ATTIVITÀ SPERIMENTALE 2005/2006 DEL CENTRO CITIMAP PER L'APPLICAZIONE DEL TELERILEVAMENTO ALL'AGRICOLTURA DI PRECISIONE

Massimo VINCINI (*), Ermes FRAZZI (*), Paolo D'ALESSIO(*), Mirco BOSCHETTI(**), Daniele STROPPIANA(**), Claudia GIARDINO(**), Franco COREN(***), Alessandro PAVAN(***)

(*) CRAST, Centro Ricerca Analisi Spaziale e Telerilevamento, Università Cattolica del Sacro Cuore, via Emilia Parmense 84, 29100 Piacenza, *massimo.vincini@unicatt.it*, *ermes.frazzi@unicatt.it*, *paolo.dalessio@unicatt.it*;
(**) CNR-IREA Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente, via Bassini 15, 20133 Milano, *giardino.c@irea.cnr.it*, *boschetti.m@irea.cnr.it*;
(***) OGS CARS Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - (Cartography and Remote Sensing Research Group), Borgo Grotta Gigante 42/c 34010 Sgonico - Trieste, *fcoren@ogs.trieste.it*;

Riassunto

Vengono descritti i primi risultati delle l'attività sperimentali del biennio 2005/2006 del CITIMAP, Centro di l'Innovazione per l'impiego del Telerilevamento nell'Industria Meccanica per l'Agricoltura di Precisione. Durante il biennio il comportamento spettrale delle colture dell'azienda sperimentale Vittorio Tadini è stato documentato a diverse scale e risoluzioni spettrali mediante misure spettroradiometriche di campagna (ASD Fieldspec-FR Pro e Fieldspec HH su suoli, chiome e lamine fogliari con sonda di contatto), mediante sensori satellitari (multi-spettrali QuickBird ed Ikonos, SPOT 5 HRG, iperspettrali Hyperion e Proba/CHRIS) ed aerotrasportati (scansione laser ad alta densità di punti ed iperspettrali AISA Eagle e MIVIS). In particolare vengono esaminati i temi dell'utilizzo degli indici di vegetazione quale supporto informativo alla concimazione a rateo variabile (Variable Rate Technology- VRT).

Abstract

The CITIMAP (Center for the Application of Remote Sensing Data in Precision Agriculture Mechanization) 2005/2006 research program at the Vittorio Tadini experimental farm are outlined and first results are presented. The spectral properties of experimental crops have been determined with different spatial and spectral resolution, from making field radiometric measures on soils, canopies and leaves (ASD Fieldspec-FR, Pro e Fieldspec HH with contact probe for leaf reflectance) and using airborne (AISA Eagle, MIVIS) hyperspectral imagers and laser scanners (ALT3100) up to satellite high resolution (SPOT HRG), Very High Resolution (QuickBird, Ikonos) and hyper-spectral (Hyperion, PROBA Chris) data. Emphasis is placed on the application of vegetation indexes as a decision support tool for variable rate fertilization.

Introduzione

Presso l'Azienda Sperimentale regionale V. Tadini, è stato istituito il CITIMAP, Centro per l'Innovazione sull'impiego del Telerilevamento nell'Industria Meccanica per l'Agricoltura di Precisione, un centro per l'innovazione tecnologica della Regione Emilia-Romagna. Il Centro, risultante dalla collaborazione di enti per la sperimentazione, istituzioni scientifiche e aziende meccaniche, si propone di sviluppare l'impiego del telerilevamento come base informativa per le macchine agricole in tecnologia VRT (*Variable Rate Technology*) di distribuzione degli *input* (fertilizzanti ed acqua irrigua). Il presente lavoro descrive brevemente, rimandando alle pubblicazioni specifiche gli approfondimenti, i primi risultati delle l'attività relative al biennio 2005/2006. Gli obiettivi delle sperimentazioni 2005 erano soprattutto legati alla valutazione dell'accuratezza dei diversi indici spettrali, ottenibili da immagini multi-spettrali ed iperspettrali ad

alta ed altissima risoluzione spaziale, per la stima dei parametri biofisici delle colture relativi a nutrizione azotata primaverile (Broge, Leblanc, 2000; Daughtry et al., 2000; Haboudane et al., 2002, 2004), ai fini della possibile produzione di mappe di prescrizione per concimazione VRT in copertura, e stress idrico estivo, ai fini della produzione di mappe di prescrizione per irrigazione a rateo variabile. A questo scopo presso l'azienda Tadini è stato realizzato nel 2005 un fitto programma di acquisizioni di dati ottici a diversa risoluzione spaziale e spettrale su colture sperimentali di mais e barbabietola da zucchero in tesi a diversa nutrizione azotata e trattamento irriguo caratterizzate per i parametri biofisici di interesse con campagne di misure al suolo ed analisi di campioni georeferenziati. Per una descrizione completa degli obiettivi sperimentali e del piano sperimentale ed acquisizioni 2005 si rimanda rispettivamente a Vincini et al. (2006a) e Vincini et al. (2005). Nel presente lavoro vengono brevemente illustrati, rimandando alle pubblicazioni specifiche per approfondimenti, i risultati sperimentali relativi alla determinazione di *Fractional Cover* di barbabietola da zucchero da scansione laser, alla comparazione di indici di vegetazione per la stima del potenziale fotosintetico delle colture mediante dati spettroradiometrici di campagna e alla comparazione della sensibilità di alcuni indici di vegetazione alla geometria di osservazione mediante dati multi-angolari CHRIS/Proba.

Determinazione di Fractional Cover su barbabietola da zucchero da scansione laser

ll 27 maggio 2005 contemporaneamente all'acquisizione iperspettrale con sistema AISA, è stato effettuato dal consorzio Heliogs di Trieste un rilievo a scansione laser con sistema ALTM3100 (λ=1064 nm) sulle colture sperimentali di barbabietola da zucchero a predisposta per generare variabilità controllata a seguito di fertilizzazioni differenziate con il seguente schema sperimentale in tesi a 4 livelli N (0-90-180-270 kg/ha) in presemina con concime a lenta cessione. Il sistema a scansione laser utilizzato è montato rigidamente su un elicottero, la cui traiettoria del sistema avviene mediante misure GPS differenziali cinematiche utilizzando una stazione fissa posizionata su un punto noto. Al fine di verificare le possibilità di caratterizzazione dei parametri strutturali di una coltura erbacea quale la bietola la programmazione del volo, in termini di velocità e frequenza di scansione, è stata fatta in modo tale da avere una densità di punti al suolo molto elevata attestantesi sugli 11 punti/m^2. Il *Fractional Cover* (FC) delle parcelle sperimentali che presentavano sviluppo vegetativo molto differenziato in conseguenza dei livelli di fertilizzazione azotata è stato stimato mediante analisi *object-oriented* di fotografie digitali riprese alle file 18, 36 e 54, al metro 10 di ognuna delle 24 parcelle a bietola previste dallo schema sperimentale. In figura 1 sono riportate le 24 parcelle da 32 x 20 m circa e sono indicati, per ogni parcella i tre punti di acquisizione delle foto digitali per la misurazione di FC. Tali misurazioni sono state quindi mediate (media aritmetica), per ottenere un unico valore per ogni parcella, da confrontare con gli indici ricavati dal laser a scansione, anch'essi mediati per parcella.

Come prima analisi, è stata effettuata una classificazione del dato laser separando i punti ricadenti sul terreno (*ground*), da quelli ricadenti sulla vegetazione (*canopy*) e sono stati filtrati mediante un filtraggio Gaussiano *low pass*. A questo punto è stato possibile creare un DTM, fittato su griglia regolare di 1x1 m, e, partendo dai punti *canopy*, un DSM. La differenza tra i due modelli (DSM – DTM) permette di avere immediatamente una mappa della distribuzione dell'altezza delle colture, con risoluzione spaziale di 1x1 m. Dal confronto in Figura 2 fra i dati altezza determinata da *laser scan* ed intensità di retrodiffusione (misura di pseudoriflettanza attiva a 1064 nm) e i valori di FC misurati al suolo, si estrapola l'esistenza di una elevata correlazione lineare, come si evince dai valori del coefficiente di determinazione, che nel caso dell'intensità di retrodiffusione è pari a 0.8647. L'acquisizione si è dimostrata efficiente per la misura di altezze di vegetazione massime di circa 30 cm, mostrando la possibilità di applicazione del *laser scan* da piattaforma aerea alla determinazione dei parametri strutturali di colture erbacee a foglia larga. Per una più approfondita trattazione del lavoro si rimanda a Coren et al (2006).

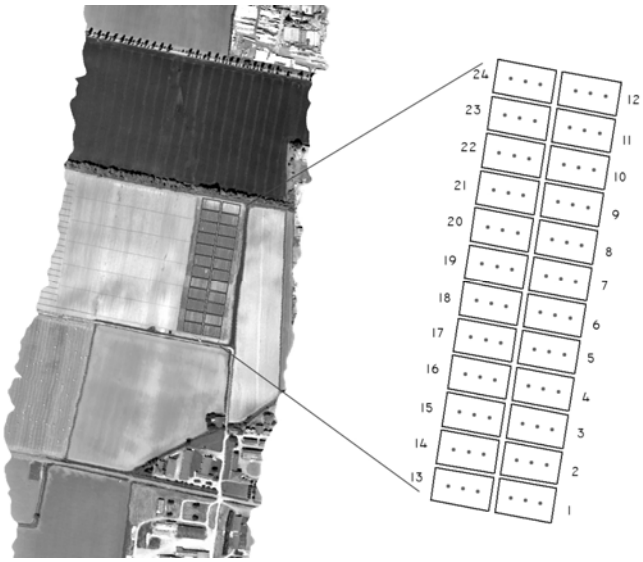

Figura 1 – Parcelle sperimentali a bietola e punti di determinazione del Fractional Cover - da Coren et al. (2006)

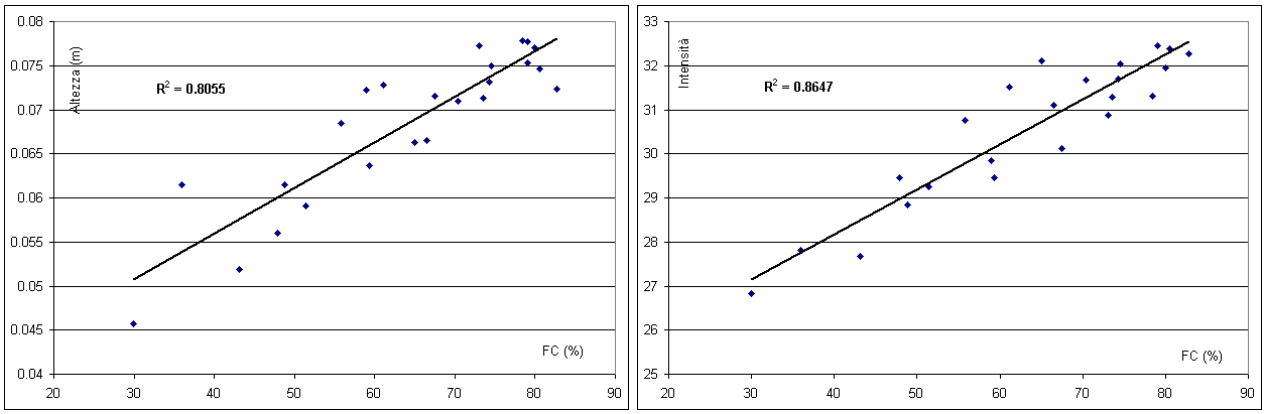

Figura 2 – Correlazione tra valori di Fractional Cover e altezza della vegetazione determinata dalla scansione laser (a sinistra) ed intensità di retrodiffusioine (a destra)- da Coren et al. (2006)

Correlazione del contenuto di clorofilla di barbabietola da zucchero ed indici di vegetazione ottenuti da misure spettroradiometriche di campo

Obiettivo dello studio è l'analisi delle relazioni tra indici spettrali, derivati da misure spettroradiometriche di campo, e concentrazioni di clorofilla, allo scopo di valutare le potenzialità dei dati iperspettrali quale supporto informativo per la fertilizzazione azotata a rateo variabile. A tal fine sono state analizzati gli spettri acquisiti a livello fogliare, mediante sonda di contatto *(contact probe*), per lo studio delle regioni spettrali più idonee alla stima della concentrazione di clorofilla e sopra la chioma (*canopy*), con fibra ottica, per valutare il contributo di indici spettrali sviluppati ad hoc per minimizzare l'influenza del *background* e delle caratteristiche strutturali della coltura.

Sulla coltura sperimentale di bietola di cui al precedente paragrafo sono state condotte stime della concentrazione di clorofille (Chl a+b) per area fogliare tramite misure della densità ottica della lamina fogliare ottenute mediante Minolta SPAD 502 (Markwell et al., 1995) calibrati sperimentalmente con determinazioni analitiche su porzioni fogliari nel corso dei rilievi multi-temporali stagionali.

Le firme spettrali di contatto sono state elaborate e rese disponibili per il calcolo degli indici spettrali considerati da mettere in relazione alle concentrazioni di clorofilla. Il *dataset* utilizzato ha incluso 24 spettri, di cui si avevano corrispondenti misure analitiche di clorofilla per le analisi a livello fogliare e 48 spettri per i quali si disponeva di valori stimati di clorofilla da misure SPAD per le analisi a livello di *canopy*. L'indice più correlato con le clorofille ottenuto dagli spettri di contatto è risultato essere il *Red Edge Inflection Position* (REIP) calcolato con il metodo di interpolazione lineare (Guyot e Baret, 1988) con un valore del coefficiente di determinazione pari a 0.74. Inoltre gli indici MCARI e TCARI mostrano performance tra loro comparabili e decisamente migliori rispetto agli indici tradizionali.
L'analisi dei dati di *canopy* (Figura 3) evidenzia la problematicità legata all'influenza delle caratteristiche strutturali della pianta nella determinazione della concentrazione di clorofilla fogliare. Anche gli indici di vegetazione analizzati specificamente proposti per la stima della concentrazione di pigmento risultano infatti correlati ai valori di *Fractional Cover* come conseguenza della correlazione tra sviluppo vegetativo e concentrazione di pigmento per area fogliare intrinseca al *dataset* sperimentale 2005. Sembrerebbe che i soli MCARI e TCARI presentino una apprezzabile correlazione diretta con la concentrazione di clorofilla.

	SR	NDVI	R1	R2	R3	TVI	MTVI2
Chl a+b	0.62	0.69	0.56	0.65	0.66	0.65	0.67
FC	**0.80**	**0.84**	0.6	0.70	0.70	0.62	0.63
	MTVI2	**MCARI**	**TCARI**	**REIP_lin**	**OSAVI**	**TSAVI**	**TCARI/OSAVI**
Chl a+b	0.67	**0.60**	0.6	**0.64**	0.66	0.64	0.35
FC	0.63	**0.46**	0.46	**0.88**	0.72	0.73	0.26

Figura 3 – Valori del coefficiente di determinazione tra indici di vegetazione e contenuto di clorofilla per area fogliare(Chl a+b) e Fractional Cover della coltura (FC) - (da Boschetti et al. 2006, per una descrizione dei diversi indici si veda il lavoro originale).

Per una più approfondita trattazione del lavoro si rimanda a Boschetti et al (2006a, 2006b). Sulla base dei risultati sperimentali 2005, la sperimentazione 2006, i cui dati sono in corso di elaborazione, si è posta l'obiettivo di generare un *dataset* in cui le concentrazioni di clorofilla risultino il più decorrelate possibile dai parametri strutturali della pianta (LAI, FC, biomassa) mediante l'introduzione di tesi a diversa data di semina e pratiche di eziolamento in pieno campo.
Eventuali risultati positivi nella ricerca di indici empirici efficaci nella decorrelazione dei suddetti parametri renderebbero la produzione di mappe di prescrizione per la gestione variabile delle fertilizzazioni azotate più indipendenti dalla raccolta di dati di campagna sullo sviluppo vegetativo delle colture.

Sensibilità di alcuni indici di vegetazione alla geometria di osservazione mediante dati multi-angolari CHRIS/Proba

Con la crescente disponibilità di immagini raccolte con geometrie di osservazione diverse da quella nadirale e capacità di puntamento delle ottiche sia *along-track* che *across-track* diventa interessare valutare quanto i diversi indici di vegetazione proposti per la stima dei parametri biofisici delle colture siano resistenti alla variazione degli angoli di osservazione. Il presente lavoro riporta i risultati di una valutazione preliminare sulla dipendenza angolare di geometria dell'osservazione, di alcuni indici di vegetazione ricavati da un'acquisizione multi-angolare CHRIS/Proba sull'azienda sperimentale Vittorio Tadini. In Figura 4 sono riportati gli spettri medi CHRIS/Proba per tre valori dell'angolo nominale di osservazione di colture sperimentali di a mais tra loro differenti di 14 giorni

per data di semina e quindi notevolmente differenziate per sviluppo vegetativo e potenziale fotosintetico medio (41.6 +/-0.57 μg/cm^2 concentrazione media di clorofilla a+b e LAI medio pari a 5.0 per la tesi a semina precoce; 39.7 +/-0.8 μg/cm^2 e LAI medio 3.2 per la tesi a semina ritardata).

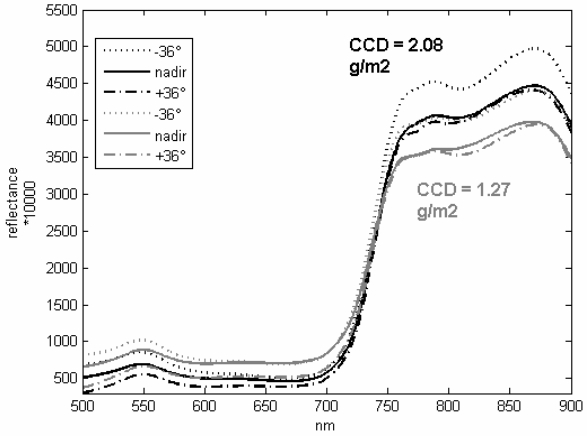

Figura 4 – Tesi di mais a semina differenziata di 14 gg (in nero la semina precoce): concentrazione media di clorofilla per area (CCD) e spettri medi CHRIS per le tre geometrie di osservazione.

In Figura 4 è possibile valutare l'importanza dell'effetto dell'angolo di osservazione: lo spettro con angolo nominale di osservazione di -36° (situata nella zona della "*hot spot*") della tesi a semina ritardata, a sviluppo vegetativo ben inferiore, si confonde nell'infrarosso vicino con quelli delle osservazioni con angoli nominali di 0° e +36° della tesi a semina precoce. In Figura 5 sono riportate per due indici di vegetazione tra quelli considerati, il *Triangular Vegetation Index* (TVI, Broge, Leblanc, 2000) ed il Modified TVI2 (Haboudane et al., 2004). Come è possibile osservare in figura per l'indice TVI, la maggior parte degli indici ha mostrato un'elevata dipendenza dall'angolo di osservazione con valori relativi geometria di osservazione -36°, nettamente superiori a quelli dai i afferenti alle altre due geometri di osservazione per la stessa tesi ed addirittura simili, per sviluppi vegetativi ben differenti, tra tesi diverse. Viceversa l'introduzione al denominatore in MTVI2 di un fattore di correzione per il contributo del suolo sembra essere efficace anche nell'eliminare una parte significativa della dipendenza angolare (Figura 5) riportando le distribuzioni dei valori relativi alle diverse geometrie entro *range* sensibilmente più ristretti paragonabili alla variabilità interna per ogni geometria di osservazione. Per una più approfondita trattazione del lavoro si rimanda a Vincini et al., (2006b).

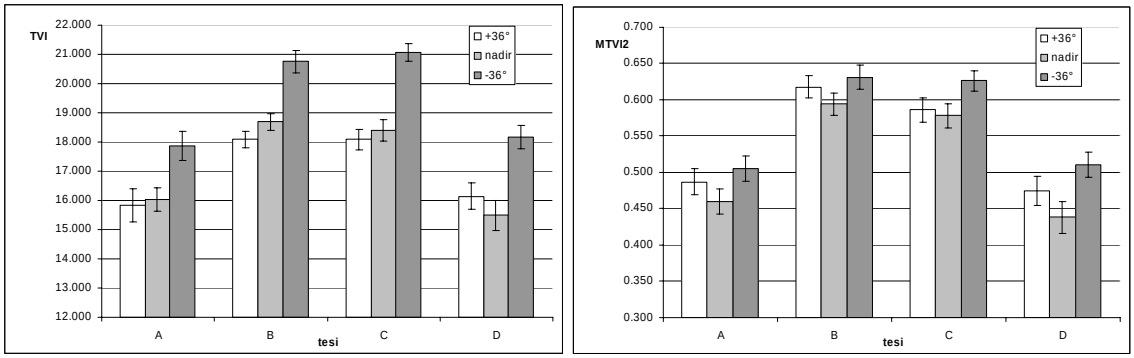

Figura 5 – medie e deviazioni standard (n minimo pari a 8 pixels) degli indici TVI e MTVI2 relativi a tesi sperimentali di mais a semina precoce (B,C) e ritardata (A,D) per angoli nominali di osservazione along-track CHRIS di +36°, 0° e - 36°

Conclusioni

Alcuni tra primi risultati delle l'attività sperimentali del biennio 2005/2006 del Centro CITIMAP indicano la possibilità di applicazione del *laser scan* da piattaforma aerea alla determinazione dei parametri strutturali di colture erbacee a foglia larga, l'interesse di alcuni indici iperspettrali di tipo *narrow-band* (REIP, MCARI, TCARI) per la determinazione del contenuto di clorofilla delle colture (quindi per le pratiche di fertilizzazione a rateo variabile) ed infine la relativa robustezza di MTVI2 a variazioni *along-track*, vicine al piano principale, dell'angolo di osservazione.

Bibliografia

Boschetti M., Stroppiana D., Giardino C., Vincini M. (2006a). Monitoraggio del contenuto di clorofilla della pianta di barbabietola da misure spettroradiometriche di campo. Atti *Workshop Citimap: Il telerilevamento per un'agricoltura sostenibile*, Piacenza 20 aprile 2006.

Boschetti, M., Stroppiana D., Vincini M., Frazzi E., Giardino C. and Brivio P.A. (2006b). Proximal and remote sensing observations for precision farming application, the Citimap project: experimental design and preliminary data analysis. 26th *EARSeL Symposium: New Developmentsand Challanges in Remote Sensing.* May 29 – June 2 2006 Warsaw, Poland.

Broge, N. H., Leblanc, E. (2000), Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density, *Remote Sensing of Environment*., 76: 156–172.

Coren F., Pavan A., Pietrapertosa C., Vincini M. (2006). Determinazione di fractional cover da scansione laser su colture sperimentali di barbabietola. Atti *Workshop Citimap: Il telerilevamento per un'agricoltura sostenibile*, Piacenza 20 aprile 2006.

Daughtry, C.T.S., Walthall, C.L., Kim, M.S., Brown de Coulston, E. and J.E. Mc Murtrey III (2000), Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance, *Remote Sensing of Environment*, 74:229-239.

Guyot, G., and Baret, F. (1988). Utilisation de la haute resolution spectrale pour suivre l'etat des couverts vegetaux. Proceedings *4th International Colloquium on Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing*, Aussois, France, 18–22 January 1988, ESA SP-287, (Paris: ESA), pp. 279–286.

Haboudane, D.; Miller, J.; Tremblay, N.; Zarco-Tejada, P.J.; Dextraze, L. (2002), Integration of narrow-band Vegetation Indices for Prediction of Crop Chlorophyll Content for Application to Precision Agriculture, *Remote Sensing of Environment*, 81:416-426.

Haboudane, D.; Miller, Pattey, E., Zarco-Tejada, P.J., Strachane, I. B., (2004), Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture, *Remote Sensing of Environment*, 90:337-352.

Markwell, J., Ostermann, J. C. and Mitchell, J.L. (1995), Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter, *Photosynthesis Research*, 46:467-472.

Rouse, J. W., R. H., Haas, J. A., Shell, D.W., Deering and J.C., Harlan, (1974). *Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation*, Final Report, Type III, NASA/GSFC, Greenbelt, MD, 371 pp.

Vincini M., Frazzi, E., Calegari, F., D'Alessio, P., Boschetti, M., Giardino, C., Coren, F., Galli, A. (2005). Il centro CITIMAP per l'applicazione del telerilevamento all'agricoltura di precisione: attività sperimentale 2005. *Atti 9° Conferenza Nazionale ASITA*, Catania 15-18 novembre 2005.

Vincini M., Frazzi E., D'Alessio P., Calegari F., Tassi D., Cavalli A. (2006a). Il Centro CITIMAP: obiettivi dell'attività sperimentale e prospettive per la fornitura di servizi. Atti *Workshop Citimap: Il telerilevamento per un'agricoltura sostenibile*, Piacenza 20 aprile 2006.

Vincini M., Frazzi E., D'Alessio P. (2006b). Dipendenza angolare di alcuni indici spettrali da dati CHRIS/Proba su Mais e Barbabietola da zucchero. Atti *Workshop Citimap: Il telerilevamento per un'agricoltura sostenibile*, Piacenza 20 aprile 2006.