

# Caratterizzazione della superficie stradale mediante tecniche integrate di rilievo

Maria Rosaria De Blasiis<sup>(a)</sup>, Alessandro Di Benedetto<sup>(a)</sup>, Margherita Fiani<sup>(b)</sup>

<sup>(a)</sup> Dipartimento di Ingegneria, Università RomaTRE, Via Vito Volterra, 62, 00146, Roma

<sup>(b)</sup> Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno, Via Giovanni Paolo II, 132, 84084, Fisciano (SA)

## Riassunto

Il monitoraggio delle caratteristiche della pavimentazione assume un ruolo chiave per la funzionalità di una infrastruttura stradale ed è strumento di indagine necessario per pianificare i lavori di manutenzione. La quantificazione delle diverse tipologie di degrado comporta tradizionalmente complesse attività pratiche e di elaborazione dei dati talvolta inefficienti e rischiose in quanto interferiscono con il traffico stradale. Lo scopo di questo lavoro è l'analisi e la ricostruzione tridimensionale della superficie pavimentata utilizzando tecnologie innovative di rilievo e calcolo, al fine di ottenere un set completo e accurato di dati da analizzare. La sperimentazione ha riguardato un segmento di strada urbana lungo 100 metri, la cui superficie è stata rilevata con due tecniche differenti. È stato effettuato un volo fotogrammetrico nadirale per mezzo di un UAV (Unmanned Aerial vehicle) e a distanza di pochi giorni è stato fatto un rilievo con un LST (Laser Scanner Terrestre) a tempo di volo. I dati acquisiti sono stati interpolati su grigliato per ottenere un modello numerico della superficie stradale su cui sono state misurate le irregolarità, implementando algoritmi in ambiente Matlab. Infine sono stati confrontati i risultati finali.

## Abstract

The monitoring of pavement distress takes a key role with respect to functionality of a road structure, which is necessary to schedule maintenance works, optimizing the available resources, influencing in a substantial way the safety of users and the infrastructure. The aim of this work is the analysis and the three-dimensional reconstruction of the paved surface making use of innovative technologies of measure and computation, in order to obtain a complete and accurate data sets. With the evolving LiDAR (Light Detection And Ranging) technologies it is possible to obtain very dense point clouds, that allow to build an accurate geometrical model of the road surface. The experimentation concerned a 100 meter long road segment whose surface has been surveyed by means a Terrestrial Laser Scanners (time-of-flight) and a UAV (Unmanned Aerial vehicle) to analyze their performances and compare the results in a test case. Collected data have been interpolated to obtain a numerical model of the road surface on which the irregularities have been measured, implementing relevant algorithms in the Matlab environment.

## 1. Introduzione

Per monitorare lo stato attuale della pavimentazione si ricorre a tecniche e processi complessi, poco efficienti e talvolta rischiosi in quanto compromettono il corretto esercizio della viabilità causando disagi alla circolazione nel momento in cui si effettuano le misure, come per esempio l'interruzione di una parte della carreggiata (Kumar et al., 2014).

Lo studio della regolarità è generalmente affidato a indici di stato che sono rappresentativi delle prestazioni della pavimentazione ai fini della sicurezza e del confort dell'utente. La normativa fornisce differenti definizioni di tessitura; la ISO 13473 (International Organization for Standardization) indica la tessitura come la deviazione della superficie pavimentata reale rispetto a un piano di riferimento, l'ASTM E 867 (American Society for Testing and Materials International) invece associa la tessitura agli effetti che la stessa ha sulla dinamica del veicolo e sulla qualità di guida. I principali indici di stato si determinano su profili geometrici misurati sulla superficie stradale e nella maggioranza dei casi queste misure sono effettuate con strumenti che non hanno le caratteristiche di ripetibilità che invece hanno gli strumenti della Geomatica.

I difetti superficiali della pavimentazione sono associati a determinate classi di tessitura, caratterizzate da una certa lunghezza d'onda, quindi se si vuole caratterizzare la superficie viaria in modo tale da valutare le irregolarità e altri tipi di ammaloramento come buche, ondulazioni, bisogna ricostruire un grigliato proporzionale ai valori della classe di tessitura delle Irregolarità e della Megatessitura.

Un aspetto importante è, infatti, la ricostruzione della superficie su grigliato e il filtraggio dati al fine di ottenere una superficie accurata e più fedele possibile alla realtà (Diaz et al., 2010).

Alhasan et al. effettuano un confronto tra dati TLS e dati provenienti da fotogrammetria terrestre; la ricerca evidenzia che le tecnologie descritte sono molto promettenti per la valutazione delle caratteristiche superficiali delle pavimentazioni stradali. Il principale vantaggio di entrambe le tecnologie è la grande quantità di dati raccolti, che permette una valutazione globale e locale delle caratteristiche. Gli autori affermano inoltre che sono necessari ulteriori test perché molte sono le variabili da considerare e che influenzano il risultato finale. Su Zhang et al. dimostrano come i dati acquisiti da UAV possono essere utilizzati per caratterizzare le condizioni delle caratteristiche superficiali della pavimentazione. In commercio esistono differenti soluzioni e la ricerca sta spingendo verso soluzioni più celeri, che integrino le attuali e moderne tecniche di misura e monitoraggio.

Per produrre modelli tridimensionali utili all'analisi e al monitoraggio delle sovrastrutture stradali, abbiamo voluto sperimentare le potenzialità di un sistema UAV (Unmanned Aerial Vehicle) di piccole dimensioni e peso tale da non essere soggetto alle restrizioni normative dettate dall'ENAC (Ente Nazionale Aviazione Civile) e confrontare i risultati con quelli provenienti da dati LiDAR (Light Detection And Ranging), in particolare da LST (Laser Scanner Terrestre), (Chin, Olsen, 2012).

## 2. Metodi e materiali

La sperimentazione è stata eseguita su un tratto di strada (Figura 1) di Via della Vasca Navale (Roma). Il rettilineo ha uno sviluppo di circa 100 metri, la sezione trasversale è costituita da un'unica carreggiata di larghezza pari a 7m; ogni corsia è larga 3.50m.

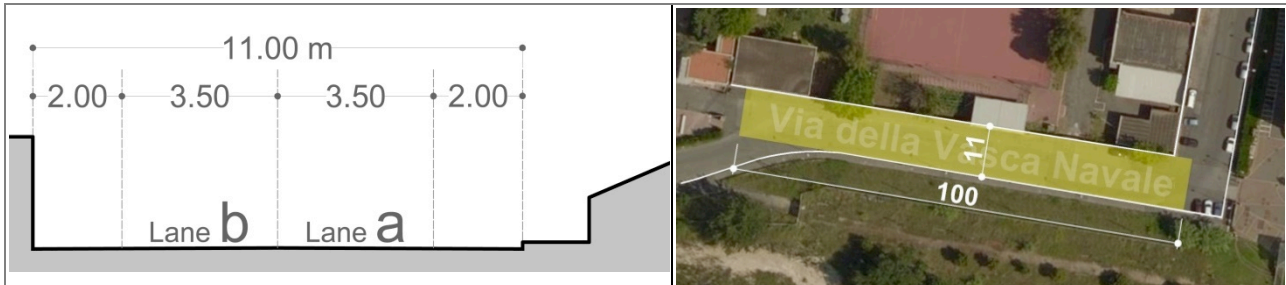


Figura 1 - Sezione tipo e planimetria generale

La misura Lidar è stata effettuata con un *Laser Scanner Terrestre* (LST) Riegl VZ-400 da tre stazioni fisse su treppiede. Per la co-registrazione e la georeferenziazione delle scansioni sono stati utilizzati sei target sferici in materiale polimerico a alta riflettanza, montati su asta munita di livella sferica e bipede (Figura 2). La posizione dei target è stata misurata con ricevitori GNSS nel sistema di riferimento cartografico UTM/ETRF00 con quote ellissoidiche. È stata impostata una risoluzione angolare di a  $0.01^\circ$  con un raffittimento sui target pari a  $0.005^\circ$ , in modo da avere una nuvola di punti molto più densa.

Il volo fotogrammetrico è stato realizzato con un UAV BeeCopter della MicroGeo, un quadricottero di peso inferiore a 240 grammi, fotocamera da 12 megapixel con sensore 1/2.3" con ottica modificata (Figura 3, Tabella 4). Il volo è stato appoggiato a terra utilizzando sei Ground Control Points (GCP), materializzati mediante target fotogrammetrici fissati a terra con chiodi topografici. Il sistema di riferimento adottato è lo stesso della misura LST.

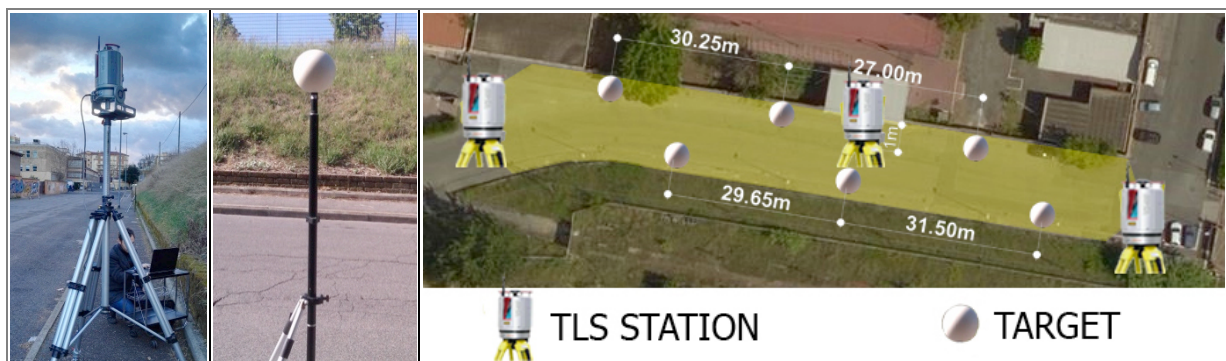


Figura 2 - Stazione TLS, target e disposizione stazioni e target

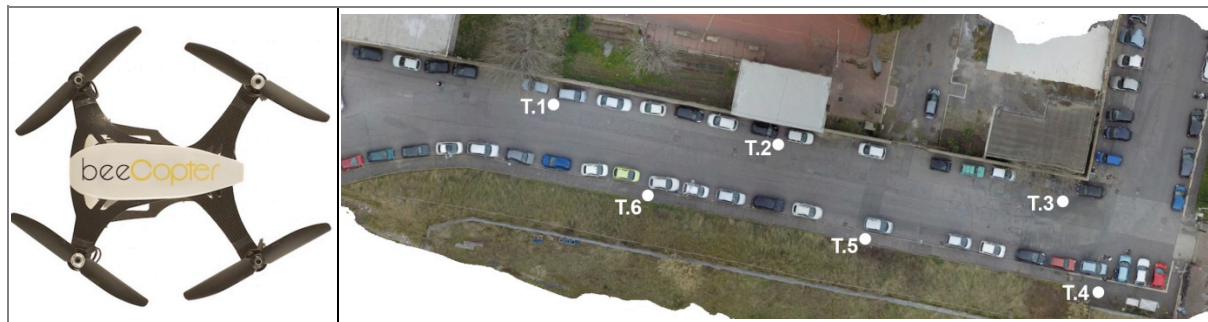


Figura 3 – UAV BeeCopter e Ortofoto con disposizione dei target piani

<b>Modello Camera</b>	HERO4 Black (3 mm)	<b>Risoluzione a terra</b>	7.89 mm/pix
<b>Lunghezza focale</b>	5.4 mm	<b>Area di copertura</b>	6.45e+03 m <sup>2</sup>
<b>Dimensione Pixel</b>	1.73 x 1.73 μm	<b>Fotogrammi</b>	97
<b>Numero di immagini</b>	97	<b>Punti di legame</b>	26
<b>Quota relativa di volo</b>	29 m	<b>Errori di riposizionamento</b>	3.9 pix

Tabella 4 – Caratteristiche e output misura UAV

### 2.1 Costruzione del Modello della Superficie

Le nuvole di punti ottenute e editate sono state interpolate su un grigliato per produrre un modello digitale delle elevazioni (*Digital Elevation Model, DEM*). Il DEM è stato generato utilizzando l'Interpolatore IDW (*Inverse Distance Weighted*), il quale esegue una media pesata sulla distanza dei punti misurati ricadenti all'interno di una determinata area di ricerca. L'intervallo tra i nodi del grigliato è stato scelto in funzione della densità dei dati ottenuti (1cm).

L'accuratezza dei modelli ricostruiti delle superfici è valutabile dai residui ottenuti dall'interpolazione. Una statistica di sintesi è riportata in Tabella 5. In Figura 6 è mostrata la mappa delle differenze di quota tra le due superfici (LST – UAV). In Figura 7 sono mostrate le mappe di tipo *shaded relief* elaborate sui due DEMs (LST e UAV).

	Riegl VZ-400	UAV BeeCopter
<b>Numero di punti [pnt]</b>	56.017.749	864.396
<b>Media [mm]</b>	-3E-04	-4E-04
<b>Deviazione Standard [mm]</b>	1.2	2.4
<b>Skewness</b>	2.69	-0.75
<b>Kurtosis</b>	24.05	35.15

Tabella 5 - Statistica dei residui

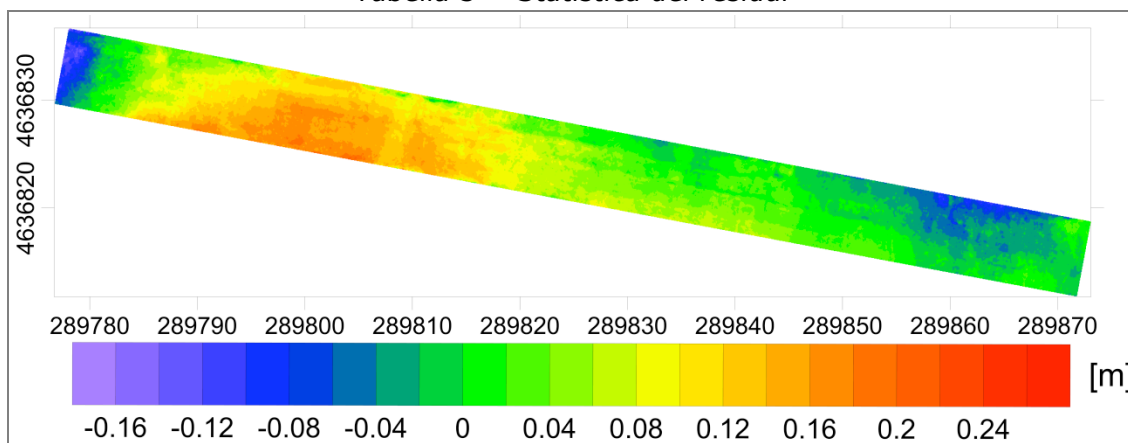


Figura 6 - LST Vs UAV

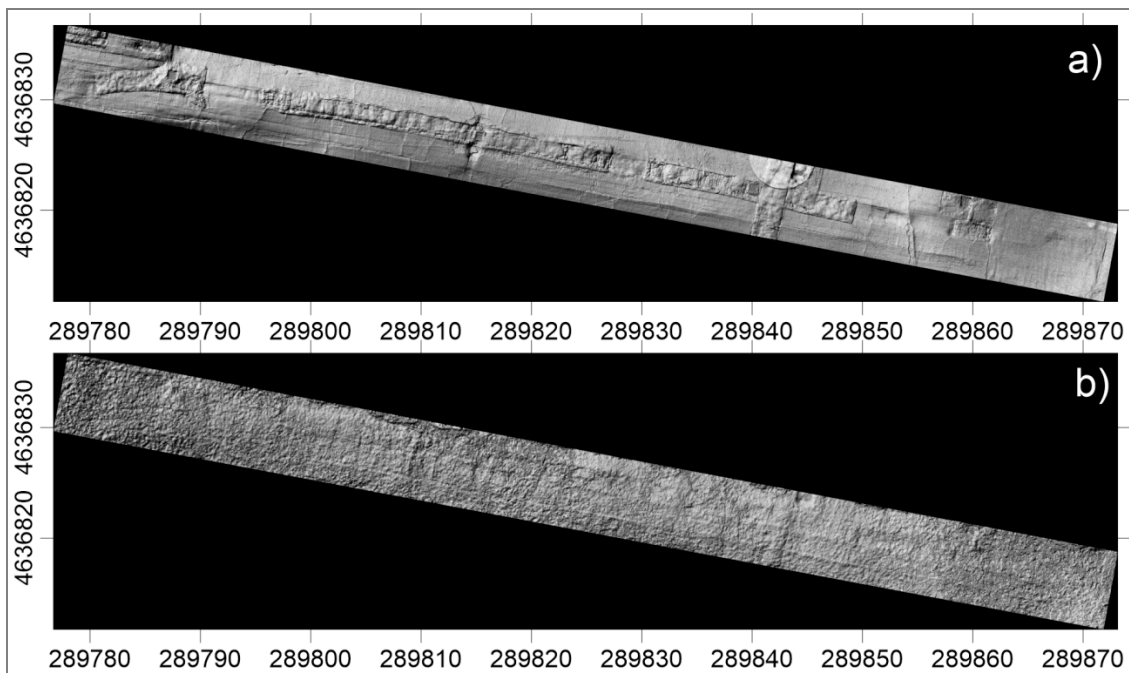


Figura 7 - Mappe 'Shaded Relief': a) Riegl VZ-400, b) UAV BeeCopter

### 3.Valutazione delle Depressioni

L'analisi si basa sullo studio della deviazione della superficie pavimentata rispetto a un piano di riferimento. La prima fase prevede la creazione di una serie di superfici piane a doppia falda costruite in modo tale da poggiare sulla superficie reale (generalmente la sezione trasversale di una strada è rappresentata da una doppia falda con lo scopo di far defluire le acque piovane fuori dalla carreggiata, in prossimità dei presidi idraulici).

La costruzione dei piani è effettuata con algoritmi automatici implementati in Matlab su porzioni di strada larghi quanto tutta la carreggiata e lunghi cinque metri (dimensioni di un veicolo medio). Affinché ogni falda poggi sulla superficie generata è stato implementato un algoritmo di tipo iterativo:

1. La prima doppia falda sarà determinata con un processo iterativo; a ogni iterazione l'algoritmo esclude i punti al di sotto del piano ottenuto per interpolazione precedente. In tal modo, nel ciclo successivo il nuovo piano verrà costruito per interpolazione sulla base dei soli dati che all'iterazione precedente si trovavano al di sopra del piano. Questo metodo fa sì che il piano si orienti in funzione del numero di punti rimanenti ad ogni ciclo iterativo (Figura 8).
2. Le successive falde avranno come vincoli la frontiera della falda precedente (condizione di continuità) e il punto più alto della superficie su cui poggerà (Figura 9).

La seconda fase consiste nel determinare la differenza di quota tra la superficie piana a doppia falda e la superficie della pavimentazione. Così facendo si ottiene lo stato deformativo della superficie in termini di depressioni (Figura 10).

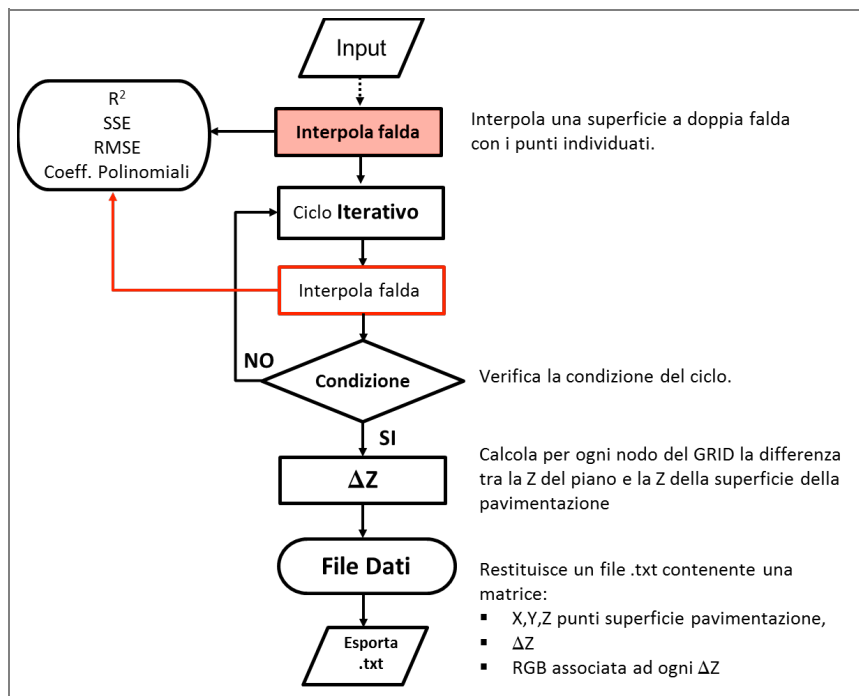


Figura 8 - Ciclo Sintetico dell'Algoritmo

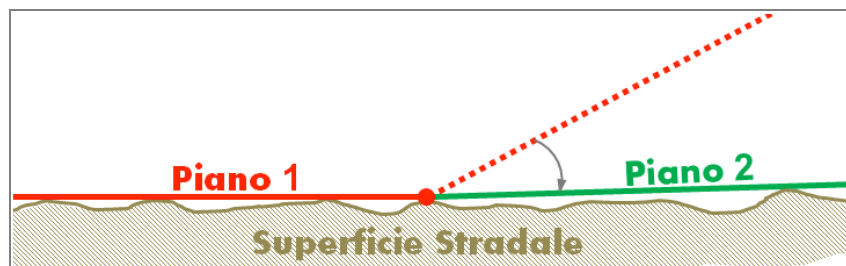


Figura 9 - Costruzione in sezione dei piani successivi al primo

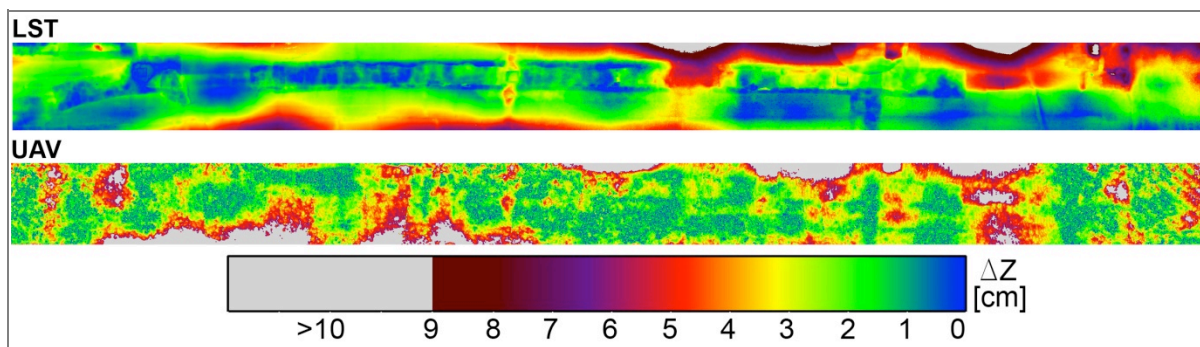


Figura 10 - Differenza di quota(ΔZ) tra Superficie di Riferimento e la Superficie Stradale

Per quantificare le depressioni in termini di volume, area, perimetro e posizione nello spazio è stato implementato un algoritmo in grado di individuare e circoscrivere le zone che superano una certa soglia di  $\Delta Z$ ; tale algoritmo si basa su un codice di segmentazione. In Figura 11 è riportato un esempio di segmentazione della strada con soglia di  $\Delta Z$  superiore a 4cm. Le elaborazioni sono state effettuate su entrambe le superfici (LST e UAV) per stimare le differenze. In Tabella 12 sono riportati alcuni dei parametri geometrici estratti.

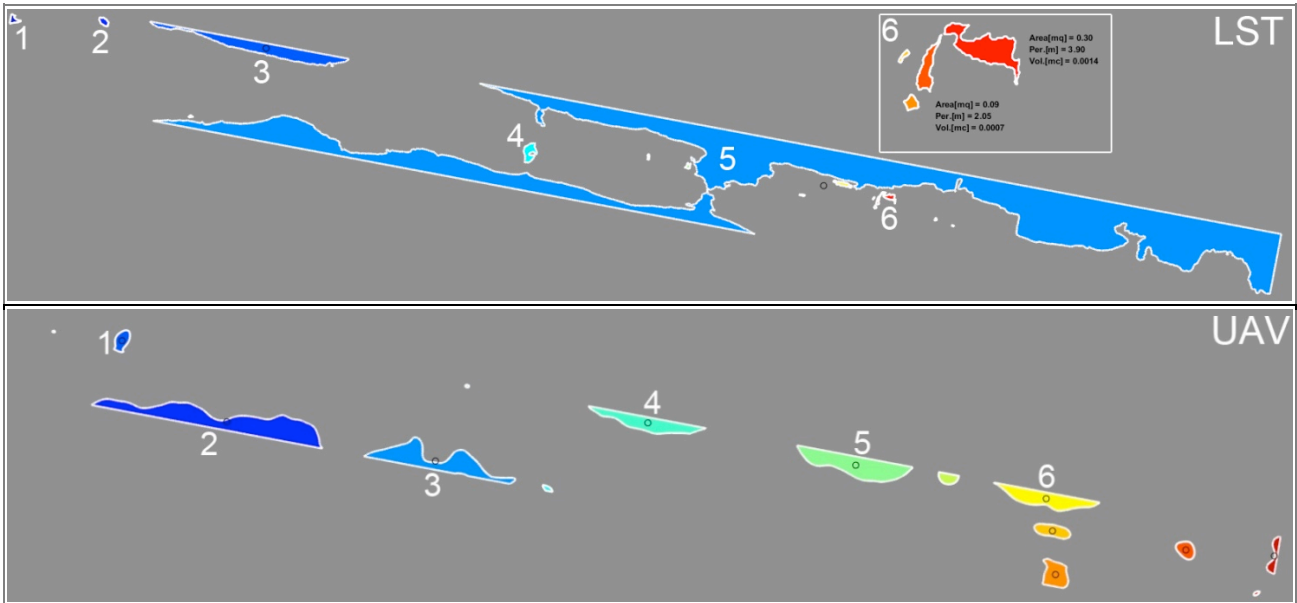


Figura 11 – Segmentazione delle aree con depressioni maggiori di 4cm

Zone	LST						UAV					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Perimetro [m]	2.83	2.20	32.23	5.51	263.21	3.90	4.59	37.05	25.82	18.38	18.78	16.75
Area [m <sup>2</sup> ]	0.26	0.28	8.22	0.85	166.64	0.30	1.18	17.41	9.81	5.73	9.28	5.83
Volume [m <sup>3</sup> ]	1E-03	8E-04	0.0137	1.9E-03	0.1308	1.4E-03	1.6E-03	0.0177	0.0103	9.2E-3	8.7E-3	7.2E-3

Tabella 12 – Parametri Geometrici Estratti

#### 4. Discussione e conclusioni

Lo studio effettuato vuole evidenziare una metodologia alternativa per l'analisi della regolarità superficiale con l'ausilio delle nuove tecnologie di rilevamento. La metodologia proposta non vuole essere solo un'alternativa ma anche un complemento e un approfondimento alle metodologie tradizionali che molto spesso ostacolano il corretto esercizio della sovrastruttura e non risultano essere abbastanza celeri. Dal confronto effettuato le elaborazioni dei dati provenienti da fotogrammetria con UAV non sono perfettamente congruenti con quelle ottenute da LST. Uno dei motivi principali è l'elevato rumore presente nella nube autocorrelata proveniente dalle immagini acquisite da UAV, rumore dovuto principalmente all'assenza di uno stabilizzatore meccanico della camera e all'omogenea tessitura in senso cromatico della pavimentazione. Queste problematiche possono sicuramente essere evitate utilizzando strumentazione con sistemi più pesanti (camere a elevate prestazioni e stabilizzatori meccanici), che però sono soggetti a restrizioni normative. Uno degli obiettivi principali era quello di testare un sistema leggero per lo studio delle irregolarità della superficie viaria. Le elaborazioni sui dati Lidar sono serviti principalmente per validare i risultati.

#### Ringraziamenti

Si ringraziano Simone Orlandini della Microgeo per l'acquisizione dei dati da UAV e Marco Santoni della GRS per il rilievo da LST.

## **Bibliografia**

Zhang, S.; Lippitt, C.; Bogus, S.; Neville, P. (2016), "Characterizing pavement surface distress conditions with hyper-spatial resolution natural color aerial photography". *Remote Sensing*, 8, 392.

Alhasan, A., Younkin, K., White, D.J., Iowa State, U., Institute for, T., Iowa; Department of, T. (2015), "Comparison of roadway roughness derived from lidar and sfm 3d point clouds".

ISO 13473-3, 1997. "Characterization of pavement texture by use of surface profiles". Specifications and classification of profilometers.

Kumar, P., McElhinney, C. P., Lewis, P. and McCarthy, T. (2014), "Automated road markings extraction from mobile laser scanning data". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 32, pp. 125–137.

ASTM E867-06 (2012), "Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems", ASTM International, West Conshohocken, PA, [www.astm.org](http://www.astm.org).

Chin A., Olsen M. J. (2012), "Paving the Way for Terrestrial Laser Scanning Assessment of Road Quality." Thesis of Master of Science in Civil Engineering.

Diaz, J. C. F., Judge, J., Slatton, K. C., Shrestha, R., Carter, W. E. and Bloomquist, D. (2010), "Characterization of full surface roughness in agricultural soils using groundbased lidar". *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 25-30 July, Honolulu, US pp. 4442–4445.

ISO 13473-1 (1997), "Characterization of pavement texture by use of surface profiles — Part 1: Determination of Mean Profile Depth", International Organization for Standardization.