L'UTILIZZO DEI DATI IPERSPETTRALI MIVIS PER UN'ANALISI GEOGRAFICO-TERRITORIALE: LA MEDIA VALLE DEL TAGLIAMENTO COME CASO DI STUDIO*

HYPERSPECTRAL DATA (MIVIS) TO STUDY THE TAGLIAMENTO MIDDLE VALLEY

Giovanni Mauro (*), **Andrea Di Lullo** (**)

(*) C.E.T.A. (Centro di Ecologia Teorica a Applicata) - Gorizia.
(**) Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Scienze Geografiche e Storiche.

Riassunto

L'obiettivo del presente lavoro è quello di utilizzare dati telerilevati dal sensore iperspettrale Mivis, per creare una carta tematica di una zona di ridotte dimensioni, rappresentativa dell'area montana della Carnia. Il telerilevamento iperspettrale da aereo si rivela, grazie alla sua elevata risoluzione spaziale e spettrale, un valido strumento nella mappatura d'uso del suolo. La procedura costituisce un primo approccio volto a sviluppare una metodologia semi-automatica per lo studio del territorio.

Abstract

The aim of this paper is define a methodology to use the hyperspectral data (Mivis), in order to create a thematic map in a mountain area (Carnia, Friuli - Venezia Giulia). Hyperspectral aerial remote sensing can be a useful tool to geographical, environmental and forestry studies. The procedure represent a first approach, in order to develop one semi-automatic methodology for the land studies by Mivis data.

1. Introduzione

La mappatura in *real time* del territorio rappresenta un aspetto chiave per pianificare la sua conservazione e per definire programmi di monitoraggio della biodiversità. L'utilizzo di immagini ad elevata risoluzione spaziale e spettrale come MIVIS (*Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer*) può poten-

* Il presente lavoro è stato realizzato in piena collaborazione tra gli Autori. Tuttavia a fini concorsuali si precisa che ad Andrea Di Lullo si devono i paragrafi 1, 2, 3 e 4 e a Giovanni Mauro si devono i paragrafi 5 e 6.

zialmente permettere di raggiungere risultati molto promettenti nell'ambito dell'uso del telerilevamento per identificare problematiche ambientali. Questo strumento di proprietà del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), massimo organo di ricerca dello Stato Italiano, è l'unico ed il più avanzato sistema iperspettrale aviotrasportato in ambito internazionale in grado di operare con un numero così elevato di canali (102), oltretutto in ripresa contemporanea dal visibile all'infrarosso termico. Un numero così alto di bande, unito ad una risoluzione spaziale che può arrivare, in funzione dell'altezza della piattaforma, fino ad 1 metro, determina un livello di indagine del territorio molto preciso. Le potenzialità del sensore particolarmente alte permettono studi avanzati in diversi campi applicativi tra i quali anche quelli relativi all'uso del suolo e allo studio della vegetazione (ROSSI ET AL., 2000; CAVALLI ET AL., 2002; OLIVERI ET AL., 2004).

La Regione Friuli-Venezia Giulia ha predisposto un volo sperimentale con il sensore MIVIS nell'estate del 1999, effettuato dalla Compagnia Generale Ripreseaeree S.p.A. (CGR), la maggiore società in Italia e una delle principali a livello europeo, che operano nel campo del rilevamento del territorio. Le riprese effettuate sul territorio regionale coprono una zona stimata intorno ai 210.000 ettari[1] e sono orientate generalmente in direzione Nord-Sud, per ottimizzare l'area da coprire e garantire il minimo influsso dell'irraggiamento solare sui dati ripresi. Il piano di volo è stato definito in modo da garantire una quota di volo relativa di 2000 metri sulle cime più alte, al fine di ottenere una risoluzione spaziale a terra tra 4 e 7 metri per pixel, rispettivamente sulle cime delle montagne e nei fondovalle (DIREZIONE REGIONALE DELLE FORESTE E DELLA CACCIA, SERVIZIO DI SELVICOLTURA, 2002).

2. Area studio

Inquadramento territoriale. Il presente studio riguarda il territorio montano posto nella zona più meridionale della Carnia, regione alpina friulana localizzata tra le Dolomiti e le Alpi Giulie. In particolare, l'area in esame si estende nel comune di Socchieve, nella Media Valle del Tagliamento (Fig. 1).

L'elemento orografico più rilevante per questo territorio è il fiume Tagliamento. Nel primo tratto la valle del fiume è particolarmente stretta (Alta Valle del Tagliamento), ma il bacino si apre in corrispondenza dell'abitato di Socchieve. Un fondovalle non troppo ampio prosegue fino a Villa Santina, allargandosi all'altezza di Tolmezzo.

L'aspetto geomorfologico che caratterizza l'area in maniera determinante è senza dubbio da attribuire all'azione dei due ghiacciai principali che scorrevano

[1] Le aree coperte dai voli sono le seguenti: il territorio comunale di Trieste e della provincia di Gorizia; la fascia montana che comprende il monte Coglians e il monte Canin con la parte mediana del Canale del Ferro; l'Alta Valle del Tagliamento con a nord il lago di Sauris ed a sud la pedemontana pordenonese; la bassa pianura friulana nella zona di Latisana e l'area tra Pordenone e Portogruaro.

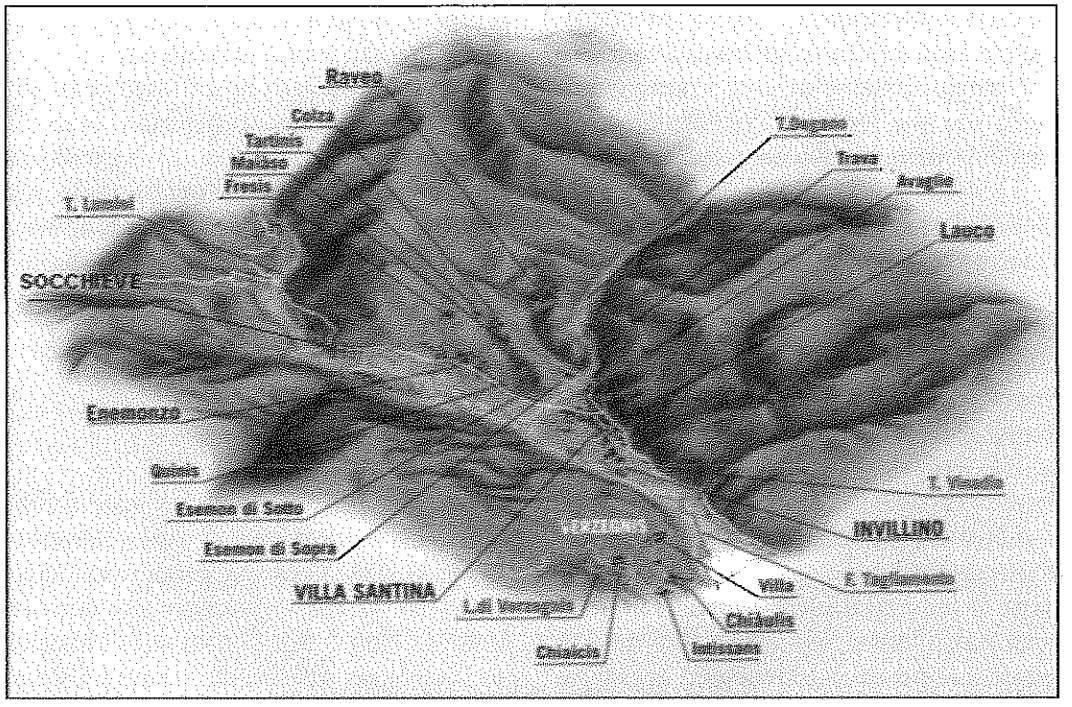

FIGURA 1 – *Ricostruzione tridimensionale dell'area oggetto di studio (fonte: CIGALOTTO E SANTORO, 2001).*

nella valle del Torrente Lumiei e nella valle del Fiume Tagliamento. Questi, assieme ai ghiacciai dei bacini minori confluenti, hanno determinato un paesaggio montuoso tipicamente alpino (LENARDUZZI, 2001).

Viste le condizioni orografiche del territorio, l'economia locale si è basata nel corso dei secoli scorsi sull'allevamento del bestiame e sulle risorse boschive: pascoli di fondovalle e d'altura, assieme allo sfruttamento dei boschi, sono stati per secoli le uniche attività redditizie per le popolazioni della Carnia (DE CILLA, 2000). Già dalla fine dell'ottocento e dagli inizi del secolo scorso questo territorio ha conosciuto però un calo demografico (GORTANI, 1957), accentuatisi nel secondo dopoguerra. L'economia montana che si reggeva su un fragile equilibrio interno ha subito, negli ultimi decenni, un tracollo determinato dal confronto con la più redditizia pianura. Anche gli abitanti di queste vallate hanno dovuto adattarsi ai nuovi modelli sociali ed economici, cioè emigrare o adattarsi al pendolarismo (REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA, 1999). Una politica di valorizzazione delle risorse naturali del territorio, di riscoperta delle tradizioni, di realizzazione di nuove infrastrutture e di nuovi insediamenti produttivi e di esenzioni ha parzialmente

limitato l'inarrestabile spopolamento di queste aree montane, in cui il fenomeno dell'emigrazione comporta conseguenze gravi per un territorio particolarmente «fragile» come quello carnico.

Uso del suolo. Per quanto riguarda l'uso del suolo, l'area oggetto di studio è caratterizzata dalla presenza preponderante di boschi; prati e pascoli, di particolare interesse al contempo paesaggistico, ambientale e naturalistico, ricoprono una superficie marginale. Gli insediamenti diffusi si concentrano nelle aree in cui la morfologia del territorio assume forme più dolci.

Oltre alle aree rupestri, ovvero alle parti rocciose prive di vegetazione (che occupano le parti sommitali dei monti), nella zona considerata, prati o coltivi si trovano prevalentemente a fondovalle, anche se molte di queste aree si presentano oggi come incolti. Le aree non coltivate sono molto aumentate negli ultimi decenni a causa del generale abbandono dell'attività agropastorale. In questa successione temporale i pascoli vengono dapprima sostituiti dalle praterie e quindi dal bosco. In particolare l'intervento umano ha favorito l'insediarsi in numerose zone dell'abete rosso o peccio, perché essenza arborea caratterizzata da crescita rapida ed in grado di fornire un ottimo legno da opera. Questa specie però, a differenza di un'altra specie molto diffusa in Carnia come il faggio, ha un apparato radicale prevalentemente superficiale. La sua diffusione, attuata all'interno di aree dove potrebbe instaurarsi una faggeta, ad esempio su pendii scoscesi, provoca la progressiva destabilizzazione del versante innescando nei casi più estremi eventi franosi, che lacerano i versanti e ne accrescono la vulnerabilità agli agenti atmosferici.

Questo territorio non è stato però abbandonato nel suo complesso, anzi. È proprio la presenza di un'agricoltura competitiva e di una sviluppata zootecnia che ha fatto si che non siano più appetibili pascoli o prati non così vicini ai centri abitati o connotati da pendenze eccessive (CIGALOTTO e SANTORO, 2001).

3. Fonte dei dati

Nel presente studio sono state utilizzate fonti eterogenee di dati. Relativamente ai dati di natura raster sono state analizzate alcune «strisciate» del sensore MIVIS (1999). I dati, forniti dalla Direzione Regionale del Friuli Venezia-Giulia, Servizio Cartografico, sono così identificati: la fri1_15b, la fri1_16b, la fri1_17a/b ,la fri1_18a/b, la fri1_19a/b la fri1_20a/b. Le strisciate sono ordinate progressivamente da ovest ad est e orientate in senso nord-sud; ognuna è composta da 755 pixel e da 4000 linee di scansione e 102 bande. Sono state inoltre utilizzate ortofoto digitali a colori (risoluzione spaziale: 1 m, scala nominale di 1:10.000 - 1998). Per quanto riguarda i dati di natura vettoriale sono state prese in esame le tavolette 048NE, 031SE, 031SO della Carta Regionale Numerica (CRN, scala 1:25.000, 1988), la Carta della Tipologia Vegetazionale Regionale (fornita dalla Direzione Regionale delle Foreste e della Caccia, Regione Friuli – Venezia Giulia, 2002). Sono stati inoltre considerati dati di natura cartacea, come il Piano Regolatore Generale Comunale (Norme di Attuazione,

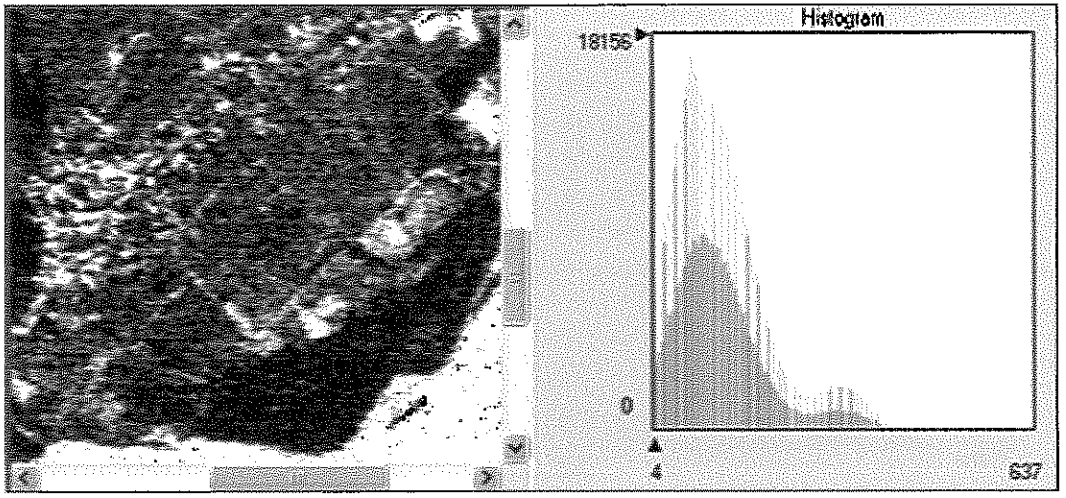

FIGURA 2 – *Esempio di bad band o banda disturbata(banda 59).*

Carta della zonizzazione a scala, a scala 1:10.000, e Carta dell'assetto vegetazionale) (2001), il Piano Economico Forestale (1999).

4. Metodologia

Lo studio è stato eseguito in due fasi principali, la prima delle quali consistente nella pre-elaborazione o preprocessamento[2] dell'immagine, la seconda nella sua classificazione.

4.1. Preprocessamento dell'immagine MIVIS

Selezione e ritaglio dell'immagine. Tra le diverse strisciate MIVIS che interessavano il territorio comunale è stata utilizzata la strisciata che ne copriva la parte centrale (nella quale ricade anche il paese di Socchieve) (strisciata fri1_20). Di questa immagine è stata selezionata una porzione di territorio limitrofa all'abitato.

Ritaglio spettrale. È stato eseguito un ritaglio sulla porzione di spettro di cui ci si è avvalsi per l'analisi. Sono state inizialmente identificate le bande disturbate (*bad bands*) dell'immagine MIVIS: ognuna delle 102 bande originali dell'immagine è stata analizzata, sia visivamente, sia mediante un'indagine sulla distribuzione di frequenza e sul relativo istogramma. L'immagine a video appare offuscata e sgranata, mentre l'istogramma corrispondente è disomogeneo e ad intervalli (Fig. 2). In questo modo sono state eliminate le bande valutate poco nitide e/o il cui isto-

[2] Con il termine pre-elaborazione digitale delle immagini o *digital image preprocessing* ci si riferisce a tutte quelle operazioni eseguite su un'immagine per trasformarla, in modo da rendere più agevole l'estrazione di informazioni riguardanti gli oggetti in essa rappresentati.

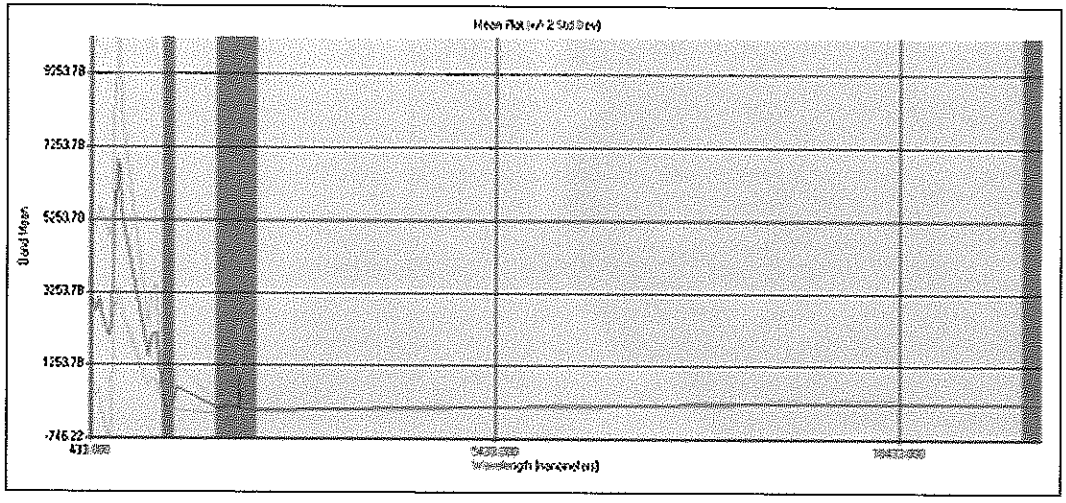

FIGURA 3 – *La porzione di spettro indagata dalle bande del* MIVIS. *Le zone in grigio scuro rappresentano le porzioni di spettro che sono state eliminate, in quanto bande disturbate.*

gramma delle frequenze presentava ridotta uniformità.

Una volta selezionate le bande non disturbate sono state scelte quelle ritenute utili alla ricerca, ossia le prime 24 bande (Fig. 3). La loro scelta è giustificata dal fatto che la vegetazione riflette principalmente nel rosso e nell'infrarosso vicino (NIR - Near InfraRed), oltre che nel verde. Sarebbe stato inutile coinvolgere le altre bande «pulite» (nella fattispecie le bande 28, 93-101) perché apportavano informazioni ridondanti, probabilmente non utili allo studio.

Georeferenziazione. L'immagine ottenuta dalle precedenti operazioni appariva affetta da una serie di distorsioni, dovute alle caratteristiche dei sensori a scansione e alla presenza di rilievi orografici. Al fine di minimizzare queste distorsioni l'immagine MIVIS è stata rettificata: sulle ortofoto digitali a colori (georiferite nel Sistema di Coordinate Geografiche Nazionale – Gauss Boaga - Fuso Est) sono stati identificati alcuni punti di controllo o GCP (*Ground Control Point*) sulla base dei quali è stata definita un'equazione polinomiale[3], utilizzata per georiferire l'immagine MIVIS. Per valutarne la correttezza, mediante una semplice analisi visiva, si è sovrapposta la CRN.

Minimizzazione dell'effetto topografico. La topografia di un territorio non comporta solo distorsioni geometriche sui dati telerilevati, ma anche un impat-

[3] Sono stati scelti venti GCP distribuiti uniformemente su tutta l'area, in modo da ottenere una correzione il più possibile accurata. È stata così definita un'equazione polinomiale di II° grado sulla base della quale l'immagine MIVIS è stata georiferita, utilizzando l'algoritmo *nearest neighbour* (RMS error: 4 m).

to sull'illuminazione. Per minimizzare gli effetti della topografia alquanto corrugata del territorio montano che circonda l'abitato di Socchieve, sono state identificate le zone d'ombra. Esse infatti possono dare risultati controversi nel successivo processo di classificazione. Sovrapponendo l'immagine MIVIS al modello digitale del terreno (DTM)[4] è stato possibile individuare univocabilmente le parti dell'immagine corrispondenti alle ombre. Essendo questo studio solo un primo approccio metodologico a dati iperspettrali e dato che l'area che ricadeva in ombra era comunque esigua, si è scelto di considerarla come «non classificata».

4.2. Classificazione dell'immagine MIVIS

Dopo questo insieme di operazioni di preprocessamento dell'immagine, essa è stata classificata. Al fine di individuare in modo grezzo le principali classi di copertura del suolo (classi *target*) è stata dapprima eseguita una semplice analisi visiva. Cambiando la combinazione delle bande, si sono potute identificare agevolmente aree vegetate (boschi, prati, seminativi) e aree urbanizzate.

In un secondo momento è stata realizzata una classificazione più dettagliata. Partendo dalle diverse fonti dati a disposizione, sono state dapprima identificate aree omogenee e spettralmente uniformi. In questo modo sono state definite otto classi di copertura del suolo alquanto dettagliate: edificato-infrastrutture, seminativi (mais, colture varie, superfici arate), aree mantenute a prato, corpi idrici, bosco d'abete rosso, pineta di pino nero e pino silvestre, bosco di latifoglie (acero montano, tiglio, faggio, frassino maggiore, rovere) e consorzio misto latifoglie-conifere. Tali regioni d'interesse sono state utilizzate come *input* per la successiva classificazione. La procedura di classificazione applicata è la tecnica parametrica *Constrained Energy Minimization* (CEM)[5], mediante la quale si confronta lo spettro dell'AOI *(Area of Interest)* con l'intera immagine. Successivamente è stato applicato un filtro digitale[6], per minimizzare l'effetto «sale e pepe», che viene determinato dalla presenza d'ombre o più semplicemente da una classificazione non rigorosa. A questo punto l'immagine classificata è stata segmentata, ossia sono state identificate le aree i cui punti presentavano caratte-

[4] Tale modello è stato generato partendo dalla CRN, la quale contiene le informazioni puntuali relative alla variabile altezza. Questi dati estrapolati dai layer delle curve di livello direttrici, intermedie e ausiliarie, dal layer dei punti quotati, dal layer dei caposaldi, dal layer dei punti IGM sono stati interpolati con l'algoritmo *Non-linear Rubber Sheeting* (implementato nel software ERDAS IMAGINE 8.7). Partendo da questo modello è stato possibile eseguire delle analisi relativamente alla quota, all'esposizione solare e all'acclività dei versanti.

[5] La tecnica del CEM è abbastanza utilizzata negli ultimi anni per la costruzione di un operatore lineare per uniformare i filtri delle immagini multispettrali. Il fine del CEM è di creare un filtro spettrale che minimizza la risposta spettrale del contorno della finestra del filtro e contemporaneamente enfatizza lo spettro del pixel centrale che ne rappresenta l'obiettivo (HOMAYOUNI E ROUX, 2004). In altre parole con questo operatore si cerca di trovare un filtro, che può comprimere tutte le bande dell'immagine iperspettrale in una sola.

[6] È stato applicato un filtro con la statistica media su un intorno quadrato di 5x5 *pixel*.

ristiche simili perché rappresentativi di realtà omogenee, ed è stato creato il relativo layer vettoriale, contenente tutte le informazioni relative all'uso del suolo[7].

5. Risultati

Il presente studio ha messo in evidenza alcune problematiche e alcuni vantaggi nell'utilizzo di dati iperspettrali MIVIS per l'analisi territoriale.

In particolare, in fase di preprocessamento, una delle difficoltà maggiori riscontrate è stata la georeferenziazione dell'immagine. In generale, le strisciate appaiono molto deformate. La notevole presenza di distorsione geometrica, imputabile sia alla particolare modalità di ripresa che all'orografia dell'area oggetto di studio, ha posto serie difficoltà nel riconoscimento di punti di controllo, in particolare in alcune zone dove non sono presenti elementi identificabili con precisione (nelle zone boscate, ad esempio, insediamenti urbani o strade, che possono essere buoni punti di riferimento, sono quasi completamente assenti). L'utilizzo di ulteriori fonte dati (CRN ed, in particolare, l'ortofoto digitale a colori), oltre che una soddisfacente conoscenza dell'area, hanno garantito comunque un buon risultato, i cui tempi di realizzazione sono, però, alquanto rilevanti.

Inoltre l'informazione fornita dal sensore MIVIS è apparsa talvolta disturbata, nonché ridondante. Per tale motivo, come evidenziato in precedenza, si è deciso di eliminare tutte le bande poco nitide *(bad bands),* oltre che quelle non utili allo scopo del presente lavoro.

L'elevato grado di dettaglio radiometrico e spaziale fornito da questo tipo di dati ha però permesso di discriminare, dapprima in modo macroscopico mediante analisi spaziale, quindi con maggior precisione (mediante l'applicazione dell'algoritmo CEM), le classi di uso del suolo. Il risultato è la realizzazione di una carta tematica dell'uso del suolo (Fig. 4), in formato sia digitale/vettoriale (ad ogni poligono corrisponde un record informativo e tali record sono organizzati in un geodatabase), sia raster.

Su questo risultato è stata eseguita una verifica di accuratezza *(Accuracy Assessment),* per controllare la conformità tra i dati che si reputano veri e l'immagine classificata. A tal fine sono stati effettuati diversi controlli in campagna, con strumenti di rilievo, quali fotocamera digitale e strumentazione GPS palmare a basso costo. L'accuratezza globale *(Overall Accuracy)*[8] è pari al 72%. L'analisi ha dato buoni risultati per aree omogenee e spettralmente uniformi e ciò si ri-

[7] Mediante operazioni di query incrociate sono state, inoltre, valutate in ambiente GIS vettoriale tutte quelle aree scarsamente significative. Si è infatti analizzata la tabella relativa all'area dei vari poligoni appartenenti ad ogni classe, e si è determinato un valore soglia al di sotto del quale i poligoni con scarso significato statistico. In questo modo sono state eliminate aree estremamente ridotte.

[8] L'accuratezza globale si ottiene dal rapporto tra i *pixel* classificati correttamente e il numero totale dei *pixel* dei dati di riferimento (LILLESAND E KIEFER, 1999). Tale rapporto viene espresso percentualmente.

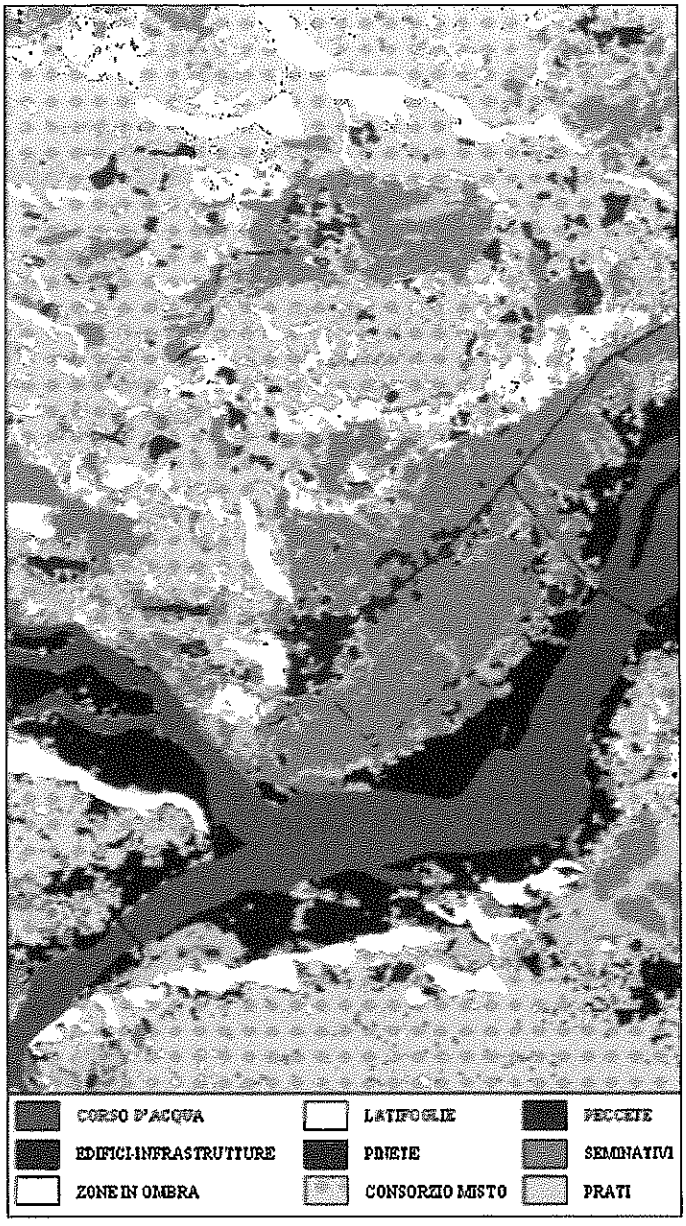

FIGURA 4 – *Carta d'uso del suolo.*

leva particolarmente vero per le zone edificate, per quelle prative, per il corpo idrico, per le superfici a seminativo[9] e per le composizioni forestali pure. I rimboschimenti di abete rosso e le pinete miste di pino nero e pino silvestre (disposte principalmente lungo il fiume Tagliamento), sono stati localizzati senza dubbi sull'immagine, grazie alla loro risposta spettrale caratteristica e univoca nell'infrarosso vicino (con un'accurattezza pari, rispettivamente, all'88% e all'87%). Buona è stata anche la localizzazione sul territorio delle formazioni boschive a latifoglie (71%). Maggiori problemi si sono verificati nella discriminazione dei boschi misti di conifere e latifoglie, i quali hanno una risposta spettrale troppo varia che riduce l'accurattezza della classificazione (33%). Dalla cartografia forestale regionale individua in questa zona due «unità» forestali limitrofe: la *faggeta submontana tipica* e la *pineta di pino silvestre esalpica tipica, variante submontana.*

La prima formazione fore-

[9] Nell'analisi del terreno agricolo si sono subito evidenziate le differenti riflettanze dei campi coltivati a mais, di quelli arati e di quelli mantenuti a colture varie. Considerando la stagione della strisciata (estate 1999) e le probabili variazioni avvenute, si è preferito includerle tutte nella stessa classe dei seminativi.

FIGURA 5 – *Consorzio misto latifoglie-conifere sulla riva destra del fiume Tagliamento (fonte: DI LULLO, 2004).*

stale è presente prevalentemente nei medi versanti esposti ad est o a sud. Nello strato arboreo domina nettamente il faggio, a cui si accompagnano poche altre specie, tra cui l'orniello, l'acero di monte, l'olmo montano, i tigli, il frassino maggiore e il carpino nero. Per quanto riguarda la seconda, essa è presente anche nelle zone alluvionali di fondovalle dove compare spesso anche la rovere. La rinnovazione del pino silvestre si insedia abbondante a seguito dei frequenti fenomeni alluvionali, che spesso sfoltiscono il vecchio soprassuolo, mentre la povertà del suolo impedisce l'affermazione di altre specie arboree, a parte la rovere che è però quasi sempre relegata nel piano dominato (DEL FAVERO, 1998). È possibile che, queste due unità forestali mantenute distinte nella cartografia ufficiale, costituiscano un unico sistema forestale complesso. Proprio per questo tale classe è stata valutata come «consorzio misto latifoglie-conifere» (Fig. 5). Tali risultati confermano, comunque, l'idoneità dell'utilizzo del sensore per indagini a carattere forestale, vista l'elevata capacità di discriminazione delle diverse specie arboree.

6. Conclusioni

Il presente lavoro ha evidenziato le potenzialità ma anche le difficoltà nell'utilizzo di dati iperspettrali MIVIS. Infatti, se da una parte l'utilizzo di questo sensore comporta vantaggi quali alta risoluzione geometrica e spettrale, dall'altra i dati telerilevati presentano forti distorsioni geometriche e radiometriche. La necessità di definire una procedura utile alla correzione delle immagini diventa perciò di fondamentale importanza, senza la quale ne deriva impossibilità di utilizzare questo tipo di dati. Tuttavia, una volta normalizzate le informazioni, tale approccio suscita un notevole interesse per le sue potenzialità applicative. In questo lavoro, infatti, l'elaborazione delle immagini disponibili ha prodotto la carta di uso del suolo, che ben distingue differenti pratiche silvoculturali.

Uno sviluppo futuro potrebbe prevedere la georeferenziazione di diverse strisciate limitrofe, in modo da coprire un'area vasta adatta ad un'analisi di ampia scala. Questa informazione, integrata da una libreria spettrale (realizzata mediante rilievi spettroradiometrici effettuati *in situ*), potrebbe agevolare le procedure di classificazione automatica e la conseguente mappatura d'uso del suolo. L'utilizzo di immagini iperspettrali potrebbe così assolvere alla visione sinottica del telerilevamento ossia potrebbe rivelarsi come un utile strumento investigativo per mettere in luce problematiche ambientali che non sempre risultano evidenti.

Bibliografia

CAVALLI R. M., FUSILLI L., GUIDI A., MARINO C. M., OTTAVIANO L., PIGNATTI S., VANNICELLI CASONI L., VINCI M., *Carta della vegetazione ed uso del suolo della provincia di Roma realizzata con dati MIVIS,* in «Atti 6ª conferenza nazionale ASITA», Perugia, Volume I, 2002, pp. 727-732.

CIGALOTTO P., SANTORO M., *Guida al Parco Intercomunale delle Colline Carniche,* Azienda dei Parchi e delle Foreste della Regione Friuli-Venezia Giulia, Cormons (Gorizia), 2001.

DE CILLA A., *I fiumi del Friuli Venezia Giulia*, Udine, Paolo Gasparri Editore, 2000.

DEL FAVERO R. (a cura di), *La vegetazione forestale e la selvicoltura nella regione Friuli-Venezia Giulia*, Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, Direzione Regionale delle Foreste e della Caccia - Servizio della Selvicoltura, Udine,1998.

DIREZIONE REGIONALE DELLE FORESTE E DELLA CACCIA, SERVIZIO DI SELVICOLTURA, *Analisi multispettrale per la verifica dello stato vegetazionale e del suolo montano,* Udine, 2002.

GORTANI M., *La montagna zona depressa*, «Terra Friulana», n. 6, 1957.

HOMAYOUNI S., ROUX M., *Hyperspectral image analysis for material mapping using spectral matching,* Proceedings XXth Congress ISPRS, Istanbul, Turkey, 2004, Vol. XXXV, Commission VII, pp. 49-55.

LENARDUZZI G., *Relazione geologica del PRGC del Comune di Socchieve,* Socchieve, 2003.

LILLESAND T.M., KIEFER R.W., *Remote sensing and image interpretation,* Fourth ed., New York, Wiley & Sons, 1999.

OLIVERI S., BOSCHETTI M., BOSCHETTI L., FURLANETTO D., CANOVA I., CASTROVINCI R., CASATI L., *Mappatura delle specie arboree del Parco del Ticino mediante te-*

lerilevamento iperspettrale, in «Atti della 8ª Conferenza Nazionale ASITA», Roma, 2004, Vol.II, pp.:1577-1582.

REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA (RAFVG), *Aree naturali protette.* Azienda dei Parchi e delle Foreste Regionali, Udine, 2000.

REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA (RAFVG), *Compendio statistico*, Edizione 1999. Sistema Statistico Nazionale, Servizio autonomo della Statistica, Udine, 2001.

ROSSI P., FERRARINI A., ZACARELLI N., ZURLINI G., *Riconoscimento degli habitat vegetazionale del bacino del Torrente Baganza (Parma) attraverso dati MIVIS*, Rivista italiana di Telerilevamento, n. 20-21, 2000, pp. 41-48.