



## NUOVI SISTEMI DI TELERILEVAMENTO AEREO MULTISPETTRALE AD ALTA RISOLUZIONE: ESEMPI DI APPLICAZIONE NELL'AGRICOLTURA DI PRECISIONE

Dario PAPALE<sup>1</sup>, Claudio BELLI<sup>2</sup>, Beniamino GIOLI<sup>3</sup>, Sergio NOCE<sup>4</sup>, Riccardo VALENTINI<sup>1</sup>, Andrea VANNINI<sup>4</sup>

1. DISAFRI, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse, Università degli Studi della Tuscia di Viterbo, via S. Camillo del Lellis, s.n.c. – 01100 Viterbo, [darpap@unitus.it](mailto:darpap@unitus.it), [rik@unitus.it](mailto:rik@unitus.it)
2. TERRASYSTEM s.r.l., via A. Rosmini, 1 - 01100 Viterbo, [c.belli@terrasystem.it](mailto:c.belli@terrasystem.it)
3. CNR IBIMET, Istituto di Biometeorologia, via Giovanni Caproni 8 - 50145 Firenze, [b.gioli@ibimet.cnr.it](mailto:b.gioli@ibimet.cnr.it)
4. DIPROP, Dipartimento di Protezione delle Piante, Università degli Studi della Tuscia di Viterbo, via S. Camillo del Lellis, s.n.c. – 01100 Viterbo, [vannini@unitus.it](mailto:vannini@unitus.it)

### Riassunto

La frammentazione del territorio agricolo caratteristica del nostro paesaggio e l'eterogeneità delle colture agrarie richiedono l'impiego di sensori particolarmente avanzati in termini di risoluzione sia geometrica che temporale in particolare se volti ad applicazioni di supporto all'agricoltura di precisione. Recenti studi hanno inoltre dimostrato come migliori risultati si possano ottenere utilizzando dati iperspettrali in modelli o indici di vegetazione che utilizzano bande particolarmente strette e ravvicinate (red edge, PRI) che non sono quasi mai disponibili nei sensori satellitari attualmente operativi. D'altra parte, le risorse economiche disponibili per l'acquisizione e l'elaborazione dei dati non sempre permettono l'utilizzo di sensori iperspettrali aviotrasportati che tra l'altro spesso vengono fortemente sotto-utilizzati rispetto alle potenzialità dei dati raccolti. Il DISAFRI dell'Università degli Studi della Tuscia e il CNR IBIMET hanno sviluppato una serie di sensori che possono essere utilizzati su piattaforme aeree economiche e flessibili allo scopo di rendere il telerilevamento aereo uno strumento di indagine applicabile anche in casi dove finora è stato poco impiegato. Tra i sensori sviluppati vi è una camera multispettrale a CCD (ASPIS) che acquisisce in 4 bande preselezionabili e che è stata utilizzata anche in applicazioni di tipo agricolo. Verranno presentati sia i sensori che la piattaforma aerea utilizzata oltre ad alcuni esempi applicativi nell'ambito dell'agricoltura di precisione, riguardanti la stima del contenuto proteico del frumento duro in pre-raccolta e la mappatura delle aree a castagno affette dalla fitopatia del *mal dell'inchiostro*. I vantaggi ed i limiti di questa tipologia di sensori a basso costo verranno evidenziati sulla base delle esperienze svolte.

Parole chiave: telerilevamento aereo, CCD, proteine del grano, mal dell'inchiostro del castagno

### Summary

*Fragmentation and heterogeneity are typical features of Italian agricultural landscape, and precision farming applications in this context require high spatial and temporal resolution monitoring devices. Recent studies have demonstrated that vegetation indices utilizing narrow and close to each other wavelengths (like PRI or red edge indices), that are not generally available on satellite sensors, are particularly promising.*

*The high cost associated with the use and the data processing of airborne hyperspectral sensors limits their operational utilization. DISAFRI of Tuscia University and IBIMET CNR have developed in the last years a suite of sensors that can be installed on small and flexible aerial platforms, allowing airborne remote sensing to be used as an effective operational tool in new environmental monitoring applications. Such sensors include*

*a digital CCD multispectral camera (ASPIS) capable of acquiring images in 4 spectral user-selectable bands. This instrument has been used for agricultural applications, that will be illustrated: the estimate of protein content of durum wheat during the pre-harvesting phase and the mapping of chestnut phytopathies in central Italy. The advantages and the limits of this kind of sensors and applications, based on such practical experiences, will be finally highlighted.*

*Key words: airborne remote sensing, CCD, wheat protein content, chestnut phytopathies*

## **INTRODUZIONE**

Il DISAFRI insieme a poche altre realtà nazionali di ricerca, tra cui il CNR IBIMET, ha da anni attivato una linea di ricerca sullo sviluppo di sensori aerotrasportati per lo studio delle risorse ambientali, agricole e forestali, caratterizzati dalla facilità di impiego, economicità e flessibilità d'uso, in modo da superare le rigidità imposte dal rilievo aereo ambientale classico che ne limitano di fatto l'impiego a campagne estensive di ripresa e a ingenti finanziamenti.

Da sempre la filosofia è stata quella di utilizzare vettori aerei piccoli, monomotore o bimotori, e sensori realizzati nell'ambito di un veloce progresso tecnologico che soprattutto nei campi dell'elettronica applicata ai sistemi di visione e controllo, fornisce sempre maggiori possibilità a costi relativamente bassi. Tutto questo permette oggi l'impiego del rilievo aereo ambientale in campi fino a qualche anno fa impensabili, rappresentando una moderna e innovativa tecnologia a disposizione del ricercatore, del tecnico, dell'amministratore e più in generale del politico.

Descrivendo brevemente l'attività fin qui svolta in questo settore, si è iniziato nel 1997 con la realizzazione del sensore DARWIN (Papale, 1997), un sistema di ripresa immagini analogico in 4 diverse bande dello spettro elettromagnetico (tra 400 e 900 nm) poi sostituito dalla versione digitale, il QSM, costruito con la collaborazione della RSDA di Milano. Questi sensori erano alloggiati su deltaplani a motore ed acquisivano immagini a bassa risoluzione. L'evoluzione è stato l'ASPIS (Advanced SPectroscopic Imaging System), un sistema digitale di acquisizione di immagini multispettrali realizzato nel 2001 ad alta risoluzione geometrica e radiometrica, e il sistema di mappatura DFR (Duncan Flir Riegl) realizzato in collaborazione con il CNR IBIMET per l'acquisizione di immagini multispettrali e termiche. L'ultima evoluzione di questa famiglia di sensori multispettrali è rappresentata da un nuovo sensore ASPIS-II attualmente in fase di sviluppo e realizzazione.

## **IL SENSORE ASPIS**

Il sensore ASPIS è composto da 4 camere digitali indipendenti, ognuna con la propria ottica, e CCD da 512 x 768 pixel (Papale et al., 2002). La scelta delle 4 camere indipendenti è stata fatta per evitare perdita di luminosità ma ha portato dei problemi di allineamento degli assi ottici che ha richiesto una pre-elaborazione dedicata.

Con lo sviluppo di nuovi componenti elettronici e ottici avvenuto negli ultimi anni, nel nuovo sistema ASPIS-II verranno utilizzate 4 camere CCD-digitali, 2000 x 2000 pixel, con risoluzione radiometrica a 14 bit ed ottica unica per l'acquisizione di immagini spettroscopiche nel range del visibile-vicino infrarosso (400 – 1000 nm). Le bande potranno essere selezionate in modo flessibile in base al tipo di applicazione richiesta, tramite l'adozione di appositi filtri dedicati. La scelta ed il posizionamento

dei filtri può essere fatto in volo, consentendo di acquisire un numero di bande spettrali superiore a 4.

L'ASPIS viene gestito attraverso un software dedicato con cui si impostano e si controllano tutti i parametri relativi all'acquisizione, quali il tempo di esposizione, il gain, il filtro, il delay di scatto, il numero di frame per strisciata, etc.

Per rilevazioni nell'infrarosso termico, viene attualmente impiegata una camera IR FLIR SC500, dotata di un CCD microbolometrico da 320 x 240 pixel sensibile nel range spettrale compreso tra 7500 e 13000 nm. Questi sistemi a seconda del tipo di applicazione possono essere affiancati in alternativa da 2 tipologie di altimetro laser; uno che acquisisce il dato alla frequenza di 100 Hz da una distanza massima di 500 m e l'altro che acquisisce il dato a 4 Hz da una distanza massima di 1000 m.

Un'unità INS/GPS (C-MIGITS III, Bei Systron Donner) accoppiata alle camere provvede alla acquisizione di dati relativi alla posizione ed all'orientamento spaziale della piattaforma per la successiva applicazione di tecniche automatiche di 'direct georeferencing' per la ortoproiezione automatica delle immagini acquisite che sono tuttavia ancora in fase di sviluppo.

Tutti i sistemi descritti sono attualmente alloggiati a bordo dell'aereo SKY ARROW 650 TC costruito dalle Iniziative Industriali Italiane. Il velivolo è equipaggiato con motore Rotax da 80 o 100 HP ed ha un'autonomia al volo di 3.5 ore. Estremamente maneggevole e flessibile nell'uso può decollare e atterrare da aeroporti, aviosuperfici e campi di volo con lunghezza della pista di appena 500 m. I sorvoli possono essere effettuati ad quota compresa tra i 300 e i 4000 m s.l.m..Il velivolo è certificato secondo la normativa aeronautica europea (JAR) per poter ospitare i sensori descritti.

## **LA STIMA DEL CONTENUTO PROTEICO DEL GRANO**

Una delle prime applicazioni del sistema ASPIS è stata nell'ambito del progetto SINPREF, condotto dalla CO.RI.AL. (Consorzio Ricerche Alimentari) – Barilla e CNR – IBIMET, per la previsione della resa e della qualità del grano duro alla raccolta. Nell'ambito di questo progetto, è stata svolta un'attività sperimentale di ricerca, che ha avuto come obiettivo principale quello di valutare se con un sistema di telerilevamento aereo a basso costo era possibile determinare attraverso le informazioni spettrali il contenuto di azoto in pre-raccolta di alcuni campi sperimentali coltivati a grano duro.

L'azoto e il relativo contenuto in proteine, sono alla base dei parametri di qualità del grano utilizzato nei processi di panificazione e pastificazione. L'interesse ultimo di questo studio era legato alla possibilità di monitorare con il telerilevamento aereo in pieno campo il contenuto di azoto del grano nelle fasi precedenti la maturazione partendo dalle relazioni trovate di volta in volta su campi sperimentali di riferimento.

L'attività si è svolta in due fasi: nella prima è stata praticata un'attività di misure a terra con spettrometro GER per l'acquisizione e l'analisi delle firme spettrali del grano sui campi sperimentali di riferimento, al fine di individuare le bande spettrali da utilizzare con l'ASPIS perchè più correlati al contenuto di azoto.

I campi sperimentali di riferimento su cui sono stati effettuati i rilievi a terra avevano dimensioni di 30 x 30 m, divisi in 12 parcelle di 15 x 5 m, in cui sono state coltivate 3 varietà differenti di grano duro (Svevo, Simeto e Iride o Colosseo) a 4 differenti livelli di tesi azotata: N0, N40, N80 e N120 (i numeri corrispondono a Kg N ha<sup>-1</sup>), allo scopo di ottenere parcelle omogenee in contenuto di azoto e un campo

catalogo rappresentativo della variabilità reale in campo. I campi sperimentali sono stati realizzati in due diverse località: Cerignola in provincia di Foggia e Falconara in provincia di Ancona (questo ultimo costituito solo da 8 parcelle, coltivate con la varietà Svevo, ai 4 livelli di tesi azotata, replicati due volte).

Le misure effettuate con il GER 3700 a terra per acquisire le firme spettrali hanno riguardato tutti i campi sperimentali con quattro misure per ogni parcella. Per ogni punto monitorato è stato raccolto un campione su cui è stato determinato il contenuto di azoto al NIR, uno spettrofotometro calibrato per stimare il contenuto proteico delle piante attraverso la misura dell'azoto.

Dall'analisi delle relazioni tra diversi indici di vegetazione e contenuto proteico è risultato che i parametri estratti dalle curve GER che riescono a garantire i risultati migliori sono quelli del *Red Edge*. Chiaramente avendo a disposizione nell'ASPIS solo 4 bande di acquisizione contemporanea alcuni dei possibili indici del *Red Edge* non possono essere applicati. Da una serie di prove le 4 lunghezze d'onda selezionate all'interno dell'area *Red Edge* sono state 701.0 – 719.3 – 733.5 – 748.5 nm con larghezza 10 nm.

Le riprese con il sistema ASPIS sui due campi sperimentali sono state realizzate nella primavera dell'anno 2003 in corrispondenza di precisi fasi fenologiche delle piante: il primo volo, in coincidenza dell'inizio della fase di spigatura del grano (generalmente a Foggia coincide con fine Marzo, inizio Aprile) e il secondo volo, in coincidenza della fase di inizio maturazione latte della spiga (fine Aprile). La scelta dei periodi è stata fatta in base ai risultati ottenuti con il GER e in considerazione del fatto che alla spigatura si ha la massima concentrazione di azoto nelle foglie (Filella et al, 1994 e 1995) mentre con il procedere della maturazione latte nella pianta diminuisce il contenuto di clorofilla fogliare e di acqua e contemporaneamente inizia la traslocazione delle sostanze di riserva dalle foglie alla cariosside che comincia ad ingrossarsi (Casadesús et al, 2000).

I sorvoli sui campi sono stati effettuati in condizioni meteorologiche prevalenti di cielo limpido, ripetuti più volte nell'arco della giornata, ad una quota di 600 m rispetto alla linea di terra a cui corrisponde una risoluzione geometrica per pixel di circa 0.5 x 0.5 m. Con ogni passaggio sono state riprese circa dieci immagini per campo. Nello stesso giorno dei sorvoli sono stati effettuati sul campo i campionamenti per la determinazione del contenuto di proteine per parcella con lo stesso protocollo effettuato per la prima fase. Infine sono state determinate le rese proteiche della granella alla raccolta per il solo campo di Cerignola.

Per limitare l'effetto della BRDF le analisi delle immagini ASPIS hanno riguardato un'area di circa +/- 4° rispetto all'asse nadirale corrispondenti ad una sub-immagine di circa 180 x 180 pixel ritagliata sul centro del fotogramma (figura 1).

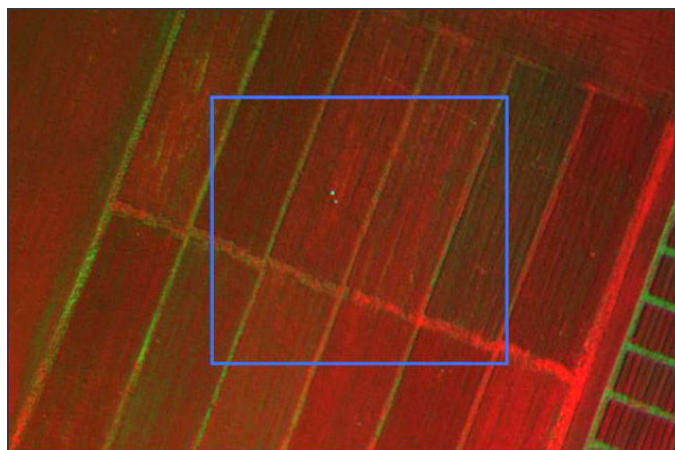


Fig. 1. Immagine ASPIS di un campo. Esempio di sub-immagine di 180 x 180 pixel utile per l'elaborazione

Sono stati calcolati diversi indici di vegetazione utilizzando i dati GER (Thenkabail et al. 2000) per individuare quale fosse il più adatto agli scopi della ricerca ed è stato scelto di utilizzare un indice denominato *Red Edge Mean Slope* (REMS) che matematicamente esprime il valore medio della pendenza di *Red Edge* nell'intervallo spettrale compreso tra 701 – 748.5 nm, +/- 5 nm (larghezza di banda dei filtri); analiticamente è definito dalla eq. 1:

$$\text{REMS} = \frac{\overline{\partial \rho}}{\partial \lambda} \cong \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\rho_{i+1} - \rho_i}{\lambda_{i+1} - \lambda_i} \quad (1)$$

dove: n rappresenta il numero delle bande; la lunghezze d'onda e la risposta spettrale della banda iesima.

Il valore di REMS associato ad ogni parcella è stato calcolato come media dei valori dell'indice in tutti i fotogrammi in cui la parcella era visibile ed è stata poi trovata la relazione che tra REMS e valori di proteine reali rilevati dal campionamento a terra per ogni parcella. Nel calcolare la relazione è stato tenuto conto anche della quantità di pixel ricadenti in ciascuna particella (Belli, 2003).

In figura 2 è mostrata la relazione REMS – contenuto proteico della pianta per il campo sperimentale di Falconara. La relazione mostra una buona correlazione ( $r^2=0.803$ ) anche se non è stato possibile utilizzare i dati di una delle parcelle a causa di un errore nel campionamento.

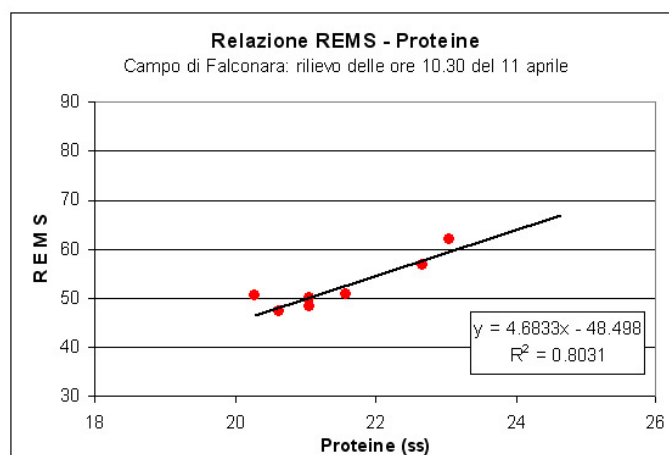


Fig. 2. Grafico della relazione REMS-proteine del campo di Falconara in data 11 aprile

In figura 3 è riportata la relazione trovata tra REMS e contenuto proteico della pianta per il campo di Cerignola. Anche in questo caso una delle particelle non è stata utilizzata perché non ben coperta dalle immagini telerilevate. In figura 4 è invece mostrata la relazione trovata per lo stesso campo ed utilizzando le stesse immagini tra REMS e valori di contenuto proteico della granella alla raccolta. Come si può notare la correlazione aumenta e ciò potrebbe essere dovuto alla riduzione dell'incertezza nelle misure di contenuto proteico.

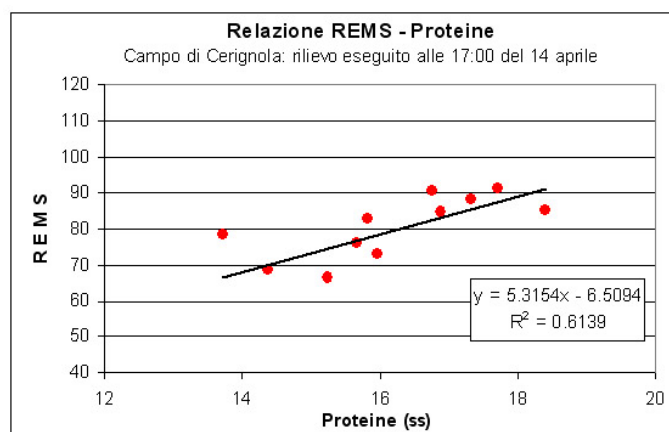


Fig. 3. Grafico della relazione REMS-proteine del campo di Cerignola in data 14 aprile

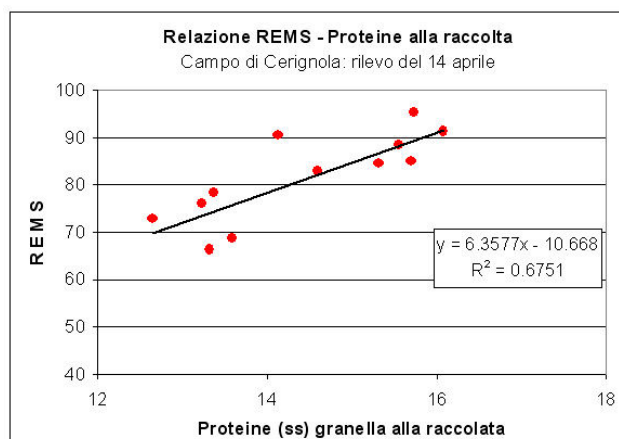


Fig. 4. Grafico della relazione REMS-proteine della granella del campo di Cerignola in data 14 aprile

### MONITORAGGIO DEL MAL DELL'INCHIOSTRO DEL CASTAGNO

In questa applicazione vengono presentati alcuni risultati del progetto PRAL finanziato dalla Regione Lazio dal titolo "Messa a punto e attuazione di reti di monitoraggio e di valutazione del rischio per il mal dell'inchiostro del castagno" realizzato dal DIPROP (Dipartimento della Protezione delle Piante) dell'Università degli Studi della Tuscia in collaborazione con la società Terrasystem srl. Scopo della ricerca è stato quello di sviluppare nuove tecnologie per il monitoraggio in ambiente forestale della fitopatia del mal dell'inchiostro del castagno, attraverso metodologie di telerilevamento integrate a tecniche di analisi spaziale e geostatistica. Il mal dell'inchiostro (causata da funghi del genere *Phytophthora*) rappresenta oggi la più grave fitopatia per questa specie forestale causando nella chioma un iniziale languore di interi settori con microfillia e viraggio del colore delle foglie a verde pallido fino all'ingiallimento completo delle stesse. Colpisce indiscriminatamente piante di ogni età sia piante in vivaio, sia in frutteti che in bosco, portando a morte la piante generalmente tra 1 e 3 anni dall'attacco (Vannini et al, 2005a).

L'area di ricerca di estensione di circa 25 km<sup>2</sup> ha interessato i comprensori castanicoli dei Monti del Cicolano della provincia di Rieti nei comuni di Marcatelli e Pescorocchiano. Sono stati effettuati 2 voli con ASPIS rispettivamente il 16-17 settembre del 2003 e il 2 luglio del 2004 ad una quota di circa 2000 m s.l.m. ottenendo immagini con risoluzione geometrica media per pixel di 0.8 m. Sono state acquisite per volo circa 290 immagini a 3 bande spettrali delle lunghezze d'onda di: 550 nm (verde); 680 nm (rosso) e 780 nm (infrarosso vicino), con larghezza di banda di 10 nm. La sovrapposizione tra i frames è stata del 50% lungo la direzione del volo e del 20% lateralmente tra le strisciate.

Le immagini sono state ortoproiettate, sono state create delle composizioni in falsi colori e poi mosaicate utilizzando l'algoritmo di ricampionamento nearest neighbour (figura 5)

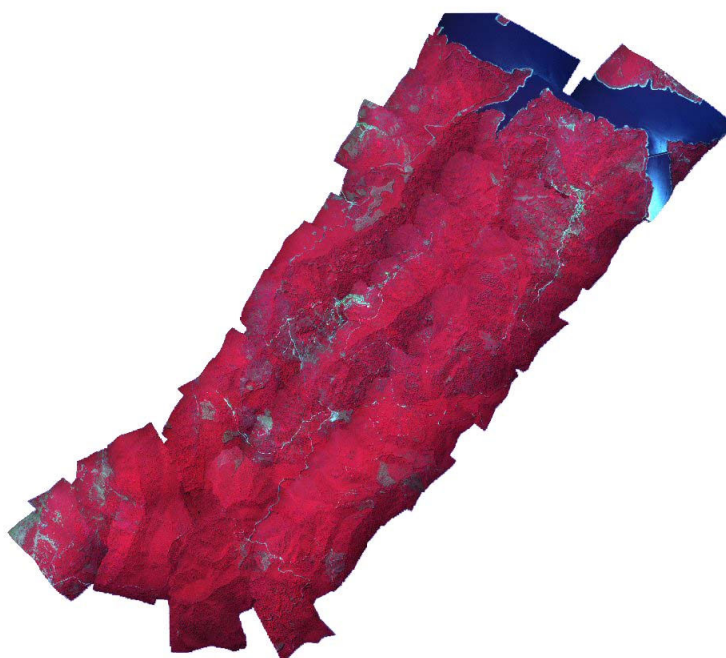


Fig. 5. Mosaico delle composizioni falsi colori ortoproiettate

Contemporaneamente all'acquisizione delle immagini è stato effettuato un campionamento a terra durante il quale le piante malate sono state classificate utilizzando una scala visuale di malattia e georeferenziate con GPS differenziale (Vannini et al, 2005b).

L'utilizzo di questi dati ha permesso l'individuazione sulle ortofoto in falsi colori ASPIS delle piante malate che sono servite come esempio per la successiva perimetrazione attraverso fotointerpretazione delle aree potenzialmente colpite dalla malattia. Un secondo rilievo a terra è stato utilizzato per la validazione della fotointerpretazione. Si è infine proceduto a completare le mappe di estensione della malattia del mal dell'inchiostro del 2003 e del 2004.

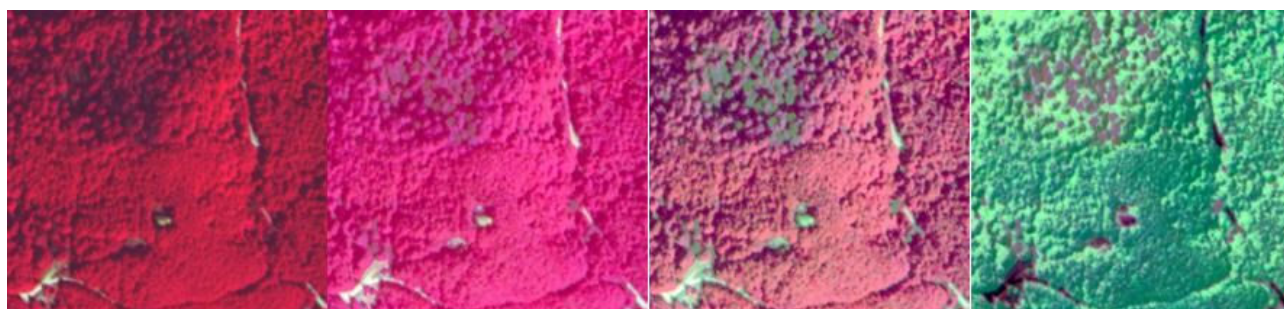


Fig. 6. esempio di focolaio visibile sulla composizione falsi colori

Dal confronto della situazione del 2003 – 2004 è risultato che l'area totale del comprensorio del comune di Marcellini (RI) dedicata alla coltivazione del castagno è pari a 318,72 ha. Nel 2003 le aree colpite da mal dell'inchiostro ammontavano a 44,86 ha, corrispondenti al 14,07 % del totale, mentre nel 2004, con un incremento di 9,13 ha si è giunti a 53,99 ha, pari al 16,94 % del totale. Le aree di incremento sono state distinte in espansioni di vecchi focolai (4,99 ha) e formazione di nuovi



focolai (4,14 ha).

I nuovi focolai sono stati sovrapposti ai parametri territoriali per individuare l'influenza della distanza dalle strade e la pendenza delle aree infette sulla diffusione del patogeno. La rete viaria è stata ottenuta integrando la rete stradale principale presente sulla Carta Tecnica Regionale (CTR) con la rete secondaria e la viabilità forestale individuata e digitalizzata direttamente sulle ortofoto ASPIS.

La malattia è risultata statisticamente associata alla presenza di strade che costeggiano o attraversano le aree castanicole; infatti, relativamente alle aree colpite dal mal dell'inchiostro, all'aumentare della densità di strade, espressa come metri lineari per ettaro, aumenta la superficie malata ( $r^2=0,46$   $P\leq 0,0001$ ) (Figura 7).

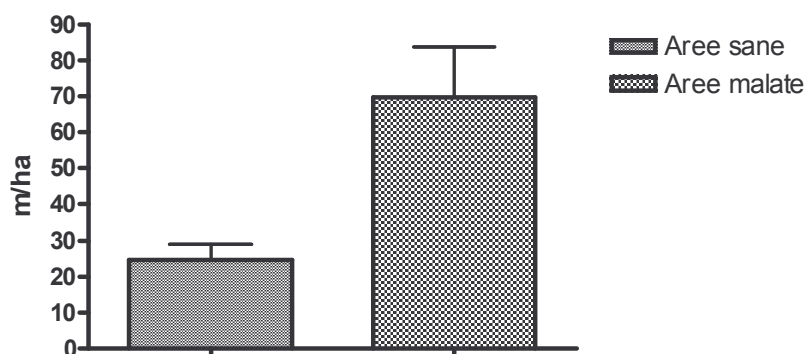


Fig. 7. incidenza media della densità stradale (metri lineari ad ettaro) su aree sane e malate

In figura 8 è mostrata la distribuzione percentuale dell'infezione in funzione della distanza dalle strade. Tendenzialmente i valori percentuali di tutti i focolai, eccezione fatta nel caso dell'espansione dai vecchi focolai, risultano inversamente proporzionali alla distanza, con una spiccata predominanza della classe di 25 m, confermando il ruolo della viabilità nella diffusione del patogeno (Noce, 2005).

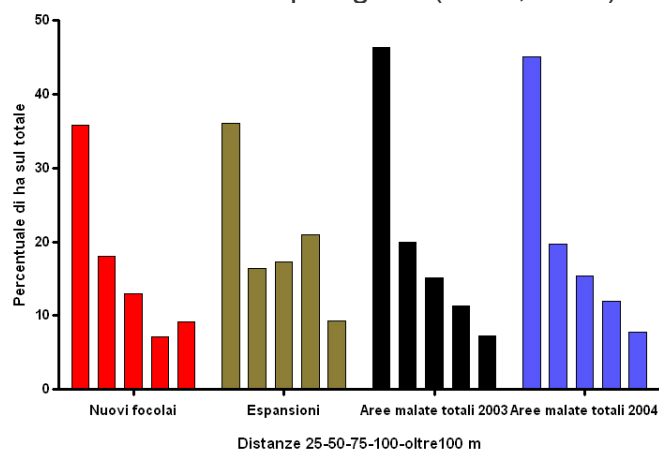


Fig. 8. Distribuzione dei focolai in funzione della distanza dalle strade

## CONCLUSIONI

Il sistema di telerilevamento multispettrale ASPIS è stato sviluppato con lo scopo di ottenere uno strumento per il telerilevamento aereo flessibile ed economico che potesse trovare applicazione in tutti quei campi dove ad oggi questa tecnica non

è ancora diffusamente utilizzata. L'ASPIS è stato utilizzato oltre che per le applicazioni sopra descritte anche in altri contesti quale ad esempio la mappatura delle aree percorse dal fuoco per la realizzazione del Catasto Incendi Boschivi 2004 della Regione Lazio nell'ambito del progetto SIMIB (SIMIB, 2004). In tutte le applicazioni il sistema ha mostrato chiaramente le sue potenzialità (flessibilità, economicità, possibilità di ottenere risoluzioni geometriche spinte) ma anche i suoi limiti principalmente dovuti al vettore aereo la cui dinamica di volo non risulta stabile se confrontata a quella di aerei bimotori, e alle caratteristiche costruttive del sensore stesso (come ad es. le 4 ottiche separate); problemi questi che dovrebbero essere risolti con la realizzazione della nuova versione ASPIS-II già in fase avanzata e l'impiego di una piattaforma bimotore.

I risultati ottenuti nelle due applicazioni descritte, mostrano la capacità del sistema di telerilevamento adottato sia nel supporto all'individuazione di piante di castagno morte e deperienti anche su larga scala che nella stima del contenuto proteico del grano in preraccolta. Due applicazioni diverse che danno un'idea delle potenzialità legate all'utilizzo di questo sensore nell'indagine e nel monitoraggio nell'ambito dell'agricoltura di precisione.

## BIBLIOGRAFIA

- Casadesús, J., Tambussi, E., Royo, C. and Araus, J.L., (2000) Growth assessment of individual plants by an adapted remote sensing technique, *Agron. J.*, 91: 129-132.
- Belli, C., (2003). L' Advanced SPectroscopic Imaging System (ASPIS). Un nuovo sistema digitale di telerilevamento aereo per lo studio delle risorse agricole – forestali, *Tesi di Dottorato di Ricerca in Ecologia Forestale XV Ciclo. DISAFRI, Università degli Studi della Tuscia di Viterbo.*
- Ferrio, J.P., Bertran, E., Nachit, M.M., Royo, C. and Araus, J.L., (2000) Near infrared reflectance spectroscopy as a new screening tool to increase durum wheat yield, *Agron. J.*, 91: 141-144.
- Filella, I., Peñuelas, L., (1994). The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status, *Int. J. Remote Sensing*, 15: 1459-1470.
- Filella, I., Serrano, L., Serra, J., Peñuelas, L., (1995). Evaluating Wheat Nitrogen Status with Canopy Reflectance Indices and Discriminant Analysis, *Crop Science*, 35: 1440-1405.
- Noce, S., (2005). Nuove tecniche di monitoraggio del mal dell'inchiostro del castagno e studi sulla dinamica dell'inoculo dell'agente causale *Phitophtora cambivora*. *Tesi di laurea, Facoltà di Agraria, DIPROP, Università degli Studi della Tuscia di Viterbo.*
- Papale, D., (1997). Possibilità di impiego di metodologie di remote e proximal sensing per lo studio degli ecosistemi forestali, *Tesi di Laurea, Facoltà di Agraria, DISAFRI, Università di Viterbo.*
- Papale, D., Vitullo, M., Belli, C., Valentini, R., (2002). Un nuovo strumento di proximal sensing per lo studio degli ecosistemi agroforestali: l'AS.P.I.S. (Advanced SPectroscopic Imaging System), *Atti del III Convegno Nazionale SISEF. "Alberi e Foreste per il nuovo millennio", Viterbo 15/18 Ottobre 2001.*
- SIMIB, (2005). Rapporto finale della convenzione di ricerca con il MIPAF "Sistema Informativo per il Monitoraggio degli Incendi Boschivi (SIMIB), a cura del DISAFRI, Università degli Studi della Tuscia di Viterbo.

- Thenkabail, P.S., Smith, R.B. and De Pauw, E., (2000). Hyperspectral Vegetation Indices and Their Relationships with Agricultural Crop Characteristics *Remote Sens. Environ.*, 71: 158-182.
- Vannini, A., Vettrano, M., Fabi, A., Montagni, A., Valentini, R., Belli. C., (2005a). Monitoring Ink Disease of Chestnut with the Airborne Multispectral System A.S.P.I.S., *Acta Horticulturae* 693, 529-533.
- Vannini, A., Vettrano, M., Fabi, A., Montagni, A., Valentini, R., Belli. C., (2005b). Individuazione di tecniche innovative per il monitoraggio del "Mal dell'inchiostro" del castagno su scala comprensoriale. *Atti della 9ª Conferenza Nazionale ASITA*, Catania 15 - 18 novembre 2005.