

## **Sperimentazioni laser scanner/GPS per rilievi di autolocalizzazione integrati e automatizzati**

Vincenzo Barrile (\*), Giuliana Bilotta (\*\*), Giuseppe M. Meduri (\*), Milena Mazza (\*)

(\*) Dipartimento DICEAM - Facoltà di Ingegneria Università Mediterranea di Reggio Calabria  
Via Graziella Feo di Vito 89100 Reggio Calabria, Tel +39 0965 875301  
vincenzo.barrile@unirc.it, giumed@libero.it

(\*\*) Dottorato NT&ITA (Nuove Tecnologie e Informazione Territorio Ambiente) – Dip. di Pianificazione  
Università IUAV di Venezia, Santa Croce 191 Tolentini, 30135 Venezia  
giuliana.bilotta@gmail.com

### **Riassunto**

La ricerca condotta, fa riferimento a studi, ricerche e applicazioni volte alla risoluzione “speditiva” di un problema integrato finalizzato all’autolocalizzazione e alla perimetrazione tramite strumenti mobili automatizzati. La metodologia proposta viene applicata ad un reale caso di studio (in ambiente esterno) utilizzando le metodologie GPS (in modalità cinematica) e Laser Scanner a supporto di una “piattaforma mobile”.

Per le misurazioni si sono adoperati un ricevitore Gps “GS14” fornito da Leica Geosystem e un Laser Scanner bidimensionale fornito dal laboratorio di automazione e controlli dell’università Mediterranea di Reggio Calabria ; la suddetta strumentazione è stata opportunamente posizionata su un sistema (ancora sperimentale) reso mobile, atto allo stato a simulare il comportamento di una futura piattaforma completamente automatizzata.

Nella presente nota viene dunque sperimentata una metodologia “speditiva” per il rilievo Topografico classico del territorio con utilizzo di strumentazione Laser scanner in abbinamento a ricevitori GPS attraverso la definizione tridimensionale centimetrica in un unico sistema di riferimento di scansioni singole effettuate da un “mezzo” in modalità “rileva e muoviti”.

### **Abstract**

The present study is mainly based on studies, research and applications aimed at the “quick” resolution of an integrated problem oriented at the self-localisation and perimetration to be carried out through automated mobiles devices.

The methodology adopted is applied on a real case study (external environment) by using the following surveying tools: a kinematic Global Positioning System (GPS) and a Laser Scanner supporting a “mobile platform” (deployed on a mobile platform).

As far as the measurement tools are concerned, a “GS14” GPS receiver provided by Leica Geosystem, and a two-dimensional Laser Scanner provided by the Automation and Control Laboratory of the University “Mediterranea” of Reggio Calabria were employed.

The abovementioned measurement tools were positioned on an experimental mobile system specifically designed to simulate the behaviour of a prospective and completely automated platform.

Thus, the present study focuses on the experimental development of a “quick” methodology to be used in order to conduct the traditional land surveying through the use of a Laser Scanner alongside with GPS receivers with a three dimensional centimetric resolution within one single system of reference made up of individual scans operated by a “Stop-and-Go “ device.

### **Descrizione campagna sperimentale.**

Nell’ambito di una collaborazione tra il Laboratorio di Geomatica e il Laboratorio di Automazione e Controlli dell’Università Mediterranea di Reggio Calabria, volta al possibile sviluppo e

implementazione di un algoritmo di calcolo basato sull'utilizzo di un sensore laser-scanner per applicazioni di robotica mobile, si è effettuata una prima sperimentazione, presso il piazzale retrostante l'università (Fig.1), per una perimetrazione automatizzata e cinematica dell'area oggetto di indagine con contestuale auto localizzazione del sensore di rilevamento attraverso l'integrazione di misure laser scanner e misure GPS.

In particolare è stato utilizzato una "piattaforma mobile" rudimentale (carrellino mobile attrezzato), dotato di un laser-scanner (che allo stato di fatto permette di effettuare solo scansioni in ambito planimetrico) montato su un carrello con ruote (Fig. 2); sullo stesso carrellino, superiormente al sensore Laser e' stata posizionata l'antenna GPS (Fig.3)

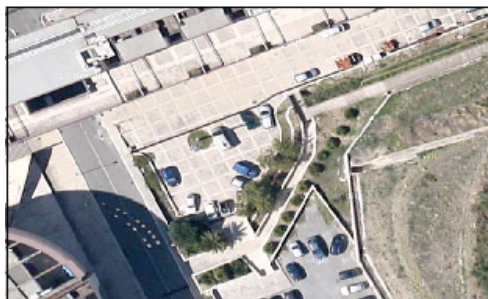


Figura 1. Zona di indagine retrostante l'università.

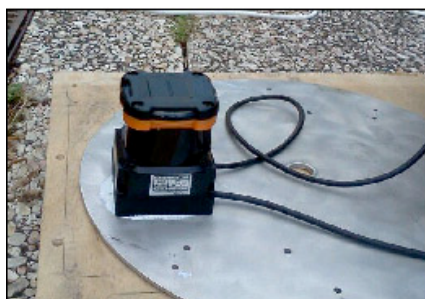


Figura 2. Piattaforma mobile.

Il sensore è connesso alla porta USB di un laptop il quale invia le istruzioni da eseguire al LRF mediante l'utilizzo del linguaggio di programmazione matlab (linguaggio di programmazione utilizzato per tutti gli algoritmi implementati per la gestione e realizzazione del sistema proposto) . Si osserva in via preliminare come l'automazione della procedura, non è allo stato ancora disponibile e quindi le operazioni sono state ad oggi effettuate manualmente,

In particolare e' stata effettuata una rotazione di 360° del carrello effettuando le acquisizioni ad intervalli di tempo pressoché regolari tentando di garantire la continuità del movimento, simulandone un comportamento quanto più possibile regolare.

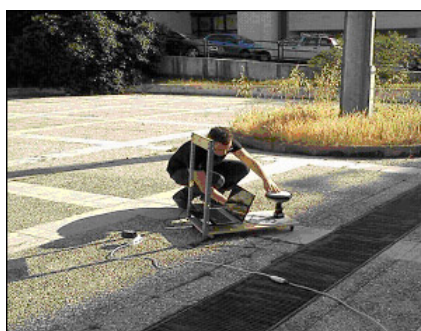


Figura 3. Operazioni di rilievo.

Preventivamente alle operazioni di integrazione tra le diverse metodologie di rilievo, è stata effettuata in maniera indipendente una perimetrazione dell'area oggetto di studio attraverso rilievo GPS in modalita classica rtk; l'elaborazione dei dati acquisiti effettuata con il programma commerciale LGO della Leica ha permesso di ottenere le coordinate dei punti riportate nello schema di fig 4 rappresentanti la perimetrazione dell'area oggetto di studio.

robot.txt			
1011	558340.830	4219463.856	71.060
1010	558351.745	4219464.071	70.979
1009	558353.802	4219462.929	71.011
1008	558353.486	4219460.726	71.041
1007	558348.486	4219448.349	71.161
1006	558357.896	4219447.128	71.199
1005	558362.532	4219455.262	71.131
1004	558364.995	4219463.866	71.055
1003	558360.563	4219463.981	71.065
1002	558362.141	4219464.797	71.061
1001	558361.499	4219467.919	71.014

Figura 4. Dati GPS.

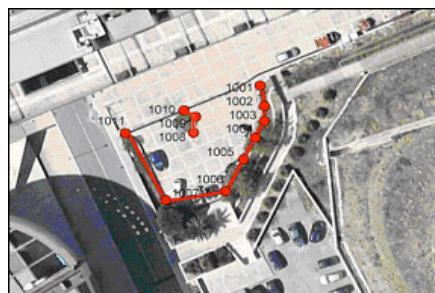


Figura 5. Dati GPS su cartografia.

Gli stessi dati, sono stati in seguito riportati su cartografia georiferita e collegati tra loro hanno permesso dunque di delimitare il perimetro d'interesse (Figura 5). Tali dati vengono considerati come dato “certo” da utilizzarsi per il confronto con le metodologie di rilievo successivamente proposte. In particolare è stato posizionato, a tal proposito (integrazione laser scanner – gps – carrello mobile) sulla piattaforma superiormente al sensorino laser scanner, l’antenna GPS (Fig. 6) in maniera tale da ottenere misure contemporanee

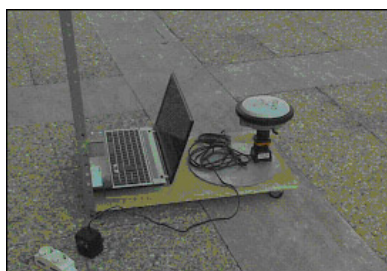


Figura 6. Posizionamento contemporaneo di Laser Scanner e GPS su “carrellino mobile attrezzato”.

### Misurazioni effettuate con il Laser Scanner

Sono state dunque effettuate 7 scansioni con il “carrellino mobile attrezzato” effettuando come detto, allo stato degli spostamenti manuali dello stesso (rotazione di 360°), nell’ottica di una sua futura e completa automazione.

Per ogni scansione effettuata è stata contestualmente rilevata la posizione attraverso misure GPS utile, per collegare tra loro le diverse scansioni attraverso la misura di target esterni.

Le scansioni effettuate sono riportate di seguito (Fig.7).

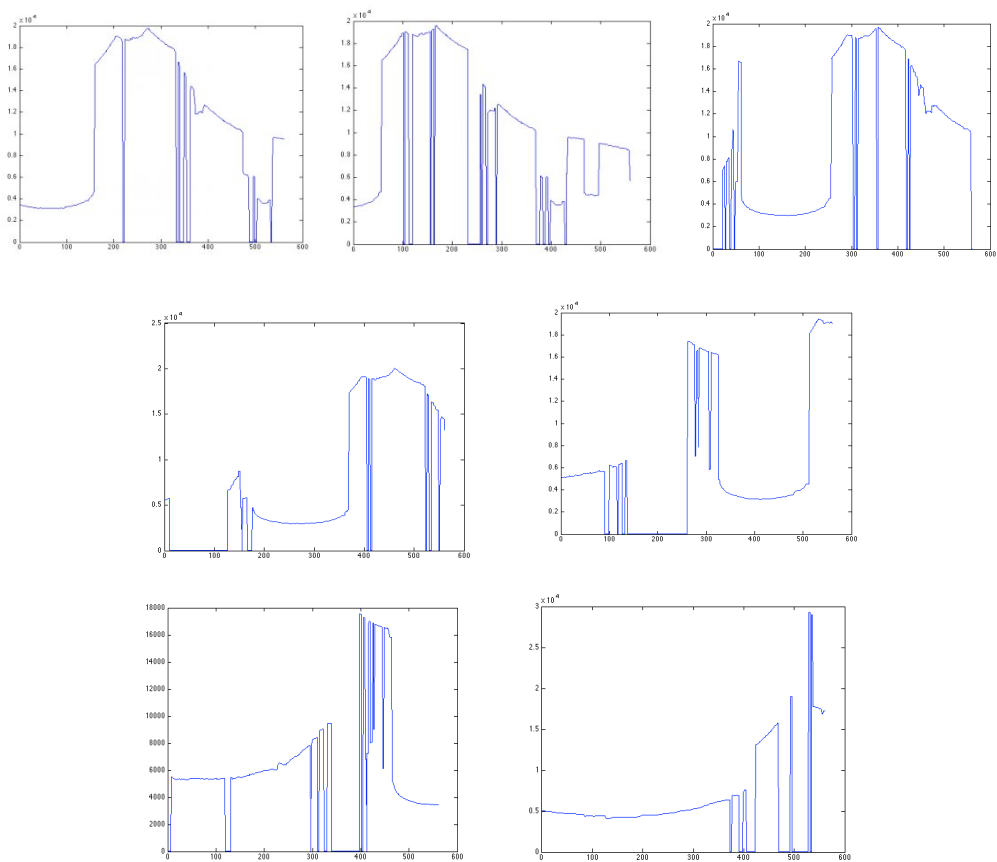


Figura 7. Scansioni LS n° 1-7.

Le singole scansioni sono state elaborate e collegate tra loro mediante un algoritmo realizzato in proprio in ambiente matlab (lab AeC), in fase di sperimentazione e di successivo sviluppo ricavando una serie di spezzate che in effetti descrivono con poco margine di errore la geometria del piazzale (Fig.8)

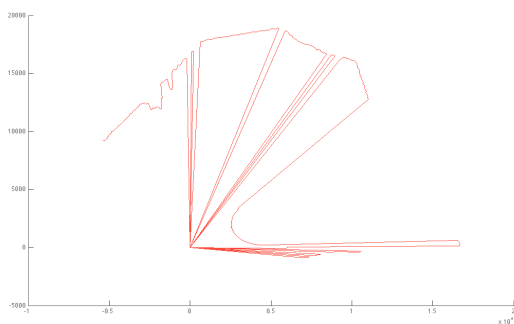


Figura 8. Risultato dell'algoritmo di geolocalizzazione.

In particolare (in estrema sintesi) l'algoritmo realizzato in ambiente matlab e utilizzato nella presente sperimentazione non usa per la restituzione target comuni rilevati esternamente ma effettua un collegamento delle varie scansioni attraverso metodologie statistiche di autocorrelazione, utilizzando, le "features" o meglio delle caratteristiche distintive che il robot (carrellino mobile attrezzato) riesce a percepire dall'ambiente tramite l'utilizzo del sensore laser scanner. Tali caratteristiche possono essere delle forme geometriche, come ad esempio spigoli, cerchi o rettangoli, oppure dei dati aggiuntivi come codici a barre. Le features devono avere una posizione ben precisa e fissa all'interno dell'ambiente e devono essere facilmente rilevabili dal sensore. La metodologia utilizzata puo' essere suddivisa in due fasi: l'estrazione delle features dalle misure effettuate dai sensori e l'accoppiamento tra features appartenenti a misure differenti in modo da determinare lo scostamento tra le due misure in termini di una traslazione ( $D_x$ ,  $D_y$ ) e di una rotazione  $D_\alpha$ . Viene così introdotto un algoritmo di "SLAM" basato esclusivamente sulle informazioni provenienti da un laser-scanner. Tale algoritmo introduce un nuovo modello per la predizione dello stato futuro (descritto in Fig.9)

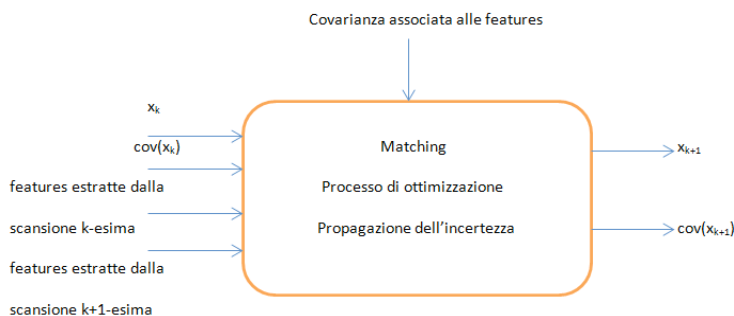


Figura 9. Modello di predizione dello stato futuro.

A partire dalla conoscenza della posa corrente  $x_k$ , della sua covarianza  $cov(x_k)$ , dalle features estratte alla scansione k-esima e alla scansione k+1-esima e della covarianza associata alle features si calcola la posa al passo successivo e la sua covarianza. Per fare ciò, bisogna effettuare tre passi (supponendo che già le features siano state estratte da entrambe le scansioni) il matching tra le features, il processo di ottimizzazione e la fase di propagazione dell'incertezza.

L'algoritmo ha permesso di analizzare le prime quattro scansioni, mentre per le ultime tre sono state riscontrate delle difficoltà, dovute a fenomeni esterni di disturbo che hanno impedito una corretta rilevazione dei dati.

In ogni caso, dopo una "ripulitura" del dato da eventuali parametri di disturbo (gps e laser scanner), sovrapponendo la restituzione del rilievo alla cartografia si ottiene quanto riportato in fig 10

Per verificare la validità di tali risultati operiamo un confronto tra i risultati laser scanner e quelli gps (linea rossa su cartografia considerato come dato "certo") preferendo alla realizzazione di complesse tabelle e grafici riassuntivi e/o vari parametri statistici sulla precisione delle elaborazioni piuttosto la visualizzazione grafica in grado di far meglio risaltare le differenze tra le due metodologie (Fig. 11) stante lo scopo "speditivo" della presente proposta.

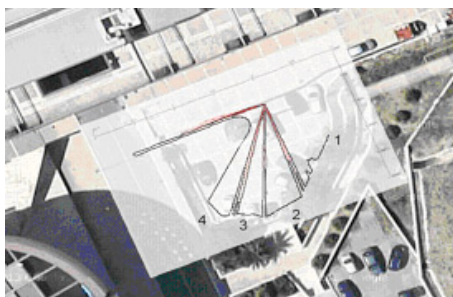


Figura 10. Sovrapposizione risultato algoritmo su cartografia.

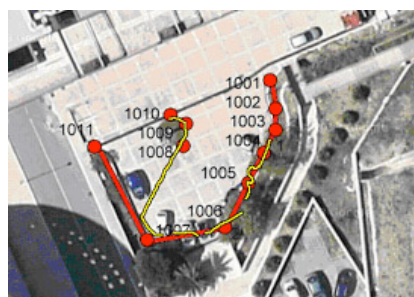


Figura 11. Confronto tra le due metodologie.

Nonostante non vi sia la stessa precisione del dato GPS in termini di restituzione, si evidenzia comunque come l'algoritmo proposto per l'elaborazione del dato laser scanner sia in grado di fornire di per sé discreti risultati, come si evidenzia dalla parziale corrispondenza planimetrica dei due tracciati Gps e laser scanner riportati in figura 11

Ciò è di buon auspicio per la prosecuzione della sperimentazione.

### **Integrazione Gps e Laser scanner per il collegamento di scansioni successive**

Come noto, la problematica principale per la restituzione di dati laser scanner è l'assemblaggio delle scansioni al fine di determinare un unico sistema di riferimento nel quale "immergere" il modello restituito. L'acquisizione delle scansioni ha come risultato immediato una nuvola di punti ordinata nel piano, le cui coordinate sono note rispetto al centro di "presa". La scansione è quindi localmente orientata rispetto ad un sistema di riferimento arbitrario che deriva dalla scelta del punto di presa, che verrà assunto come origine del sistema di riferimento della scansione. L'assemblaggio di più scansioni richiede quindi la conoscenza dei parametri di rototraslazione: questi parametri possono essere calcolati se è nota la posizione dell'origine del sistema di riferimento di ogni scansione rispetto ad un unico sistema attraverso la misura di "target" esterni. Tale problema per applicazioni di tipo geo-topografico, si risolve avendo punti notevoli (target), dei quali sono note le coordinate, in tutte le scansioni: in questo modo ogni scansione può essere orientata indipendentemente dalle altre. La loro georeferenziazione poi, può avvenire sfruttando le tecniche di rilevamento GPS.

Dalle considerazioni sopra esposte, nasce l'idea di sperimentare un sistema speditivo rudimentale in grado di riproporre quanto già sperimentato con veicolo completamente attrezzato (l'equipaggiamento prevede due gps un laser scanner e un target di riferimento tutti montati su una autovettura in movimento) che permetta di superare le problematiche enunciate abbinando al sensore laser scanner due ricevitori GPS e un target di riferimento, il tutto montato su di un corpo mobile che ne permetta il facile spostamento tra le sessioni di misura.

Eseguendo le misure laser scanner e GPS contemporaneamente con il corpo fermo si garantisce dunque un'elevata qualità di misura e di posizionamento in un unico sistema di riferimento.

Il sistema consiste nel montare sul carrellino mobile attrezzato (rigidamente e coassialmente) il laser scanner sovrastato da un gps e nel collegare il carrellino attraverso un braccio rigido (modulabile in lunghezza) ad un "target" sovrastato coassialmente da altro gps di riferimento (che servirà come orientamento della scansione stessa), lasciato libero comunque di ruotare in modo da orientare lo stesso target verso il sensore laser. In tal modo il problema della definizione delle coordinate del punto di presa (laser scanner) e target di orientamento viene superato montando, appunto, in modo coassiale, due ricevitori GPS rispettivamente sul laser scanner e sul target.

I ricevitori, mentre il sensore laser esegue la scansione, acquisiscono misure dalle costellazioni satellitari GNSS fornendo sia le coordinate geografiche sia le coordinate locali del sensore laser e del target di orientamento in un unico sistema di riferimento.

Una volta definita la posizione ideale per la prima scansione, si posiziona e si arresta il carrellino mobile attrezzato nel punto definito effettuando sia le misure gps che quelle laser scanner con le caratteristiche di densità richieste dal rilievo. Trascorsi alcuni minuti si chiudono le misure e si provvede a spostare il carrellino mobile attrezzato nella successiva posizione scelta per la seconda stazione di rilievo operando come in precedenza e ripetendo l'operazione fino a completamento del rilievo. L'elaborazione dei dati GPS permetterà di ottenere coordinate omogenee per tutti i punti di presa (stazione laser scanner) e per tutti i target di orientamento con precisione sub centimetrica. Tali coordinate vengono assegnate a stazioni e target permettendo così al software utilizzato per la gestione delle scansioni di unire e georeferenziare tutte le scansioni effettuate anche in assenza di punti omologhi o mire posizionate a terra.

In questo modo, oltre a velocizzare e agevolare le fasi di rilievo in campo eliminando la necessità dell'apposizione dei target e la inter visibilità degli stessi tra una sessione di misura e l'altra, risulterà più agevole georeferire anche scansioni singole che non hanno tra di loro punti in comune diminuendo i tempi di elaborazione delle "nuvole di punti" scaturite dalle scansioni stesse.

Tenendo presente quanto su detto, nello specifico si è tentato di effettuare una prima sperimentazione per realizzare in modo "grossolano" e "speditivo" quanto già sperimentato su macchina attrezzata (cfr esperimento Leica riportato in bibliografia).

Nello specifico è stato costruito un sistema di misura posizionando sul carrellino mobile attrezzato (rigidamente e coassialmente) il laser scanner sovrastato da un gps e collegando il carrellino attraverso un braccio rigido (simulandone la modulazione in lunghezza attraverso la possibilità di estendersi e contrarsi) ad un "target" sovrastato coassialmente da altro gps di riferimento

In particolare sono state simulate misure con braccio di 3 metri, 2 metri, 1,50 metri, 1 metro, 0,5 metri (figura 12)

La restituzione complessiva del dato, pur se simulato e' risultata molto interessante in particolare per la prova realizzata con braccio di 3 metri e di 2 metri (si osservi a tal proposito il risultato della perimetrazione visualizzato in colore e sovrapposto alla cartografia per come riportato in figura 14). Meno precisi appaiono invece i risultati ottenuti con braccio simulato di 1.5 metri, mentre non e' stato possibile effettuare restituzioni attendibili con braccio simulato pari a 1 metro o inferiore.(fig.13)

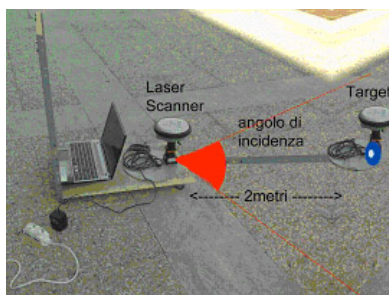


Figura 12. Sistema con target e doppio GPS.

Braccio (distanza coassiale tra la posizione del laser scanner e quella del target) di:	Scostamenti "medi" di posizionamento espressi in termini percentuali (% di errore rispetto al metodo gps - linea rossa)
3 metri	11%
2metri	19%
1,5 metri	37%
1 metro	Determinabile solo a tratti con % superiori al 65%
0,5 metri	Non determinabile la posizione

Figura 13. Variazione della % di errore rispetto al metodo GPS (nella prova simulata) al variare del braccio considerato.

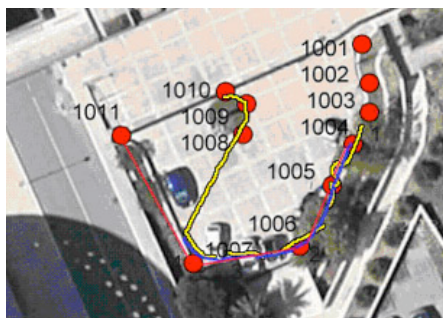


Figura 14. Integrazione della due metodologie.

### Conclusioni

Chiaramente, pur se corre obbligo sottolineare come i risultati ottenuti dalla integrazione siano ad oggi stati ottenuti solo in modo “simulato” e l'automazione della procedura sia ancora oggi in fase di studio e realizzazione (avendo ad oggi spostato il carrello solo manualmente), ciononostante i risultati ottenuti sembrano incoraggianti nell'ottica della realizzazione di un sistema “speditivo” volto alla autolocalizzazione e alla perimetrazione tramite strumenti mobili automatizzati e spingono certamente ad ulteriori studi sia in termini di effettiva realizzazione dell'esperimento completo sia in termini di ottimizzazione degli algoritmi utilizzati per la compensazione integrata del dato.

### Riferimenti bibliografici

- 1 Gerhard Weiß, Christopher Wetzler, and Ewald von Puttkamer. *Keeping track of position and orientation of moving indoor systems by correlation of range-finder scans*. In Proceedings of the International Conference on Intelligent Robots and Systems, pages 595–601, 1994.
- 2 Feng Lu, Evangelos Miliotis. *Robot Pose Estimation in Unknown Environments by Matching 2D Range Scans*. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 1997, Volume 18, Issue 3, pp 249-275.
- 3 Sebastian Thrun. *Robotic Mapping: A Survey*, 2000.
- 4 Jun S. Liu, Rong Chen, Tanya Logvinenko. *A theoretical framework for sequential importance sampling and resampling*. In A. Doucet, N. de Freitas, N.J. Gordon, editors, Sequential Monte Carlo in Practice. Springer-Verlag, January, 2001.
- 5 Paolo Pirjanian, Niklas Karlsson, Luis Goncalves, Enrico Di Bernardo. *Low-cost visual localization and mapping for consumer robotics*, *Industrial Robot: An International Journal*, 2003, Vol. 30 Iss: 2, pp.139 – 144.
- 6 Ioannis M. Rekleitis. *A particle filter tutorial for mobile robot localization*. Technical Report TR-CIM-04-02, February 2004.
- 7 G. Bekey. *Autonomous Robots: From Biological Inspiration to Implementation and Control*. The MIT Press, Cambridge, MA, 2005.
- 8 Kai Lingemann, Andreas Nüchter, Joachim Hertzberg, and Hartmut Surmann. *High-Speed Laser Localization for Mobile Robots*. Journal Robotics and Autonomous Systems (JRAS), Elsevier Science, 51(4): 275-296, 2005.
- 9 A. Garulli, A. Giannitrapani, A. Rossi, A. Vicino. *Simultaneous localization and map building using linear features*. In Proceedings of the 2nd European Conference on Mobile Robots, Ancona (Italy), September 7-10, 2005.
- 10 Andrea Garulli, Antonio Giannitrapani, Andrea Rossi, Antonio Vicino. *Mobile robot SLAM for line-based environment representation*. *Decision and Control*, 2005 and 2005 European Control Conference. CDC-ECC '05. 44th IEEE Conference on, 2005, 2041 – 2046.



- 11 A. A. Aghamohammadi, H. D. Taghirad, A. H. Tamjidi, and E. Mihankhah. *Feature-Based Laser Scan Matching For Accurate and High Speed Mobile Robot Localization*: European Conference on Mobile Robots (ECMR'07), 2007
- 12 AliAkbar Aghamohammadi, Amir H. Tamjidi, Hamid D. Taghirad. *SLAM Using Single Laser Range Finder*. Proceedings of the 17th World Congress, The International Federation of Automatic Control, Seoul, Korea, July 6-11, 2008.
- 13 Secchia M., Uccelli F. *Laser Scanner e GPS -Stop&Go* FIG Working Week 2012
- 14 *Knowing to manage the territory, protect the environment*, evaluate the cultural heritage Rome, Italy, 6-10 May 2012
- 15 Mattias Wahde. *Introduction to autonomous robots*. Department of Applied Mechanics, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden 2012.