

# PROCEDURE DI INTEGRAZIONE DI DATI LASERSCANNING ED IPER-SPETTRALI PER L'ESTRAZIONE AUTOMATICA DELLA GEOMETRIA STRADALE

Guido PREARO (\*), Giovanni RIGHETTI (\*\*)

(\*) Università degli Studi di Udine, Dipartimento di Georisorse e Territorio, via Cottonificio 114 - 33100 UDINE  
tel. 0432 558719, e-mail: guido.prearo@uniud.it

(\*\*) De Rerum Natura Engineering, via Cialdini, 46 - 61100 PESARO  
tel. 0721 31143, fax. 0721 - 32346 e-mail: info@dererumnatura.com

## Riassunto

Il rilievo LIDaR costituisce una delle metodologie più avanzate in grado di dare risposta alle problematiche poste dalla realizzazione del catasto stradale secondo le più recenti disposizioni normative. Tuttavia la descrizione di un'arteria stradale non può esaurirsi nella sola definizione della sua geometria. Il rilievo iper-spetttrale è in grado di fornire una vasta serie di meta-informazioni a pieno supporto del dato laser aereo. Al fine di dimostrare la piena integrabilità di dette metodologie di rilievo e di giungere alla completa raccolta delle informazioni sia geometriche che qualitative, è stata condotta una campagna di sperimentazione su alcuni tratti a diversa percorrenza, prevalentemente site nella zona del Basso Friuli. Gli autori hanno focalizzato l'attenzione su di un rilievo integrato laser a scansione aerotrasportato ed iper-spetttrale con il preciso obiettivo di giungere alla definizione, entro i margini di capitolato previsti dal Legislatore, tanto della geometria stradale, quanto di una scala qualitativa dello stato d'usura del manto stesso. I dati laser sono stati acquisiti con un sistema ALTM3100, alla densità media di 3 pti/m<sup>2</sup>, mentre quelli iper-spetttrali con un sistema AISA Eagle ad una risoluzione pixel al suolo di circa 1 m. L'intero risultato della ricerca, è stato poi confrontato con la Carta Tecnica (CTRN) fornita dalla Regione Friuli Venezia Giulia.

## Abstract

*This paper deals with the integration of LIDaR and hyperspectral data for the semi-automatic extraction of both road geometry and surface qualitative conditions. In fact, while airborne laserscanner data provide with a great amount of easy-access geometric informations, hyperspectral data enhance the possibility to prove the strong spectral evidence for asphalt aging and deterioration processes, hence field spectra showed that asphalt aging and deterioration produce measurable changes in spectra as these surfaces undergo a transition from hydrocarbon dominated new roads to mineral dominated older roads. Finally, this paper proves how image spectra should be correlated with spectral measures derived from field and with manually derived pavement quality indicators. In fact, spectral confusion between pavement material aging and asphalt mix erosion on the one hand, and structural road damages (e.g. cracking) on the other, poses some limits to remote sensing based mapping.*

## 1. Introduzione

L'utilizzo del rilievo laser altimetrico rappresenta una delle tecnologie di punta per la determinazione dei criteri geometrici delle reti viarie. La possibilità infatti di acquisire una vasta

---

La ricerca rientra nell'ambito delle attività previste dal progetto INTERREG IIIA Phare/CBC Italia-Slovenia "Ricomposizione della cartografia catastale e integrazione della cartografia tecnica regionale numerica per i sistemi informativi territoriali degli enti locali mediante sperimentazione di nuove tecnologie di rilevamento" svolto dall'Università di Udine in collaborazione con il Geodetski Inštitut Slovenije di Lubiana.

mole di dati su larga scala, con tempistiche relativamente contenute, consente di poter procedere alla derivazione speditiva delle primarie informazioni geometriche necessarie per l'adempimento delle specifiche dei maggiori capitolati d'appalto. Tuttavia, il dato laser altimetrico necessita, come noto, di lunghe e laboriose fasi di *post-processing*. Molto spesso tali procedure di segmentazione/classificazione vertono sull'implementazione di criteri fondati sull'analisi delle differenze geometriche dei punti laser.

Meno note, ma talvolta altrettanto efficaci, sono le tecniche di classificazione basate sull'integrazione del dato laser con immagini multi-risoluzione. La possibilità infatti di integrare il dato laser altimetrico con le meta-informazioni derivabili dalle ortofoto digitali che spesso accompagnano l'acquisizione del dato laser stesso, permette di utilizzare criteri di segmentazione del dato fondati sull'analisi delle componenti radiometriche (I) o colorimetriche (RGB). Tali tecniche possono tuttavia trovare maggior efficacia quando l'estrazione dell'informazione di radianza venga derivata non da immagini pancromatiche, ma bensì da immagini provenienti da sensori iper-spettrali, di comune utilizzo nell'ambito del telerilevamento classico. Queste, a seguito dell'implementazione di opportuni algoritmi di calibrazione, necessari ad ovviare all'instabilità del dato di riflettanza dovuta alla forte dipendenza di quest'ultimo da fattori ambientali e geometrici, garantiscono un'ampia serie di informazioni pienamente sintetizzabili, come noto, attraverso il concetto di "firma spettrale". Il tele-rilevamento si basa sul principio fisico per cui ogni materiale risponde in maniera differente alle diverse lunghezze d'onda emesse da una sorgente luminosa. Questa importante proprietà della materiale permette, in maniera diretta, di classificare differenti materiali, o gruppi di materiali, a partire dalla loro risposta radiometrica, investigando la quota parte di radianza riflessa nelle singole lunghezze d'onda registrabili dallo strumento. La capacità degli strumenti oggi in commercio di registrare un numero sempre crescente di intervalli di banda, consente di poter acquisire un numero elevato di meta-informazioni relative alla natura chimico-fisica del materiale al suolo, e di poter sovrapporre e correlare queste ultime con le informazioni di natura geometrica derivabili, ad esempio, dal rilievo laser a scansione.

## 2. Caratteristiche dei dati

### 2.1 Il dato di intensità LIDaR ed il dato iper-spettrale .

Il *dataset* LIDaR riporta, come noto, oltre alla tripletta delle coordinate geometriche X,Y,Z dei singoli punti, anche la misura della risposta radiometrica degli stessi. Se in alcune delle maggiori applicazioni ingegneristiche tale informazione può risultare già direttamente utilizzabile, lo stesso non risulta corrispondere al vero qualora sia necessario giungere ad un'accurata segmentazione del dato a fini progettuali. A tal senso, nelle procedure di segmentazione del dato su base radio/colorimetrico, è necessario operare un'opportuna calibrazione del dato in grado di tenere conto tanto delle condizioni ambientali di presa (temperatura, umidità, presenza di sorgenti luminose esterne), quanto dei fattori geometrici di presa. Se per la stima dei primi è di comune utilizzo il ricorso a modelli implementati in numerosi software commerciali, alla conoscenza dei secondi è possibile giungere attraverso il calcolo delle traiettorie a passo costante di tempo GPS. Il modello di calibrazione utilizzato nel presente elaborato, si basa sull'ipotesi di comportamento lambertiano della superficie riflettente e su di una dipendenza della risposta radiometrica funzione bi-quadratica della distanza e dell'albedo superficiale (Coren *et al.*, 2005). Le caratteristiche generali del *dataset* LIDaR, utilizzato per la sperimentazione illustrata nel seguito, sono riportate nella Tabella 1.

<b>Quota di volo</b>	Approx. 1.000 m s.l.m..
<b>Densità di campionamento</b>	3 pt/m <sup>2</sup>
<b>Numero di strip</b>	5
<b>Superficie (2D)</b>	13.375.034 m <sup>2</sup>
<b>Superficie (2.5D)</b>	14.578.787 m <sup>2</sup>

Tabella 1: Caratteristiche generali del rilievo LIDaR su Aquileia (UD).

Il sistema di acquisizione iper-spettrale utilizzato per la presente sperimentazione, è il sistema AISA<sup>®</sup>, della ditta finlandese SPECIM<sup>®</sup>. Tale sistema, di tipo passivo, consiste in un sensore iper-spettrale ad alta risoluzione, un sistema GPS/INS, un'unità di registrazione diretta dei dati, le cui caratteristiche generali sono riportate in Tabella 2, in grado di fornire immagini multi-risoluzione calibrabili in radianze a mezzo di opportuni file di calibrazione pre-registrati. Dotato di una camera CCD per l'acquisizione in grado di registrare fino a 63 differenti bande in funzione della quota di volo e della conseguente risoluzione a terra, il sensore AISA<sup>®</sup> è stato accoppiato, per la presente sperimentazione, sia con un laser altimetrico a scansione che con una camera metrica digitale. Alcune delle caratteristiche principali del *dataset* AISA acquisito sulla città di Aquileia (UD), nel Marzo 2005 sono riportate in Tabella 3.

Sensor head	Specification	Sensor head	Specification
Ris. spettrale	2,9 nm	Ampiezza scansione	0,72 x altitude
Lunghezza focale	50 mm	Acquisizione	Progressive scan CCD camera
FoV	4,47°	Output	12 bits digital
FODIS	Diffuse light collector	Pixels, fino a	1.024
IfoV	0,0014	Calibrazione	File di calibrazione



Tabella 2: Specifiche tecniche del sensore AISA (www.specim.fi, SPECIM).

Quota di volo	Approx. 1.000 m s.l.m..
Dimensioni immagine	1.000 pixel along FoV (across flight)
Dimensione pixel	Nominale: 0,7 m (circa); Reale: 1 m (dopo ricampionamento)
Intervallo di banda	5 nm
Range spettrale	400 +- 1.000 nm

Tabella 3: Caratteristiche generali del rilievo AISA su Aquileia (UD).

### 3. Tecniche di estrazione della geometria stradale

Il presente paragrafo illustra una delle possibili procedure per la classificazione/segmentazione del dato LIDaR, specificatamente volte all'estrazione della geometria stradale, attraverso l'utilizzo di criteri radiometrici e colorimetrici. Come noto, i laserscanner aerei registrano, oltre alle coordinate plano-altimetriche del singolo punto misurato anche la sua valore risposta radiometrica. Una volta proceduto alla opportuna calibrazione di detta informazione (Coren, Sterzai, 2005), attraverso l'utilizzo delle informazioni di tipo RGB derivanti da ortofoto digitale, è possibile costruire un unico file di tipo *raster* a 4 bande di risposta (Figura 1). Nella campagna di sperimentazione di seguito illustrata, a tale risultato si è giunti utilizzando il *software* ENVI<sup>®</sup> dell'americana RSI<sup>®</sup>. La fase di calibrazione del dato radiometrico, operata a partire dalla derivazione, istante per istante, delle S.B.E.T. (*Smoothed Best Estimated Trajectory*) di acquisizione, si rende in tal senso necessaria per ovviare all'influenza della radiometria da fattori geometrici ed ambientali.

R	G	B	I <sub>cal</sub>	Numero punti LIDaR (road class) (311.435 totale)
[45-210]	[45-210]	[45-210]	60% reflectance	85.685 (27,5%)

Tabella 4: Caratteristiche generali dell'esempio in oggetto

A seguito della sovrapposizione del meta-file così ottenuto con il DTM, è in generale possibile procedere alla ricerca di opportuni intervalli di colore ed intensità, propri del materiale desiderato. La Tabella 4 riporta, nella fattispecie, gli intervalli di ricerca nei campi R-G-B-I di possibili manti di copertura stradale, unitamente ai relativi risultati derivanti dalla segmentazione.

Dalla necessità di raffinare i risultati ottenibili con tale procedimento deriva l'applicazione delle immagini iper-spettrali per la segmentazione del dato LIDaR. La possibilità infatti di investigare ampie regioni dello spettro attraverso un numero elevato di bande, consente di derivare un numero elevato informazioni di diversa natura circa la natura e lo stato della materia al suolo. Attraverso la preliminare definizione di un numero adeguato di classi di distinzione, ed a seguito dell'estrazione dell'informazione di risposta spettrale dei singoli materiali, riconoscibili attraverso l'ausilio ad

esempio di ortofoto digitali, unitamente all'applicazione di tecniche di classificazione sia di tipo *supervised* che *unsupervised*, è infatti possibile giungere ad una completa distinzione o segmentazione dei singoli pixel all'interno dell'immagine acquisita. La vestizione del modello digitale del terreno con la classificazione ottenuta, permette di ottenere una segmentazione del dato laser altimetrico del tutto simile a quella precedentemente illustrata, ma dalla qualità metrica mediamente superiore, come si evince dalle Figure 2-3.

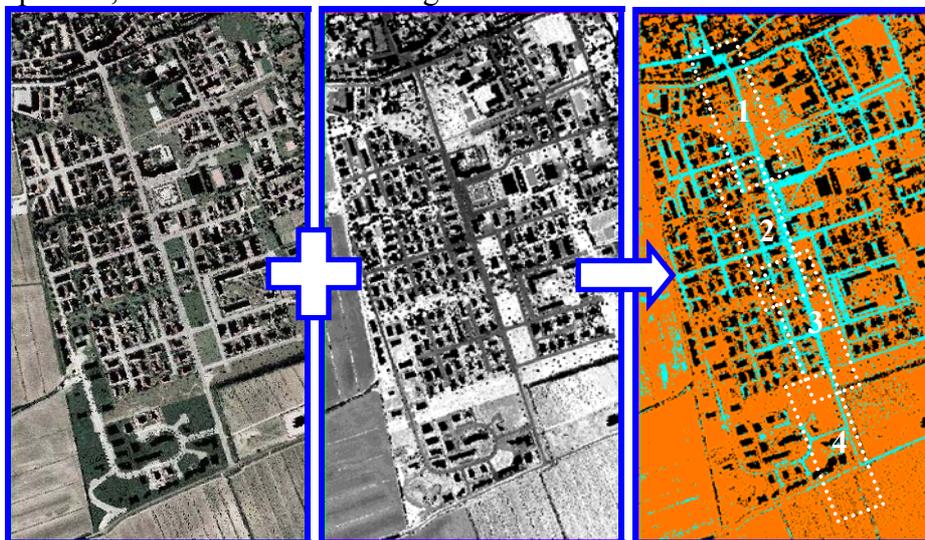


Figura 1: a) Il dato LIDaR<sub>(XYZRGB)</sub> b) Il dato LIDaR<sub>(XYZI)</sub> c) classificazione finale

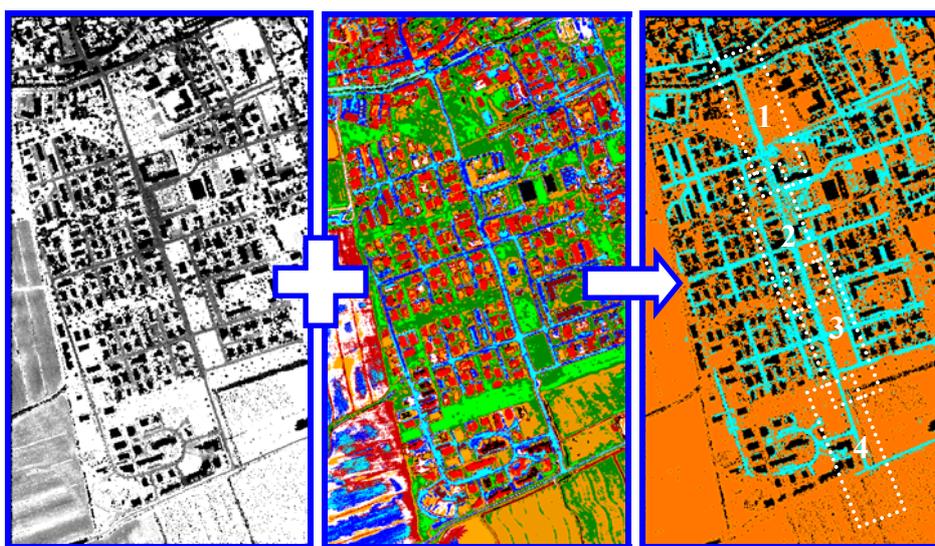
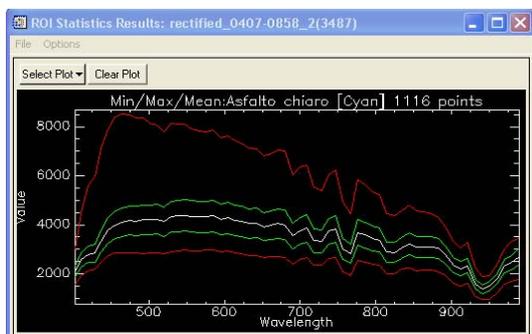


Figura 2: a) intensità calibrata b) SAM iper-spetttrale c) classificazione finale.



Spectral	I <sub>cal</sub>	Numero punti LIDaR (road class) (311.435 totale)
Spectra A	60% reflectance	115.248 (37,00%)
Spectra B	50% reflectance	105.952 (34,02%)
Spectra W	80% reflectance	100.543 (32,28%)
Spectra C	40% reflectance	81.491 (26,17%)
Spectra D	30% reflectance	67.788 (21,77%)

Figura 3: a) Range spettrale di alcuni conglomerati bituminosi e relativi valori di riflettanza.

Le caratteristiche generali del suddetto tratto di strada sono riportate in Tabella 4, dove è possibile osservare la maggior precisione del processo di classificazione/segmentazione del dato LIDaR ottenibile a seguito dell'utilizzo del dato iper-spetttrale AISA. Si noti come si possa asserire che la

classificazione operata attraverso l'utilizzo della sola risposta radiometrica e colorimetrica RGB, porti ad una generica sottostima dei parametri oggetto di studio.

Metodo classificazione	Lunghezza [m]	Larghezza media [m]	Numero punti LIDaR (ground class)	Numero punti LIDaR (road class)
I-RGB	689,22	10,44	311.435	85.685 (27,5%)
AISA	695,25	11,65	311.435	115.248 (37,00%)

Tabella 5: Caratteristiche generali dell'esempio in oggetto.

### 3. Valutazione dello stato del manto stradale: utilizzo dei dati iper-spetttrali

L'acquisizione di informazioni dettagliate relative allo stato di usura dei manti di copertura delle infrastrutture stradali, rappresenta un punto di partenza imprescindibile per la corretta pianificazione degli interventi di manutenzione. A differenza delle indagini classiche *in situ*, volte alla determinazione puntuale di quantità indici spesso caratterizzate da tempistiche e costi elevati, la possibilità di utilizzare le informazioni derivanti da immagini iper-spetttrali consente di ricavare dette informazioni su larga scala e correlarle a posteriori ad indici internazionali di qualità del manto stradale quali ad esempio PSI (*Present Serviceability Index*), PCI (*Pavement Condition Index*) e SI (*Structure Index*). La riproducibilità nella derivazione di simili informazioni a partire da dati tele-rilevati dipende da tre parametri principali:

1. quota di acquisizione del dato tele-rilevato (dimensione dei pixel a terra);
2. corretta calibrazione radiometrica del dato basata su una corretta modellizzazione del comportamento dell'atmosfera;
3. ampia differenziazione nel campionamento delle "firme spetttrali" necessarie alla classificazione delle immagini iper-spetttrali.

La vetustà di un manto di copertura stradale si manifesta visivamente con il progressivo visibile "schiarimento" della superficie stessa, dovuto al contemporaneo aumento della adsorbanza da parte degli idro-carburi presenti all'interno dei conglomerati bituminosi di copertura ed all'aumento della presenza di ossidi di ferro. Nel presente studio, utilizzando l'intero spettro di risposta registrato dallo strumento, si è scelto di considerare due differenti indici di investigazione, il primo basato sulla differenza spettrale tra le bande  $b_{47}$  (830 nm) e  $b_{11}$  (490 nm), denominato PAR2, ed il secondo relativo all'analisi della varianza di questo in funzione delle coordinate planimetriche. Se il primo rappresenta la misura della risposta caratteristica di alcuni materiali significativi del manto stradale nei campi VIS e NIR, attraverso il secondo, ottenuto dall'analisi ANOVA dei singoli pixel classificati come appartenenti ad una data tipologia è possibile ottenere un parametro relativo alla bontà della classificazione così ottenuta.

### 4. Aquileia (UD): un tratto di strada campione

Nel presente paragrafo si riportano, in maniera concisa, i risultati relativi alla sperimentazione condotta su di uno specifico tratto di strada comunale in Comune di Aquileia (UD), fra quelli precedentemente descritti ed illustrati in Figura 2. . A seguito del campionamento, attraverso la definizione di ROI (*Regions of Interest*) sull'intera immagine iper-spetttrale, di un numero consistente di "firme spetttrali" relative all'asfalto, e successivamente alla classificazione attraverso il criterio SAM (*Spectral Angle Mapper*) dell'immagine stessa, si è anzitutto proceduto all'estrazione automatica delle tipologie di copertura stradali. Il manto in conglomerato bituminoso del tratto di strada oggetto di sperimentazione è stato oggetto, in anni recenti ed a più riprese, di numerosi rifacimenti. Ciò ha consentito di evidenziare in maniera sufficientemente chiara almeno tre differenti stati di usura del manto stesso, la cui individuazione in funzione di ciascuna firma spettrale, è riportata in Figura 3. La crescente vetustà del manto stradale è chiaramente evidenziata da una diminuzione della risposta in radianza nella bande  $b_{36}$  e  $b_{37}$  comprese tra i 717-738 nm. Ciò è dovuto al particolare assorbimento di tali lunghezze d'onda da parte di polimeri ed ossidi di ferro, dove la presenza di questi ultimi al suolo aumenta, come noto, in maniera non lineare nel tempo (Noronha et al,2002). Le tipologie evidenziate corrispondono rispettivamente al manto originario (SA1\_1995), ed a due successivi interventi di ricopertura dello stesso (SA2\_2001), (SA3\_2004).

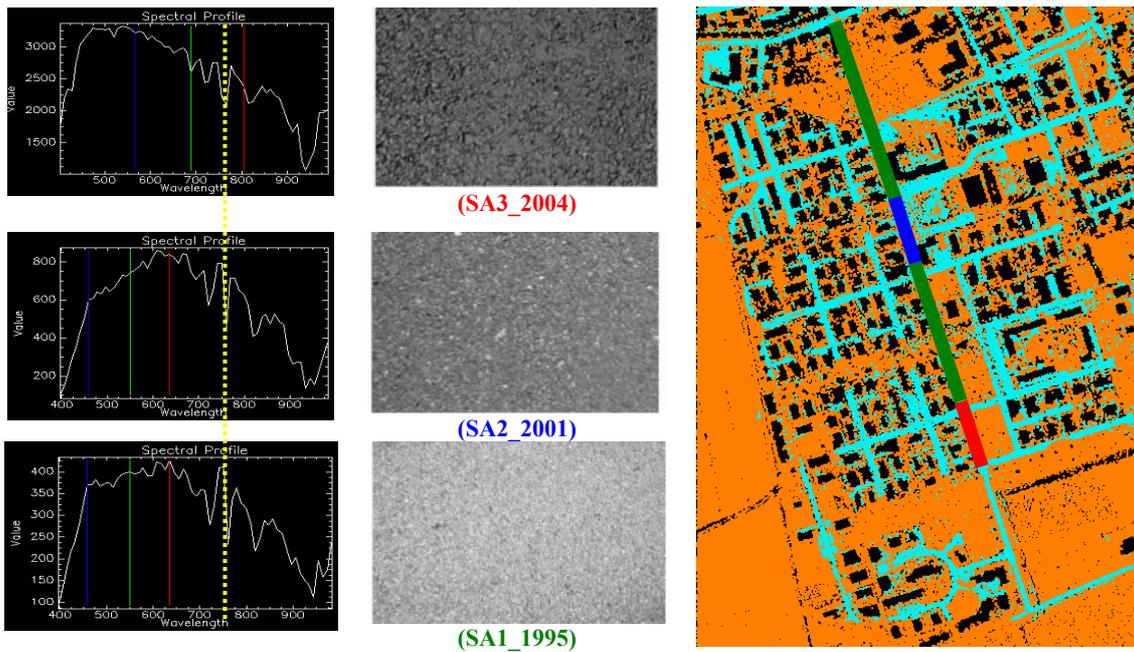


Figura 3: Estrazione dello stato di usura del manto stradale attraverso le firme spettrali.

## 5. Conclusioni

Il presente elaborato illustra la possibilità di piena integrazione dei dati LIDaR, in grado di fornire una vasta mole di informazioni geometriche, ed i dati derivanti da sensori iper-spetttrali, in grado di fornire invece numerose informazioni di tipo qualitativo circa le caratteristiche e la natura della materia al suolo. L'utilizzo di tale combinazione di tecnologie, ha permesso di mettere a punto una procedura volta sia all'estrazione semi-automatica della geometria stradale sia alla definizione di alcuni parametri caratteristici relativi alla tipologia del manto stradale. In particolare attraverso l'utilizzo di *dataset* iper-spetttrali è stato possibile evidenziare la distinzione tra tratti stradali a differente copertura superficiale, ipotizzando inoltre la presenza di alcune aree particolarmente affette da fenomeni di *aging*. I risultati ottenuti, definibili di estremo interesse avendo lo studio delineato alcune procedure pienamente riproducibili e di immediata applicabilità, necessitano tuttavia ancora di una piena validazione e del confronto con misure *in situ* comunemente utilizzate per la stima di quantità indici dello stato di uso e manutenzione dei manti di copertura stradale.

## Bibliografia

- Coren, F., Sterzai, P., 2005. Radiometric correction in laser scanning. In: *International Journal of Remote Sensing*, (in stampa).
- Herold, M., Gardner, M., Noronha, V. and Roberts, D. 2003. Spectrometry and Hyperspectral Remote Sensing of Urban Road Infrastructure, *Online Journal of Space Communications*, 3.
- Herold, M., Roberts, D., Gardner, M. & P. Dennison 2004. Spectrometry for urban area remote sensing -Development and analysis of a spectral library from 350 to 2400 nm, *Remote Sensing of Environment*, in stampa.
- Gomez, R.B. 2005. Hyperspectral imaging: a technology for transportation analysis, (in stampa)
- Noronha, V., Herold, M., Gardner, M. and Roberts, D. A. 2002. Spectrometry and Hyperspectral Remote Sensing for Road Centerline Extraction and Evaluation of Pavement Condition, *Proceedings of the Pecora Conference*, Denver, CO, November 2002.
- Miller, J. S. and W. Y. Bellinger 2003. Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program (Fourth Revised Edition), *Federal Highway Administration Report: FHWA-RD-03-03*.