

Viticoltura di precisione assistita da satellite in Franciacorta

IN QUESTI ULTIMI ANNI, SOPRATTUTTO IN PAESI CON VITICOLTURE EMERGENTI COME L'AUSTRALIA, SONO STATE CONDOTTE RICERCHE BASATE SUL TELERILEVAMENTO DA SATELLITE E DA AEREO PER CARATTERIZZARE LE RISPOSTE DELLA VITE, DAL PUNTO DI VISTA SIA QUANTITATIVO SIA QUALITATIVO, ALLE DIVERSE CONDIZIONI DI COLTIVAZIONE

Il concetto, oggi così di attualità, di agricoltura (viticoltura) di precisione o sito-specifica, come del resto anche l'applicazione dei risultati della Zonazione (Manuale d'uso del Territorio), si basano sull'attuazione di una gestione differenziata della coltura in relazione alle caratteristiche dell'ambiente di coltivazione. Le pratiche colturali, in questo modo di operare, dovrebbero pertanto essere modulate in relazione alla variabilità spaziale presente sul territorio e quindi legate alle reali esigenze della coltura. Gli ambienti agrari, come è noto, presentano una elevata

variabilità delle proprie caratteristiche e i numerosi fattori che li definiscono possono essere classificati in *statici*, come il clima e alcune grandezze che descrivono le proprietà di un suolo (ad esempio: tessitura, pH, contenuto in carbonati, profondità ecc...), e *dinamici*, come i valori termici e idrici dei suoli o il contenuto di elementi nutritivi. Queste grandezze, determinate dall'interazione tra andamento meteorologico, suolo e pratiche colturali, presentano - oltre a una variabilità spaziale - anche una variabilità temporale e determinano in modo sostanziale le risposte vegeto-produttive e qualitative della vite.

Se quindi per le grandezze statiche la realizzazione di indagini conoscitive permette di realizzare una descrizione dell'area che rimarrà costante nel tempo - e sulla quale di norma si basano le scelte d'impianto come vitigno, portinnesto, forma di allevamento ecc... - per quelle dinamiche risulta necessario effettuare un continuo monitoraggio dei valori. Questa è la base per attivare un sistema decisionale che risponda alle reali esigenze della coltura. D'altra parte la raccolta di informazioni mediante le normali pratiche di rilevamento, a livello aziendale o territoriale risulta sostanzialmente improponibile a causa degli elevati investimenti richiesti per la sua realizzazione, in termini di risorse sia umane sia economiche.

In risposta a questa situazione, in questi ultimi anni, soprattutto in Paesi con viticoltura emergenti come l'Au-

Lucio Brancadoro^{***}, Paolo Dosso^{**},
Monica Faccincani^{*}, Attilio Scienza^{***}, Flavio Serina^{*}
^{*} Consorzio per la Tutela del Franciacorta
^{**} Terradat s.r.l.
^{***} Università degli Studi di Milano



IL CONSORZIO PER LA TUTELA DEL FRANCIACORTA HA PROMOSSO E COORDINATO, NEL CORSO DEGLI ULTIMI ANNI, UN'ARTICOLATA SERIE DI PROGETTI DI RICERCA APPLICATA INCENTRATI SULL'UTILIZZO DEL TELERILEVAMENTO MULTISPETTRALE DA SATELLITE IN SUPPORTO ALLA VITICOLTURA DI PRECISIONE, AVVALENDOSI DELLA COLLABORAZIONE E DEL CONTRIBUTO DI PARTNER PRIVATI, ENTI, ISTITUZIONI E UNIVERSITÀ

stria, sono state condotte ricerche basate sul telerilevamento da satellite e da aereo per caratterizzare le risposte della vite, dal punto di vista sia quantitativo sia qualitativo, alle diverse condizioni di coltivazione. Questo strumento di *remote sensing*, grazie anche al continuo progresso tecnologico che contraddistingue il settore aerospaziale, sembra quello che meglio possa rispondere alle esigenze di monitoraggio spaziale e temporale, che è la base necessaria per sviluppare un più moderno modo di fare viticoltura.

In quest'ambito il Consorzio per la Tutela del Franciacorta ha promosso e coordinato, nel corso degli ultimi anni, un'articolata serie di progetti di ricerca applicata incentrati sull'utilizzo del telerilevamento multispettrale da satellite (nel seguito abbreviato come *TLR*) in supporto alla viticoltura di precisione, avvalendosi della collaborazione e del contributo di partner privati (Terradat s.r.l), enti e

istituzioni (Regione Lombardia, Centro Vitivinicolo Provinciale di Brescia), Università (Dipartimento di Produzioni Vegetali dell'Università di Milano, Facoltà di Agraria). In particolare, nel 2005 è stato realizzato il progetto VPASS (acronimo di *Viticoltura di Precisione Assistita da Satellite - Sperimentazione*), finanziato dalla Regione Lombardia nell'ambito dei bandi per progetti di ricerca, sperimentazione e dimostrazione (Legge regionale 7 Febbraio 2000, n. 7-art. 10).

Gli obiettivi del progetto sono stati essenzialmente i seguenti:

- validare l'utilità e l'efficacia del TLR come strumento per la caratterizzazione vegeto-produttiva dei vigneti sottoposti a monitoraggio;

- valutare le potenzialità del TLR come strumento di supporto all'attività di stima e controllo delle rese nell'ambito degli adempimenti previsti per legge (applicazione del Dm 29 maggio 2001, meglio noto come *Erga Omnes*);

questo punto del progetto risulta di particolare importanza poiché la presente indagine rappresenta uno dei primi approcci, a livello nazionale e internazionale, di telerilevamento in viticoltura condotto su scala territoriale;

- mettere a punto servizi evoluti di assistenza alle aziende, finalizzati alla previsione di rese e maturazione dei vigneti mediante TLR.

A latere del progetto stesso, e a completamento delle attività inizialmente previste al suo interno, si è sfruttata la disponibilità dei dati telerilevati anche per valutare la loro concreta possibilità di utilizzo a fini di applicazioni pratiche di VRT (*Variable Rate Technology*) in viticoltura, con particolare attenzione ai conseguenti benefici in termini economici (contenimento dei costi di gestione, miglioramento delle caratteristiche qualitative della produzione) e ambientali (distribuzione mirata di concimi e fitofarmaci e conseguente riduzione degli sprechi). A tal proposito si veda il box dedicato (pagine 32-33).

Premesse metodologiche

Il satellite rileva essenzialmente la *firma spettrale* della canopy del vigneto (così come di qualsiasi altra copertura - vegetale o non - della superficie terrestre), mentre ovviamente non è in grado di registrare direttamente informazioni relative alla quantità e qualità dei grappoli prodotti. I dati quantitativi (numero e peso dei grappoli) e quelli analitici (tenore zuccherino e acidità) sono desunti indirettamente a partire dal dato di *vigore vegetativo*, come meglio illustrato in seguito. Mediante opportuni pre-trattamenti dei dati, a partire dalla firma spettrale della superficie investigata può essere

calcolato un Indice di Vegetazione (IV) che risulta fortemente legato alle caratteristiche della canopy presente sulla superficie ripresa: il valore del primo è direttamente e fortemente correlato all'estensione della seconda.

Nel 2005, sulla base dell'esperienza e dei risultati degli anni precedenti, si è deciso di utilizzare un approccio metodologico differente nelle procedure di rilevamento ed elaborazione dei dati di campo. Come è noto, uno dei grandi vantaggi di questa tecnologia sta nel fatto che facendo pochi rilievi di campagna, è possibile estendere le correlazioni alla totalità dei vigneti monitorati. Ciò è pos-

sibile solo ed esclusivamente se i vigneti vengono raggruppati in classi omogenee. Per *classe omogenea* s'intende un gruppo all'interno del quale i vigneti hanno comportamento vegeto-produttivo simile: da qui si genera la possibilità dell'estensione delle correlazioni dai pochi vigneti effettivamente monitorati a tutti gli altri. Negli anni precedenti l'attenzione era focalizzata alla ricerca di quei parametri agronomici che, senza generare un'eccessiva frammentazione delle classi, permettessero di meglio modellizzare il comportamento vegeto-produttivo della canopy. Date queste premesse, si è deciso di prendere in considerazione tra i fattori discriminanti, per ogni varietà, la forma di allevamento, la densità d'impianto e la presenza o meno dell'inerbimento. Più nel dettaglio si è andati a distinguere le forme di allevamento espanse (Casarsa, Sylvoz) da quelle a spalliera (Guyot, cordone speronato) e le classi di densità (2000-3000, 3000-4000, 4000-5000, 6000-8000 e infine 8000-10000 cep-

pi/ha). Questo tipo di approccio ha funzionato solo parzialmente, infatti non per tutte le classi individuate le correlazioni tra l'indice di vigore e i parametri quali-quantitativi hanno raggiunto valori significativi, se non, in alcuni casi, frazionando ulteriormente le classi.

Si è pensato così, pur tenendo distinte le forme d'allevamento a spalliera da quelle espanse, di riportare, nel progetto del 2005, l'IV alla densità di impianto dei vigneti, in modo da considerare l'effetto delle diverse densità di impianto, ottenendo in tal modo un IV nor-

malizzato a *ceppo* (IVN). In questo modo si è potuto agevolmente trattare tutti i vigneti assieme, classificandoli soltanto sulla base della loro collocazione nell'ambito della Carta Vocazionale della Franciacorta (prodotta grazie alla zonazione, voluta dal Consorzio per la tutela del Franciacorta e pubblicata nel 1997).

Associando i vigneti monitorati a una specifica Unità Vocazionale (Morenico Profondo, Morenico Sottile, Fluvio-glaciale, Colluvi Distali e Depositi Fini), si assume che il comportamento vegeto-produttivo degli stessi sarà simile, essendo simili le caratteristiche pedoclimatiche di tutte le zone (anche discontinue) associate a una determinata UV.

IL SATELLITE RILEVA ESSENZIALMENTE LA FIRMA SPETTRALE DELLA CANOPY DEL VIGNETO (COSÌ COME DI QUALSIASI ALTRA COPERTURA - VEGETALE O NON - DELLA SUPERFICIE TERRESTRE), MENTRE OVVIAMENTE NON È IN GRADO DI REGISTRARE DIRETTAMENTE INFORMAZIONI RELATIVE ALLA QUANTITÀ E QUALITÀ DEI GRAPPOLI PRODOTTI. I DATI QUANTITATIVI (NUMERO E PESO DEI GRAPPOLI) E QUELLI ANALITICI (TENORE ZUCCHERINO E ACIDITÀ) SONO DESUNTI INDIRETTAMENTE A PARTIRE DAL DATO DI VIGORE VEGETATIVO

Mediante una regressione lineare basata su dati rilevati in campo, l'IVN può inoltre essere agevolmente espresso in unità di misura fisicamente basate, ad esempio m² di superficie fogliare per ceppo (SFT/ceppo). Infine, sulla base della premessa che esiste un equilibrio vegeto-produttivo a livello di singolo ceppo, e quindi una stretta correlazione tra espansione della chioma, quantità e di conseguenza qualità dell'uva prodotta, si può pensare di calcolare per via indiretta (mediante ulteriore regressione lineare) parametri di interesse vitico-enologico quali produzione a ceppo, tenore zuccherino, acidità totale. Per allestire le correlazioni necessarie, vengono individuati e georeferenziati con ricevitore GPS dei punti di campionamento nelle zone a diverso vigore dei vigneti investigati, sui quali misurare in campo i dati di interesse. I dati di campo, incrociati con i dati da satellite

(IVN calcolato in corrispondenza della posizione dei singoli campionamenti), permettono la stima di un modello di regressione.

Un'altra importante differenza rispetto alle esperienze pregresse è sicuramente il momento in cui effettuare il rilievo multispettrale. Nel 2004, confrontando per singoli vigneti i dati di maturazione delle uve ottenuti mediante controlli in campo il 23 agosto, e correlandoli al vigore rilevato da satellite rispettivamente nelle date del 15 luglio, 3 agosto e 22 agosto, è stato possibile evidenziare un peggioramento dei coefficienti di correlazione, come rappresentato nel grafico 1.

Queste evidenze hanno suggerito di omettere il rilievo di agosto e di anticipare quello di luglio al periodo di massimo ritmo d'accrescimento vegetativo della vite. Per tale motivo si è deciso di anticipare l'unica acquisizione da satellite al termine della fioritura. Così facendo si è anche evitato d'introdurre l'errore dato dalle operazioni di potatura verde (principalmente le cimature) che ovviamente vanno a falsare il dato del vigore *naturale* della pianta.

Attività realizzate nell'ambito del progetto VPASS

Stima del vigore vegetativo dei vigneti su vasti comprensori vitati

Il progetto Franciacorta 2005 ha evidenziato in modo certo e definitivo l'esistenza di una correlazione stretta tra

IVN da TLR e dati di vigore vegetativo rilevati in campo, espressi in termini di superficie fogliare totale/ceppo (m²/ceppo). Per il calcolo della SFT/ceppo sono stati effettuati 5 campioni puntuali per ciascuno dei 10 vigneti, scelti in diverse Unità Vocazionali. Per ogni UV si è cercato di scegliere, sia per la classe dei vigneti a spalliera bassa sia per quella dei vigneti allevati a spalliera alta, vigneti mediamente più vigorosi e vigneti mediamente meno vigorosi. Questi 5 campioni sono stati oculatamente scelti in zone a diverso valore di IVN, in modo da massimizzare la variabilità del campione statistico individuato. I punti campionati complessivamente sono stati 50. I dati, così raccolti, hanno permesso di individuare una significativa e positiva relazione tra queste due grandezze (grafico 2), confermando così sia i risultati ottenuti in altre ricerche condotte a livello di singoli appezzamenti, sia quelli delle precedenti campagne di indagine condotte sul comprensorio della Do Franciacorta. La validazione di questa correlazione a livello territoriale ha permesso di indirizzare le indagini sugli altri obiettivi che il presente progetto si prefiggeva e di aprire importanti prospettive sull'uso del telerilevamento per il monitoraggio colturale della vite su larga scala.

IL PROGETTO FRANCIACORTA 2005 HA EVIDENZIATO IN MODO CERTO E DEFINITIVO L'ESISTENZA DI UNA CORRELAZIONE STRETTA TRA IVN DA TLR E DATI DI VIGORE VEGETATIVO RILEVATI IN CAMPO, ESPRESSI IN TERMINI DI SUPERFICIE FOGLIARE TOTALE/CEPPO (m²/CEPPO)

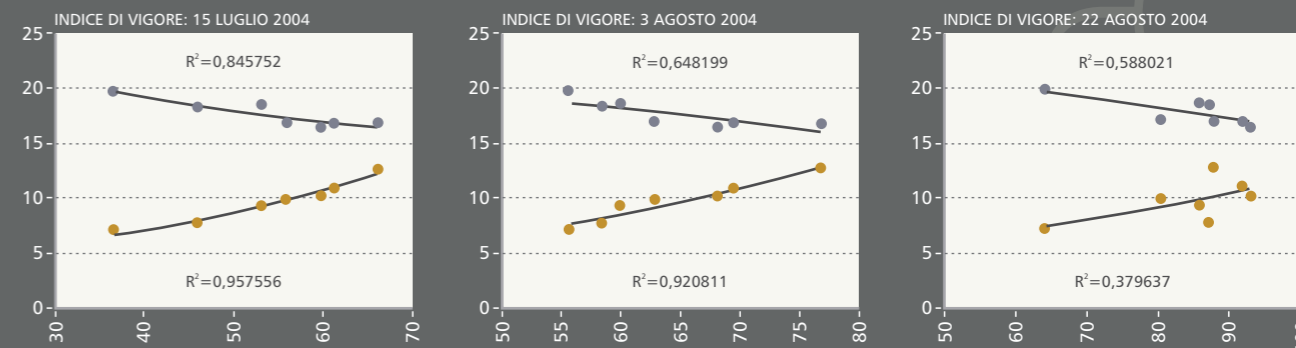
Controllo delle rese su vasti comprensori vitati

L'obiettivo principale del progetto Franciacorta 2005 era quello di verificare la possibilità di utilizzare il TLR come valido strumento a supporto

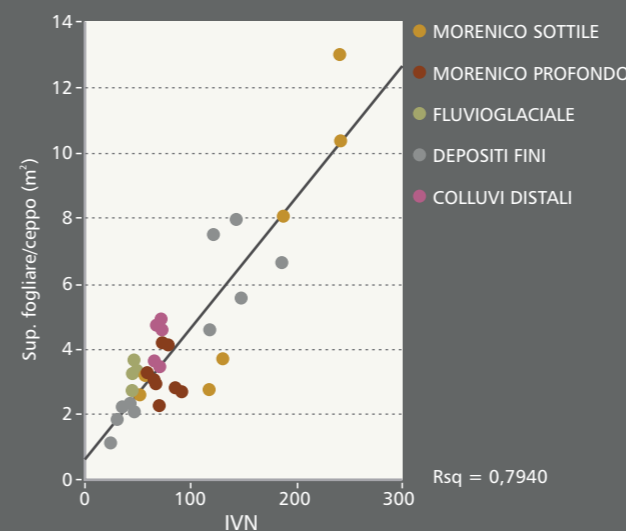
dell'attività di tutela e vigilanza del Consorzio e in particolare per effettuare stime di resa su vasta scala che siano sufficientemente precoci e precise.

Il concetto di precocità, in quest'ambito, è a dir poco fondamentale: come è noto, a partire dall'invasatura la vite comincia a indirizzare in maniera preponderante le proprie risorse verso i grappoli. In questa fase si definisce pertanto buona parte del risultato finale in quanto, come è logico immaginare, il livello e la qualità della maturazione che verranno raggiunti saranno molto differenti a seconda del numero di grappoli presenti sulla pianta. E' quindi in questo momento che bisogna effettuare gli eventuali diradamenti, in modo tale che ogni pianta abbia un carico produttivo adeguato al proprio stato vegetativo. Diradamenti molto tardivi non hanno alcuna utilità e possono essere assimilati a una vendemmia precoce!

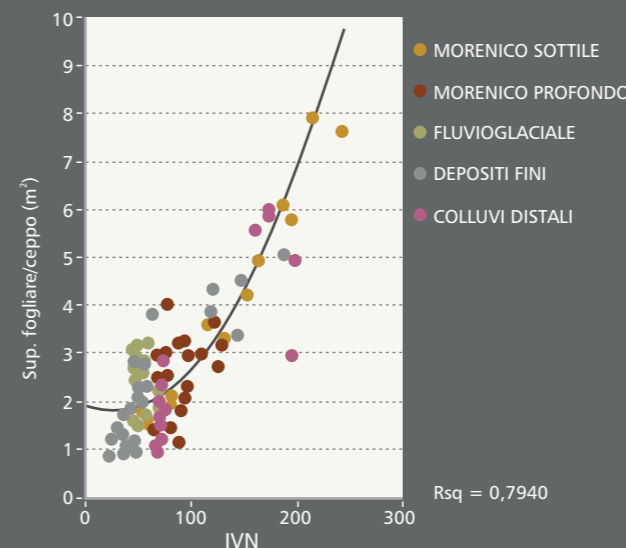
Per le stime produttive sono stati effettuati, alla fine di luglio, 5 campioni puntuali per ciascuno dei 24 vigneti scelti in diverse Unità Vocazionali. Per ogni UV si è cercato di scegliere, sia per la classe dei vigneti a spalliera alta sia per quella dei vigneti allevati a spalliera bassa, vigneti mediamente più vigorosi e vigneti mediamente meno vigorosi. All'interno di ogni appezzamento i 5 campioni sono



Graf. 1 - Correlazione fra indice di vigore rilevato da satellite e valori di Brix e acidità per il vigneto Lechi (Erbusco) in tre differenti date.



Graf. 2 - Relazione lineare tra l'indice IVN e la superficie fogliare/ceppo. La relazione risulta significativa per P≤0,05.



Graf. 3 - Relazione quadratica tra l'indice IVN e la produzione/ceppo. La relazione risulta significativa (per P≤0,05). Rilievi effettuati a fine luglio.

stati oculatamente scelti in zone a diverso valore di IVN. I punti campionati complessivamente sono stati 120. Come per il precedente punto, anche in questo caso è stato possibile individuare una relazione positiva e statisticamente significativa tra il valore di IVN e la produzione per ceppo valida per tutta l'area indagata (grafico 3). L'individuazione di questa relazione permette da un lato di prefigurare la reale possibilità di stimare con un buon grado di approssimazione e con largo anticipo rispetto al momento della raccolta il potenziale produttivo di ogni singolo vigneto e dall'altro, grazie soprattutto alla tempistica con la quale si realizza, di fornire utili informazioni all'agricoltore sullo stato del vigneto. Queste informazioni risultano la base necessaria per realizzare un corretto processo decisionale relativo a quelle pratiche culturali volte ad esempio a definire un equilibrio vegeto-produttivo della pianta. Questo risultato, oltre ad avere una pluralità di vantaggi applicativi per l'azienda vitivinicola, ha importanti ricadute anche sulle attività condotte dal Consorzio e questo con particolare riferimento al Piano dei Controlli di cui il Consorzio si è fatto carico.

Miglioramento delle stime di resa tradizionali

Attualmente il Consorzio per la tutela del Franciacorta, in qualità di organismo cui è stato affidato dal Mipaf l'incarico dei controlli a carico di tutti i fruitori delle Denominazioni da esso tutelate, ossia *Franciacorta* e *Terre di Franciacorta* (D.d. 2 dicembre 2003), è tenuto a svolgere ogni anno controlli circa il rispetto dei limiti di resa previsti dal Disciplinare sul 15% della superficie vitata della Franciacorta, che si aggira attorno a 1700 ha per il Franciacorta e a 500 ha per il Terre di Franciacorta.

Come è facile dedurre, questa attività risulta estremamente dispendiosa sia in termini di energie che vengono investite, sia in termini economici. Il problema principale da affrontare è sicuramente quello di dover svolgere l'intera mole di lavoro in un arco temporale estremamente limitato (10-15 giorni). Come prima illustrato, infatti, eventuali diradamenti hanno un senso da un punto di vista tecnico solo se eseguiti in un momento ben preciso del

ciclo vegetativo della vite, vale a dire all'inizio della fase di invaiatura.

Le stime tradizionali vengono eseguite contando la totalità dei grappoli presenti su n blocchi di m piante scelti all'interno del vigneto, evitando i bordi e sondando tutta la lunghezza dei filari. Il numero di blocchi e il numero di piante per blocco vengono scelti di volta in volta a seconda di vari parametri quali le dimensioni e la forma del vigneto, le condizioni del vigneto in termini di percentuale di fallanze o di piante malate (giallumi, mal dell'esca ecc...). In ogni caso la stima finale viene fatta sempre considerando non meno di 30 piante. Viene effettuata poi una stima del potenziale incremento in peso che si potrà avere dal momento della pesata a quello della vendemmia.

Come è ovvio immaginare, una certa possibilità d'errore esiste ed è in parte legata al momento contingente del campionamento (scelta del *grappolo medio* o scelta casuale?) e in parte dipendente dalla stima di incremento del peso medio del grappolo, che può essere influenzato in maniera anche pesante dalle condizioni meteorologiche successive al momento della stima. A titolo d'esempio si ricorda che in Franciacorta sia nel 2004 sia nel 2005 i mesi di agosto e di settembre sono stati caratterizzati da una piovosità abbondantemente superiore alla media degli ultimi sei anni. Ciò ha determinato, in prima istanza, un elevato e non previsto incremento ponderale della bacca, che ha comportato un ulteriore aumento delle rese medie a ettaro, dovuto in maniera significativa all'elevato peso medio del grappolo e non al numero di grappoli per

PARTE DELLE FONTI D'ERRORE TIPICHE DEI METODI TRADIZIONALI DI STIMA NON SONO AGGIRABILI NEMMENO CON IL TLR CHE, PER TRADURRE IL DATO GREZZO (IVN) IN PRODUZIONE/CEPPO E, INFINE, IN TONNELLATE DI UVA/HA, NON PUÒ PRESCINDERE DA UNA FASE DI CAMPIONAMENTO IN CAMPO E DALLA STIMA DELL'INCREMENTO PONDERALE

pianta (parametro quest'ultimo che, banalmente, non può subire fluttuazioni non previste!).

Inoltre, la scelta dei blocchi rappresenta un'altra importante fonte d'errore, quale l'eventualità di prelevare grappoli da zone sempre vigorose o da zone sempre depresse, con conseguenti sovrastime o sottostime, a seconda del caso (figura 1).

Parte delle fonti d'errore tipiche dei metodi tradizionali di stima non sono aggirabili nemmeno con il TLR che, per tradurre il dato grezzo (IVN) in produzione/ceppo e, infine, in tonnellate di uva/ha, non può prescindere da una fase di campionamento in campo e dalla stima dell'incremento ponderale.

E' però possibile, avendo a disposizione le mappe di vigore, fare una scelta oculata dei siti di campionamento dei grappoli, prelevandoli sia dalle zone a elevato vigore sia da quelle a basso vigore. In questo modo, oltre ad avere un dato medio per vigneto molto più vicino a quello reale, diventa possibile

anche indicare al produttore dove, all'interno del vigneto, è necessario effettuare il diradamento e dove non lo è, riuscendo così, tra l'altro, a valorizzare l'attività di servizio rispetto a quella di controllo.

Selezione mirata dei controlli in campo

La scelta dei vigneti che ogni anno il Consorzio sottopone a monitoraggio è del tutto casuale e comunque sempre confinata a una percentuale limitata della superficie complessiva della Denominazione, cosicché devono passare alcuni anni prima che un vigneto venga nuovamente sottoposto per essere sottoposto alle stime produttive.

Il TLR permette potenzialmente di investigare, anno per anno, tutta la superficie d'interesse grazie alla semplice creazione e popolazione di un database contenente po-

tere, fare una scelta oculata dei siti di campionamento dei grappoli, prelevandoli sia dalle zone a elevato vigore sia da quelle a basso vigore. In questo modo, oltre ad avere un dato medio per vigneto molto più vicino a quello reale, diventa possibile

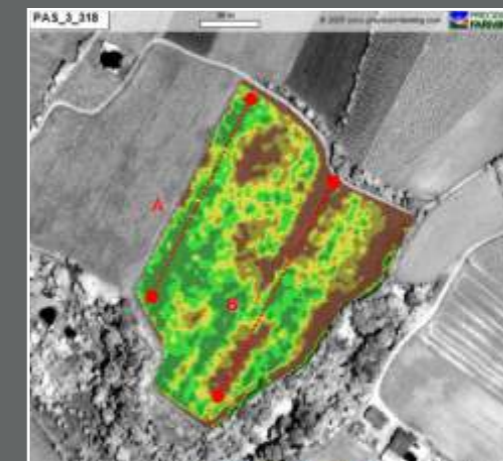
che ma significative informazioni relative ai vigneti che si vuole monitorare (varietà, forma di allevamento, sesto d'impianto, ecc...). Si può così ottenere precocemente una mappa tematica (figura 2) dei vigneti monitorati, rappresentandoli con colorazioni differenti sulla base di una legenda che suddivide l'intervallo di variabilità delle stime effettuate in n classi definibili a piacere (ad esempio: *nel Disciplinare, con supero, oltre il supero*), e in cui vengono evidenziate le situazioni *critiche*, per le quali si può eventualmente abbinare anche una stima di tipo tradizionale.

Sin qui le potenzialità teoriche del metodo, in parte già verificate sul campo. Ovviamente il passaggio alla fase applicativa di questa tecnologia è anche legato al suo riconoscimento da parte del Mipaf come strumento di cui un Consorzio possa avvalersi *istituzionalmente* per compiere le stime produttive, nel caso che il Piano dei Controlli uscisse dalla fase di sperimentazione e diventasse definitivo.

Stima di parametri qualitativi su singoli vigneti

Per quanto concerne la stima dei parametri qualitativi, le attività condotte con la presente indagine non forniscono risultati univoci come per i parametri vegeto-produttivi precedentemente discussi. In particolare non è stato possibile individuare un'unica relazione significativa, valida per tutta l'area indagata, tra l'indice IVN da TLR e le principali grandezze che definiscono la quali-

PER QUANTO CONCERNE LA STIMA DEI PARAMETRI QUALITATIVI, LE ATTIVITÀ CONDOTTE CON LA PRESENTE INDAGINE NON FORNISCONO RISULTATI UNIVOCI COME PER I PARAMETRI VEGETO-PRODUTTIVI PRECEDENTEMENTE DISCUSSI. IN PARTICOLARE NON È STATO POSSIBILE INDIVIDUARE UN'UNICA RELAZIONE SIGNIFICATIVA, VALIDA PER TUTTA L'AREA INDAGATA, TRA L'INDICE IVN DA TLR E LE PRINCIPALI GRANDEZZE CHE DEFINISCONO LA QUALITÀ DELLE UVE, COME IL TENORE ZUCCHERINO O L'ACIDITÀ TITOLABILE



STIMA TRADIZIONALE SU FILARE A
10t/ha → OK
STIMA TRADIZIONALE SU FILARE B
> 12t/ha → !!!
STIMA ASSISTITA DA SATELLITE
11,5t/ha → OK

Fig. 1 - In vigneti con forte variabilità interna risulta elevato il rischio di produrre stime distorte con la metodica tradizionale.

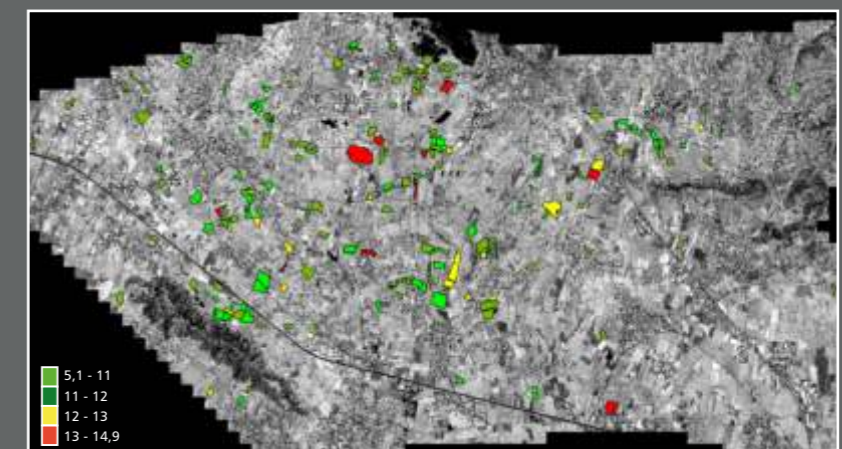


Fig. 2 - Immagine da satellite dell'area a Do Franciacorta rielaborata per le stime produttive dei vigneti oggetto dell'indagine. Attraverso questo prodotto del TLR è possibile effettuare una selezione mirata dei controlli in campo per gli adempimenti previsti dal Piano dei Controlli. Rese stimate a fine luglio.

Caratteristiche e potenzialità del Telerilevamento Multispettrale

Il Telerilevamento multispettrale, da satellite o aereo, si sta dimostrando negli ultimi anni una valida sorgente di dati di grande utilità per la viticoltura. Sfruttando le proprietà ottiche delle vegetazione, è infatti possibile monitorare e mappare in modo preciso lo stato della vegetazione, descrivendone lo sviluppo vegetativo mediante appositi indici di vegetazione.

La disponibilità di questo tipo di informazione, unitamente ai recenti progressi nel campo dell'informatica e in particolare della *geomatica* (la tecnologia che si occupa del rilievo, della rappresentazione e dell'analisi di dati geografici), ha aperto la strada a servizi rivolti alla produzione semiautomatica e a basso costo di mappe tematiche, in formato digitale, rappresentanti il vigore vegetativo del vigneto o, per via indiretta, i principali parametri di interesse vitienologico (brix, acidità totale, polifenoli).

Mentre la mappa tematica del vigore vegetativo può essere ottenuta direttamente a partire dai dati rilevati dal satellite senza necessità di sopralluoghi in campo, per la produzione delle mappe dei parametri di interesse vitienologico si ricorre all'esecuzione di analisi di laboratorio su specifici campioni di uva localizzati all'interno del vigneto, i cui risultati vengono incrociati, con opportune procedure e algoritmi, con i dati rilevati dal satellite.

Nel progetto realizzato in Franciacorta nel 2005, sono state utilizzate due immagini multispettrali ad alta risoluzione da satelliti acquisite dal sensore IKONOS il 5 maggio e il 23 giugno 2005. La copertura delle superfici vitate della Do Franciacorta è stata quasi completa, con una superficie totale rilevata dal satellite di 160 km². Il satellite IKONOS acquisisce immagini di estensione 11 x 11 km di due tipi: pancromatiche (risoluzione del pixel al suolo: 1 m) e multispettrali (4 bande nel blu, verde, rosso e vicino infrarosso con risoluzione del

pixel al suolo di 4 m). Le mappe tematiche realizzate sono state rese disponibili in formato digitale agli utenti finali (personale del Consorzio, tecnici e titolari delle aziende consorziate) tramite accesso a un'area riservata del sito www.precision-farming.com della società Terradat s.r.l., reso raggiungibile anche dal sito del Consorzio (www.franciacorta.net). Il rilascio delle mappe è avvenuto in tempi molto rapidi: già a fine giugno sono state prodotte le mappe di vigore, mentre quelle relative alla resa stimata sono state rese

disponibili ai primi di agosto (dopo pochi giorni dal completamento delle necessarie attività di campo per il reperimento dei dati di taratura del modello interpretativo dei dati da satellite). Va evidenziata in questo caso la precocità della stima rispetto all'inizio della vendemmia (30-40 giorni prima di essa). Analogamente, il 22 agosto (a ridosso dell'inizio delle operazioni di vendemmia in Franciacorta) erano disponibili le mappe di brix e acidità, basate sui dati acquisiti in campo pochi giorni prima.

tà delle uve, come il tenore zuccherino o l'acidità titolabile.

Solo nei vigneti direttamente monitorati le correlazioni con IVN sono risultate statisticamente significative. In questo caso, la stima avviene, come già visto, per regressione tra dati di campo e IVN da TLR. Sono sufficienti pochi punti (cinque) per ogni vigneto. Le correlazioni testate e che sono risultate affidabili riguardano tenore zuccherino e acidità totale, mentre in altri progetti realizzati in altre aree geografiche si sono potute testare con successo anche le correlazioni con dati relativi ai polifenoli totali e agli antociani. Nell'ambito del vasto campione testato in Franciacorta nel 2005, per l'80% dei vigneti sono state ottenute regressioni con $R^2 > 0,80$ (mediamente $0,90 \div 0,95$). Nel restante 20% dei vigneti, uno o più parametri sono risultati non correlati significativamente all'IVN.

Peraltro, normalizzando l'IV per metro lineare di filare e studiando la sua relazione con il tenore zuccherino in ogni singola unità vocazionale, i dati mostrano una correlazione negativa e statisticamente significativa tra queste due grandezze (grafico 4). Questo risultato, che individua

specifiche relazioni per ciascuna Unità Vocazionale, può da una parte essere spiegato con l'influenza dell'ambiente di coltivazione sulle caratteristiche qualitative delle uve, dall'altra evidenza come la densità d'impianto in termini assoluti (ceppi/ha), con la quale si era standardizzato per le altre relazioni

CON IL PRESENTE PROGETTO, SI È CERCATO DI STIMARE LE RICADUTE DELLA VARIABILITÀ SPAZIALE, DETERMINATA ALL'INTERNO DI CIASCUNO DEI VIGNETI IN INDAGINE, SULLE CARATTERISTICHE QUALITATIVE DELLE UVE E DEI VINI DA ESSI OTTENUTI

l'IV, non sia adeguata a spiegare le complesse relazioni fisiologiche che vi sono tra la canopy e il tenore zuccherino delle uve. In questo caso è stato necessario considerare anche le combinazioni delle distanze tra le file e sulla fila, che determinano - oltre alla già citata densità di impianto - anche lo sviluppo lineare dei filari, incidendo così fortemente sulla distribuzione della canopy per unità di superficie al suolo.

Per quanto attiene invece all'estensione delle correlazioni a tutti gli altri vigneti non oggetto di campionamento diretto mediante unica regressione, che sino a oggi resta un obiettivo non ancora raggiunto, pare abbastanza chiaro che il modello statistico di supporto all'interpretazione dei dati da TLR sin qui definito non è sufficientemente adeguato allo scopo. Probabilmente sarebbe necessario reperire una serie di altri parametri di supporto all'interpretazione dei dati (tra le ipotesi possibili: dati climatici, pedologici, nonché relativi alle scelte di impianto in ter-

mini di cloni e portinnesti) che, visto il peso che potrebbero avere sul conseguimento del risultato, nonché il costo relativo alle attività necessarie per la loro raccolta, potrebbero determinare una sostanziale inefficienza di tale metodica di monitoraggio basata su TLR.

Dalle esperienze fatte nel corso del progetto Franciacorta 2005, è d'altra parte risultato confermato il fatto che la stima dei parametri qualitativi su singoli vigneti (o comunque in ambiti territoriali limitati) può comunque offrire un servizio estremamente valido su scala più contenuta, per esempio a livello di singola azienda.

Microvinificazioni

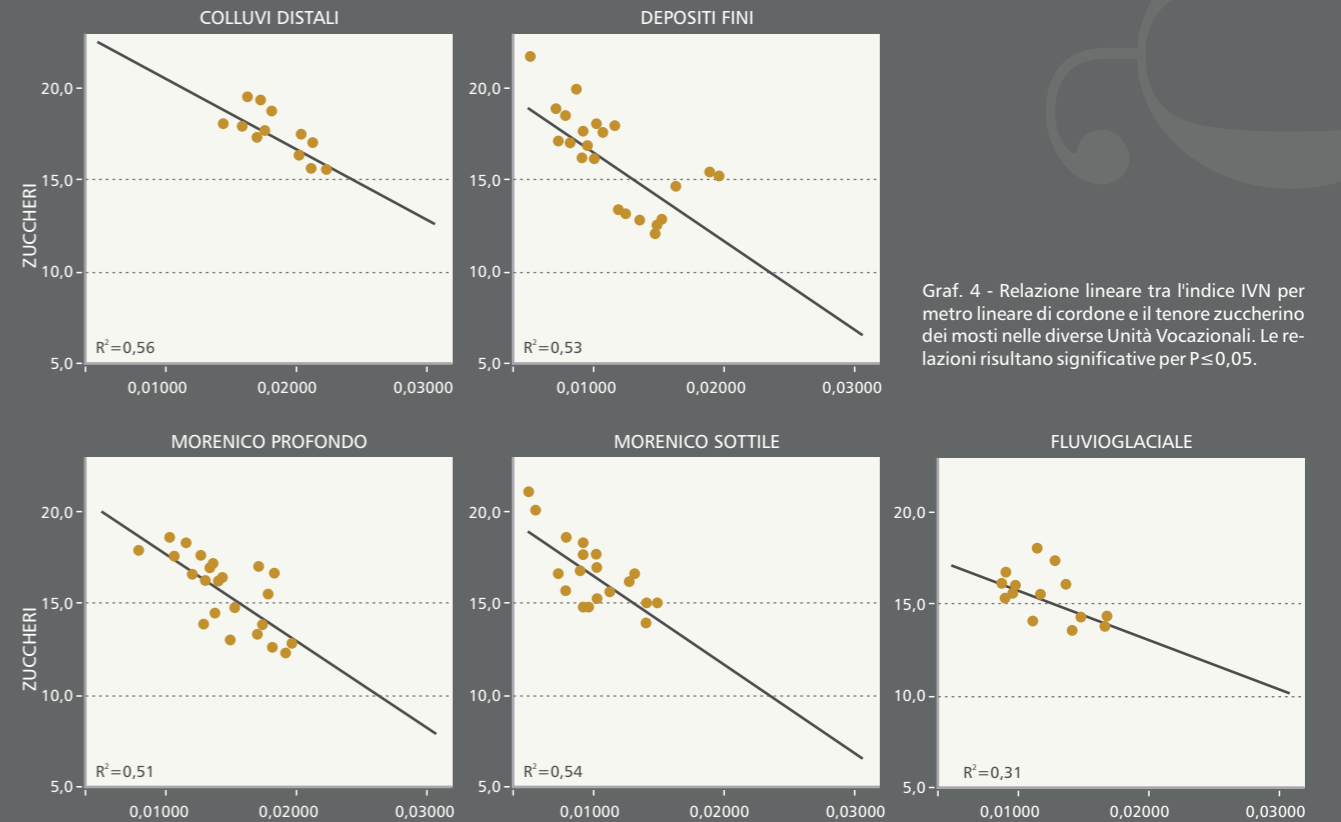
La disomogeneità di maturazione delle uve è ritenuta uno dei principali fattori limitanti per un ottimale processo di vinificazione, con significative e negative ripercussioni sulla qualità finale dei vini.

D'altro canto non vi sono informazioni che possano quantificare, in modo più o meno oggettivo, l'influenza di questa disomogeneità sul prodotto vino. Per questi motivi, con il presente progetto, si è cercato di stimare le ricadute della variabilità spaziale, determinata all'interno di ciascuno dei vigneti in indagine, sulle caratteristiche qualitative delle uve e dei vini da essi ottenuti. Per realizzare questa valutazione sono stati selezionati alcuni vigneti, che presentavano al loro interno una più o meno marcata variabilità in termini di IVN calcolato mediante TLR (figura 3).

Le uve provenienti dai vigneti così selezionati sono state raccolte separatamente per le aree ad alto IVN e a basso IVN, e successivamente microvinificate separatamente.

In tabella 1 sono riportati, a titolo esemplificativo, i

dati ottenuti in tre distinti vigneti. Nei primi due, dove si è proceduto alla vendemmia simultanea delle zone a basso e alto IVN, emergono differenze più o meno marcate tra le zone per i principali parametri analitici dei vini. Questi risultati sono in accordo con le differenze di produzione a ceppo rilevate al momento della raccolta ed evidenziate attraverso l'indice IVN calcolato mediante TLR. Al contrario, per il vigneto C è stato deciso di ritardare la vendemmia della zona a maggiore IVN (tardiva) di sei giorni rispetto alla zona a minor IVN (precoce). Questo ha permesso di far progredire la maturazione della zona ad alto IVN e i dati analitici dei vini ottenuti dalle due differenti zone mostrano una sostanziale uniformità nonostante siano state rilevate differenze di produzione/ceppo del tutto simili a quelle rilevate nel vigneto B.



Graf. 4 - Relazione lineare tra l'indice IVN per metro lineare di cordone e il tenore zuccherino dei mosti nelle diverse Unità Vocazionali. Le relazioni risultano significative per $P \leq 0,05$.

Risultati

Dal punto di vista dei risultati raggiunti, è emerso sostanzialmente che alcune applicazioni e servizi hanno ormai raggiunto lo stadio di maturità tecnologica necessario per passare dal campo della ricerca applicata al campo operativo, in particolare le seguenti:

- **stima del vigore vegetativo dei vigneti:** le mappe di vigore possono rappresentare uno strumento grezzo in grado di dare già molte informazioni al viticoltore circa le condizioni del vigneto. Esse suggeriscono le necessità di interventi agronomici differenziati (da qui le applicazioni, fattibili, in VRT), e lo allertano circa la possibilità di dinamiche di maturazione disomogenee all'interno del vigneto. In definitiva, già la mappa di vigore può essere abilmente sfruttata come strumento di supporto alle decisioni;

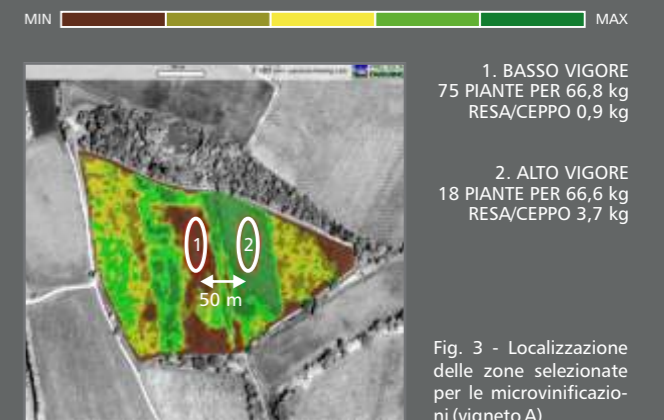


Fig. 3 - Localizzazione delle zone selezionate per le microvinificazioni (vigneto A).

VIGNETO	DATA VENDEMMIA	PRODUZIONE/CEPPO (kg)	ALCOL TOTALE (% vol)	ACIDITÀ TOTALE (g/L)	pH	ESTRATTO (g/L)	ACIDO TARTARICO (g/L)	ACIDO MALICO (g/L)
A basso IVN	29/08/2005	0,9	11,7	7,1	3,1	27,6	2,9	2,4
A - alto IVN	29/08/2005	3,7	8,5	11,3	2,9	23,8	4,2	4,7
B - basso IVN	01/09/2005	3,1	10,3	7,3	3,1	21,2	3,4	1,4
B - alto IVN	01/09/2005	4,0	9,8	8,1	3,0	20,8	4,3	1,4
C - basso IVN	31/08/2005	3,0	10,0	8,2	3,1	22,3	3,1	2,3
C - alto IVN	06/09/2005	3,9	10,7	8,3	3,1	22,1	2,7	3,1



FOTO PINI PER IL CONSORZIO PER LA TUTELA DEL FRANCIACORTA

- **controllo delle rese su vasti comprensori vitati:** in merito a questo aspetto si può dire che i risultati sin qui raggiunti prefigurano la possibilità concreta di utilizzare il TLR a questo scopo. Sicuramente si può già servirsene come fosse un grosso setaccio le cui maglie trattengono i vigneti produttivi oltre il limite del Disciplinare di produzione. Per quanto riguarda invece l'obiettivo, più ambizioso, di stimare con elevato e non opinabile livello di precisione le rese di tutti i vigneti monitorati, vi sono ancora alcuni punti che necessitano di ulteriore indagine non circa il TLR in quanto tecnologia, bensì in merito ai passaggi necessari per tradurre il dato di vigore in produzione/ceppo. La strada intrapresa nel 2005 di utilizzare come punto di partenza la Carta Vocazionale della Franciacorta ha dato buoni risultati, e sembra essere quella giusta, ma ha anche aperto nuovi scenari, tra i quali il prefigurarsi della necessità di una più approfondita conoscenza delle caratteristiche pedo-climatiche della Franciacorta; pre-

messata questa addirittura indispensabile per l'estensione delle valutazioni qualitative delle uve su vasti comprensori vitati. In effetti, da quando è stato fatto lo studio di zonazione all'inizio degli anni Novanta a oggi, il vigneto Franciacorta è praticamente triplicato, andando a investire, anche in maniera massiccia, zone che dieci anni fa erano solo lambite dalla viticoltura. Altro passaggio piuttosto delicato è legato alla stima dell'incremento ponderale del grappolo, che diventa difficile proprio per l'elevata precocità della stima stessa, ma che potrebbe essere gradualmente risolto alimentando il modello con i dati storici degli incrementi di peso del grappolo correlati ai relativi andamenti stagionali;

- **stima dei parametri connessi allo stato di maturazione per singoli vigneti sottoposti a campionamento;**

- **utilizzo delle mappe tematiche in applicazioni di VRT:** è stata verificata la fattibilità dell'utilizzo delle mappe di vigore ai fini di una concimazione *ragionata* all'in-

terno del vigneto. A questo punto è necessaria una valutazione dell'efficacia di tale metodica per il miglioramento delle caratteristiche generali del vigneto mediante una sperimentazione pluriennale.

Per esse si prefigura pertanto un futuro basato sulla loro integrazione nelle normali pratiche agronomiche e di controllo. Altri filoni di ricerca (in particolare, per quanto riguarda la stima dello stato d'avanzamento della maturazione su vasti comprensori vitati attraverso l'estensione dei dati qualitativi dei vigneti campione, che sono, necessariamente, in numero molto limitato) necessitano di approfondimenti ulteriori, per i quali si è manifestata in primo luogo l'esigenza di disporre di basi dati pedoclimatiche e agronomiche maggiormente dettagliate, con finalità di supporto all'interpretazione dei dati telerilevati.

Ringraziamenti

Si ringraziano la Regione Lombardia (Direzione Generale Agricoltura), il Centro Vitivinicolo Provinciale di Brescia e Enoricerche srl Istituto Enologico.

Bibliografia

- BASSO B., BERTOCCO M., ROTUNDO A., SARTORI L. (2005). La viticoltura sito-specifica - *Parte I*. VQ, 3.
 BASSO B., STORNAIULO S. (1999). Agricoltura di precisione: aspetti conoscitivi e possibilità di attuazione. *Agricoltura Ricerca*, 79 gennaio/febbraio.
 BERTOCCO M., BASSO B., SARTORI L., ROTUNDO A. (2005). La viticoltura sito-specifica *Parte II*. VQ, 4.
 BOCCHI S., BOSCHETTI M. (2002). Aspetti scientifici e tecnologici dell'agricoltura di precisione. *L'informatore agrario*, 13.
 BRAMLEY R.G.V. (2005). Understanding variability in winegrape production systems: 2. Within vineyard variation in quality over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 11.
 BRANCADORO L., FAILLA O. (2002). Un approccio sito-specifico alla coltivazione della vite. *L'informatore agrario*, 13.
 CAMPOSTRINI F., CASTAGNOLI A., DOSSO P. (2003). Un sistema esperto a supporto della zonazione vitivinicola. *L'informatore agrario*, 42.
 CAMPOSTRINI F., SERINA F. (2002a). Un servizio alle aziende per conoscere la maturazione delle uve Chardonnay. *L'informatore agrario*, 13.
 CAMPOSTRINI F., SERINA F. (2002b). Viticoltura di precisione per la qualità del Franciacorta. *L'informatore agrario*, 36.
 CASTAGNOLI A., DOSSO P. (2001). La viticoltura assistita da satel-

- lite. *L'informatore agrario*, 18.
 DOBROWSKI S.Z., USTIN S.L., WOLPERT J.A. (2002). Remote estimation of vine canopy density in vertically shoot-positioned vineyards: determining optimal vegetation indices. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 8.
 DONNA P., DOSSO P., SERINA F., USANZA V. (2006). Concimazione a dosi variabili in viticoltura. *L'informatore agrario*, 4.
 DOSSO P. (2004). Viticoltura di precisione assistita da satellite: le innovazioni del 2004. *www.phytomagazine.com*, 33.
 FREGONI M. (2004). Realtà e potenzialità della viticoltura di precisione. *www.phytomagazine.com*, 33.
 HALL A., LAMB D.W., HOLZAPFEL B., LOUIS J. (2002). Optical remote sensing applications in viticulture a review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 8.
 ITAMI B., MACLAREN G., SPOSITO V. (1999). The Victorian catchment management and sustainable agriculture decision support system. *Proceedings of the MODSS '99 Conference*, Brisbane, Australia, 1-6 August.
 LAMB D.W., WEEDON M.M., BRAMLEY R.G.V. (2004). Using remote sensing to predict grape phenolics and colour at harvest in Cabernet Sauvignon vineyard: timing observations against vine phenology and optimising image resolution. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10.
 MAZZETTO F. (2002). Viticoltura tra management informatizzato e agricoltura di precisione. *L'informatore agrario*, 13.
 OLLAT N., FERMAUD M., TANDONNET J.P., NEVEUX M. (1998). Evaluation of an indirect method for leaf area index determination in the vineyard: combined effects of cultivar, year and training system. *Vitis*, 7.
 PRICE J.C. (1992). Estimating vegetation amount from visible and near infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment*, 14.
 RICHARDSON A.J., WIEGAND C.L. (1977). Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43.
 SCIENZA A. (2002). Viticoltura di precisione: programmare la qualità del vigneto. *L'informatore agrario*, 13.
 SMART R.E. (1985). Principles of grapevine canopy management micro-climate manipulation with implications for yield and quality. *A review. American Journal of Enology and Viticulture*, 36.
 VERCESI A., CASTAGNOLI A., DOSSO P. (2003). Metodologie per la caratterizzazione agrometeorologica dei territori. *L'informatore agrario*, 14.

Mappe satellitari per la concimazione a dose variabile in Franciacorta

Benché gli operatori si rendano conto, durante la fase vegetativa, di quali siano le aree più equilibrate rispetto a quelle carenti o in eccesso di vigore, nel corso della fertilizzazione invernale risulta particolarmente difficile rintracciare i siti e riconoscerne le particolarità. Gran parte della fertilizzazione, infatti, viene eseguita nel periodo di riposo vegetativo, quando la mancanza dell'apparato fogliare rende ancor meno

evidenti, o persino nascoste, eventuali disomogeneità nello sviluppo vegetativo o isolate manifestazioni di carenza. Inoltre, rimane il problema della diversificazione dello stato vegetativo, e quindi delle necessità nutrizionali, in punti diversi di appezzamenti non omogenei. L'osservazione di queste variabilità dovrebbe poi essere necessariamente mappata e in qualche modo resa disponibile al momento della distribuzione dei fertilizzanti nelle loro svariate forme. Il

Consorzio per la tutela del Franciacorta, nell'ambito del programma di sperimentazione descritto nel presente articolo, ha potuto mettere a disposizione una serie di mappe tematiche, ottenute a partire da immagini multispettrali riprese da satellite, ritenute di particolare interesse quale dato di input da utilizzare per la realizzazione di concimazioni a dose variabile. Si tratta di una delle possibilità di utilizzo delle immagini di vigore prospettate sin dall'inizio del-

la sperimentazione di *precision farming* realizzata dal Consorzio Franciacorta a partire dal 2001: la possibilità di intervenire con pratiche agronomiche volte a ottenere una riduzione della variabilità del vigore all'interno del vigneto.

Mediante il trasferimento di queste immagini direttamente alle macchine operatrici, il principio attivo può essere distribuito in modo mirato e programmato sulle diverse aree e in relazione a reali esigenze. La prova è stata effettuata, in collaborazione con Studio Agronomico SATA e Usanza

Macchine agricole, sia simulando le necessità di un intervento per via fogliare, sia quelle di un intervento di fertilizzazione al suolo, che rappresenta la scelta dominante nelle forme di fertilizzazione in viticoltura. I risultati conseguiti hanno confermato la fattibilità dell'utilizzo delle mappe di vigore dei vigneti, ottenute tramite rilevamento multispettrale, ai fini della realizzazione di una concimazione di *precisione* all'interno del vigneto in modo automatico e indipendentemente dall'intervento dell'operatore alla guida di una trattrice.

Questa metodica ha come obiettivo non solo il miglioramento delle caratteristiche qualitative della produzione, ma anche la riduzione dell'impatto ambientale, attraverso una fertilizzazione svolta in modo più razionale in funzione delle diversità proprie di ogni porzione dell'appezzamento. Ulteriore effetto non trascurabile è il possibile beneficio in termini economici per l'azienda, derivante dalla riduzione del volume di concime distribuito.