

## Un sistema di posizionamento pedestre per ambienti indoor

Alberto Croci (\*), Mattia De Agostino (\*\*), Ambrogio M. Manzino (\*\*)

(\*) Studente del Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Civile, Politecnico di Torino, Sede di Vercelli  
Piazza Sant'Eusebio, 5 – 13100 Vercelli (Italy)  
ralcroci@teletu.it

(\*\*) Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie  
Corso Duca degli Abruzzi, 24 - 10129 Torino (Italy), tel. +39 (011) 564.7661/7675; fax. +39 (011) 564.7699  
(mattia.deagostino/ambrogio.manzino)@polito.it

### Riassunto

La necessità di realizzare un sistema di posizionamento pedestre di basso costo, ma tale comunque da garantire una buona affidabilità anche in situazioni particolarmente avverse, ci ha portati a studiare un'architettura basata sull'utilizzo integrato di un sensore inerziale (XSens MTi) e di un ricevitore GPS ad alta sensibilità (u-blox 5T). Entrambi i sensori, date le piccole dimensioni ed il peso molto limitato, sono particolarmente adatti a diventare parte integrante dell'equipaggiamento delle squadre di soccorso senza comunque risultare d'ostacolo.

### Abstract

The need to design a low cost pedestrian navigation system, able to ensure a good reliability even in very adverse situations, led us to study an architecture based on the integration of an inertial sensor (XSens MTi) and an high sensitivity GPS receiver (u-blox 5T). Due to compact sizes and low weights, both the sensors are particularly suited to become part of rescue teams equipments.

### Introduzione

La navigazione di tipo pedestre (PDR, *Pedestrian Dead-Reckoning*) rappresenta ad oggi una delle maggiori sfide dal punto di vista della ricerca nel settore della Geomatica e delle discipline collegate al PNT (*Position Navigation and Timing*). Un sistema di navigazione pedestre deve infatti essere in grado di funzionare anche all'interno degli ambienti urbani, lungo viali alberati e all'interno degli edifici, ovvero in tutti quegli ambienti in cui la copertura del segnale GNSS non è garantita o comunque risulta disturbata e spesso poco affidabile. In queste condizioni, l'impiego di sensori inerziali rappresenta una valida alternativa, poiché essi forniscono una misura senza la necessità di interagire con sensori e/o sistemi esterni. Inoltre, i recenti sensori inerziali di tipo elettromeccanico (MEMS, *Micro Electro Mechanical Systems*) hanno l'ulteriore vantaggio di avere dimensioni ridotte, essere leggeri, e di costare e consumare poco, e dunque possono essere utilizzati in larga misura per questo tipo di applicazioni (Renaudin et al, 2007).

Il posizionamento pedestre trova largo impiego soprattutto all'interno dei servizi di posizionamento denominati LBS (*Location-Based Services*), con cui si indicano i servizi di tipo informativo e/o di intrattenimento accessibili mediante periferiche mobili (telefonini, PDA, ...) e basati sulla capacità di determinare la posizione geografica dell'utente (cfr. Monnerat (2008) e Rubin e Young (2008)).

Tra i servizi offerti generalmente agli utenti, vi sono per esempio l'individuazione dello sportello bancario più vicino, o la localizzazione di altre persone (personale di soccorso, ma anche figli o impiegati). Inoltre, tali servizi vengono utilizzati su autoveicoli per il monitoraggio di flotte, o per scopi assicurativi.



Figura 1 – Esempi di LBS legati all'individuazione di punti di interesse in prossimità dell'utente.

Una diversa applicazione dei servizi LBS è rappresentata dalla localizzazione delle squadre di soccorso. Durante le operazioni di emergenza infatti, forze dell'ordine e corpi di stato si ritrovano ad operare in ambienti impervi, come ad esempio edifici o boschi in fiamme oppure villaggi disastri. In queste situazioni, la possibilità da parte di un centro di controllo di monitorare l'esatta posizione delle varie squadre di soccorso può giocare un ruolo vitale, poiché può velocizzare le operazioni, il recupero di infortunati e l'individuazione della via di fuga più breve. I casi sopra riportati, che rappresentano comunque solo una piccola parte di quelli possibili ed ad oggi applicati, si basano sull'individuazione della corretta posizione dell'utente e sulla stima del loro percorso anche in ambienti *indoor*.

Le accuratezze generalmente richieste per la posizione sono ovviamente ben diverse rispetto a quelle delle comuni applicazioni di navigazione geodetica. Negli Stati Uniti, l'agenzia governativa *Federal Communications Commission* (FCC), incaricata di tutti gli usi dello spettro radio non governative (incluse trasmissioni radio e televisive) e di tutte le telecomunicazioni interstatali (via cavo, telefoniche e satellitari), ha posto alcuni criteri sulla qualità del posizionamento LBS (FCC 94-102 e FCC 96-264). Secondo tali emendamenti, tutti i gestori che forniscono questo tipo di servizio devono essere in grado di garantire nel 95% dei casi un'accuratezza almeno pari a 300 metri per quei sistemi di posizionamento basati sull'intersezione di celle (triangolazione, es. GSM o celle wireless) e di 150 metri per sistemi di posizionamento indipendenti, come ad esempio il GPS, l'A-GPS (Proctor e Catmur, 2007) ed eventuali integrazioni di sensori *dead-reckoning*. Le accuratezze proposte sono tali da garantire la localizzazione della persona durante le chiamate di emergenza, in modo tale che le operazioni di soccorso possano essere coordinate al meglio.

### Algoritmi di navigazione pedestre

Al fine di consentire un posizionamento continuo, anche in ambienti di tipo *indoor*, è possibile impiegare l'integrazione di sistemi GNSS ed INS per il calcolo della soluzione navigazionale. Tuttavia, analogamente a quanto accade nelle comuni applicazioni di navigazione geodetica, la presenza di errori sistematici (*bias* e fattori di scala delle misure, non ortogonalità degli assi inerziali) ed accidentali (disturbi e rumori) possono inficiare l'accuratezza della soluzione finale.

Una possibile soluzione, proposta da (Groves, 2008), è utilizzare i dati raccolti dalla piattaforma inerziale come "conta passi", in maniera da impiegare lo strumento inerziale alla stregua di un odometro, misurando non direttamente la distanza percorsa, ma l'istante in cui una prefissata distanza (ad esempio, la lunghezza del passo) viene compiuta. Questa soluzione fornisce, per sensori montati su parti del corpo, prestazioni migliori rispetto a quelle ottenibili a partire dall'uso "tradizionale" del sensore inerziale. In generale, un algoritmo per la navigazione pedestre è composto da tre diversi *step*, sintetizzati in Figura 2.

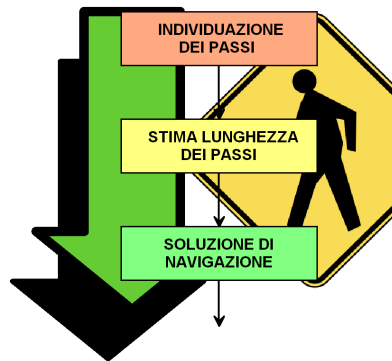


Figura 2 – Diagramma di flusso di un algoritmo per la navigazione pedestre.

Durante la prima fase (“Individuazione dei passi”) è necessario identificare ogni istante temporale in cui sia avvenuto un passo. Nel caso di sensori solidali al corpo in movimento, tale operazione può avvenire osservando la radice quadrata della somma dei quadrati (RSS, *root sum of squares*) delle accelerazioni. Infatti, tale segnale presenta durante il cammino un andamento oscillatorio a due picchi. I passi possono essere individuati o contando i picchi di segnale (metodo dei *maximum peaks*, Figura 3.a) o contando gli istanti in cui l’accelerazione si annulla (metodo del *acceleration zero crossings*, Figura 3.b).

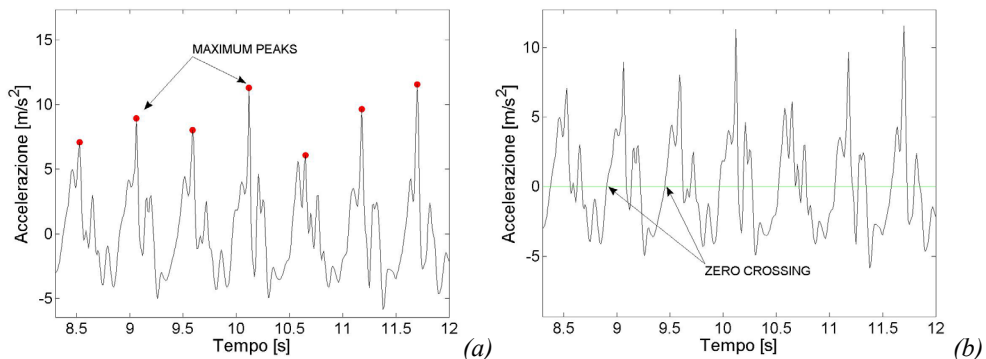


Figura 3 – Esempi di accelerazioni con l’andamento a picchi, dove sono segnati i due metodi per il conto dei passi: quello dei *maximum peaks* (a) e quello dell’*acceleration zero crossings* (b).

Per quanto concerne la “Stima della lunghezza dei passi”, occorre considerare che questa grandezza varia non solo a seconda dell’individuo, ma anche in base alla pendenza ed al tipo di terreno, o nel caso in cui vi siano degli ostacoli da superare. Ciò nonostante, gli algoritmi di navigazione pedestre sono in genere basati sull’ipotesi di passi di lunghezza fissa. Tale distanza risulta essere accurata solo nel 10% circa dei casi, come mostrato da (Collin et al, 2003). Viceversa, la lunghezza dei passi può essere modellata come funzione lineare della frequenza dei passi, oppure correlata con la varianza delle misure di accelerazione in una finestra temporale definita, con la pendenza del terreno o con la velocità verticale (Groves, 2008).

Per quanto concerne la “Soluzione di navigazione”, la singola misura degli accelerometri non può essere impiegata all’interno dei tradizionali algoritmi di meccanizzazione ed integrazione. Infatti, come detto, gli accelerometri in questo caso vengono impiegati per fornire la distanza percorsa (con lo stesso principio di funzionamento di un odometro), ma senza fornire alcuna informazione sulla direzione del moto. Pertanto, sarà necessario prevedere un secondo sensore (un giroscopio, oppure

un sensore per l'assetto quale un AHRS – *Attitude and Heading Reference System*) per poter calcolare la direzione del moto. In questo caso, la soluzione viene calcolata a partire da:

$$\phi(t) = \phi(t-1) + \frac{\Delta p_{PDR} \cdot \cos(k)}{\rho + h} \quad [1]$$

$$\lambda(t) = \lambda(t-1) + \frac{\Delta p_{PDR} \cdot \sin(k)}{(R_N + h) \cdot \cos(\phi)} \quad [2]$$

dove con  $\Delta p_{PDR}$  si è indicata la lunghezza dei passi stimata nella fase precedente, con  $k$  l'azimuth calcolato a partire dal giroscopio o dal sensore AHRS, con  $\rho$  il raggio di curvatura del meridiano e con  $R_N$  è il raggio grannormale del meridiano dell'ellissoide di riferimento, e con  $\phi$  e  $\lambda$  rispettivamente la latitudine e la longitudine. La conoscenza dell'angolo azimutale risulta fondamentale per un corretto posizionamento. Tale angolo, tuttavia, viene calcolato a partire dalle osservazioni di una terna di giroscopi o di magnetometri, e pertanto risulta essere disturbato dagli errori sistematici ed accidentali di tali sensori. In particolare, esattamente come accade per le misure inerziali "tradizionali", le derive dei giroscopi comportano un incremento dell'errore sull'angolo di imbardata direttamente proporzionale al tempo trascorso dall'inizio della prova.

Allo scopo di ridurre tali errori, è possibile anche in questo caso ricorrere ad una integrazione tra le misure provenienti dal sensore inerziale e quelle di un altro sensore, ad esempio un ricevitore GNSS. L'algoritmo di integrazione in questo caso sarà composto dalle correzioni alle due coordinate planimetriche (latitudine e longitudine, oppure Est e Nord nel caso si preferisca lavorare in una proiezione cartografica). Per quanto concerne la variazione della coordinata altimetrica, questa non rientrerà direttamente all'interno dell'algoritmo in quanto non direttamente calcolabile a partire dalle misure inerziali, e viene pertanto solitamente assunta pari all'altezza calcolata con il sistema GNSS.

### Esperimenti di navigazione pedestre

Con lo scopo di verificare le accuratèzze raggiungibili per applicazioni di navigazione pedestre dall'impiego di sensori inerziali di basso costo, si sono svolti alcuni esperimenti di misura, sia in ambiente aperto sia all'interno di edifici, adottando diverse tecniche di posizionamento. Si ricorda che lo scopo finale non è in questo caso il raggiungimento di accuratèzze decimetriche o addirittura centimetriche, ma piuttosto la localizzazione affidabile di persone anche in ambienti ostili per la ricezione del segnale satellitare, con accuratèzze metriche o decametriche, ma garantite ed indipendenti da qualsiasi fattore esterno.

A tal fine, sono stati compiuti alcuni test utilizzando un sensore inerziale MTi della XSens ed un ricevitore GPS (u-blox 5T) appositamente studiato per il posizionamento anche in ambienti *indoor*.



Figura 4 – Configurazione adottata per il test: sulla visiera del cappello è possibile notare l'antenna del ricevitore GPS, mentre sulla cintura è fissato il sensore inerziale.

Le prove fatte, compiute con la configurazione mostrata in Figura 4, sono state svolte in un ambiente *indoor*, all'interno della sede di Vercelli del Politecnico di Torino. I dati provenienti dal sensore inerziale, fissato in un punto il più baricentrico possibile del corpo, sono stati acquisiti con una frequenza di campionamento di 100 Hz, mentre il sensore GPS ha registrato la traccia ad una frequenza di 5 Hz. Entrambi i sensori prevedevano, all'interno degli appositi programmi di gestione, uno scenario di taratura dei parametri interni del sensore specifico per la navigazione pedestre. Inoltre, i dati inerziali acquisiti sono stati filtrati mediante un filtro *wavelet*, in maniera da ridurre l'errore dovuto ai disturbi di misura.

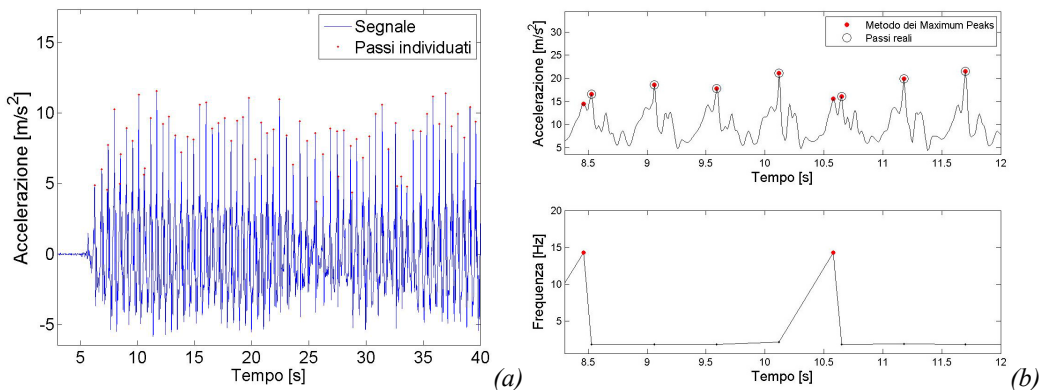


Figura 5 – Passi individuati con il metodo dei maximum peaks (a) e individuazione dei "falsi passi" (b, in alto) mediante l'analisi dello spettro di frequenza (b, in basso).

La Figura 5.a mostra l'andamento della radice quadrata della somma dei quadrati delle accelerazioni così come misurate dal sensore inerziale. In particolare, in rosso sono evidenziati i passi così come sono stati individuati applicando il metodo del *maximum peaks* descritto in precedenza. Come si può vedere, applicando semplicemente tale metodo vengono individuati numerosi "falsi passi", ovvero di punti molto vicini tra loro e non in corrispondenza di un vero picco di segnale. Siccome il sistema pedestre così composto è basato su un principio odometrico di misura dei passi, tali disturbi provocano senza dubbio un errore nella stima della soluzione finale di navigazione, e pertanto devono essere rimossi in fase di pretrattamento dei dati inerziali.

Un possibile metodo per l'individuazione e la rimozione di tali "falsi passi" è rappresentato dall'analisi della frequenza di campionamento del segnale rappresentato dall'insieme dei passi individuati (Figura 5.b). Siccome risulta altamente improbabile, in condizioni normali di moto pedestre, che vengano effettuati più di due passi al secondo, è possibile individuare ed escludere tutti quei passi cui è associata una frequenza di campionamento maggiore di 2 Hz. Tale analisi consente di individuare ed escludere la gran parte degli errori del metodo precedente.

## Risultati e Conclusioni

L'integrazione dei soli dati provenienti dal sensore inerziale, secondo le formule [1] e [2] riportate nel paragrafo precedente, ed in cui la lunghezza del passo è stata posta pari a 70 cm, è riportata nella Figura 6, insieme alla soluzione ottenuta a partire dal ricevitore GPS.

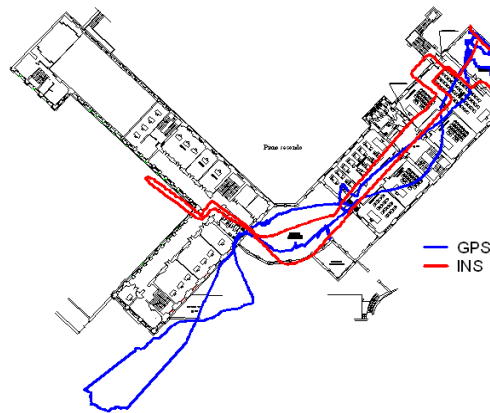


Figura 6 – Traiettoria calcolata con i sistemi GPS ed INS indipendenti (e sovrapposta alla mappa mediante roto-traslazione partendo da un punto ed una direzione noti).

Anche se non riportata direttamente in Figura 6, l’analisi della traiettoria ottenuta a partire dalle sole misure inerziali consente di individuare bene il tragitto percorso, nonostante sia presente una evidente deriva angolare, che si propaga con sempre maggiore entità nel tempo. Mediante brevi periodi di misura statica in laboratorio è possibile stimare un valore approssimato di tale deriva, da applicare ai dati di assetto durante la fase di processamento.

Per quanto concerne invece la soluzione GPS, questa è risultata molto più rumorosa di quella inerziale, ed in alcuni punti ha restituito valori assolutamente fuori scala, dovuti probabilmente alla divergenza del filtro di Kalman che calcola la soluzione in tempo reale all’interno del ricevitore (e che consente di ottenere la soluzione anche in ambienti in cui il segnale GPS risulta disturbato, o assente per brevi intervalli di tempo). Non risulta pertanto vantaggioso, in questo caso, l’impiego di una soluzione integrata GPS/INS, in quanto peggiorativa rispetto alla soluzione ottenuta dai soli dati inerziali. Eventualmente, l’impiego dei dati GPS è giustificato solo in ambienti esterni (ad esempio durante la fase iniziale del rilievo) in maniera da fornire una georeferenziazione della soluzione.

Il presente lavoro è stato condotto nell’ambito del Progetto di Ricerca di Interesse Nazionale PRIN 2008 “Il nuovo sistema di riferimento geodetico italiano: monitoraggio continuo e applicazioni alla gestione e al controllo del territorio” coordinato dal prof. Fernando Sansò.

### Riferimenti bibliografici

- Collin J., Mezentsev O., Lachapelle G. (2003), “Indoor Positioning System Using Accelerometry and High Accuracy Heading Sensors”, *Proceedings of ION GPS/GNSS 2003*, Portland, OR, Settembre 2003.
- Groves P. (2008), *Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems*, Artech House, Boston.
- Monnerat M. (2008), “AGNSS Standardization – The Path to Success in Location-Based Services”, *InsideGNSS*, vol. 3, Luglio/Agosto 2008.
- Proctor A., Catmur R. (2007), “Certification Processes and Testing of A-GPS Equipped Cellular Phones”, *InsideGNSS*, vol. 2, Novembre/Dicembre 2007.
- Renaudin V., Yalak O., Tomé P. (2007), “Hybridization of MEMS and Assisted GPS for Pedestrian Navigation”, *InsideGNSS*, vol. 2, Gennaio/Febbraio 2007.
- Rubin D., Young T. (2008), “Femtocells – Bridging Reliable Location and Timing Indoors”, *InsideGNSS*, vol. 3, autunno 2008.