



RELAZIONE FINALE STM

Il Fruitore: ALESSANDRO MATESE

Istituto di appartenenza : CNR IBIMET – Istituto di Biometeorologia (RICERCATORE livello III)

Dipartimento di appartenenza: Dipartimento di Scienze Bio-AgroAlimentari

Titolo del programma: **Analisi dei dati spaziali prodotti da immagini da telerilevamento e rilevamento prossimale applicata alla viticoltura di precisione**

Il progetto consisteva nel consolidare e aggiornare con l'implementazione di nuovi strumenti di analisi l'attività di monitoraggio in viticoltura di precisione (PV) intrapresa da Ibimet, e di comprendere nuovi approcci metodologici da esportare nella viticoltura italiana. La notevole competenza sull'utilizzo degli UAV sviluppata da Ibimet, anche grazie al progetto CISIA del Dipartimento di Scienze Bio-AgroAlimentari, sarà una piattaforma ideale su cui applicare la ricerca d'eccellenza comprovata del UMR ITAP unità mista tra SupAgro e IRSTEA a Montpellier (Information - Technologies - environmental Analysis - agricultural Processes)

Obiettivi generali: La ricerca è stata focalizzata sull'elaborazione di dataset spaziali derivanti da immagini da telerilevamento (effettuato con UAV-Unmanned Aerial Vehicle (drone)) e da monitoraggio prossimale (ossia parametri di produzione monitorati a terra (yield)), con l'obiettivo di ottenere informazioni agronomiche coerenti ad alta risoluzione spaziale.

La relazione è suddivisa in una parte introduttiva e tre sezioni sulle attività svolte con i seguenti obiettivi:

1. **ELABORAZIONE IMMAGINI DA UAV:** analisi svolte sulle immagini da UAV effettuate nell'ambito del progetto CISIA e su altre immagini di vigneti della Toscana, allo scopo di caratterizzare la variabilità dei vigneti utilizzando metodi geostatistici;
2. **UTILIZZO DI MAPPE NDVI PER UNA MIGLIORE STIMA DELLE PRODUZIONI:** integrando dati NDVI da telerilevamento con dati da monitoraggio prossimale (ossia parametri di produzione monitorati a terra), allo scopo di migliorare i modelli di stima esistenti;
3. **CAMPAGNA DI VOLO IN FRANCIA CON UAV:** mettere a frutto le competenze acquisite di analisi e elaborazione dati su immagini acquisite dall'UAV su un vigneto in Francia.

INTRODUZIONE

I vigneti si presentano come ambienti caratterizzati da una elevata eterogeneità dovuta a fattori strutturali quali la morfologia del territorio, le caratteristiche pedologiche ed altri dinamici quali le pratiche colturali e l'andamento climatico stagionale. Il mondo della ricerca ha sviluppato molteplici strumenti integrati per il monitoraggio del vigneto, alcuni dei quali sono già utilizzati in modo operativo dalle aziende. Il monitoraggio remoto eseguito attraverso i satelliti nella viticoltura di precisione offre da una parte il vantaggio di coprire grandi porzioni di territorio, ma dall'altra spesso hanno una risoluzione a terra insoddisfacente (minimo 2,5 m), non permettendo una efficace distinzione tra filare e interfilare, che di fatto limita l'utilità dei dati raccolti. A questo limite va aggiunta l'impossibilità di effettuare un monitoraggio personalizzato e continuo a causa delle tempistiche obbligate legate al passaggio dei satelliti e del rischio di eventuale copertura nuvolosa nel momento del passaggio. Il telerilevamento aereo, invece, permette di fornire una risoluzione a terra superiore a quella del satellite e modulabile in funzione della quota di volo. La dipendenza dalla situazione meteorologica e i costi fissi legati al volo aereo rendono però questa tecnica poco applicabile e molto costosa su superfici viticole di piccole dimensioni.

Lo sviluppo tecnologico degli UAV (Unmanned Aerial Vehicle) e delle fotocamere digitali multispettrali di ultima generazione, rende oggi disponibili sistemi che, a parità di affidabilità, sono preferibili al tradizionale telerilevamento da aereo e da satellite in termini di costi e flessibilità. Il monitoraggio ad altissima definizione consente di gestire la variabilità del campo in modo da intervenire tempestivamente. Inoltre, nell'ottica di viticoltura sostenibile, il monitoraggio ad alta risoluzione nel tempo e nello spazio potrebbe contribuire a rendere più efficaci gli interventi. Le criticità del sistema UAV, sono l'alta competenza necessaria a pilotarlo e la complessità della gestione delle immagini (raccolta punti GPS, georeferenziazione, mosaica tura, analisi).

La variabilità spaziale, che può essere attribuita a fattori ambientali fisici come suolo, topografia e clima, condiziona in misura significativa la differente risposta del raccolto e quindi la variabilità spaziale della produzione. Dubbi appaiono quando vogliamo comprendere, ad esempio, le cause esatte che hanno dato origine a questa variabilità o l'interazione tra fattori. È qui appunto che la viticoltura di precisione può offrire alcune risposte basate sul campionamento e la successiva analisi di variabilità all'interno del campo. **La variabilità spaziale è caratterizzata da tre parametri: la struttura spaziale, il gradiente di variabilità e la magnitudo di variazione.** Bramley e Hamilton (2004), due tra i più importanti studiosi nel campo della viticoltura di precisione in Australia, affermano che il successo dell'attuazione della PV sarà possibile solo date alcune condizioni: a) se la variazione spaziale della resa si ripete con un chiaro grado di stabilità anno dopo anno b) se le cause che provocano un incremento di variabilità sono identificabili c) se queste cause possono essere trattate in modo differenziale all'interno della parcella (site-specific management).

L'obiettivo di questo lavoro è stato la caratterizzazione della variabilità spaziale nei vigneti. Con le immagini ad altissima risoluzione acquisite dall'UAV si possono effettuare ottime analisi allo scopo di determinare degli indici in relazione alla variabilità spaziale dei vigneti.

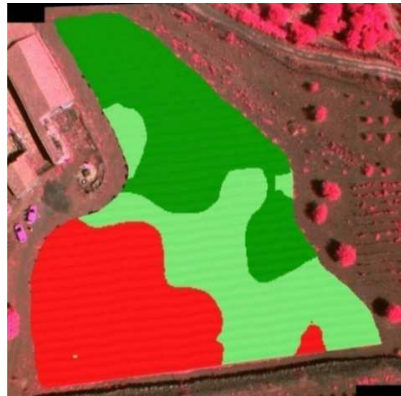
Per fare ciò si introduce il concetto di Geostatistica, che è fondamentalmente un metodo probabilistico di interpolazione spaziale. La costruzione finale della mappa corrispondente a livello di parcella è reso possibile, sulla base di stime con errore di punti non inclusi nel campione, utilizzando la struttura della variabilità spaziale dei dati campionati (variogramma) e un metodo di interpolazione (kriging). L'analisi della variabilità spaziale è importante per due ragioni. Dal punto di vista della PV, permette l'individuazione di aree o zone di diverso potenziale produttivo all'interno del vigneto ed una valutazione delle opportunità per la loro gestione differenziale. Dal punto di vista della sperimentazione viticola, l'analisi della variabilità spaziale delle parcelle consente una migliore interpretazione dei risultati rispetto ai «classici» disegni sperimentali (Bramley et al., 2005a). Queste aree, denominate zone di gestione, normalmente differiscono tra loro in termini di proprietà del suolo, pendenza e microclima. L'uso della cluster analysis è la metodologia di segmentazione consigliata per consentire la suddivisione in zone a livello delle parcelle (Bramley e Hamilton, 2004. Taylor et al, 2007). Attraverso un processo iterativo questa procedura consente il raggruppamento dei valori interpolati dalle mappe in gruppi omogenei (classi) in relazione alle variabili scelte per l'analisi. Tuttavia, lo studio della variabilità spaziale deve essere integrato dall'analisi della variazione (McBratney et al., 2005). Allo stesso tempo, la gestione a zone non dovrebbe limitarsi esclusivamente a livello delle parcelle, ma è opportuno che la delimitazione delle zone suscettibili di gestione del sito-specifica sia estesa a tutti i vigneti dell'azienda. Per valutare l'idoneità della gestione sito-specifica è stato formulato un indice di Opportunità (Oi), secondo le linee proposte da McBratney et al. (2000) e Pringle et al. (2003), che però non è mai stato studiato in dettaglio per le condizioni particolari della viticoltura Italiana.

ATTIVITÀ SPERIMENTALE SVOLTA

1- ELABORAZIONE IMMAGINI DA UAV

Le seguenti attività sono state effettuate utilizzando il dataset di immagini acquisite nell'ambito del progetto CISIA e durante altri voli effettuati in Toscana. Le immagini ottenute tramite la fotocamera ADC-LITE hanno fornito informazioni nelle bande del vicino infrarosso (NIR) (0.76-0.90 μm), rosso (0.63-0.69 μm) e verde (0.52-0.60 μm) con una risoluzione a terra di 5 cm alla quota di volo di 150 metri. Elaborando le immagini è stato possibile calcolare l'indice di vegetazione NDVI che sfrutta la diversa risposta della copertura vegetale alle bande spettrali del visibile (rosso) e del vicino infrarosso, e fornisce un valore numerico adimensionale, teoricamente compreso tra -1 e +1. Tale valore è stato dimostrato essere in stretta relazione con lo stato della vegetazione, intesa come

biomassa e area fogliare (Leaf Area Index), ed ai processi biochimici ad essa correlati (attività fotosintetica). La mappa NDVI è stata successivamente elaborata in modo da separare i pixel della vegetazione con quelli del suolo utilizzando dei filtri per la rimozione dell'interfila. Il metodo utilizzato è stato un semplice metodo Threshold sulla banda del NIR, ma questo è un metodo che funziona bene solo per alcuni vigneti in cui l'interfila non è troppo inerbita. Inoltre sono ancora in studio altri algoritmi di rimozione dell'interfila che sono stati testati e hanno dato dei risultati preliminari molto interessanti, per esempio il Watershed e l'algoritmo di Hough transformation. Le ombre sono state rimosse mediante un filtro sul livello GREEN. Considerando la bassa quota di UAV acquisizioni, la mosaicatura di immagini diverse, con un alto livello di sovrapposizione (fino al 80%) potrebbe essere raccomandato per superare i problemi di FOV (Field of View) e BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function). Data la notevole risoluzione delle immagini da UAV, in questi casi non si usa un'interpolazione geostatistica ma semplicemente una interpolazione a media mobile. Per evitare gli effetti della discontinuità dovuti al sistema di allevamento dei vigneti, un calcolo medio dei pixel NDVI è stato effettuato utilizzando una media a finestra mobile di 0.25 x 0.5 metri, ma questi valori sono scelti ogni volta a seconda della struttura del vigneto e dalla densità di impianto. Infine è stata prodotta una mappa di vigoria utilizzando un metodo di semplice classificazione. Le 3 classi scelte (ALTA, MEDIA e BASSA) sono state calcolate con i percentili sulla distribuzione del 33% di valori associati ad ogni classe.



So stati inoltre testati anche dei metodi di segmentazione geostatistici per il corretto delineamento delle classi omogenee di vigoria e la determinazione dell'ottimo numero di zone (e non classi in questo caso!). Questi si basano su algoritmi di clusterizzazione. L'obiettivo principale della classificazione non supervisionata o il clustering è quello di identificare i cluster nell'immagine, in questo caso dei valori NDVI. L'algoritmo di clustering utilizzato è stato il fuzzy k-means con extragrades (deGrujter & McBratney 1988), che è una modifica del fuzzy c-means (Bezdek, 1981). Questo algoritmo modificato presuppone che le classi continue forniscano migliori rappresentazioni dei valori anomali rispetto a classi discontinue. La classificazione è stata effettuata utilizzando il programma software "FuzME" che è stato sviluppato presso il Centro australiano per l'agricoltura di precisione (Minasny e McBratney 2000). Questo software determina l'appartenenza a ciascun

cluster attraverso un processo iterativo che inizia con un insieme casuale di cluster medi. Ciascuna osservazione è assegnata al più vicino sulla base della distanza (euclidea, diagonale, o Mahalanobis). Il numero ottimale di zone sono state decise in base all'indice "fuzziness performance index" (FPI) e al "modified partition entropy" (MPE). FPI stima il grado di confusione generato da un determinato numero di classi. MPE stima il grado di disorganizzazione creata da un determinato numero di classi. Il numero ottimale di classi è stato stabilito sulla base di minimizzare queste due misure (Roubens 1982). Infine sono stati studiati altri algoritmi sviluppati negli ultimi anni, per esempio il metodo ISODATA e metodi "non parametric density algorithm". Il problema di tutti questi metodi è che sono stati sviluppati per dati di produzione o dati fisici del vigneto e non per dati acquisiti da telerilevamento, e questo comporta non poche problematiche che sono ancora in atto di studio.

Un metodo molto interessante per la stima della variabilità spaziale è il sopra citato Opportunity Index (Oi).

Per ogni vigneto, i valori NDVI sono stati utilizzati per calcolare le informazioni geostatistiche, come ad esempio il variogramma e i suoi relativi parametri (effetto nugget C0, sill C1 e il range r), e la tendenza. Questa informazione è stata utilizzata per calcolare l'Indice di Opportunità di gestione sito-specifica (Oi) introdotto da Pringle et al. (2003). Il parametro Oi fornisce separate misurazioni di magnitudo della variazione (CVa) e la dimensione della struttura spaziale (S) della variabilità intra-vigneto. Originariamente, Pringle et al. (2003) hanno presentato il problema di quantificare la possibilità di gestione sito-specifica basata su dati di rendimento. Hanno suggerito che un indice opportunità pertinente dovesse prendere in considerazione sia la grandezza della variazione di produzione che la disposizione nello spazio di questa variazione. Essi hanno proposto un SSCM (Site-Specific Crop Management) Opportunity Index (Oi), che tiene conto di queste due componenti:

$$Oi = M \times S$$

dove M è la magnitudo di variazione ed S è la struttura spaziale della variabilità. Nell'equazione, la grandezza della magnitudo è valutata dal Coefficiente di Variazione areale (CVa). La struttura spaziale di variazione di campo (S) viene calcolata come la proporzione di varianza totale spiegata dalla trend surface dei dati e da una scala integrale della trend surface dei residui.

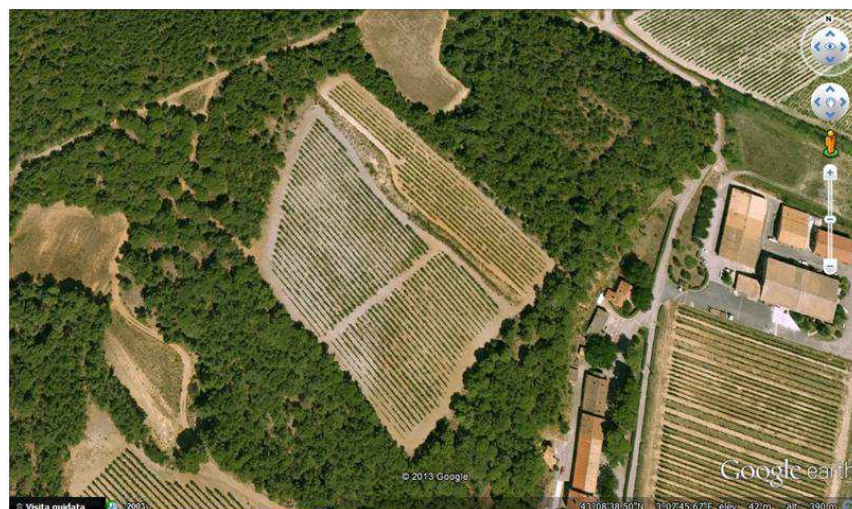
I test effettuati su immagini di vigneti italiani hanno mostrato dei valori di Oi molto bassi (media di 0.03) con un CV medio di circa 0.05, questo probabilmente perché sono vigneti molto piccoli, in media con aree di 1 ha. Però il dato calcolato di S ha un valore significativo che si attesta intorno a 0.4 ossia il 40% di variabilità della struttura spaziale. Inoltre, la spiegazione per questi valori molto bassi è perché originariamente l'Oi è stato sviluppato per i dati di produzione e non per dati NDVI che variano solamente da 0 a 1.

2- UTILIZZO DI MAPPE NDVI PER UNA MIGLIORE STIMA DELLE PRODUZIONI

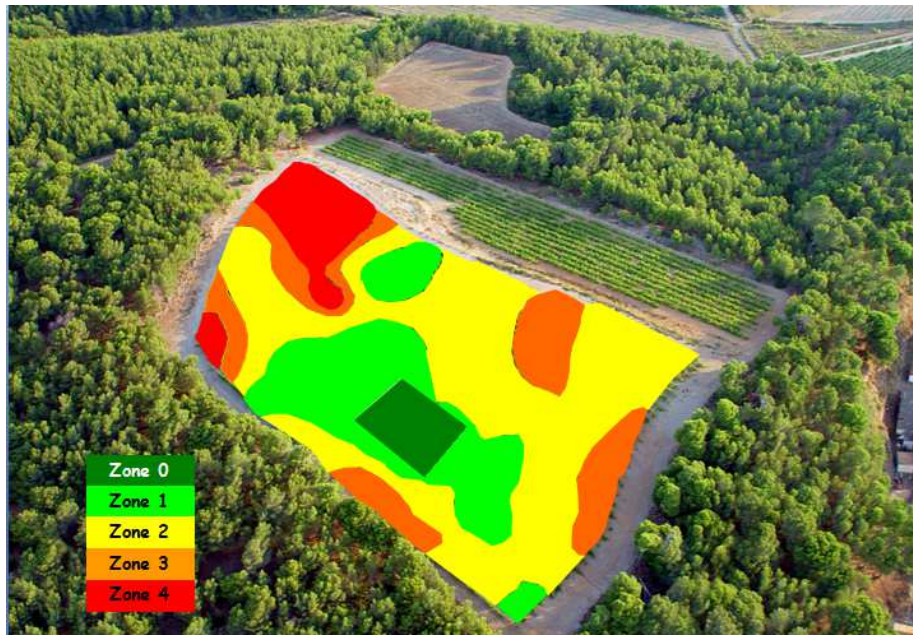
Una seconda attività è stata svolta in collaborazione con il centro di ricerca francese con l'obiettivo di utilizzare le mappe NDVI come dato aggiuntivo nei modelli di stima delle produzioni viticole. Questo dato è molto importante per le scelte aziendali. La maggior parte dei metodi di stima delle rese in vigna è caratterizzata dall'uso del campionamento casuale assumendo la variabilità dei rendimenti casuale e distribuita normalmente. Tuttavia, questa ipotesi è in contraddizione con i recenti risultati ottenuti con i sistemi di monitoraggio delle rese. Questi risultati hanno dimostrato che la variabilità della resa non è casuale ma fortemente organizzata spazialmente a livello intra-vigneto. Inoltre, molti autori hanno evidenziato una relazione tra indici di rendimento e indici vegetazionali, come l'NDVI. Pertanto, migliorando il campionamento delle rese con immagini NDVI da telerilevamento si può migliorare significativamente la stima della resa di campo. Tuttavia, al fine di progettare pertinenti metodi di campionamento, è necessaria una migliore conoscenza di come ogni componente di rendimento è legato all'NDVI. A tale scopo, le informazioni dell'NDVI derivato da due immagini multispettrali, e componenti di rendimento (numero di grappoli, numero di acini per grappolo e di peso della bacca all'invasatura e alla raccolta) sono stati confrontati e analizzati in 330 siti di campionamento su 9 campi con 2 diverse varietà. Per mezzo di una analisi delle componenti principali (PCA), una relazione significativa è stata rilevata tra il peso delle bacche all'invasatura e alla raccolta e l'NDVI. Quindi sono state svolte delle analisi per la ricerca di un algoritmo per il miglioramento significativo del metodo in due fasi (Wolpert et al., 1992) in base alla variabilità spaziale osservata mediante telerilevamento. Questo lavoro è in fase di completamento e produrrà una pubblicazione su rivista scientifica internazionale.

3- CAMPAGNA DI VOLO FRANCIA

E' stato effettuato un volo con l'UAV dell'Ibimet su un vigneto localizzato a Pech Rouge nell'azienda sperimentale dell'INRA nel sud della Francia vicino a Montpellier.



Le analisi preliminari, sulla base degli studi e le attività effettuate nel periodo della Short Term Mobility a Montpellier, hanno prodotto la seguente mappa di vigoria. Questa è stata realizzata mettendo a frutto tutte le competenze acquisite in termini di analisi spaziale di immagini NDVI.



BIBLIOGRAFIA

BRAMLEY R.G.V., HAMILTON R.P., 2004. Understanding variability in winegrape production systems. 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. Aust J Grape Wine Res 10, 32-45.

BRAMLEY R.G.V., LANYON D.M., PANTEN K., 2005a. Whole-of-vineyard experimentation – An improved basis for knowledge generation and decision making. Proc V ECPA-Eur Conf on Precision Agriculture. Uppsala, Sweden, June 8-11. pp. 883-890.

TAYLOR J.A., McBRATNEY A.B., WHELAN B.M., 2007. Establishing management classes for broadacre agricultural production. Agron J 99(5), 1366-1376.

McBRATNEY A., WHELAN B., ANCEV T., BOUMA J., 2005. Future directions of precision agriculture. Precis Agric 6, 7-23.

McBRATNEY A.B., WHELAN B.M., TAYLOR J.A., PRINGLE M.J., 2000. A management opportunity index for precision agriculture [on line]. Available in <http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa> [12 November, 2007].

PRINGLE M.J., McBRATNEY A.B., WHELAN B.M., TAYLOR J.A., 2003. A preliminary approach to assessing the opportunity for site-specific crop management in a field, using yield monitor data. *Agric Syst* 76, 273-292.

DEGRUIJTER, J.J., MCBRATNEY, A.B., 1988. A modified fuzzy k means for predictive classification. In: Bock, H.H. (ed) *Classification and Related Methods of Data Analysis*. pp. 97_104. Elsevier Science, Amsterdam.

BEZDEK, J.C., 1981. *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*. Plenum Press, New York

MINASNY, B., MCBRATNEY, A.B., 2000. FuzME version 2.1, Australian Centre for Precision Agriculture, The University of Sydney, NSW 2006. <http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa>).

ROUBENS, M., 1982. Fuzzy clustering algorithms and their cluster validity. *European Journal of Operational Research* 10, 294_301.

WOLPERT, J.A. and VILAS, E.P., 1992. Estimating Vineyard Yields: Introduction to a Simple, Two-Step Method. *American Journal of Enology and Viticulture*, 43, 384-388.