

Rilievo di una pista aeroportuale con il Laser Scanner Terrestre

Maurizio Barbarella (*), Maria Rosaria De Blasiis (**),
Margherita Fiani (***), Marco Santoni (****)

(*) DICAM - ARCES - CIRI-ICT, Scuola di Ingegneria ed Architettura, Università di Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136, Bologna, tel. 051-2093106, fax 051-2093114, e-mail: maurizio.barbarella@unibo.it

(**) Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi Roma Tre, Via V. Volterra 60, 00146, Roma, tel. 0657333443, e-mail: mariarosaria.deblasiis@uniroma3.it

(***) DICIV, Università degli Studi di Salerno, Via Giovanni Paolo II, 132, 84084, Fisciano (SA), tel. 089964128, e-mail: m.fiani@unisa.it

(****) GRS S.r.l., Roma, Italy. e-mail: msantoni@grs-topo.com

Riassunto

È stata rilevata la superficie di un tratto di raccordo di una pista aeroportuale utilizzando un laser scanner terrestre in modalità statica. Per la georeferenziazione delle nubi di punti acquisiti da quattro stazioni sono stati rilevati con GPS e stazione totale alcuni target posti ai bordi della pista e da ciascuna nube georeferenzziata è stato generato un DEM (Digital Elevation Model) con struttura a griglia. È stato realizzato un software per estrarre profili longitudinali e trasversali dal DEM, individuarne tratti rettilinei in ciascuna falda e calcolarne la pendenza mediante la stima minimi quadrati dei parametri della regressione lineare dei punti dei profili. Il lavoro è finalizzato a definire procedure operative e di calcolo e a valutare l'accuratezza dei risultati che possono essere ottenuti, confrontandoli con quella consentita dai metodi tradizionali.

Abstract

We have used a terrestrial laser scanner in static mode to run the topographic survey of the surface of a lane of an airport. In order to georeference the nurbs acquired from four scan stations we have used a GPS and a total station to survey a number of targets set on the edge of the runway. From each georeferenced point cloud we have generated a grid DEM (Digital Elevation Model). We have designed a software to extract longitudinal and transverse profiles from the DEM, to identify straight sections in each stratum and to calculate the slope using the least squares estimation of the parameters of the linear regression of the points of the profiles. We define operational procedures and calculations and we assess the accuracy of the results that may be obtained and we compare them with the ones obtained by traditional methods.

1. Introduzione

La realizzazione e il controllo dello stato di manutenzione di una pista aeroportuale sono sottoposti a precise normative (ENAC, 2011; ICAO, 2001, 2009, 2013); in particolare la superficie della pavimentazione è rilevata secondo procedure basate su diverse tipologie di strumenti (FAA, 2009; Sayers, 1986; Riesner, 2014), da quelli manuali tradizionali ai sistemi ad alta produttività.

Tra questi ultimi, il Mobile Mapping System (MMS) è caratterizzato da una elevata efficienza e produce dati più completi rispetto ad altri strumenti che forniscono solo le informazioni puramente geometriche della superficie di una pavimentazione (Dondi et al., 2011; Guan, 2014).

Il laser Scanner montato a bordo sistema mobile di acquisizione consente la descrizione della pavimentazione della pista con un alto grado di dettaglio (Aerial Data Service, 2010; FAA, 2009) e quindi la realizzazione di un DEM (Digital Elevation Model) della superficie. La precisione

‘assoluta’, rispetto cioè al sistema di riferimento materializzato in aeroporto, dei dati acquisiti potrebbe essere però inferiore a quella di altre tecniche tradizionali di rilievo strumentale statico, che utilizzano la Stazione Totale e il livello (Barbarella et al., 2014; Puente, 2013).

Scopo del lavoro è di verificare se il TLS utilizzato in modalità statica consente di ottenere in tempi rapidi una quantità di dati paragonabile a quella consentita da mezzi di rilievo mobile ma di accuratezza superiore.

La sperimentazione è stata eseguita su un tratto di raccordo di una pista aeroportuale di un aeroporto internazionale, utilizzando un laser scanner a lunga portata (Riegl VZ400) messo in stazione su alcuni punti dell’asse della pista. Tale tratto, lungo circa 200 m, comprende sia una parte rettilinea che una parte in curva. Nella figura 1 a sinistra è visibile il tratto di pista rilevato, evidenziato con un ovale rosso mentre a destra è mostrato lo schema del rilievo TLS; i triangoli nel cerchio azzurro indicano la posizione delle stazioni laser mentre i cerchi rossi la posizione dei target a bordo della pista.



Figura 1 - Tratto di pista rilevato

Oltre al TLS sono stati impiegati altri strumenti:

- ricevitori GPS, per determinare la posizione rispetto al Sistema di Riferimento dell’Aeroporto dei target (posti ai bordi pista, ved. figura 1 a destra) usati per la georeferenziazione delle nubi di punti laser
- una stazione totale per il rilievo dei quattro punti sull’asse della pista e per la misura dei profili utilizzati per un confronto.

Per il rilievo laser sono state effettuati quattro stazionamenti sull’asse della pista a breve interdistanza l’uno dall’altro, allo scopo di avere nubi con elevata sovrapposizione in modo da poter effettuare controlli e stabilire un valore corretto di interdistanza da usare al fine di coniugare la produttività con l’accuratezza. Le misure sono state eseguite di notte, a pista chiusa al traffico aereo, appositamente per i nostri test.

La progettazione del rilievo ha previsto una interdistanza di 30 m tra le stazioni laser con un intervallo di campionamento di $\Delta\zeta = 0.008^\circ$ in zenitale e $\Delta\alpha = 0.08^\circ$ in azimutale.

Il laser è stato posto a circa 2.2 -2.3 m di altezza (centro dello strumento), utilizzando uno speciale treppiede. Poiché l’interdistanza delle impronte laser a terra aumenta con la distanza dalla stazione, linearmente in direzione trasversale e più rapidamente in direzione longitudinale (nel piano di collimazione), con i valori di incremento angolare usati, a una distanza di circa 20-25 m dal laser si ha una interdistanza del centro degli spot di circa 3 cm in entrambe le direzioni.

Durante ciascuna misura erano montati da 4 a 6 target sferici, dei quali 2 - 4 comuni tra scansioni successive adiacenti (figura 1).

2. Metodo

Ciascuna nube georeferenziata ha dato luogo a un DEM con struttura a griglia. Per l'interpolazione dei dati di misura sul grigliato, sono stati testati alcuni algoritmi d'interpolazione e diversi valori del passo del grigliato, optando per il "Inverse Distance to a Power" (2° grado) e per un passo di 2.5 cm. Nel caso studiato non si pone il problema del passaggio da DSM (Digital Surface Model) a DTM (Digital Terrain Model) in quanto la superficie rilevata è, nell'ambito della pista, praticamente esente da disturbi; non si è considerato pertanto il terreno circostante che pure viene rilevato quando il laser esegue il giro d'orizzonte e si è ritagliato il modello all'interno dell'area della pista.

La realizzazione del DEM è finalizzata alla estrazione di caratteristiche geometriche della pavimentazione, innanzitutto le pendenze longitudinali e trasversali e gli ammaloramenti, che influenzano direttamente il confort, la controllabilità e la sicurezza del velivolo durante la fase di rullaggio. Per determinare le pendenze vanno preliminarmente estratti dal DEM i profili longitudinali e trasversali della pista. Allo scopo di estrarre facilmente tutti i profili d'interesse e eseguire su di essi il calcolo delle pendenze tramite un'analisi statistica è stato realizzato un apposito software, in Matlab. Il flusso operativo delle operazioni di campagna e di calcolo è illustrato in figura 2.

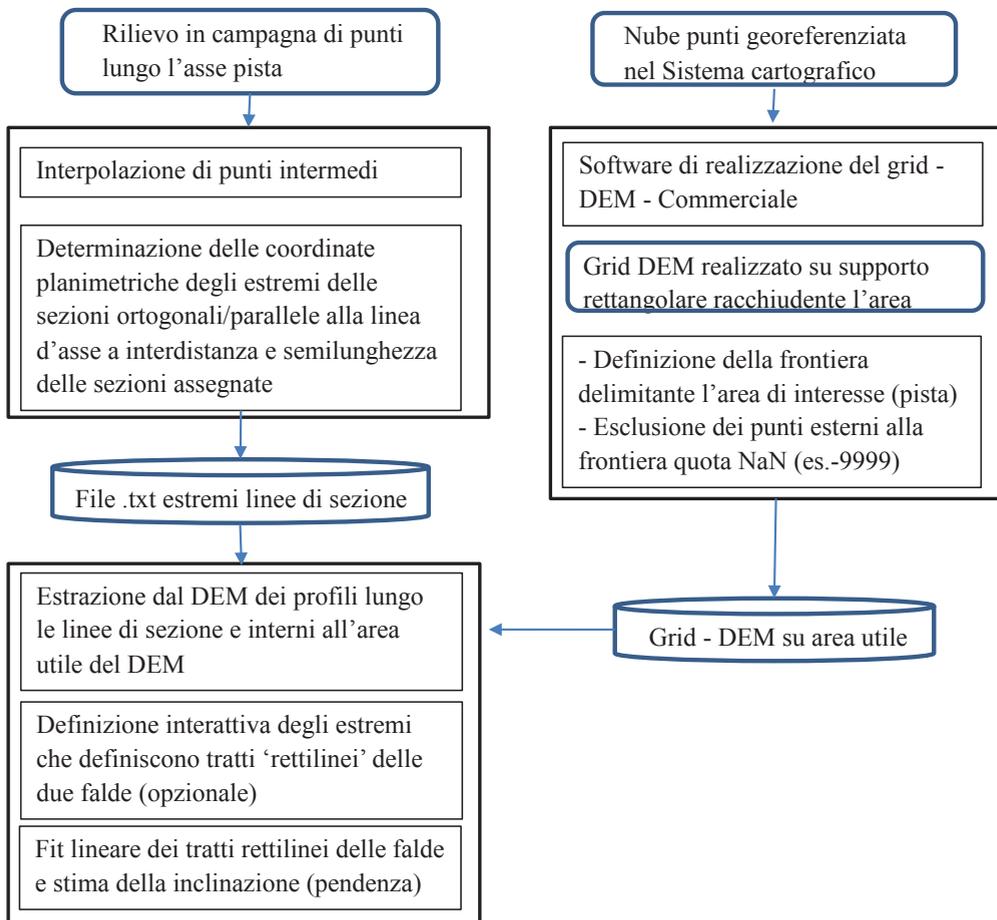


Figura 2 - Flusso del software e delle operazioni di calcolo per ottenere le pendenze delle falde

Il primo modulo elabora i punti di una spezzata (misurata sul campo) che descrive l'asse pista e produce un file con la posizione planimetrica delle linee di sezione trasversale con la densità e la lunghezza decise dall'utente. Il secondo modulo acquisisce tale file e il grigliato, ridefinisce se necessario gli estremi di ciascuna sezione in modo che ricadano entro il campo utile sul quale è realmente noto il DEM e interpola le quote dei profili con un passo lungo la linea scelto dall'utente. I codici in definitiva producono:

- file .xlsx contenente i dati relativi a tutti i profili: distanza progressiva dall'estremo iniziale della linea di sezione e relativa quota estratta dal DEM per interpolazione bilineare e passo incrementale scelto dall'utente, (d_k , z_k);
- figura (opzionale) dell'andamento di ciascun profilo con indicazione delle falde;
- file testuale contenente: i parametri della regressione lineare delle due falde, intercetta e inclinazione, e i relativi parametri statistici d'errore;

Per definire la linea di sezione lungo la quale estrarre dal DEM il profilo, si definisce solo il punto sull'asse, la direzione della sezione (ortogonale all'asse nel tratto compreso tra due punti) e la lunghezza della semisezione.

Di conseguenza possono essere compresi anche "oggetti" di disturbo da eliminare, come a esempio i bordi della pista, i target utilizzati per la georeferenziazione eventualmente presenti, gli alloggiamenti delle luci di illuminazione della pista o anche altre zone dove il DEM prodotto non è attendibile, come a esempio nella zona d'ombra sottostante il laser e il suo treppiede d'appoggio. Il profilo della sezione potrebbe quindi comprendere parti non 'rettilinee', come si vede in figura 3, utilizzando le quali la stima della pendenza non avrebbe reale significato. Si rende pertanto necessario individuare solo quella parte del profilo sulla quale abbia senso individuare una retta interpolante rappresentativa della pendenza.

A tale scopo il software prevede che:

- ciascun profilo altimetrico venga plottato a video con sovrapposte le linee indicanti la posizione dell'asse della pista (linea rossa) e gli estremi della sezione, in verde (figura 3a);
- sia accettata o modificata per mezzo di spostamento con il cursore (figure 3b,c), la posizione degli estremi della sezione, in modo da definire due falde 'rettilinee' (figura 4d);
- i punti appartenenti a ciascuna delle due falde vengano interpolati con un procedimento ai minimi quadrati, in modo da stimare i parametri della regressione lineare di miglior fit; il coefficiente angolare è la pendenza di ciascuna falda.

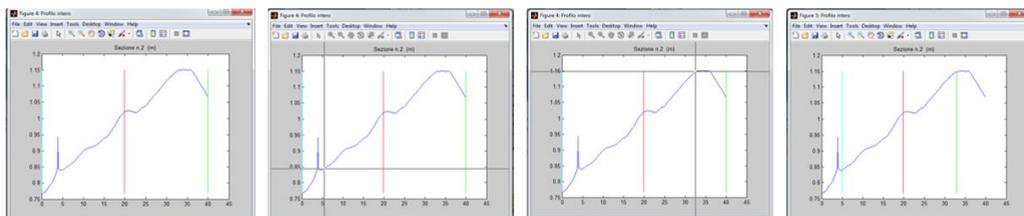


Figura 3 - Scelta degli estremi che definiscono tratti "rettilinei" a) Profilo estratto dal grigliato
 b) Spostamento dell'estremo di sinistra per eliminare i punti corrispondenti a un target
 c) Spostamento dell'estremo di destra per eliminare un tratto in contropendenza (sezione corrispondente a un tratto di pista in curva) d) Definizione finale degli estremi dei tratti rettilinei

3. Risultati

Le analisi fatte sono volte sia a valutare le caratteristiche geometriche del tratto di pista rilevato, sia a definire metodi e procedure operative e di calcolo.

Le analisi sono state eseguite utilizzando il DEM elaborato a partire dai dati delle quattro nubi co-registrate, allineate e georeferenziate in blocco. La nube complessiva prodotta è stata poi suddivisa

nuovamente in quattro parti (corrispondenti alle scansioni iniziali) per poter meglio gestire i file altrimenti di enormi dimensioni (ogni singola scansione produce un file di 1-2 Gb).

Per quanto attiene le pendenze trasversali, assai importanti per lo smaltimento delle acque meteoriche, con il software descritto sono stati generati profili molto fitti, a inter-distanza di 0.5 m, riducendo a soli 12.5 m la semi-ampiezza, in modo da evitare gli effetti di disturbo eventualmente presenti ai bordi (del tipo di quelli evidenziati dal picco presente in figura 3), la cui eliminazione avrebbe richiesto un lungo lavoro di controllo e eventuale editing su qualche centinaia di immagini.

La porzione di pista percorsa dalle ruote dei carrelli dei velivoli transitanti non supera mai i 9-10 m dall'asse (generalmente è molto minore), in funzione del tipo di velivolo e della classe della pista. Il valore di semi-ampiezza scelto è quindi del tutto idoneo per la valutazione della pendenza della falda. Il valore di pendenza trasversale calcolato per un tratto centrale della parte di pista rilevata è riportato in figura 4 in funzione della progressiva per la falda sinistra della pista che, si ricorda, segue in parte una curva.

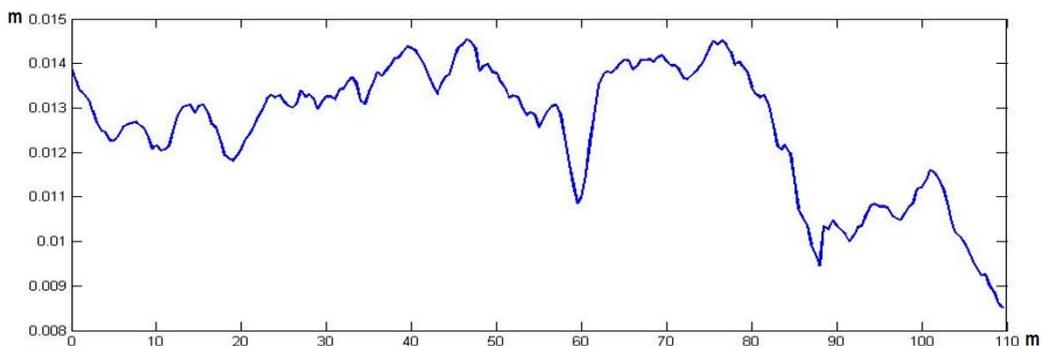


Figura 4 - Andamento del valore delle pendenze dei profili trasversali tracciati ogni 0.5 m lungo un tratto di pista, in funzione della loro distanza progressiva, per la falda di sinistra

Il gestore della pista può in tal modo valutare se il valore della pendenza calcolato, che deve rientrare entro certi limiti regolamentati in funzione della classe della pista (ICAO 2001, 2009, 2013), li supera o al contrario risulta inferiore ad essi in qualche tratto. In tal caso, il tratto in questione può essere individuato sul terreno tramite operazioni topografiche di tracciamento, visto che nell'output del software ai punti estremi delle linee di sezione sono associate anche le coordinate planimetriche nel sistema cartografico adottato.

Per quanto riguarda i profili longitudinali, il software consente di definire una successione di posizioni planimetriche che costituisce la linea di sezione, non necessariamente rettilinea, che si sviluppa parallelamente all'asse pista, a una distanza prefissata. I calcoli sono stati fatti, a titolo di esempio, alle distanze corrispondenti alle ruote dei carrelli dei vari tipi di velivoli, cioè a 3,6 e 9 m a destra e sinistra dell'asse della pista. In corrispondenza di tali linee di sezione viene estratto dal DEM il profilo altimetrico usando un modulo apposito del software. In figura 5 sono visibili i profili longitudinali a 6 metri dall'asse della pista.

La determinazione della pendenza per il profilo longitudinale è più complessa in quanto prassi e norma prevedono di considerare tratti di 45 m di lunghezza e di determinare la pendenza media di tali tratti (ENAC 2011).

Il profilo longitudinale calcolato con il software è stato quindi ritagliato in spezzoni lunghi 45 m, spostati di 10 m in direzione longitudinale; ciascuna coppia di tratti adiacenti si sovrappone per 35 m. Su ogni spezzone (15 in tutto) è stata quindi eseguita una regressione lineare che ha fornito la pendenza media, i cui valori sono stati riportati in successione (dal primo al quindicesimo) in figura 6.

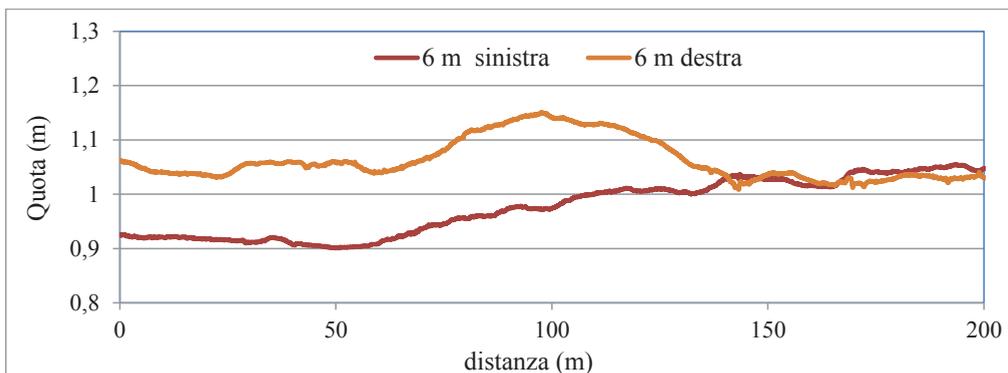


Figura 5 - Andamento dei profili altimetrici a 6 m a destra e sinistra dell'asse della pista

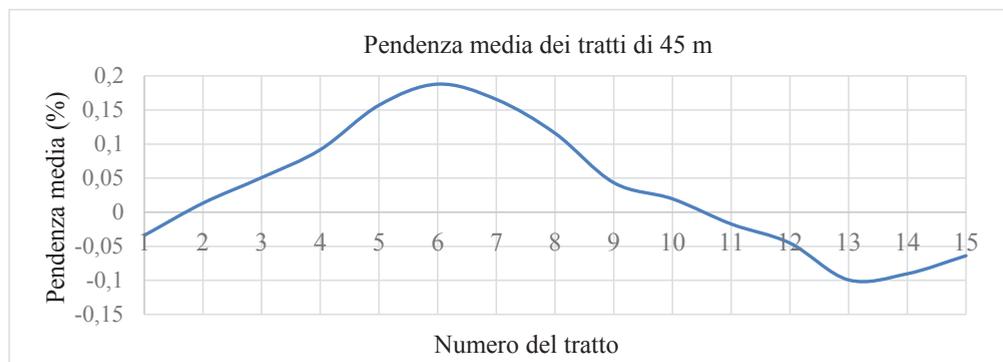


Figura 6 - Pendenza media sui tratti lunghi 45 m e spostati di 10 m rispetto al precedente

Se ne deduce che, nel tratto considerato, il metodo descritto mostra una pendenza media con valori ricadenti nell'intervallo da -0.1% a +0.2%.

La porzione di pista d'interesse era stata rilevata il giorno prima con rilievo celerimetrico utilizzando una Total Station (TS) e un livello di alta precisione. Facendo stazione con la TS su 17 vertici sono stati rilevati alcuni punti sull'asse della pista e su linee parallele a esso, distanti 3, 6, 9, 15 m a destra e sinistra e sui bordi portanti, con un punto rilevato ogni 10 m in direzione longitudinale. I profili estratti dal DEM da TLS utilizzati per il confronto sono situati in corrispondenza delle medesime linee di sezione.

In figura 7 si mostrano due profili tipo ottenuti sia da rilievo celerimetrico che da TLS, il profilo 2 corrispondente a un tratto in curva e il 16 a un tratto rettilineo. Si nota chiaramente come la grande densità di punti del rilievo TLS lungo la linea di sezione, pari a 2.5 cm, permette una visualizzazione "continua" del profilo trasversale della pista e permette quindi di analizzare le alte frequenze che viceversa non sono evidenziabili nel rilievo tradizionale, che per sua natura è discreto.

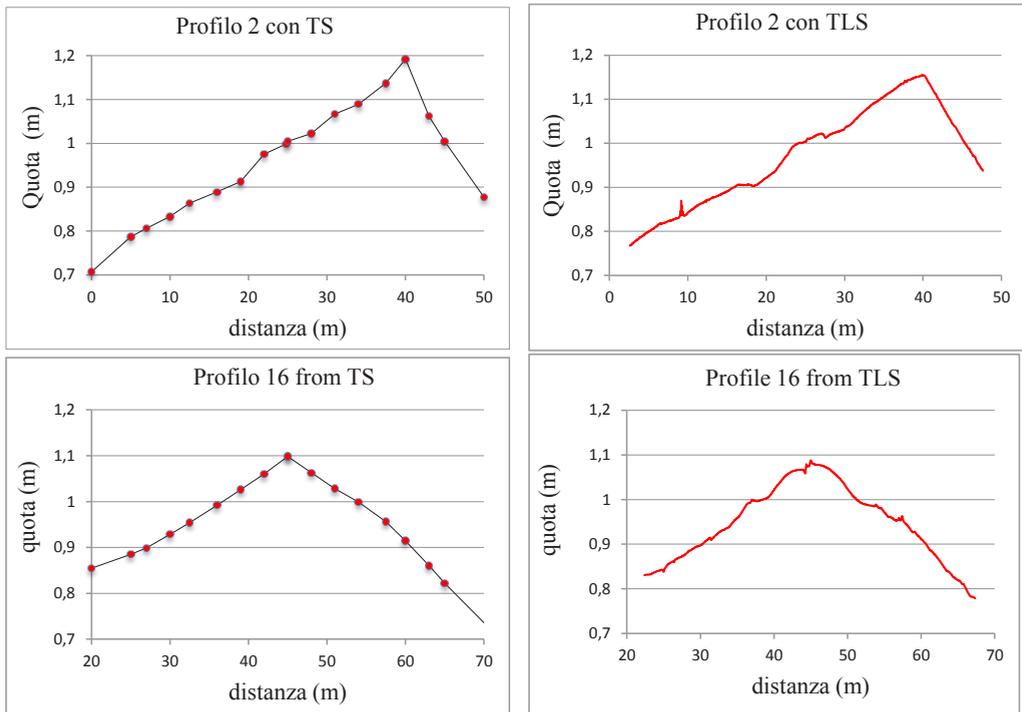


Figura 7 - Profili tipo rilevati con metodo celerimetrico e TLS

Sui diciassette profili trasversali sono state poi calcolate le differenze di quota tra i punti rilevati a terra e i corrispondenti (medesime coordinate planimetriche) estratti dal DEM da rilievo TLS. E' stata considerata solo una porzione centrale della pista di 50 m, 25 a destra e 25 a sinistra dell'asse.

4. Conclusioni

L'esito della sperimentazione giustifica la manifestazione di interesse che ha recentemente riguardato le applicazioni del sistema TLS nell'ambito dei controlli di prestazioni della superficie stradale sia in fase di realizzazione, sia in fase di manutenzione. La minor efficienza rispetto a un MMS viene ripagata da un maggior grado di accuratezza che sembra raggiungibile con LS statico.

La quantità di dati acquisiti in tempi ridotti con TLS comporta problemi di gestione del dato superabili con software commerciali; per lo studio della pavimentazione sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo si è preferito però realizzare codici specifici che consentono di ottenere in modo semi automatico i profili lungo linee di sezioni ortogonali e paralleli all'asse pista anche notevolmente fitti, e per i profili trasversali produce direttamente i valori delle pendenze delle due falde con procedure ai minimi quadrati.

Le pendenze possono essere ricavate con lo stesso criterio anche sui singoli profili rilevati direttamente con TS, ma questi debbono essere fissati a priori e sono in numero necessariamente molto minori e definiti da un numero molto più limitato di punti. Una volta realizzato il DTM da laser scanner invece si può in qualunque momento successivo disporre di una descrizione molto dettagliata della pavimentazione, che può essere "interrogata" in qualsiasi momento successivo e ovunque.

Bibliografia

- Aerial Data Service (2010), Meacham International Airport (KFTW). *Runway 17/35: Mobile Mapping Runway Profile Demonstration*, www.aerialdata.com/Meacham_LiDAR_Collect_Report.
- Barbarella M., De Blasiis M. R., Fiani M., Santoni M., (2014). A LiDAR application for the study of taxiway surface evenness and slope. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, II-5, 65-72, 2014. www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/II-5/65/2014/
doi:10.5194/isprsannals-II-5-65-2014.
- Dondi G., Barbarella M., Sangiorgi C., Lantieri C., De Marco L. (2011). A semi-automatic methodology to identify defects on a road surface. *ICSDC 2011 Integrating Sustainability Practices in the Construction Industry*, KANSAS CITY, Oswald Chong and Christopher Hermreck, 2011: 704-7011
- ENAC (2011), Regolamento per la Costruzione e l'Esercizio degli Aeroporti. *Amend 8 ed. 2 del 2003*. Ente Nazionale Aviazione Civile.
- FAA (2009), Guidelines and Procedures for Measuring Airfield Pavement Roughness, *AC 150/5380-9, Federal Aviation Administration, Washington D.C.*
- Guan H., Li J., Yu Y., Wang, C., Chapman M., Yang, B., (2014), Using mobile laser scanning data for automated extraction of road Markings. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 87: 93-107.
- ICAO, 2001. Doc 9774 Manual of certification of aerodromes. *First Edition. International Civil Aviation Organization*, Montréal, Quebec, Canada.
- ICAO, 2009. Doc 9859 Safety Management Manual. *Second Edition International Civil Aviation Organization*, Montréal, Quebec, Canada.
- ICAO, 2013. Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation. *Aerodromes Vol.1 Aerodrome Design and Operation - Sixth Edition*. International Civil Aviation Organization, Montréal, Quebec, Canada.
- Puente I., Solla, M. González-Jorge, H., Ariasa, P., 2013. Validation of mobile LiDAR surveying for measuring pavement layer thicknesses and volumes. *NDT & E International*, Vol. 60, December 2013, pp. 70-76.
- Riesner, E., 2014. Modern Airfield Pavement Management Strategies. In: *The 2014 Airports Conference*, March 3–5, 2014, Hershey, Pennsylvania.
- Sayers, M.W., 1986. Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurement. *World Bank Technical Paper n. 46*. Washington D.C.