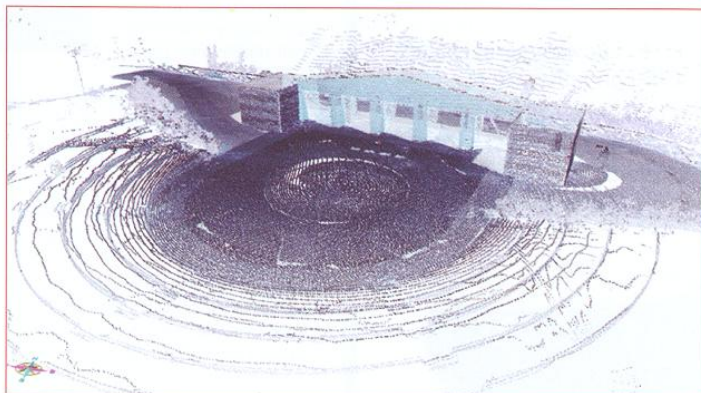


# Rilievo ed elaborazione di dati laser acquisiti con sistemi MMS in un parco urbano

di Gino Dardanelli e Marco Carella

L'utilizzo di sistemi MMS è oggi in rapida diffusione grazie alla loro capacità di acquisire velocemente e a basso costo grandi moli di dati geografici con buone precisioni e questo li rende particolarmente adatti alla produzione cartografica e di Sistemi Informativi Territoriali. I costi di rilievo chilometrici dei Mobile Mapping System sono generalmente più contenuti rispetto a quelli delle tecniche tradizionali aerofotogrammetriche e topografiche. Questi sistemi consentono il rilievo di ampie aree in tempi decisamente ristretti richiedendo comunque, a posteriori, gravose fasi di estrazione, elaborazione ed archiviazione dei dati acquisiti.



Il lavoro ivi proposto riguarda la verifica dell'attendibilità metrica e qualitativa di rilievi eseguiti per mezzo del sistema mobile IP-S2 di TOPCON nell'ambito degli studi svolti dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale ed Aerospaziale DICAM di Palermo sul parco urbano Ninni Cassarà (Fig. 1). L'utilizzo di sistemi MMS è in rapida e costante diffusione poiché questi sono in grado di acquisire velocemente e a basso costo grandi quantità di dati geografici; la loro capacità di acquisire immagini fotografiche e misure con buone precisioni li rende principalmente idonei alla produzione cartografica a media scala. Questi sistemi mi-

surano le superfici visibili e consentono l'acquisizione di ampie aree in tempi decisamente ristretti; è tuttavia da sottolineare come, a posteriori, tali informazioni debbano essere poi estratte, elaborate ed archiviate nel corso di una gravosa fase di *postprocessing*. Un notevole vantaggio tuttavia è dato dalla possibilità di poter utilizzare i dati archiviati in modi differenti avendo la possibilità di estrarre modelli 3D, sezioni, ortofoto, modelli 3D texturizzati, immagini solide e navigazioni virtuali ricavate grazie all'integrazione della tecnologia laser e di tecniche di fotogrammetria digitale con sistemi di posizionamento GNSS e di determinazione dell'assetto. È doveroso comunque sottolineare che questi sistemi risultano ad oggi caratterizzati da un basso livello di affidabilità causato dalla determinazione univoca del posizionamento dei sensori che non permette la verifica di errori ed a causa dei sistematismi di GNSS, INS ed odometri che, come noto, necessitano di ripetute e frequenti calibrazioni. Tuttavia i Mobile Mapping System sono oggi al centro di un intenso dibattito inerente per lo più la loro effettiva capacità di rispondere alle esigenze di accuratezza e dettaglio richieste dal catasto strade italiano (DM 1-6-2001). Il termine *Mobile Mapping* (MM), nello specifico, indica tecniche di rilevamento che utilizzano sensori a bordo di veicoli in movimento in cui i dati acquisiti vengono georiferiti grazie ad un sistema di posizionamento e orientamento. Si definisce in questo modo, infatti, qualunque piattaforma mobile, provvista di sistemi di misura capaci di definirne la posizione 3D in modo quasi-continuo e, al contempo, in grado di acquisire dati geografici senza l'ausilio di punti di controllo a terra. Oggi si preferisce defi-



Figura 1 - L'area oggetto di studio

nirli con la dizione POS (*Position and Orientation Systems*) poiché la problematica principale che li interessa non è il *mapping* ma la determinazione della posizione e dell'assetto.

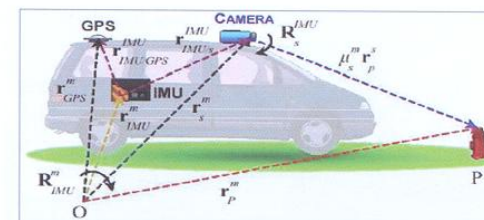
Le prime sperimentazioni a riguardo risalgono ai primi anni '90, quando il GPS non era ancora pienamente operativo ed esistevano sistemi terrestri ed aerei integrati con camere digitali per il rilievo con metodi fotogrammetrici. Le prime applicazioni hanno riguardato il settore stradale attraverso le ricerche sviluppate prevalentemente presso l'Università di Calgary in Canada a partire dalla seconda metà degli anni '80. Gli sviluppi di tali ricerche, maturati nel corso degli anni 90 grazie all'integrazione con il GPS hanno infine portato alla produzione di una serie di prototipi. Dal 2000 in poi si sono sviluppati i sistemi giroscopici a fibre ottiche caratterizzate da precisioni migliori nella misura e da costi relativamente contenuti. In anni recenti, infine, la tecnologia MEMS (*Micro Electronic Mechanical System*) ha portato alla produzione di accelerometri e giroscopi con buone accuratezze ed a costi contenuti. La ricerca sugli MMS è oggi prevalentemente indirizzata ad incrementarne il campo di applicazioni e le possibilità operative.

I principali settori di interesse possono essere sinteticamente riassunti come segue:

- ▶ catasto strade (DM 1-6-2001 "modalità di costituzione ed aggiornamento dei catasti stradali");
- ▶ monitoraggio ambientale;
- ▶ generazione di database geografici GIS;
- ▶ rilievo di infrastrutture e delle loro pertinenze;
- ▶ rilievo "as built" delle nuove infrastrutture stradali;
- ▶ *city modelling* ed estrazione di modelli digitali della superficie (DSM) e del terreno (DTM);
- ▶ rilevazioni batimetriche fluviali o sotto costa effettuate con profilometri o *scanner sonar*;

## Il sistema MMS

Normalmente un sistema MMS è costituito da una struttura per l'alloggiamento dei sensori montata sul veicolo, un sensore inerziale IMU/GPS che misura la posizione e l'orientamento della piattaforma mobile, uno o più sensori laser scanner in modalità profilometro, un sistema di fotocamere digitali sincronizzato ed un centro di controllo in grado di correlare le informazioni acquisite, il tutto equipaggiabile su veicoli terrestri, aerei e marini. La loro diffusione è stata favorita dallo sviluppo tecnologico dei dispositivi per l'acquisizione dei dati (camere digitali e laser scanner), della navigazione di precisione attraverso sistemi GNSS, dallo sviluppo di nuovi e più efficienti sistemi inerziali e dalla definizione di algoritmi e modelli matematici capaci di garantire una sempre maggiore precisione e affidabilità delle soluzioni in fasi di post-processing. Perché il veicolo sia operativo è necessario che un sistema di sincronizzazione riporti ad un'unica base temporale i dati acquisiti e che siano stati preliminarmente determinati i bracci di leva e i disallineamenti. Infatti riveste un ruolo di fondamentale importanza la rigorosa sincronizzazione del flusso dati, che richiede una accurata integrazione hardware e software di tutti i processi di misura e la possibilità di ricondurre tutti i dati acquisiti ad un unico sistema di riferimento; a tal proposito sottolineiamo l'importanza di un modello di georeferenziazione come ad esempio quello di El Sheimy e Schwarz, algoritmo di riferimento per il pre-processamento di dati MMS.



$$r_p^m = r_{IMU}^m(t) + R_{IMU}^m(t) \cdot [s_p \cdot R_{IMU}^m \cdot r_p^s + r_{IMU/s}^m]$$

$r_p^m$	Vettore posizione punto P nel mapping frame	INCOGNITO
$r_{IMU}^m(t)$	Posizione origine del sensore nel mapping frame al tempo t	Da elaborazione GPS/INS
$R_{IMU}^m(t)$	Matrice di rotazione dal body frame dell'IMU al mapping frame al tempo t	Da elaborazione GPS/INS
$s_p$	Rapporto tra la distanza camera-punto P e la lunghezza del vettore $r_p^s$	Da restituzione stereo, laser scanner, ...
$R_{IMU}^m$	Matrice di rotazione tra camera frame e body frame	Da calibrazione sistema di presa
$r_p^s$	Vettore delle coordinate immagine (x,y,c) del punto P	MISURATO
$r_{IMU/s}^m$	Vettore posizione della camera nel body frame	Da calibrazione sistema di presa

Figura 2 - Modello di georeferenziazione per sistemi MMS

La stabilità meccanica delle posizioni e degli assetti relativi tra i diversi componenti consente di georiferire il dato di ogni sensore all'istante di acquisizione. Interpolata la posizione e l'assetto del sistema veicolo a quell'istante, si ottiene la posizione del sistema sensore. Nel caso specifico si risale alla posizione ed all'assetto, nell'istante di scansione del laser, grazie ad un particolare circuito autonomo che genera un impulso di adeguata ampiezza ad intervalli regolari. Questo, comandato via software dall'inizio della singola scansione, giunge ad una porta di ingresso/uscita che registra l'istante di acquisizione. Il metodo più comunemente utilizzato per la ricerca della soluzione ottimale prevede l'introduzione di un filtro, definibile come un insieme di equazioni che combinano le informazioni provenienti da diversi sensori al fine di fornire una stima della posizione del veicolo. Generalmente il filtro implementa una rappresentazione cinematica del veicolo che, tramite l'informazione fornita dal sistema inerziale all'istante t, stima lo stato del veicolo all'istante t+1.

Topcon IP-S2 (Fig. 3) consente di effettuare il rilievo lineare in movimento raggiungendo un alto grado di precisione.

Si ottiene il posizionamento preciso ricorrendo a tre tecnologie:

- ▶ un ricevitore GNSS (Global Navigation Satellite System) a doppia frequenza stabilisce la posizione nello spazio;
- ▶ un sistema di misura inerziale (Inertial Measurement Unit, IMU) fornisce l'assetto del veicolo;
- ▶ un collegamento a encoder esterni sulle ruote consente di ottenere informazioni odometriche.

L'IMU di cui è dotato IP-S2, fornisce informazioni sull'accelerazione e sulla rotazione ad alta frequenza e, se combinato alle misurazioni GNSS di precisione, permette di calcolare le posizioni anche quando ci si avvicina ad ostacoli come edifici o alberi, o mentre si attraversa un tunnel o un cavalcavia, senza compromettere la precisione (Fig. 4). Il sistema standard IP-S2 comprende tre scanner LiDAR ad alta risoluzione che coprono il percorso del veicolo sia a livello del terreno che sulle aree adiacenti fino a una distanza di 30 metri. La fotocamera digitale ad alta risoluzione fornisce immagini sferiche a 360° con una frequenza di acquisizione di 15 fotogrammi al secondo (Fig. 5).



Figura 3 - Topcon IP-S2



Figura 6 - Panorama sferico estratto durante il rilievo



Figura 7 - Copertura satellitare GPS e GLONASS

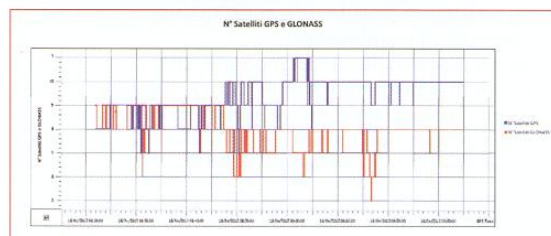


Figura 8 - Copertura satellitare GPS e GLONASS

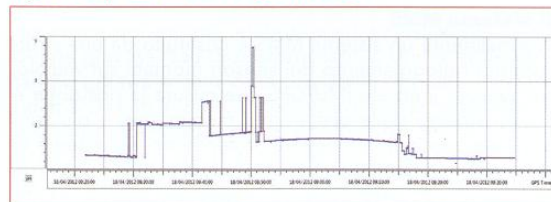


Figura 9 - Andamento del VDOP

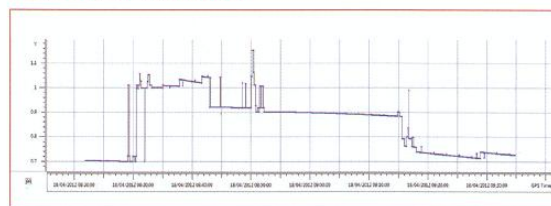


Figura 10 - Andamento del HDOP

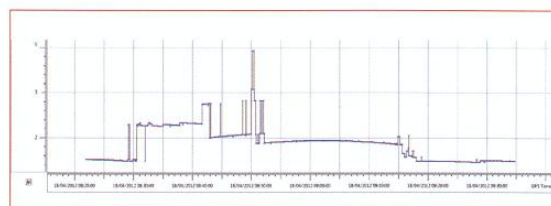


Figura 11 - Andamento del PDOP

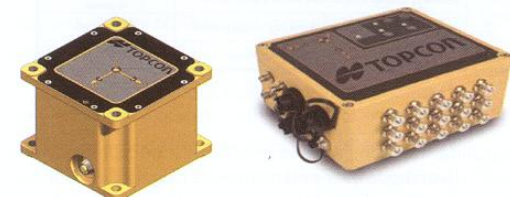


Figura 4 - IMU e ricevitore GNSS del TOPCON IP-S2

Gli input che provengono dai sensori vengono registrati ad un intervallo di 15 nanosecondi. Il sistema IP-S2 comprende inoltre un servizio di elaborazione sul web con interfaccia PC desktop. I dati GNSS possono essere successivamente elaborati per ottenere una maggiore affidabilità.



Figura 5 - Screenshot durante la navigazione di un panorama sferico

Il software include anche uno strumento di visualizzazione che consente all'utente di controllare e misurare le *point-clouds* generate dagli scanner. Il file dei dati registrati può essere anche elaborato in post-processing e filtrato *off-line* al fine di ottenere migliori informazioni sulla posizione dei dati acquisiti. Tra tutte le caratteristiche sintetizzate nella scheda tecnica si vuole mettere in evidenza la precisione dichiarata pari a  $\pm 45$  mm. E' importante comunque sottolineare che il grado di accuratezza è strettamente legato alla velocità di crociera assunta durante l'acquisizione.

**Programmazione ed esecuzione dei lavori**

Lo scopo specifico di questo lavoro, come detto, è la verifica della qualità del dato acquisito mediante gli scanner LIDAR equipaggiati nel sistema TOPCON IP-S2. Al fine di ottenere un riscontro oggettivo sull'accuratezza e qualità del dato, il rilievo è stato eseguito in un parco comunale caratterizzato da una copertura satellitare completa e da un flusso veicolare nullo, condizioni che di fatto hanno consentito lo svolgimento delle operazioni di acquisizione in totale fluidità e sicurezza (Fig. 6, 7). La completa assenza di ostacoli ed ostruzione nell'area test ha consentito di restituire l'intera catena cinematica con una sola inizia-

lizzazione statica, determinando le componenti nel sistema di riferimento WGS84. Dai grafici di analisi del posizionamento GNSS si può constatare che per tutta la durata del rilievo i valori del DOP si sono mantenuti accettabili grazie alla buona visibilità; la totalità dei punti ha valori di PDOP inferiori a 3,00, precisamente compresi tra 1,473-3,00 così come per il VDOP. Nei tre grafici è possibile notare un picco isolato dovuto forse ad un improvviso decadimento della visibilità causato probabilmente da ostruzioni come alberi o edifici (Fig. 8,9,10,11).

Lo studio, come accennato in precedenza, si colloca nell'ambito delle esperienze svolte dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale ed Aerospaziale DICAM di Palermo in collaborazione con Geotop s.r.l., aventi come oggetto di studio il parco urbano Ninni Cassarà e riguardanti i sistemi integrati di rilevamento basati sul posizionamento GNSS.

Le campagne di acquisizione hanno avuto luogo nell'Aprile del 2012 mentre i lavori di processamento e restituzione si sono protratti fino ai primi mesi del 2013. Il parco oggetto di studio si estende lungo una porzione di terreno dell'agro palermitano nella zona a sud-est del nucleo antico della città. Occupa una superficie complessiva di oltre 28 ettari e si sviluppa dalla Fossa della Garofala sino all'attuale circonvallazione interna della città, confinando ad ovest con la via Altofonte ed il Corso Pisani e ad est con l'area occupata dagli edifici dell'Università degli Studi di Palermo. Nel corso degli anni, a causa dei numerosi passaggi di proprietà, l'intera area ha subito numerose trasformazioni fino al completo abbandono. Soltanto tra il 1954 e il 1957 la Regione Siciliana ne ha acquistato la proprietà affidandone la riprogettazione a funzionari tecnici del Settore Urbanistica del Comune di Palermo. Sedici punti di controllo, utili alle verifiche per gli scopi suddetti, sono stati materializzati, monografati e misurati in modalità statica GNSS. La correzione in tempo reale è stata gestita dalla rete di stazioni permanenti dell'Università di Palermo (DICAM). Per ciò che riguarda l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software Meridiana dal quale sono stati estratti report esaustivi per l'analisi dei risultati ed il controllo della qualità delle misure. La morfologia del parco ha portato all'esigenza di suddividere la sua superficie in quattro settori, ognuno dei quali comprendente 4 vertici di controllo disposti in modo più uniforme possibile. Le misure dei vertici di controllo sono state eseguite per mezzo della strumentazione in dotazione al dipartimento. L'utilizzo del IP-S2, come detto, ha riguardato il rilievo dei sentieri e delle zone circostanti.

**L'elaborazione dei dati**

La fase di elaborazione ha interessato dapprima lo studio dei dati relativi ai satelliti quali DOP (Dilution Of Precision), SNR (Signal Noise Ratio), errori ionosferici sulle due portanti, errori di multipath. Il processo successivo ha compreso tre fasi distinte:

- 1) elaborazione dei dati grezzi e nello specifico processazione, sincronizzazione e georeferenziazione dei punti rilevati;
  - a. fase di processazione dei dati: durante la fase di acquisizione in sito, il pos registra tutti i dati relativi a posizionamento e assetto del veicolo e i dati relativi alla stazione fissa gps, su supporto flashcard.

quelli relativi al laser scanner e le immagini catturate dalle telecamere digitali sono registrati su hard disk. la processazione dei dati avviene tramite il software *pospac land*, di proprietà e distribuito dalla *applanix corporation*. per ogni "missione" di rilievo si ha una serie di file che compongono la sequenza pos, la quale elaborata assieme ai dati gnss, restituisce la rotta e l'assetto del veicolo calcolati (a 100 hz) con i soli satelliti. la precisione di determinazione della traiettoria seguita dal veicolo è di 3 -5 metri. due file chiamati *event1* ed *event2* registrano, rispettivamente, i secondi a cui sono stati scattati i fotogrammi e i secondi a cui sono avvenute le rotazioni dello specchio del laser scanner. per ottenere una accuratezza migliore si elabora la traiettoria con la coordinata della stazione permanente. il risultato di questa operazione, chiamata *navigate* è una nuova rotta calcolata sempre a 100 hz, ma con la precisione dell'ordine di 20-30 cm. durante l'elaborazione, si può notare la barra colorata per il controllo dell'accuratezza del posizionamento.

- b. fase di sincronizzazione: e' la fase in cui si associano i dati di assetto e di posizione del veicolo elaborati con gli istanti in cui le immagini sono state catturate dal le telecamere. si utilizza un altro strumento, sempre compreso nel programma *pospac*, chiamato *output*. il formato di file prodotto è il *loader*. viene utilizzato il file *event1* per leggere il secondo a cui è stata scattata un determinato panorama sferico e a tale istante vengono associate le caratteristiche del veicolo (posizione e assetto). la stessa cosa viene fatta utilizzando il file *event2* e quindi verrà creato un file che ad ogni giro dello specchio del laser scanner associa assetto e posizione del veicolo. i file ottenuti con l'output vengono poi integrati col file *gamsolution.txt*, cioè viene aggiunta l'informazione sul numero dei satelliti visibili ad ogni determinato istante temporale. in fase di rilievo, i dati *gams* sono registrati una volta per secondo.
- c. fase di georeferenziazione: e' la fase in cui i file ottenuti con l'output vengono associati con le immagini registrate dalle telecamere e con i dati laser. il processo, chiamato *sync event*, lavora in *.batch* e associa i file dell'output con le immagini. il risultato è un file *.pnt* delle immagini georiferite e uno stesso file dei punti laser georiferiti. il file *.pnt* è una tabella database e può già essere incluso in un sistema relazionale.

- 2) elaborazione dei filmati, distinta in creazione e calibrazione dei filmati;

- a. creazione dei filmati: si utilizza il programma *arcgis* e alcuni suoi applicativi. i file ottenuti con l'output sono stati salvati in una cartella, che viene chiamata convenzionalmente *process*. aprendo la cartella *process* con l'applicativo *film maker*, si crea automaticamente al suo interno un geodatabase, che contiene due tipi di dati: i punti della sequenza pos e i commenti che l'operatore ha immesso durante il rilievo.
- b. calibrazione dei filmati: i filmati *.mbd* sono interrogabili in due modi: per progressiva lineare, che indica la metrica da inizio filmato (metro 0) a fine filmato; per progressiva nominale, che indica la

metrica riferita ai cippi chilometrici (quindi lo zero non necessariamente coincide con lo zero della progressiva lineare). la calibrazione serve per introdurre nel filmato la progressiva nominale, che non è presente alla fine del processo di creazione del filmato .mbd. la calibrazione viene effettuata usando il roadsit player, un programma che permette di visualizzare i filmati .mbd. prima di calibrare ogni filmato è necessario controllare la calibrazione delle telecamere per avere, in fase di elaborazione delle immagini, una precisa corrispondenza fra stessi punti, ma individuati da diverse telecamere. si può fare questo controllo selezionando un punto riconoscibile nell'immagine di una telecamera e scorrendo i frame del filmato avanti e indietro per vedere se il punto si muove o se rimane fisso. una buona calibrazione della strumentazione prima del rilievo dovrebbe far mantenere fisso il punto. se il punto non corrisponde si agisce sull'angolazione delle telecamere per portare il punto nella stessa posizione della prima telecamera e poi si ripete l'operazione di controllo.

3) elaborazione dei dati laser: i dati provenienti dalla scansione laser (40000 punti al secondo) vengono registrati sul master in maniera continua durante tutto il rilievo. i dati grezzi sono suddivisi in pacchetti di circa 50 mb per questione di comodità nella loro gestione. i dati laser sono visualizzabili in due modi:

- ▶ sovrapposti alle immagini utilizzando i programmi roadsit;
- ▶ attraverso un qualsiasi altro programma che supporti le nuvole di punti.

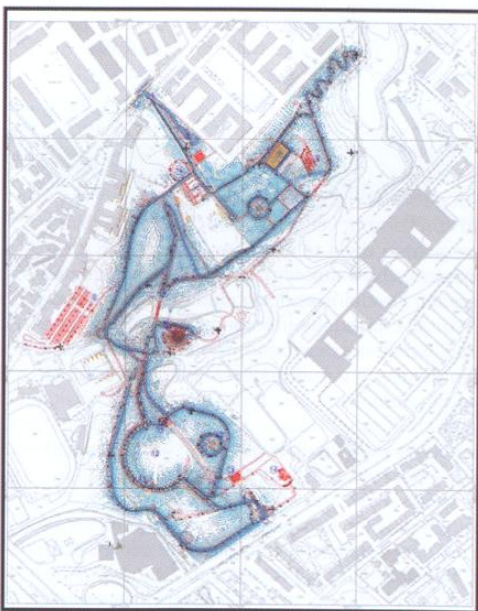


Figura 12 - Sovrapposizione cartografica dei rilievi MMS ed NRTK

Come prima elaborazione a verifica dell'accuratezza del mezzo è stata effettuata una sovrapposizione tra i dati estratti ed un nostro precedente rilievo in modalità NRTK del parco (Fig. 12); con questa operazione è stato possibile verificare la perfetta sovrapposizione dei due attestata dal corretto adattamento della semina di punti delle point-clouds all'interno del percorso rilevato in modalità NRTK.

Lo studio ha poi riguardato l'elaborazione dei dati laser scanner acquisiti con l'ausilio del software Rapidform XoR che ha consentito di condurre le operazioni di trattamento e filtraggio dei dati laser scanner (riduzione del rumore, sampling e smooth). La nuvola di punti necessita infatti, come noto, di essere opportunamente trattata allo scopo di migliorarne la qualità: il noise, ad esempio, può dipendere da diversi aspetti: il tipo di laser scanner utilizzato; la divergenza del raggio emesso, l'angolo di incidenza di quest'ultimo ed il tipo di materiale rilevato. In generale bisogna anche operare uno sfooltimento dei dati acquisiti, per ottenere la più corretta rappresentazione delle superfici interessate, ottenendo anche il vantaggio di ridurre l'ingombro di memoria con files di dimensioni più contenute e più leggeri da gestire in fase di restituzione. La nuvola di punti, attraverso i suddetti strumenti di filtraggio, presenterà inoltre minori problematiche nelle operazioni successive di triangolazione e meshing. Si è poi proceduto analizzando sezioni trasversali di un tratto al fine di testare l'idoneità della strumentazione utilizzata e dedurre il grado di dettaglio estraibile. Dalle sezioni ottenute è stata ipotizzata per interpolazione una "sezione tipo" utile alla realizzazione di un modello 3D ideale per un confronto morfologico coi dati acquisiti e lo studio delle irregolarità del suolo. I dati sono stati gestiti inizialmente tramite il software Spatial Factory (Fig. 13), per mezzo del quale questi sono stati visualizzati e successivamente esportati in formato ASCII. Data la considerevole quantità di punti acquisiti (circa 12.000.000 di punti) il rilievo è stato suddiviso in quattro parti attraverso il software TEXT MAGICIAN per facilitarne la gestione.



Figura 13 - Il software Spatial Factory

I quattro file in formato .txt sono quindi stati importati singolarmente nel software RAPIDFORM XoR che ne ha permesso la gestione e il trattamento. Le singole sezioni individuate sono state esportate in formato ASCII e successivamente importate nel modellatore NURBS Rhinoceros che ha permesso di procedere in maniera più spedita alla loro restituzione grafica. Per questo studio sono state tracciate quattordici sezioni che hanno permesso di ricostruire il profilo longitudinale e di analizzare la sezione della "sede stradale". La "sezione tipo" di cui sopra, tramite il modellatore di sweep è stata sviluppata lungo l'asse di percorrenza ed ha consentito di realizzare un modello 3D ideale della geometria del tratto considerato. Sono stati successivamente importati su RAPIDFORM XoR il modello 3D e la nuvola dei punti acquisita, entrambi riferiti allo stesso sistema di riferimento ed è stata il controllo delle distanze reciproche tramite lo strumento di analisi "shell deviation" (Fig.14). Si è osservato che i punti rilevati seguono un andamento "a strisce" condizionato sicuramente dal tipo di scanner equipaggiato che sfrutta una rotazione monoassiale.

Dal confronto morfologico-dimensionale la larghezza media della "sede stradale" è risultata correttamente nell'intorno di 2,5 metri; lo scarto maggiore è risultato in corrispondenza della sezione n. 6 con un valore pari a 0,17 metri, quello minore nella sezione n. 4 con valore di 0,033 metri.

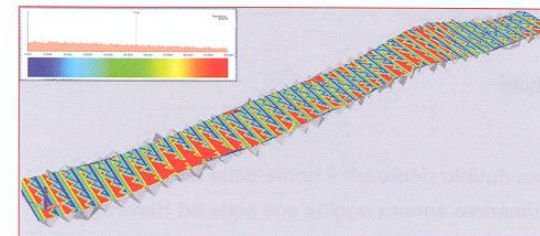


Fig.14 Confronto con Shell Deviation su Rapidform XoR

Successivamente è stato eseguito un controllo su supporti bidimensionali confrontando le sezioni trasversali estratte con la sezione tipo (Fig.15); da questo confronto si è potuto osservare che i risultati ottenuti sono di buona qualità in quanto lo scarto maggiore riscontrato ha un valore di 0,20 metri in un caso di dissesto della pavimentazione con una media sui punti analizzati di qualche centimetro. Trattandosi di un percorso ubicato all'interno di un parco si deve tener conto dell'eventuale presenza di irregolarità del terreno ed è per questo che il modello digitale è stato confrontato modificando la risoluzione di campionamento ed i limiti di tolleranza tra i punti del rilievo e la superficie del modello 3D. Le precisioni richieste nel rilievo degli elementi stradali previsti dal Decreto Ministeriale per popolare la base dati del Catasto Strade fanno riferimento al DM 1/6/2001, Allegato A.

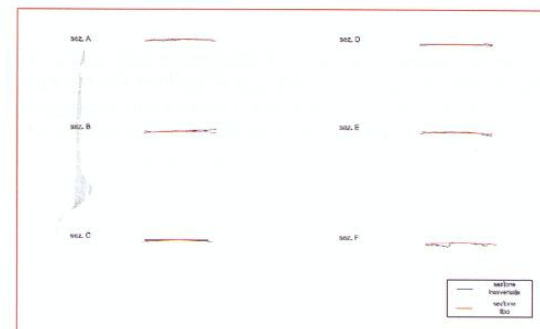


Figura 15 - Controllo delle sezioni estratte per verifica delle irregolarità geometriche

La distribuzione dei punti rispetto al modello ideale è visibile dalla gradazione di colori in funzione delle loro distanze dal modello; dalla tonalità di rosso per i punti più distanti al blu. E' stato possibile estrarre anche un diagramma correlato che evidenzia la concentrazione dei punti in funzione proprio della loro distanza dal modello ideale. Osservando il *texturing* a falsi colori si rende evidente l'andamento dei punti a strisce sopra accennato nelle zone di prossimità (in blu) mentre le zone in rosso sono prevalentemente quelle superficiali non corrispondenti allo stato reale interpolate dall'algoritmo di triangolazione. In ultima istanza le sezioni ottenute sono state sovrapposte a quelle ottenute dal rilievo in modalità NRTK verificando, come detto in precedenza, la loro buona corrispondenza

attraverso la verifica che le sezioni tracciate coincidono sempre con scarti accettabili rispetto ad un sistema di misura più accurato come l' NRTK.

Il presente lavoro ha permesso di effettuare uno studio approfondito sui sistemi laser scanner installati su piattaforme di navigazione mobili (dotati di un sistema integrato di navigazione GNSS/INS), di effettuare un'analisi qualitativa del dato laser acquisito ed infine di effettuare la realizzazione di modelli digitali del terreno che hanno permesso di fare considerazioni utili alla valutazione di accuratezza e dettaglio estraibili dal sistema in questione.

#### Ringraziamenti

Un doveroso ringraziamento agli ingegneri Francesco Acuto, Noemi Pucci e Antonio Scozzaro, che su queste tematiche hanno discusso brillantemente le loro tesi di laurea in Ingegneria Civile.

#### Parole chiave

GNSS, RTK, NRTK, PERMANENT STATIONS, GLONASS, MMS, LASER SCANNER, 3D MODELLING

#### Abstract

THIS ARTICLE SUMMARIZES THE EXPERIENCE GAINED BETWEEN 2012 AND 2013 BY THE DEPARTMENT OF "CIVIL, ENVIRONMENTAL, AEROSPACE AND MATERIALS" OF THE "UNIVERSITY OF PALERMO ON THE INTEGRATED SURVEY OF PARK N. CASSARA IN PALERMO AND THE SUBSEQUENT TESTING OF METHODS, TOOLS AND TECHNIQUES BASED ON CURRENT RESEARCH REGARDING THE ACQUISITION AND PROCESSING OF GNSS DATA AND LASER-SCANNER. THE WORK HAS BEEN ADDRESSED IN ORDER TO SELECT THE LESS EXPENSIVE AND FAST TECHNIQUES TO BE APPLIED IN THE ACQUISITION PHASE. AFTER FIRST MONUMENTING SIXTEEN CONTROL POINTS DISTRIBUTED WITHIN THE SITE AND SURVEYED BY GNSS, THEN WAS PLANNED AND CARRIED OUT THE SURVEY IN NRTK MODE OF THE PATHS AND OF THE KEY ELEMENTS OF THE PARK. IT WAS THEREFORE DECIDED TO EXPERIMENT WITH MMS ACQUISITION OF THE PARK THROUGH WHICH IT WAS POSSIBLE TO ACQUIRE DATA ABOUT THE MORPHOLOGY OF THE TERRAIN, THE CONDITIONS OF THE STATE OF FOOTPATHS, BUILDINGS THAT LAID AHEAD AND DISTRIBUTION OF STREET FURNITURE. THE POINT CLOUDS OBTAINED THROUGH THIS TECHNOLOGY HAVE BEEN SUBJECTED TO BOTH AUTOMATIC AND MANUAL PROCEDURES TO VERIFY THAT, FINALLY, THEIR ACTUAL DESCRIPTIVE POSSIBILITIES OF REAL FORMS.

#### Autore

GINO DARDANELLI  
GINO.DARDANELLI@UNIPA.IT

MARCO CARELLA  
INFO@MARCOCARELLA.EU

UNIVERSITÀ DI PALERMO, DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E AEROSPAZIALE,  
VIALE DELLE SCIENZE, 90128 PALERMO, ITALY