiretta ed integrata dell'area fogliare e della concentrazione di clorofilla, in altre parole del vigore della vegetazione. Esperienze precedenti anche italiane di viticoltura di precisione (Brancadoro et al.,2006) hanno dimostrato una correlazione tra le mappe di vigore ottenute dalla misura dell'NDVI da foto satellitare e i parametri produttivi (rese/ha) e qualitativi (indici di maturazione) delle uve.

Parallelamente all'evoluzione dei sensori aerei, sono stati sviluppati e prodotti molti strumenti per indagini non distruttive a terra che vanno sotto il nome di proximal sensing o monitoraggio prossimale. Queste possono fornire allo stesso modo una misura dello stato di benessere e di efficienza della parete fogliare oltre che informazioni sullo stato funzionale della pianta.

Per la costruzione di modelli di maturazione e di previsione della qualità delle uve è necessario registrare anche le principali variabili macro e micrometereologiche. Anche in questo campo le nuove tecnologie e in particolar modo lo sviluppo delle reti di comunicazione "senza fili" offrono ora dei sistemi potenti e controllabili in tempo reale.

Nella presente indagine si sono intergrate le diverse tecnologie di indagine e informative al fine di caratterizzare i fattori che influiscono sull'equilibrio vegeto-produttivo della vite e sulle caratteristiche chimico analitiche delle uve in funzione di diverse scelte agronomiche di gestione della chioma.

In altri termini facendo riferimento alla rappresentazione ormai classica del cosiddetto "triangolo della qualità" (fig. 1) (Fregoni et al., 2003) si è indagato il risultato produttivo al variare delle tecniche colturali di diradamento dei grappoli, sfogliatura precoce e intensità di potatura e l'influenza di queste sui restanti due vertici del triangolo (fenotipo e ambiente).

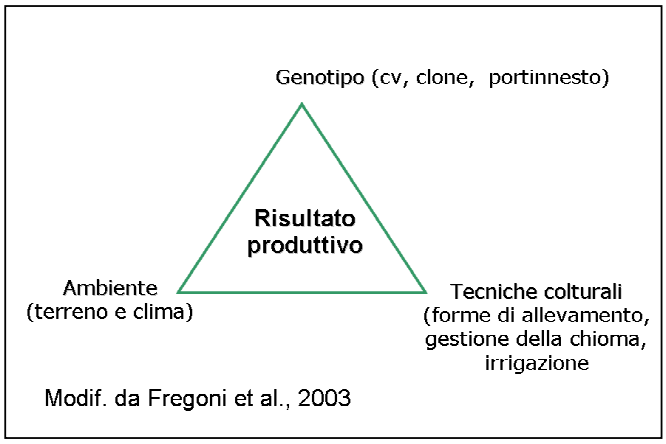


Fig. 1: il triangolo della qualità fornisce una rappresentazione della variabilità dei fattori fissi e variabili del vigneto, delle loro interazioni e dell'azione sulla qualità del prodotto.

Obiettivo del progetto descritto di seguito è la raccolta di informazioni di diversa scala allo scopo di spiegare le interazioni tra la variabilità esistente e la variabilità indotta in vigneto anche ai fini della realizzazione di un modello previsionale a supporto delle scelte gestionali.

Il progetto – Materiali e metodi

Il progetto Tuscania è un progetto multidisciplinare (fig.2) che coinvolge strutture di eccellenza della ricerca italiana attive nel campo dell'indagine climatica e multispettrale, della sensoristica, della fisiologia della vite, della viticoltura sito-specifica e della statistica applicata.

Il progetto è coordinato dalla Società Consortile Tuscania s.r.l. (Firenze) e ha come partner scientifici il CNR Ibimet di Firenze, l'Istituto Agrario di San Michele all'Adige-Fondazione Edmund Mach (Trento), il DiProVe dell'Università di Milano e il Disat dell'Università di Firenze.
Il progetto ha una durata prevista di quattro anni ed ha avuto inizio nella stagione 2007.

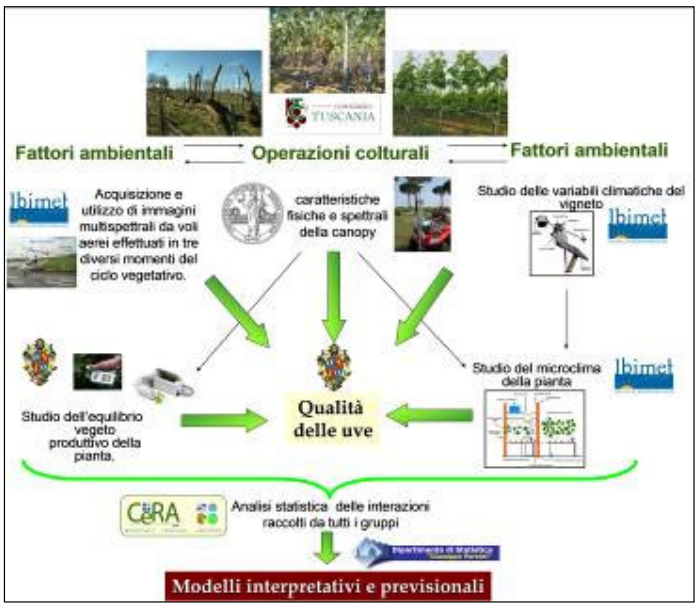


Fig. 2: l'indagine multiscala ha richiesto un approccio di tipo multidisciplinare.

Lo schema sperimentale è stato allestito in tre differenti aree della Toscana su due diverse varietà a bacca rossa (tab.1): Chianti Classico (Sangiovese), Monteregio di Massa Marittima (Cabernet Sauvignon e Sangiovese) e Bolgheri (Cabernet Sauvignon) su quattro vigneti omogenei per età, sesto di impianto e forma di allevamento (cordone speronato).

Vigneto	Azienda	Località	Cultivar	Portinnesto
Brolio	Barone Ricasoli s.p.a.	Gaiole in Chianti (SI)	Sangiovese (Clone R24)	420 A
Cortigliano	Fattoria Le Mortelle di A. Antinori	Castiglione della Pescaia (GR)	Sangiovese (Clone R23 + R24)	420 A
Cacciagrande	Fattoria Le Mortelle di A. Antinori	Castiglione della Pescaia (GR)	Cabernet Sauvignon (Clone 191)	3309
Al Pino 1	Donna Olimpia 1898	Bolgheri (LI)	Cabernet Sauvignon (Clone 191)	101-14

Tab. 1: i vigneti sperimentali sui quali si è applicato il disegno sperimentale

Poiché come già riportato nella parte introduttiva, precedenti studi di applicazione della viticoltura di precisione hanno correlato il parametro di vigore vegetativo con i parametri chimico-analitici di qualità delle uve, nella definizione del disegno sperimentale si è utilizzata l'analisi multispettrale da piattaforma aerea per individuare aree di vigore omogeneo all'interno delle quali collocare i blocchi sperimentali (fig. 3).

All'interno di tali aree si sono delineati 14 blocchi sperimentali su ciascuno dei quali si sono distribuite le 8 tesi relative agli interventi colturali di gestione della chioma indagati (carica di gemme, sfogliatura precoce, diradamento dei grappoli e loro interazioni). In ogni tesi risultano gestite circa n. 85 piante. In totale, quindi, il piano sperimentale, gestisce e rileva informazioni da 9520 piante distribuite su 4 vigneti sperimentali.

Nell'impostazione dello schema di campo a blocchi randomizzati, il blocco non è stato considerato come una semplice replica ma come fattore di variazione "grado di vigore entro località". In tal modo anche la variabilità intra-particellare, espressa dal vigore vegetativo, può essere valutata come fattore di variabilità per i parametri indagati e misurati.

La gestione della chioma ha previsto la combinazione delle seguenti variabili (fig. 4):

1. differenti cariche di gemme nella forma di allevamento del cordone speronato;
2. sfogliatura della parte basale del tralcio in fioritura-allegagione (codice BBCH: 69-71, Lorenz *et al.* 1994);
3. diradamento dei grappoli ad inizio invaiatura (BBCH: 81).
4. Epoca di raccolta

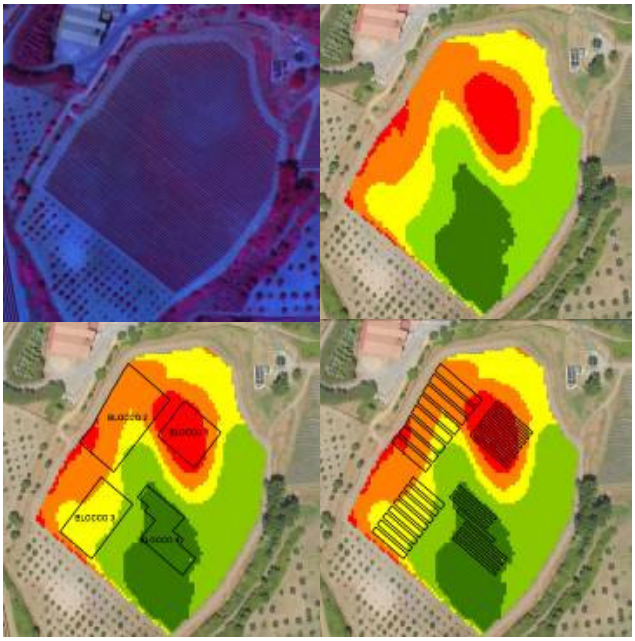


Fig.3 : uso dell'immagine multi-spettrale ottenuta da foto aerea ad alta risoluzione (30 cmx 30 cm) per la definizione dei blocchi sperimentali sulla base dei blocchi della vigoria (indice NDVI omogeneo).

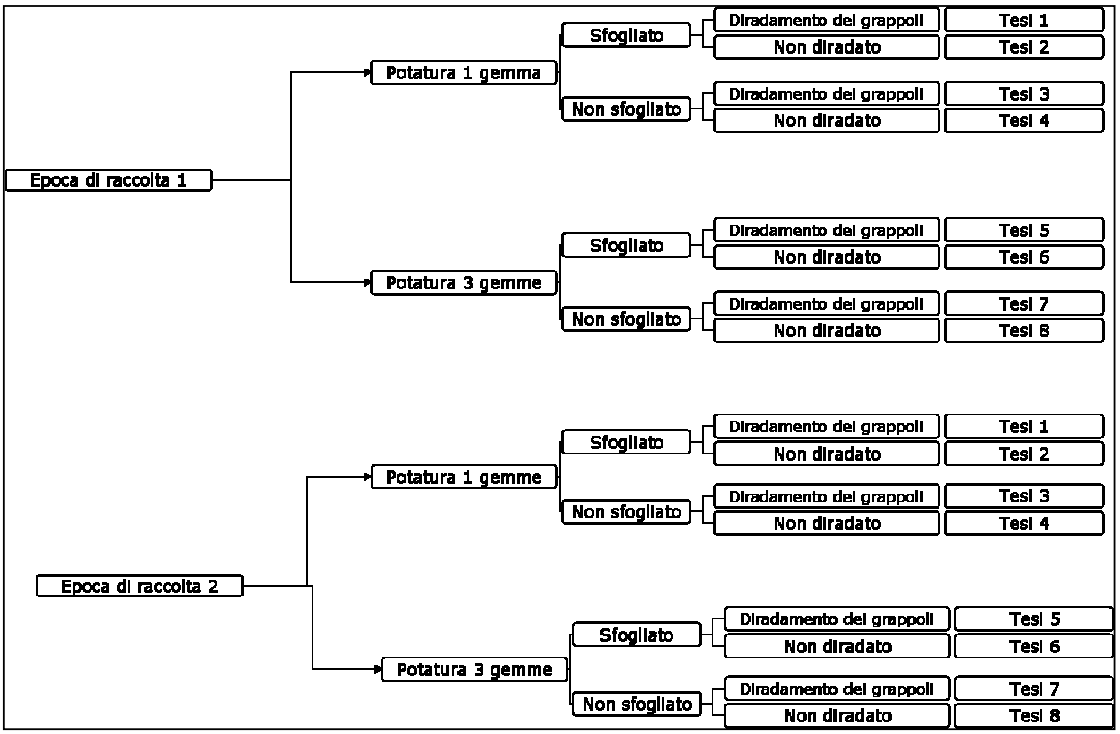
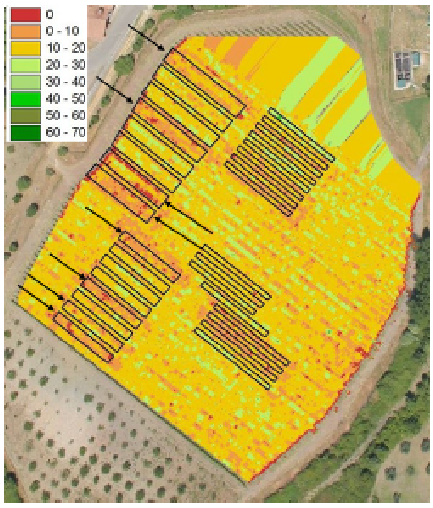


Fig. 4: lo schema sperimentale applicato all'interno di ogni vigneto prevede 16 tesi derivanti dalla combinazione delle diverse tecniche colturali ed epoche di raccolta per 3 o 4 ripetizioni in ognuno dei 4 vigneti sperimentali.

Il monitoraggio del vigneto con tecniche di remote sensing è stato effettuato ogni anno in tre periodi fenologicamente importanti come allegagione (metà giugno), pre-invaiatura (metà luglio) e maturazione (metà agosto). Le immagini vengono acquisite nelle bande del visibile e del vicino infrarosso ad una altissima risoluzione geometrica, 0.3 m, al fine di derivare un indice del vigore vegetativo (NDVI) a livello di singola pianta. Inoltre è stata sviluppata una metodologia specifica che permette di filtrare le immagini e rimuovere così i valori NDVI dell'interfila. Per ogni parcella sono stati quindi successivamente estratti i valori medi.

Le metodologie di *proximity sensing* applicate in vigneto hanno consentito di rilevare grandezze multispettrali che, come i rilievi aerei, avevano lo scopo di determinare indici di efficienza dello stato fisiologico della pianta (*Vegetation Indices*) ed inoltre valutare la morfologia della chioma o *canopy* (spessore e densità) con l'uso di strumenti prototipi ad ultrasuoni (fig. 5).



A questo scopo sono stati montati su mezzo mobile (Quad) una coppia di strumenti ottici commerciali (GreenSeeker®, NTech Industries, Ukiah, CA, USA) e 3 sensori ad ultrasuoni posizionati a diverse altezze della parete di vegetazione sottoposta alla scansione.
I rilievi così effettuati sono stati validati dalla correlazione con le misure di Point Quadrat con le quali si è determinata la densità della vegetazione (numero di strati fogliari) e con misure di VLAI (Vertical Leaf Area Index) che indica la superficie fogliare per metro lineare di filare.

Fig. 5: Spessore della chioma (CT Canopy thickness) in cm ottenuto con le misure dei sensori ad ultrasuoni, Le tesi indicate con la freccia rappresentano quelle che hanno subito interventi di sfogliatura.

Un'ulteriore misura puntuale a terra di NDVI è stata effettuata con l'uso di uno strumento portatile *Spectrosense 2+* (*Skye Instruments Ltd, Llandrindod Wells, Powys, UK)* che permette misure in verticale sopra la chioma del singolo ceppo.

Gli indici spettrali e strumentali sono stati associati ai rilievi vegeto-produttivi di indagine tradizionale: rilievamento degli stadi fenologici (scala BBCH), contenuto in clorofilla effettuata tramite misuratore portatile di clorofilla SPAD-502 (*Konica-Minolta Inc.*, Tokyo, Japan), conteggio germogli e grappoli ante- e post-diradamento, calcolo della fertilità, della produzione per pianta, dell'indice di Ravaz, del contenuto in carboidrati di riserva del legno.
Per ciascuna tesi sperimentale alla maturazione tecnologica e due settimane dopo sono stati prelevati campioni rappresentativi di uva sui quali sono stati determinati: zuccheri solubili (°Brix), acidità titolabile (g/l), pH, acido malico e tartarico (g/l), ione potassio (mg/l), azoto prontamente assimilabile (APA - mg/l), polifenoli totali ed antociani totali (mg/l).

Sui vigneti sperimentali è stato applicato un nuovo modello di rilevamento di dati macro e microclimatici chiamato NAV (Network Avanzato per il Vigneto) avente lo scopo di monitorare in modo continuo i dati microclimatici di temperatura, umidità, bagnatura fogliare e irraggiamento presenti all'interno della chioma, sul grappolo e al suolo e il potenziale idrico del suolo a due profondità.

Risultati

Lo schema sperimentale fattoriale applicato permette di valutare gli effetti semplici di ognuno dei fattori (carica di gemme, diradamento, sfogliatura, epoca di raccolta e vigore entro parcella) e contemporaneamente di studiare l'effetto dell'azione congiunta degli stessi (per esempio che cosa succede se combino sfogliatura e diradamento).
Il modello misto di analisi della varianza adottato ha considerato come fattori ad effetti casuali la località, il grado di vigore entro località e l'epoca di raccolta, mentre come fattori ad effetti fissi sono stati considerati: la carica di gemme, la sfogliatura ed il diradamento.

Si riscontra un'influenza significativa dei fattori casuali: località, epoca di raccolta e del grado di vigore entro località su molte delle variabili considerate, più specificamente (tab. 2): la località ha evidenziato un'influenza sul parametro analitico Azoto Prontamente Assimilabile in entrambe le cultivar ed appare avere una significativa influenza anche su SPAD ed NDVI. L'appartenenza ad una zona omogenea per indice di vegetazione NDVI è fattore determinante su °Brix, acidità, ione potassio, acido malico sia su Sangiovese che su Cabernet Sauvignon. L'epoca di raccolta mostra avere una grande influenza su: azoto prontamente assimilabile, °Brix, pH, acidità, acido malico, ione potassio, densità del mosto e polifenoli totali.

Cabernet sauvignon									
Variabili	*Zuccheri*	*pH*	*Acidità titolabile*	*Ac. tartarico*	*Ac. Malico*	*K*	*APA*	*Antociani*	*Polifenoli*
Vigneto	**	*	**	n.s.	**	**	**	**	n.s.
Epoca raccolta	**	**	**	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	**
Vigore (area di vigore NDVI)	**	*	*	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.
Sangiovese									
Variabili	*Zuccheri*	*pH*	*Acidità titolabile*	*Ac. tartarico*	*Ac. Malico*	*K*	*APA*	*Antociani*	*Polifenoli*
Vigneto	n.s.	**	**	*	n.s.	**	**	*	n.s.
Epoca raccolta	**	**	*	n.s.	n.s.	**	*	n.s.	n.s.
Vigore (area di vigore NDVI)	*	*	n.s.	n.s.	*	**	*	n.s.	n.s.

Tab. 2: Effetto dei fattori casuali. Analisi della varianza -, **, ***, = significatività rispettivamente per P ≤ 0.05, 0.01, 0.001; n.s.= non significativa.*

Complessivamente anche i fattori ad effetto fisso (tab. 3) relativi alle tecniche di gestione della chioma hanno dimostrato un'influenza nel determinare la qualità dei mosti; difatti i parametri °Brix, acidità totale e acido tartarico appaiono essere influenzati da tutti e tre i fattori di gestione della chioma (sfogliatura, carica di gemme e diradamento).

Le tecniche di gestione della chioma manifestano effetti significativi (influenza di sfogliatura e diradamento su contenuto zuccherino e contenuto fenolico; della carica in gemme e del diradamento sul pH; della carica di gemme sull'acido tartarico) sia singolarmente che in interazione reciproca (tab. 3).

Influenza dei trattamenti agronomici e delle loro interazioni sui parametri analizzati
a - Analisi della varianza: Sangiovese 2007 p < 0,05

	Brix	pH	Acidità totale	Antociani totali	Potassio	Polifenoli totali	APA	NDVI VOLO 2	Spad 2
Carica di gemme (effetto della carica minore)	+	+	+	n.s.	+	n.s.	n.s.	+	+
Sfogliatura	+	n.s.	+	+	+	+	+	n.s.	n.s.
Diradamento	+	+	+	+	n.s.	n.s.	n.s.	+	n.s.
sfogliatura x diradamento	n.s.	n.s.	+	+	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
sfogliatura x carica gemme	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
diradamento x carica di gemme	+	+	+	+	n.s.	+	n.s.	n.s.	+

b-Analisi della varianza: Cabernet Sauvignon 2007 p < 0,05

	Brix	pH	Acidità totale	Antociani totali	Potassio	Polifenoli totali	APA	NDVI VOLO 2	Spad 2
Carica di gemme (effetto della carica minore)	+	+	+	n.s.	+	n.s.	n.s.	n.s.	+
Sfogliatura	+	+	+	n.s.	n.s.	+	+	n.s.	n.s.
Diradamento	+	+	+	+	n.s.	+	n.s.	n.s.	n.s.
sfogliatura x diradamento	n.s.	n.s.	+	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
sfogliatura x carica gemme	n.s.	n.s.	+	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
diradamento x carica di gemme	+	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	+	n.s.

Tab. 3: influenza dei trattamenti agronomici e delle loro interazioni su alcuni dei parametri vegeto-produttivi e qualitativi indagati nell'annata 2007 su Sangiovese (a) e su Cabernet Sauvignon (b).↑ effetto positivo (il parametro cresce) ↓ effetto negativo (il parametro decresce).

A titolo di esempio si riporta in (fig. 6) l'interazione tra le due variabili carica di gemme e diradamento nel Sangiovese vendemmia 2007, per evidenziare come la risposta ad una tecnica colturale non sia sempre univoca: la risposta della pianta al diradamento relativamente a pH, concentrazione zuccherina, acidità totale e antociani totali delle uve è diversa a seconda che questa sia stata potata con speroni con 3 gemme (lunga) o 1 gemma (corta).

In termini pratici possiamo osservare come l'azione del diradamento sul processo di maturazione della bacca (concentrazione in zuccheri e in antociani e decremento dell'acidità) sia evidente e significativa laddove è stata lasciata una carica di gemme più importante, mentre non porta a risultati significativi se la carica di gemme di partenza era di per sé ridotta.

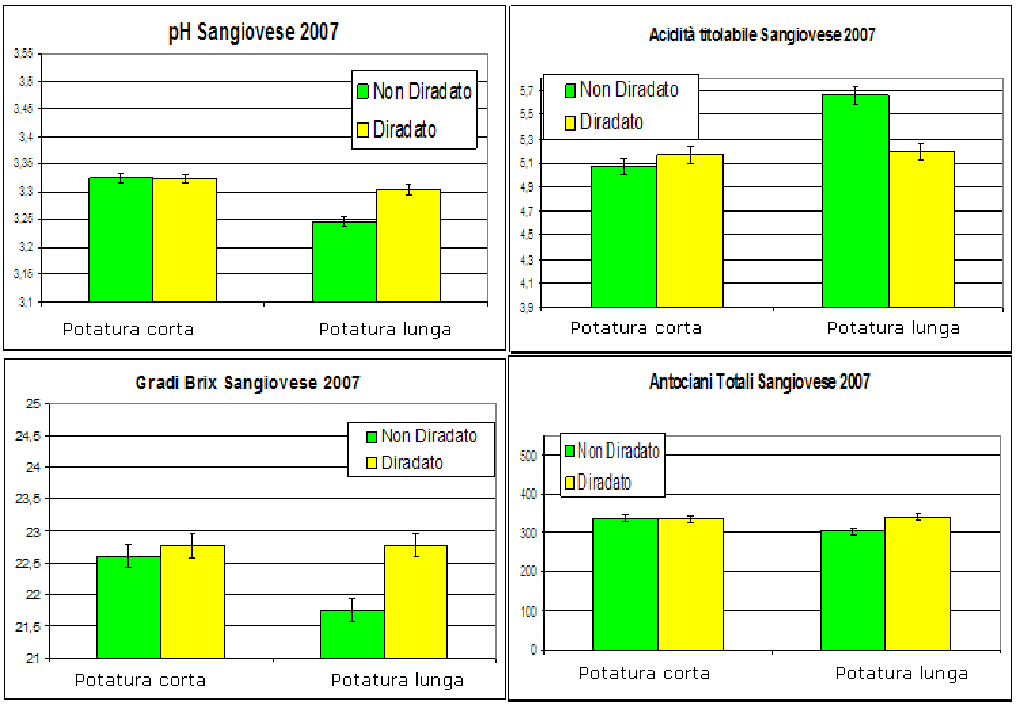
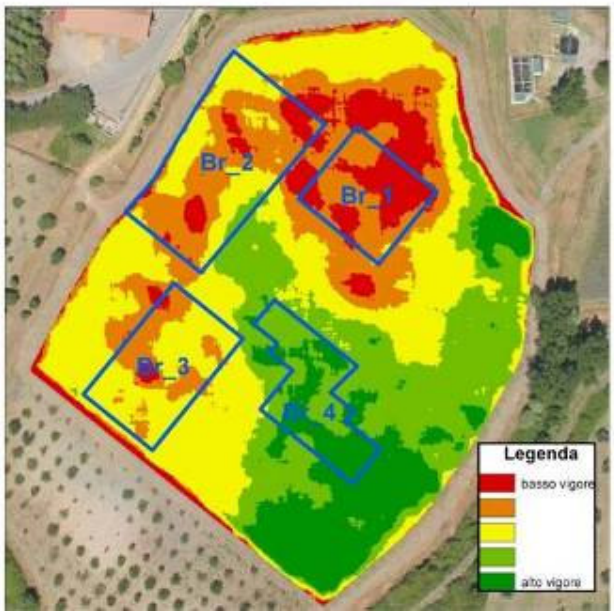


Fig. 6: Interazione tra carica di gemme (cordone speronato con potatura lunga a 3 gemme o con potatura corta a 1 gemma) e diradamento dei grappoli.

L'analisi statistica svolta sui dati NDVI telerilevati ha confermato come i fattori ambientali risultino statisticamente rilevanti sia sul Sangiovese che sul Cabernet Sauvignon; diversamente le pratiche agronomiche sono risultate statisticamente influenti prevalentemente su Sangiovese.
Inoltre sono state create delle matrici di correlazione fra gli NDVI telerilevati e i parametri di qualità delle uve (pH, polifenoli totali, °Brix). Queste analisi hanno confermato che esistono delle correlazioni fra il vigore delle piante e la qualità delle uve prodotte (fig. 7).



Contenuto zuccherino (°Brix)

	Vendemmia 2007	Vendemmia 2008
Basso vigore	22.90	22.05
Alto vigore	21.06	21.23

Polifenoli (mg/kg)

	Vendemmia 2007	Vendemmia 2008
Basso vigore	1378	1532
Alto vigore	1100	1479

Fig. 7: Correlazione fra vigore vegetativo delle piante (derivato da dati telerilevati) e parametri di qualità delle uve in Sangiovese (°Brix, Polifenoli totali).

Per interpretare correttamente i fenomeni che controllano le variabili qualitative indagate si può ricorrere all'analisi delle relazioni esistenti tra le variabili analizzate con l'applicazione dei metodi statistici di analisi delle regressioni multiple.
Il metodo della Path analysis (regressione multipla con coefficienti standardizzati) consente di definire come i diversi parametri interagiscano (con indice di correlazione positivo o negativo) nella spiegazione della variabile indagata.
Nella figura 8 è riportato un esempio riferito al grado °Brix del Sangiovese vendemmia 2007.

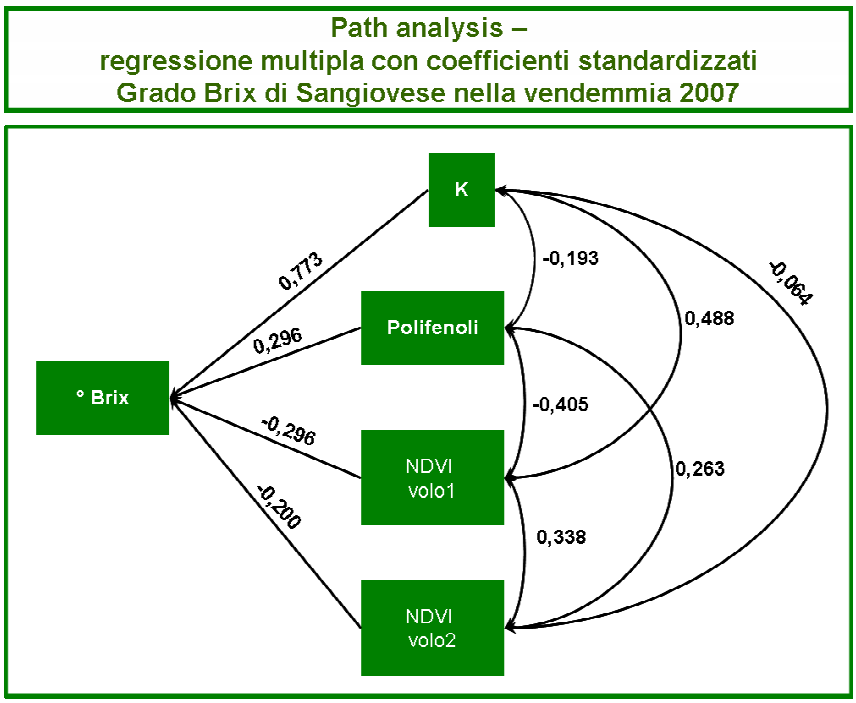


Fig. 8: esempio di applicazione della Path analisys (regressione multipla con coefficienti standardizzati) per la spiegazione delle correlazioni tra i diversi parametri e dell'influenza di questi sulla varianza del grado Brix delle uve del Sangiovese vendemmia 2007.

Conclusioni

Le tecnologie più avanzate oggi disponibili (dell'analisi multispettrale da piattaforma aerea e da terra così come della rilevazione micro-metereologica) sono state tra loro integrate allo scopo di creare una banca dati completa e complessa per spiegare a diversi livelli i risultati della ricerca viticola in corso, relativa alle tecniche di gestione della chioma.

L'approccio multiscala adottato consente di approfondire l'effetto delle diverse tecniche colturali applicate sotto i diversi punti di vista, della risposta fisiologica della pianta, e del conseguente effetto sul microclima della chioma, sull'equilibrio vegeto produttivo, e infine sulla qualità delle uve prodotte.

L'impostazione del piano sperimentale ha consentito (e permetterà in modo più completo al termine dei quattro anni di indagine) di mettere in relazione tra loro tutti i parametri indagati, in modo da valutare non soltanto l'effetto delle tecniche colturali su ognuno di essi, ma anche le interazioni tra esse e tra gli stessi parametri. I risultati verranno quindi utilizzati per lo sviluppo di un modello interpretativo basato sui metodi delle Reti Probabilistiche.

I primi risultati del progetto dimostrano come le diverse applicazioni della viticoltura di precisione, insieme a tecniche di indagine più tradizionali, possano fornire una base informativa a sostegno

delle scelte di intervento colturale e rappresentino così uno strumento completo a servizio del viticoltore.

Progetto coordinato e finanziato da

CONSORZIO TUSCANIA

Piazza Strozzi, 1 – Firenze

Bibliografia

BRANCADORO L., DONNA P., DOSSO P., FACCINCANI M., SCIENZA A., SERINA F. USANZA L., 2006. Viticoltura di precisione assistita da satellite in Franciacorta: le attività realizzate nel 2005. Workshop Citymap, Piacenza 20 aprile 2006.

BRANCADORO L. FAILLA O., DOSSO P., SERINA F., 2006b. Use of satellite in precision viticulture. The Franciacorta experience. *VIe congrès International desTerroirs Viticoles 2006.*

FREGONI M., SCHUSTER D., PALETTI A.- 2003 - Terroir zonazione viticoltura. *Phytoline 2003*.

LORENZ D. H., EICHHORN K. W., BLEI-HOLDER H., KLOSE R., MEIER U., WEBER E., 1994. *Phänologische Entwicklungsstadien der Weinrebe (Vitis vinifera L. ssp. vinifera*). Vitic. Enol. Sci., 49: 66-70.

ROUSE J.W., HAAS R.H., SCHELL J.A., DEERING D.W., 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351: 301-317.

TUCKER C. J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, 8: 127-150.