

AGRICOLTURA DI PRECISIONE: L'AIUTO DEL GPS NELLA GUIDA DEI VEICOLI

Ludovico BIAGI (*), Alessandro CAPRA (**), Cristina CASTAGNETTI (**), Marco DUBBINI (**), Francesco UNGUENDOLI (***)

(*) DIAR c/o Polo di Como, Politecnico di Milano, Piazza Leonardo Da Vinci 32, 20133 Milano –IT–, 0313327562, ludovico.biagi@polimi.it

(**) DIMeC, Università di Modena e Reggio Emilia, Via Vignolese 905/B, 41100 Modena –IT–, 059205(6188, 6298, 6297), (capra.alessandro, cristina.castagnetti, marco.dubbini)@unimore.it

(***) Dipartimento di Matematica, Università di Modena e Reggio Emilia, Via Campi 213/B, 41100 Modena –IT–, 0592055493, francesco.unguendoli@unimore.it

Riassunto esteso

L'utilizzo di strumentazione GPS per la navigazione (Leick, 2004, Sansò, 2006) in tempo reale, che sia contemporaneamente accurato (precisione sub-metrica) e di basso costo, è in continuo aumento. Una delle più innovative applicazioni è l'agricoltura di precisione (Castagnetti, 2006): il GPS assiste l'operatore nella guida del veicolo, fornendo la traiettoria per coprire in modo ottimale l'area (Biagi et al, 2007). L'ottimizzazione della traiettoria è legata alla precisione del posizionamento. Una prima fase della sperimentazione è stata eseguita sui ricevitori a basso costo *TruRover Leica* (TR), in grado di effettuare un posizionamento assoluto in *point positioning*. L'obiettivo era valutare la qualità del posizionamento rispetto a una traiettoria di riferimento, determinata mediante una post-elaborazione cinematica dei dati acquisiti da un ricevitore in doppia frequenza, *Leica GX1230* (www.leica-geosystems.com). Sostanzialmente il test ha simulato il tipico moto di un trattore, ricco di rettilinei e curve regolari, percorsi a velocità di 20 km/h; il percorso è stato suddiviso in 3 soste e 2 *step* cinematici, ognuno caratterizzato da più ripetizioni della stessa traiettoria, composta da 8 rettilinei consecutivi (Fig.1). Il

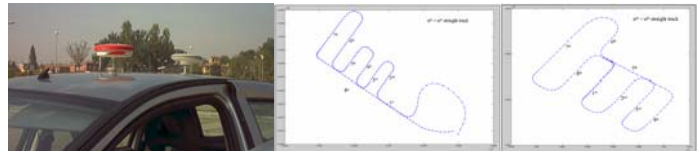


Figura 1. Sperimentazione: configurazione degli strumenti sul veicolo e traiettorie seguite nei due step cinematici.

trattamento e l'analisi globale dei dati hanno permesso alcune considerazioni: l'errore massimo del TR si concentra nelle curve; l'entità, di alcuni metri, nonostante si mantenga sempre inferiore alla

	T	S1	K1	S2	K2	S3
Pop.	6259	1343	1404	1320	946	1247
ΔE	-0.3	0.2	0.2	-0.7	-0.2	-0.8
$\sigma_{\Delta E}$	0.7	0.5	0.8	0.3	0.7	0.3
Max ΔE	2.3	1.3	2.3	0.1	1.5	-0.1
Min ΔE	-2.5	-1.0	-2.5	-1.5	-2.3	-1.5
ΔN	1.4	0.5	1.9	2.1	1.6	1.1
$\sigma_{\Delta N}$	1.0	0.7	1.1	0.5	1.3	0.4
Max ΔN	7.6	2.0	5.7	3.1	7.6	1.8
Min ΔN	-2.0	-1.2	-1.5	1.1	-2.0	0.2
D	1.7	0.9	2.2	2.2	1.9	1.4
σ_D	0.9	0.4	1.0	0.5	1.0	0.4
MaxD	7.7	2.0	5.7	3.2	7.7	2.1
MinD	0.0	0.0	0.1	1.3	0.1	0.5

Tabella 2. Risultati TruRover: statistica degli errori.

T: set totale di dati; K1, K2: 1° e 2° step cinematici; S1, S2, S3: 1°, 2°, 3° soste. Pop: n° di risultati. ΔE , ΔN and D: errori medi in Est, Nord e planimetria; $\sigma_{\Delta E, \Delta N, D}$: deviazioni standard; Max $\Delta E, \Delta N, D$, Min $\Delta E, \Delta N, D$: massimo e minimo. Tutti i valori in [m].

precisione del posizionamento assoluto (~10 m), non è soddisfacente per alcune applicazioni agricole; ciò è stato attribuito alla presenza di un filtro di Kalman implementato nel TR che presenta effetti di deriva non sempre contenuti. Per la descrizione dettagliata del *test* e delle prime analisi si rimanda alle precedenti pubblicazioni (Biagi et al, 2007). Nella seconda fase dello studio è stata effettuata un'analisi di dettaglio dei risultati che ha permesso di individuare comportamenti critici, utili per raggiungere l'obiettivo finale: realizzare un algoritmo in grado di correggere gli errori e ottenere precisioni sub-metriche. Dalla statistica del confronto fra la traiettoria di riferimento e del TR, si può affermare che: esiste un sistematismo dell'ordine di 1 m nella componente Nord (Tab.2); la dispersione

dei risultati nelle soste è migliore che negli *step* cinematici (Tab.2); le curve TR hanno sempre un raggio maggiore rispetto al riferimento e sono assenti discontinuità e salti nelle traiettorie.

Le ultime tre considerazioni sono legate alla presenza di un filtro di Kalman (Grewal et Andrews, 1993, Kalman, 1960) che, non specifico per le applicazioni agricole, causa derive in curva. Il sistematismo (confermato dal test di Student, livello di significatività: 5%), dovuto ad errori atmosferici e all'uso delle effemeridi trasmesse, non è un problema in questo ambito nel quale interessa una significativa precisione relativa, ovvero tra rettilinei successivi, che viene raggiunta con adeguata ripetibilità; 1 m di scostamento nell'arco di 30 minuti è più che accettabile.

Per valutare la coerenza tra rettilinei consecutivi, questi sono stati analizzati singolarmente: per ogni ripetizione delle traiettorie, epoca per epoca, è stata calcolata la statistica in Est e Nord e la distanza delle stime TR dalla retta interpolante i dati di riferimento (vedi i grafici di questi errori in Fig.3). Ogni ripetizione della traiettoria ha un sistematismo specifico, che si ripresenta nel tempo: nel 1° *step*

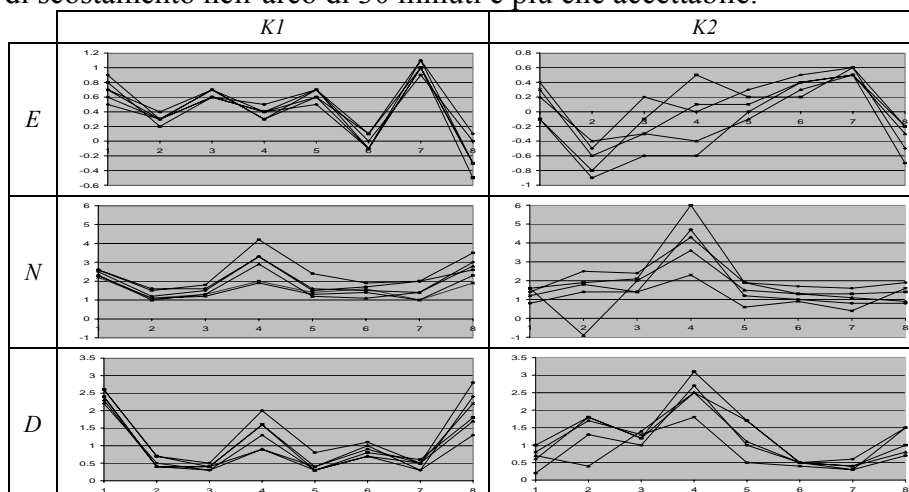


Figura 3. Errori medi in Est, Nord e planimetria (E, N, D) nel 1° e 2° *step* cinematici (K1, K2). Ogni linea corrisponde ad una ripetizione della traiettoria; ogni punto corrisponde ad un tracciato rettilineo all'interno della traiettoria stessa.

cinematico in Est il massimo errore si manifesta nel 7° rettilineo e il gradiente maggiore è tra il 6° e l'8°, in Nord i massimi valori si hanno intorno al 4°. Nel 2° *step* cinematico in Est si nota un trend più omogeneo, mentre in Nord i massimi sono nel 4° rettilineo. Sistematismi evidenti sono anche negli errori planimetrici. Dall'analisi di dettaglio è emerso che: le differenze di errore tra i rettilinei consecutivi sono superiori a 1 m ma inferiori a 2 m (fatta eccezione per il 2° *step* cinematico, in cui il Nord presenta valori superiori a 4 m); le deviazioni standard in Est sono minori di 0.5 m nel 90% dei casi per il 1° *step* cinematico e nel 75% per il 2°; nella componente Nord, invece, queste sono superiori, si ha il 52% nel 1° *step* cinematico e il 44% nel 2°. Per la planimetria, investigando gli errori differenziali in coppie di rettilinei successivi, le differenze delle loro distanze sono minori di 1 m nel 50% dei casi in entrambi gli *step* cinematici, la massima differenza è 2.3 m. A fronte di queste valutazioni, è in fase di sviluppo un nuovo algoritmo da implementare nel *firmware* del TR: un filtro di Kalman con approccio adattativo (Mohamed et Schwarz, 1999) che utilizzi modelli di processo differenti in base alla posizione occupata dal veicolo: velocità costante nei rettilinei, accelerazione costante nelle curve. Non si esclude l'integrazione con alcuni apparati presenti nel veicolo, quali odometro e rilevazione dello sterzo.

Bibliografia

- Biagi L., Capra A., Castagnetti C., Dubbini M., Unguendoli F. (2007), "GPS navigation for precision farming", *Atti Convegno Mobile Mapping Symposium MMT07*.
- Castagnetti C. (2006), *Studio e sperimentazione del GPS in modalità di posizionamento navigazionale e in modalità cinematica. Applicazione particolare all'agricoltura di precisione*, Università di Modena e Reggio Emilia.
- Grewal M., Andrews A. (1993), *Kalman filtering: theory and practice*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Kalman R. E. (1960), "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems", *Transactions of the ASME-Journal of Basic Engineering*, 82 (Series D): 35-45.
- Leick A., (2004), *GPS satellite surveying*, John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Mohamed A. H., Schwarz K. P. (1999), "Adaptive Kalman Filtering for INS/GPS", *Journal of Geodesy*, 73: 193-203.
- Sansò F. (2006), *Navigazione geodetica e rilevamento cinematico*, Polipress, Milano.
- Schwarz K. P., Cannon M. E., Wong R. V. C. (1989), "A comparison of GPS kinematic models for the determination of position and velocity along a trajectory", *Manuscripta Geodetica* 14: 345-353.