

Scansione georiferita di strade ad alto scorrimento mediante robot mobile semi-autonomo

Adriano Mancini (*), Nora Tassetti (**), Emanuele Frontoni (*),
E.S. Malinverni (**), Primo Zingaretti (*)

(*) DIIGA, Università Politecnica delle Marche, 60131 Ancona
e-mail: {mancini, frontoni, zinga}@diiga.univpm.it
(**) DARDUS, Università Politecnica delle Marche, 60131 Ancona
e-mail: {n.tassetti,e.s.malinverni}@univpm.it

Gli autori costituiscono lo Spin-Off SI2G - Sistemi Informativi Intelligenti per la Geografia s.r.l.
via Totti 3 - 60131 Ancona, e-mail: info@si2g.it, sito web: <http://www.si2g.it>

Riassunto

Durante gli ultimi anni le tecnologie di rilievo si sono largamente evolute grazie all'impiego del laser scanner che rende possibile una modellazione 2D/3D dell'ambiente con una elevata densità di punti rilevati. I sistemi di mobile mapping oggi sul mercato sono tuttavia ancora troppo costosi per diventare un diffuso supporto topografico alla progettazione di infrastrutture stradali. In questo articolo si presenta un innovativo sistema semi-automatico per la scansione georeferita di strade ad alto scorrimento mediante l'utilizzo di un robot mobile che combina robotica mobile e rilievo topografico. La soluzione proposta si caratterizza con due laser scanner 2D short range, un inclinometro, un odometro ed un ricevitore GPS a doppia frequenza installati su una piattaforma mobile. Il robot si può muovere autonomamente mediante un algoritmo di line following o mediante un controllo remoto qualora l'operatore volesse agire attivamente sul processo di rilievo. La georeferenziazione delle scansioni viene migliorata mediante tecniche DGPS. In questo articolo, il sistema mobile proposto viene descritto nella sua architettura e testato per studiare la regolarità del manto stradale in un tratto a quattro corsie dell'Autostrada A14. I risultati sperimentali mettono in evidenza come il sistema permetta di rilevare anomalie rispetto al progetto esecutivo ed identificare in questo modo le zone da sottoporre a controllo / correzione. Punto di forza del sistema mobile proposto consiste nel suo costo contenuto (circa un ordine di grandezza inferiore rispetto ai sistemi tradizionali) e nella buona autonomia operativa. In seguito all'acquisizione, tools software permettono di estrarre il modello digitale della strada e quindi di analizzarne i profili come verifica e collaudo della progettazione.

Ulteriori sviluppi dell'architettura proposta prevedono di potenziare alcuni dispositivi a bordo della piattaforma e di acquisire sezioni ad un passo maggiore così da poter aprire di fatto ad una modellazione 3D dell'ambiente.

Abstract

During the last years surveying technologies have largely evolved making use of laser scanners that allow 2D/3D environment modelling with very dense point clouds. Nowadays mobile mapping systems on the market are still too expensive to become a widespread support to topographic design of road infrastructures. In this paper we present an innovative semi-automatic georeferenced system to scan roads. The system exploits a mobile platform combining mobile robotics and digital surveying. The proposed solution is characterized by two short range 2D laser scanners, an inclinometer, an odometer and a dual-frequency GPS receiver installed on a mobile platform. The robot can move either autonomously, driven by an algorithm following lines/waypoints, either via a remote control

when the operator is enabled to steer all the movements of the robotic platform. The georeferencing of scans is enhanced by DGPS techniques. In this paper the mobile system is described and tested to study the regularity of the A14 superhighway surface. Experimental results reveal how the system is able to detect anomalies in relation to the preliminary/executive road project and identify areas to be checked or corrected. The main pro of the proposed mobile system is the low cost (about 1/10th of conventional systems) and the easiness of use. After data collection, developed software tools allow to extract the road digital model and then analyze its road profiles as a verification and testing of the design.

Introduzione

La robotica è da molti anni al centro dell'attenzione del mondo scientifico e dell'industria. In principio la robotica si occupava di automatizzare processi pericolosi, ripetitivi con l'obiettivo di alleviare il lavoro degli operatori. Questa era la visione della robotica industriale. Infatti tale visione nel corso degli anni si è evoluta grazie alla diffusione di nuovi sistemi robotici mobili. L'accezione *mobile* sta a significare che il classico concetto di braccio robotico è sostituito da una piattaforma mobile che è dotata di organi di movimento quali ruote o cingoli. Tali piattaforme sono generalmente impiegate in ambiti diversi come la movimentazione di materiale nel caso di magazzini o aziende manifatturiere o l'assistenza di visitatori all'interno di musei. E' necessario aggiungere che tali piattaforme sono dotate o di una propria intelligenza che permette loro di effettuare in piena autonomia e sicurezza un determinato compito o di una interfaccia di telecontrollo con la quale un operatore a distanza può manovrare. Nel primo caso si parla di piattaforme *unmanned* mentre nel secondo di *teleoperated*. In questo lavoro si presenta una tematica che tende a fondere due discipline fortemente differenti quali la robotica mobile ed il rilievo. In particolare si è preso come caso di studio la scansione di un tratto stradale dell'autostrada A14 durante i lavori di realizzazione della terza corsia con lo scopo di rilevare l'andamento del profilo stradale lungo l'asse trasversale. Tale operazione è importante poiché permette alle macchine asfaltatrici di conoscere in anticipo le irregolarità della superficie sulla quale viene stesa la copertura di asfalto drenante.

Le tecniche e le strumentazioni per affrontare il problema del mobile mapping ad oggi sono evolute profondamente grazie alla diffusione di sistemi LiDAR 2D/3D ad alte prestazioni (Tao, Li, 2007). Tali sistemi permettono la scansione di strade ed infrastrutture stradali con velocità e prestazioni fino a poco tempo fa impensabili. Dal punto di vista mediatico l'introduzione di *Google Maps* con lo *Street View* ha reso possibile che sistemi di questo tipo raggiungessero anche utenti non del settore. Esperimenti di successo nel mobile mapping applicato al rilievo stradale sono ad esempio la realizzazione del Catasto Strade delle Regioni Piemonte, Veneto ed Umbria. Nell'ambito della robotica mobile questa tematica è meglio conosciuta come *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) che è attualmente una delle maggiori sfide (Thrun et al. 2005) ovvero di costruire/aggiornare mappe 2D/3D dell'ambiente ed al contempo usarle per localizzarle migliorando le performance del processo di localizzazione basato sul dato GPS. L'idea alla base di questo lavoro è di presentare un sistema autonomo per l'acquisizione georeferita di strade utilizzando una piattaforma mobile attrezzata allo scopo. Nella sezione successiva viene presentata l'architettura del sistema con le sue parti. Successivamente vengono riportati dei risultati ottenuti nel mese di Maggio 2010 relativi alla scansione di un tratto della autostrada A14 nei pressi del casello di Loreto-P.to Recanati.

Architettura del sistema

L'utilizzo di una piattaforma mobile robotica per scopi di rilievo è utile soprattutto nei casi in cui l'azione è ripetitiva e l'intervento umano non è essenziale per la buona riuscita. Per ovvi motivi di sicurezza tali sistemi possono essere arrestati in qualsiasi momento mediante diverse interfacce meccaniche e software che permettono ad un operatore di arrestare la marcia del veicolo robotico.

L'architettura dell'intero sistema è raffigurata in Figura 1.

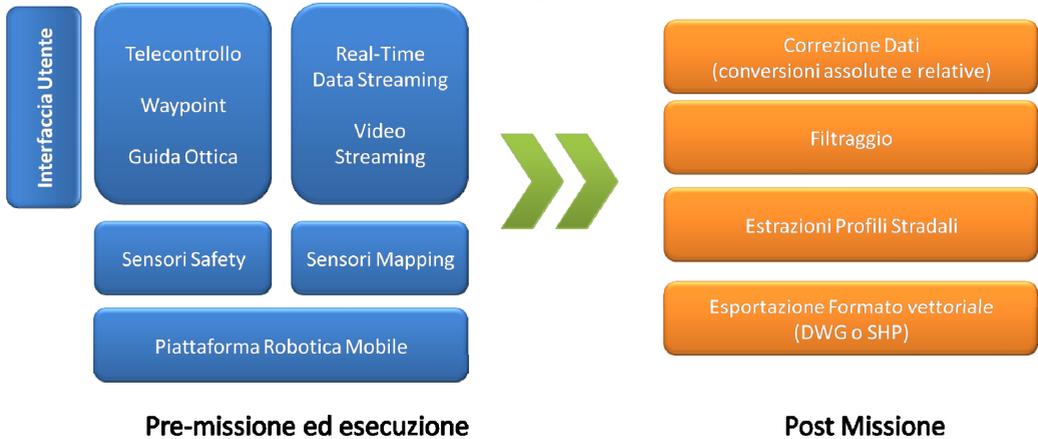


Figura 1 – Architettura del sistema di acquisizione e post-processing.

Al fine di ottenere una scansione geo-referita del profilo stradale si è sviluppato un sistema di acquisizione composto da:

1. una piattaforma mobile
2. due unità laser range finder
3. una unità inerziale (Attitude Heading Reference System)
4. due ricevitori GPS Topcon Legacy-E
5. sistema di calcolo embedded

Di seguito sono descritte in maggior dettaglio le singole componenti della strumentazione montato a bordo del robot.

Il **sistema mobile** (Figura 3) è formato da un robot a quattro ruote motrici per uso outdoor prodotto dalla MobileRobots; in particolare il sistema in esame è il Pioneer P3-AT che permette di movimentare carichi al massimo di 15kg.

Il sistema prevede la possibilità di comando manuale mediante interfaccia joystick o mediante assegnazione di waypoints.

Per il futuro si prevede la possibilità di far seguire autonomamente al robot un percorso anche mediante guida visuale con traccia a terra. Tale sistema richiederà l'installazione di una camera (webcam) e di tracce a terra che permettano al robot di muoversi senza diretto comando dell'uomo. L'operatore comunque avrà facoltà di interrompere / ripianificare la missione senza problemi mediante un semplice Stop & Correct & Go.

Indipendentemente dal tipo di guida (manuale / autonoma) vi è la possibilità di annotare del testo durante la scansione dell'ambiente; ciò permetterà in post-processing di focalizzare l'attenzione sulle note che potrebbero indicare delle zone di particolare interesse.

I **laser** installati a bordo del robot sono:

- Hokuyo URG-04LX (portata 5.6m)
- Sick LMS 200 (portata 8m)

I due laser si differenziano per step angolari e range massimo misurabile. I migliori risultati sono stati ottenuti con il Sick LMS200.

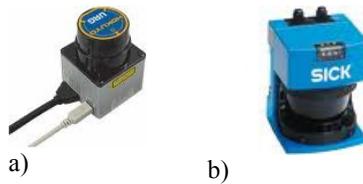


Figura 2 – a) Laser Hokuyo URG-04LX b) Laser Sick LMS200.

Per quanto concerne il **modulo di orientamento** del robot si è utilizzato un dispositivo di tipo Attitude Heading Reference System. Il dispositivo in esame è prodotto dalla Microstrain Inc. con codice prodotto 3DM-GX1. In statico l'accuratezza del sistema è stimabile in 0.5° . Tale valore attualmente risulta essere uno dei limiti dell'intero sistema di acquisizione.

Relativamente al **modulo di posizionamento**, i punti della rete GPS sono stati rilevati con tecnica GPS differenziale e metodo cinematico. In particolare due ricevitori geodetici Topcon Legacy, doppia frequenza, accoppiati all'antenna *Topcon Legacy E* sono stati impiegati in modo simultaneo: il ricevitore con funzione di Master è stato posizionato su un punto noto (caposaldo "GPS03") con lo scopo di affinare le coordinate dell'altro ricevitore installato sulla piattaforma di acquisizione e utilizzato per il rilievo dei punti di georeferenziazione delle scansioni laser.

A causa di problemi tecnici legati alle ridotte performance dei ricevitori e alla modalità di acquisizione si è giunti ad una precisione planimetrica (X,Y) pari a circa 1/2cm e ad un errore massimo della quota dell'ordine dei 5/6 cm.

Il **sistema di calcolo** è basato su di un computer @1.6GHz, 512 Mbyte di RAM, Hard disk stato solido (4Gbyte) per evitare problemi con vibrazioni e/o urti. Il sistema operativo di base è il Windows XP embedded.

L'antenna GPS nella terna del robot ha coordinate $O_{ant} = [x_{ant} \ y_{ant} \ z_{ant}]$. I due laser a loro volta hanno coordinate $O_{LMS} = [x_{LMS} \ y_{LMS} \ z_{LMS}]$ e $O_{URG} = [x_{URG} \ y_{URG} \ z_{URG}]$. Stesso discorso per quanto concerne il sistema di determinazione dell'assetto che ha coordinate $O_{AHRS} = [x_{AHRS} \ y_{AHRS} \ z_{AHRS}]$; il passaggio da un sistema riferimento relativo ad un generico sensore ad uno assoluto (es. UTM33N su WGS84) avviene mediante una matrice di trasformazione a 6 parametri (3 traslazionali e 3 rotazionali) che vengono determinati nella fase iniziale di calibrazione.

La determinazione dei valori dei vari centri è stata effettuata mediante una iniziale procedura di calibrazione con lo scopo di determinare i vari offset. Tali scostamenti sono di fondamentale importanza poiché permettono di convertire una misurazione laser (sistema polare relativo al laser) in coordinate assolute UTM usabili in ambienti GIS o CAD dopo opportuna conversioni in file vettoriali come shp e/o dxf/dwg. Il posizionamento dei laser è stato scelto per mettere in risalto asperità lungo l'asse trasversale della strada. La configurazione scelta influisce sulla numerosità dei punti agli estremi che risulta essere ridotta ai margini della sezione.

Un possibile accorgimento per aumentare la densità dei



Figura 3 – Sistema di acquisizione per scansione georeferita; in primo piano il robot P3-AT usato per effettuare la scansione del profilo longitudinale.

punti è di usare un laser con maggiore risoluzione angolare e posizionato ad un livello superiore. Comunque la configurazione ottimale è fortemente legata dallo scopo applicativo e dal range di determinazione delle asperità.

In questa prima prova effettuata per determinare punto-punto la pendenza dell'asse trasversale con elevata accuratezza si è pensato di posizionare il laser molto vicino alla superficie da esaminare così da far giocare alla risoluzione angolare un ruolo fondamentale.

Risultati

Il rilievo effettuato (in verde in Figura 4) consiste in 170 sezioni georeferite effettuate con passo di circa 10 m (passo che è stato ridotto in prossimità di sezioni di particolare interesse).

Da queste sezioni ne deriva un modello georeferito dell'infrastruttura dal quale è possibile estrarre informazioni relative alla piattaforma stradale (pendenze, deformazioni del piano stradale, etc).

Tutto ciò rappresenta un valore aggiunto rispetto alle normali e tradizionali tecniche di acquisizione topografica che prevedono l'acquisizione mirata del dato in funzione delle specifiche esigenze. In particolare il processamento dei dati è avvenuto tramite opportune routine finalizzate all'estrazione automatica e semi-automatica delle *feature* di interesse che, nella prova in oggetto, sono consistite in:

- polilinee 3D (Figura 5) delle sezioni trasversali rilevate ad ogni progressiva, in coordinate WGS84 e formato DXF e disegno automatico del profilo nel cartiglio quotato (Figura 6).

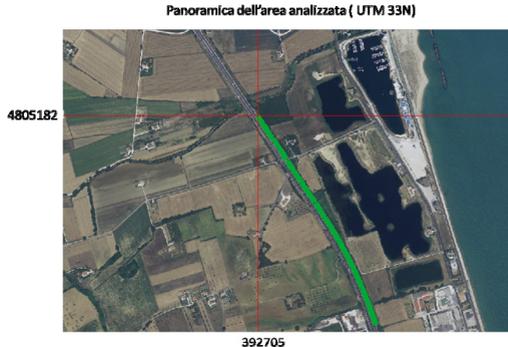


Figura 4 – In verde le scansioni effettuate dal sistema automatico.

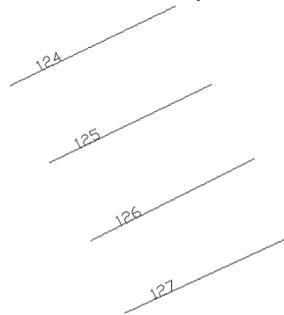


Figura 5 – Esempi di polilinee 3D ricavate dal processamento dei dati.

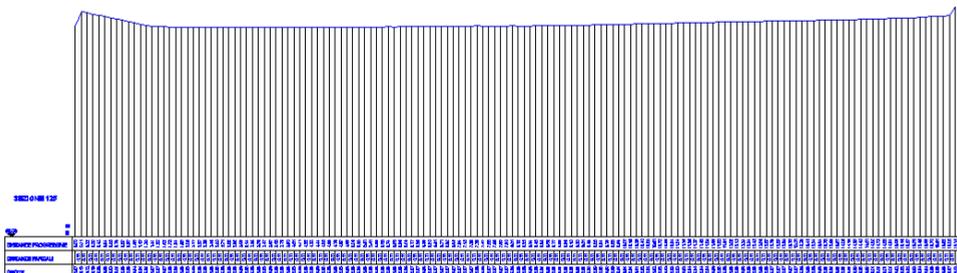


Figura 6 – Sezione tipo.

- modello 3D semplificato (*Triangular Irregular Network*) del corpo stradale (Figura 7), riportante per ogni punto le coordinate geografiche (X,Y,X). (Formato TIN e GRID)

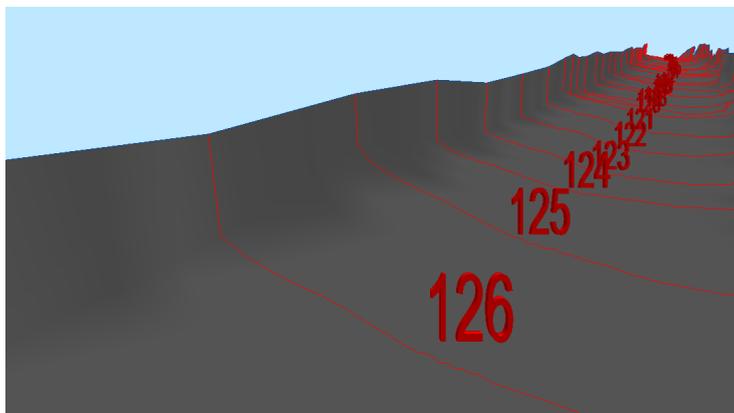


Figura 7 – Modello 3D del corpo stradale e relative sezioni.

Per quanto riguarda la valutazione delle prestazioni in termini di qualità del processo di rilievo si constata una buona fedeltà con quanto rilevato manualmente da una serie di operatori in punti chiave del profilo stradale (estremi e centro strada). Le differenze principali si sono manifestate come un offset in quota dovuta all'uso di una strumentazione non altamente performante.

Conclusioni

In questo articolo si è presentato un sistema per la scansione georeferita di profili stradali che fa uso di un sistema robotico per l'acquisizione dei dati. Questo lavoro è un primo tentativo che ha ampie possibilità di miglioramento sia dal punto di vista della pianificazione/esecuzione missione che della strumentazione a bordo e a terra. Dal punto di vista della pianificazione ed esecuzione missione il robot potrà essere teleguidato da un operatore a distanza qualora una missione per waypoint risulti difficoltosa a causa di una scarsa qualità del segnale GPS (esempio in prossimità di cavalcavia o strutture laterali di altezza significativa); l'operatore potrà usufruire anche di un video streaming per osservare in dettaglio l'area in esame. Dal punto di vista della strumentazione si rende necessario l'uso di un inclinometro e/o piattaforma inerziale di qualità superiore per garantire una maggiore precisione ed accuratezza nei risultati; l'adozione di ricevitori migliore con un collegamento real-time a reti di correzioni migliorerebbe ulteriormente la qualità dei dati raccolti. Un vantaggio di tale sistema risiede nel costo che è circa un ordine di grandezza inferiore rispetto alle soluzioni mobile mapping attualmente presenti sul mercato.

Una possibile ricaduta di tale sistema potrebbe riguardare la pittura della segnaletica orizzontale. Il robot può seguire una combinazione di tracce reali (linee guida sul manto) o virtuali (waypoint GPS o marker visuali) garantendo una qualità elevata nell'esecuzione del lavoro.

Ringraziamenti

Si ringrazia la Aertecno S.r.l. di Grottammare (AP) per la collaborazione e l'opportunità offerta.

Bibliografia

- S. Thrun, W. Burgard e D. Fox 2005, *Probabilistic Robotics*, MIT Press, Cambridge, MA.
Tao, V. e Li, J. 2007 *Advances in Mobile Mapping Technology: ISPRS Series, Volume 4*. Taylor & Francis, Inc.
<http://www.si2g.it>