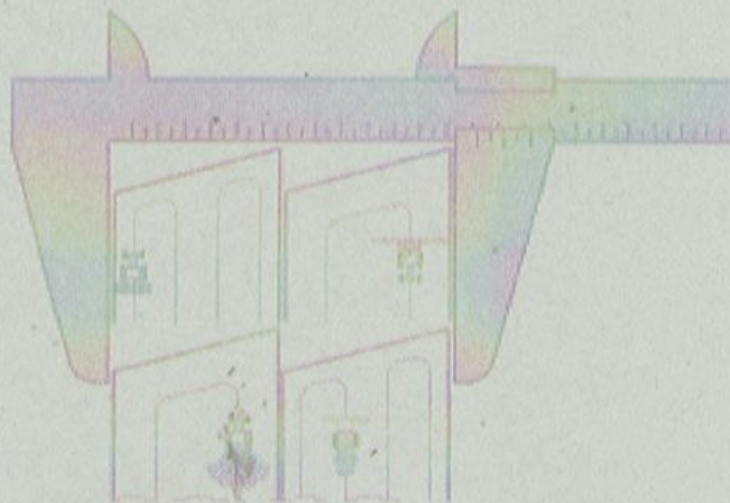


A. Comparetti, P. Febo

Dipartimento di Ingegneria e Tecnologie Agro-Forestali, Università degli Studi di Palermo

Analisi di tre sistemi di posizionamento applicabili all'agricoltura di precisione



Estratto da: **"L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA PER L'AGRICOLTURA
DI PRECISIONE E LA QUALITÀ PRODUTTIVA"**

Grugliasco - 22/23 giugno 1999



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TORINO
D.E.I.A.F.A. - SEZIONE DI MECCANICA



ASSOCIAZIONE ITALIANA
INGEGNERIA AGRARIA

Analisi di tre sistemi di posizionamento applicabili all'agricoltura di precisione

A. Comparetti, P. Febo¹

Dipartimento di Ingegneria e Tecnologie Agro-Forestali, Università degli Studi di Palermo, Viale delle Scienze, 13, 90128, Palermo

a.comparetti@maifcity.com, pierfebo@unipa.it

Riassunto

Il lavoro si propone di valutare la precisione e l'applicabilità all'agricoltura di precisione di tre sistemi di posizionamento: un ricevitore GPS portatile; un sistema DGPS; un sistema "dead reckoning".

I risultati delle prove mostrano che, per le colture a file, il sistema DGPS e quello "dead reckoning" sono in grado di fornire una precisione accettabile.

Per tutte le colture, la combinazione dei sistemi DGPS e "dead reckoning" potrebbe ovviare ai problemi derivanti da segnali GPS e/o di correzione differenziale ostruiti o ricevuti debolmente.

Parole chiave: agricoltura di precisione, gps, dgps, dead reckoning.

Summary

The aim of this work is to assess the accuracy and possible use in a precision agriculture cycle of three positioning systems: a GPS hand-held receiver; a DGPS system; a dead reckoning system.

Test results suggest that, for row crops, the DGPS and dead reckoning systems give an acceptable level of accuracy.

It is possible to get round the problems of signal obstructions, for all crops, by using a combined DGPS/dead reckoning system.

Key words: precision agriculture, gps, dgps, dead reckoning.

Introduzione

E' noto come le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche dei terreni siano "spazialmente variabili" in genere in misura significativa. Pertanto, i metodi di coltivazione convenzionale, che prevedono la distribuzione di dosi costanti dei vari fattori produttivi (concimi, diserbanti, antiparassitari, ecc.), possono determinare eccedenze degli stessi in alcune zone e carenze in altre. Nelle zone in cui le quantità distribuite sono superiori a quelle richieste, si determina un incremento dell'impatto ambientale, dovuto, ad esempio, alla permanenza nel suolo di residui di diserbanti e/o alla lisciviazione e percolazione di nitrati e fosfati nei terreni e, quindi, all'inquinamento di falde acquifere e corsi d'acqua.

E' utile, dunque, perseguire la strada delle "applicazioni a dose variabile", che rappresentano la fase terminale del ciclo dell'agricoltura di precisione (Schueller, 1997); il fine ultimo è l'applicazione mirata dei fattori produttivi alle colture, in accordo con le esigenze, determinate localmente, a livello del metro quadrato (Stafford *et al.*, 1996).

Oggi l'agricoltura di precisione può essere attuata se si dispone di sistemi di posizionamento, che consentano di determinare istante per istante la posizione della trattrice e/o dell'operatrice in campo. Associando tale posizione con il rilievo delle

¹ Il Prof. Febo ha coordinato il lavoro, il Dott. Comparetti ha eseguito le prove ed elaborato i dati. Insieme gli autori hanno discusso i risultati e steso il testo.

caratteristiche del terreno da coltivare (fessitura, contenuto in elementi nutritivi, ecc.) e con la resa culturale, è possibile generare la mappa di ciascuna delle caratteristiche pedologiche e culturali di un appezzamento e, quindi, la mappa di applicazione a dose variabile di ciascun fattore produttivo necessario per la concimazione e/o i trattamenti.

Il parametro più importante per la valutazione di un sistema di posizionamento è la "precisione di posizionamento" conseguibile, cioè la differenza tra la posizione misurata del punto della superficie terrestre in cui si trova la macchina e la sua reale posizione.

La precisione di posizionamento di un sistema GPS (*Global Positioning System*) è legata all'entità di varie fonti di errore: "disponibilità selettiva", "effemeride" (coordinate orbitali dei satelliti nel tempo), inaccuratezza degli orologi satellitari, ritardi dovuti alla propagazione dei segnali attraverso la ionosfera e la troposfera, "effetto multipath", rumore del ricevitore, ecc.

Per ottenere una migliore precisione di posizionamento, soprattutto laddove i segnali GPS possono essere ostruiti dalla presenza di ostacoli, si possono utilizzare metodi di correzione differenziale (sistema DGPS) oppure sistemi di posizionamento non satellitari combinati con sistemi GPS. Questi metodi di correzione possono essere applicati in tempo reale ("real-time") o in un tempo successivo al posizionamento ("post-processing").

Nel nostro caso è stato utilizzato, in "post-processing", un sistema "dead reckoning" (Stafford e Bolam, 1996) in combinazione con un sistema DGPS. Il "dead reckoning" o "posizionamento relativo" è un sistema di posizionamento non satellitare, che consiste nella determinazione della posizione della macchina agricola in base alla sua velocità e direzione di avanzamento.

I. Materiali e metodi

I.1. Sistema GPS

Le prove con il ricevitore GPS portatile a basso costo sono state eseguite nelle Midlands Irlandesi, in una torbiera chiamata Noggusboy, consistente in un'ampia distesa di terreno pianeggiante diviso da profonde scoline in campi paralleli, lunghi 500-2000 m e larghi 15 m.

La procedura di prova prevedeva il rilievo dei punti iniziale e finale delle varie scoline, mediante un sistema DGPS ad elevata precisione Trimble 4000 SSI, in modo da generare una mappa di base della torbiera.

Le coppie di coordinate registrate dal sistema Trimble sono state trasferite in un PC, elaborate con un software AutoCAD e convertite in quelle easting e northing del Reticolato Nazionale Irlandese (che corrispondono, rispettivamente, alla longitudine e alla latitudine del sistema di rappresentazione cartografica UTM). Sempre mediante il software AutoCAD è stata derivata la linea mediana di ciascuno dei 15 campi della torbiera, definita dall'equazione generale della retta passante per i punti estremi della stessa. Quindi i campi della torbiera sono stati percorsi lungo la linea mediana da una trattrice, su cui era installato un ricevitore GPS portatile a basso costo Garmin 12XL Personal Navigator. Poiché cinque campi erano occupati da cumuli di torba fresata posta ad essiccare, essi non sono stati percorsi durante le prove di posizionamento. Il ricevitore Garmin è stato provato con due collocazioni dell'antenna, in modo da acquisire due serie di dati di posizione. Nel primo caso, è stata utilizzata l'antenna integrata nel ricevitore, installato sul parafrangente destro della trattrice: 5-6 satelliti erano mediamente visibili al ricevitore, poiché i segnali GPS erano parzialmente ostruiti dalla cabina di guida della trattrice. Nel secondo caso, un'antenna

supplementare Garmin GA 27 Low Profile è stata installata sul tetto della cabina di guida della trattrice, per cui 9-10 satelliti erano mediamente visibili al ricevitore.

Il ricevitore GPS era sincronizzato e regolato per registrare un punto ogni 10 s. Durante le prove, la trattrice è sempre stata condotta senza soste lungo ciascuno dei dieci campi disponibili (1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 13 e 15) della torbiera (replica 1) e, successivamente, lungo lo stesso percorso ma in senso inverso (replica 2), per dieci volte in dieci giorni diversi (cinque giorni con l'antenna sul parafrangente, cinque con l'antenna sul tetto). Pertanto, per ciascuna giornata sono stati registrati i dati di posizione di 10 + 10 campi (repliche 1 e 2). Nel punto iniziale ed in quello finale di ciascun campo si annotava il tempo dei rilievi di posizione, per poi determinare in "post-processing" a quale campo fossero riferiti i dati di posizione e calcolarne gli errori. La posizione della trattrice in ogni campo della torbiera è stata determinata assumendo che essa svoltesse sempre nel campo consecutivamente disponibile.

1.2. Sistemi DGPS e "dead reckoning"

Le prove con il sistema GPS differenziale e con il sistema "dead reckoning" sono state eseguite in Inghilterra, lungo la pista ovale utilizzata dal Silsoe Research Institute per la prova di trattrici secondo la metodologia OCSE. I punti di tale pista, definiti da coppie di coordinate easting e northing del Reticolato Nazionale Britannico (che corrispondono, rispettivamente, alla longitudine e alla latitudine del sistema UTM), erano stati previamente rilevati dall'Ordnance Survey, mediante un sistema di posizionamento ad elevata precisione.

La pista OCSE era situata in un luogo pianeggiante, in cui gli unici potenziali ostacoli alla trasmissione dei segnali GPS erano alcuni capannoni adibiti al ricovero di macchine agricole, situati a sud-est della pista stessa.

Nella cabina di guida della trattrice era installato il sistema di acquisizione dati, costituito da un PC portatile, collegato ad un ricevitore Mobile GPS Navstar XR5-M a 6 canali e ad un sistema "dead reckoning". Quest'ultimo consisteva di una bussola digitale KVH C100, per determinare la direzione di avanzamento, e di un radar Doppler, installato lateralmente al vano motore (all'altezza di 550 mm da terra e con un angolo di 46° con il terreno), per rilevare la velocità di avanzamento. Il radar garantiva un errore massimo pari al 5% della velocità reale, in accordo con quanto trovato da Gioco e Pezzuto (1991) e Gioco (1993). Una Stazione Base, formata da un ricevitore GPS Navstar XR5-M a 12 canali e da un radio modem Magenta, era collocata in un punto di riferimento di coordinate note, distante non più di 1 km dalla pista OCSE.

La trattrice è stata condotta lungo la pista OCSE, in cinque giornate diverse e per tre volte nell'arco di ogni giornata, in modo da valutare la variazione temporale della precisione di posizionamento dovuta ai cambiamenti nella distribuzione dei satelliti nell'atmosfera.

I dati di posizione GPS e i dati "dead reckoning" (di direzione e velocità di avanzamento), rilevati ad intervalli di 1 secondo, venivano contemporaneamente registrati per la successiva elaborazione. La costruzione geometrica mostrata in figura 1 è stata utilizzata per calcolare le posizioni della trattrice successive a quella di partenza (punto A, rilevato con il sistema DGPS), in base ai rilievi di direzione e velocità di avanzamento.

Noti il punto A (x_1, y_1) e l'angolo α , misurato dalla bussola (che rappresenta la direzione di avanzamento), si ricavano le coordinate del punto B nel sistema cartesiano XOY ($x = x_1 + d \cos \gamma$; $y = y_1 + d \sin \gamma$). In pratica il sistema "dead reckoning" calcola le

coordinate delle posizioni successive, in funzione delle coordinate della posizione immediatamente precedente e dei dati di direzione e velocità di avanzamento.

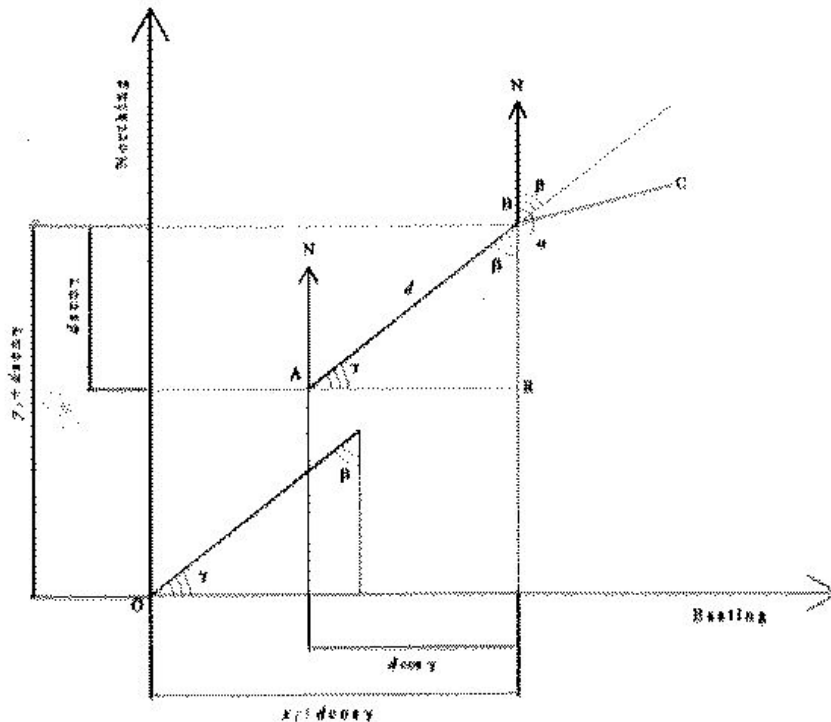


Fig. 1. Costruzione geometrica utilizzata per calcolare le coordinate dei punti "dead reckoning", sulla base delle coordinate del primo punto DGPS, della direzione e della velocità di avanzamento della trattore.

2. Risultati e discussione

2.1. Sistema GPS

La figura 2 mostra il migliore risultato (ottenuto con l'antenna sul tetto) di tutti i percorsi registrati dal ricevitore GPS.

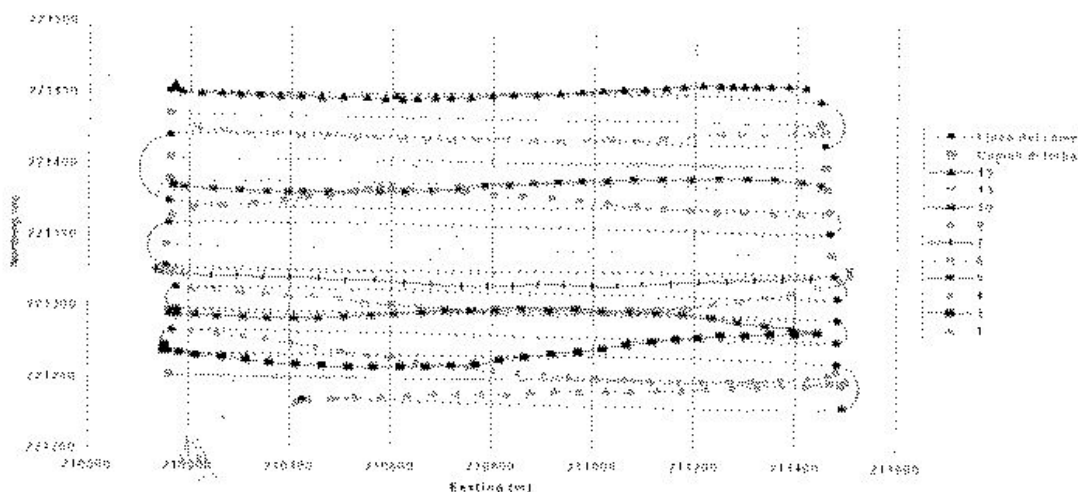


Fig. 2. Ottava giornata - Replica 2 - Percorso registrato dal ricevitore Garmin in cui si è riscontrato il minore errore medio di posizionamento.

Nella tabella 1 sono riportati i valori medi dell'errore di posizionamento (distanza dei punti registrati dal ricevitore Garmin dalla linea mediana del campo effettivamente percorso) dei percorsi registrati dal ricevitore GPS nelle due giornate più significative, e i corrispondenti valori di deviazione standard. Come si può vedere, nella prima giornata si sono verificati i valori massimi, nell'ottava i valori più bassi dell'errore di posizionamento.

Più in dettaglio, nella prima giornata di prove (con antenna sul parafrangente della trattoria), l'errore di posizionamento è risultato variabile da 0 (campi 3, 4, 5, 6 e 7) a 94 m circa (campo 1) per la replica 1 e da 0 (campi 4, 6, 7 e 15) a 47 m circa (campo 1) per la replica 2. L'errore medio è risultato di ± 21 m per la replica 1, di ± 13 m per la replica 2. Nell'ottava giornata di prove (con antenna sul tetto della cabina della trattoria) l'errore di posizionamento è risultato variabile da 0 (campi 1, 3, 7 e 15) a 30 m circa (campo 7) nella replica 1 e da 0 (campi 1, 5, 6, 13 e 15) a 31 m circa (campo 4) per la replica 2. L'errore medio è risultato di ± 14 m per la replica 1, di ± 10 m per la replica 2.

Tab. 1. Errori medi di posizionamento (m) del ricevitore GPS. Repliche 1 e 2 della prima e ottava giornata.

Replica	Sistema GPS	
	Media	Std
1-1	21.18	17.62
1-2	13.46	11.11
8-1	13.58	7.68
8-2	9.53	7.71

Il miglioramento ottenuto con l'antenna sul tetto è notevole, tuttavia non sufficiente per poter considerare il ricevitore Garmin utile per qualsivoglia operazione di agricoltura di precisione.

2.2. Sistemi DGPS e "dead reckoning"

L'errore di posizionamento massimo ottenuto con il sistema DGPS, ovvero la distanza tra i punti DGPS ed il percorso di riferimento, è risultato sempre inferiore a 0,4 m.

In tutte e cinque le giornate, gli errori più elevati sono stati riscontrati nel tratto sud-est della pista OCSE, in prossimità di alcuni capannoni, che probabilmente ostruivano i segnali satellitari; i valori minimi, pur variamente distribuiti nelle tre repliche, sono stati riscontrati nel tratto ovest della pista. Nella replica 3 di ogni giornata, il percorso DGPS è praticamente coincidente con quello di riferimento, non soltanto nel tratto ovest, ma anche lungo quasi tutto il tratto nord della pista. Ciò è probabilmente dovuto ad una distribuzione dei satelliti nell'atmosfera più favorevole al posizionamento durante l'esecuzione del terzo percorso (sempre effettuato dopo mezzogiorno): i satelliti visibili al ricevitore erano distribuiti in modo più uniforme nell'atmosfera. Pertanto, il sistema DGPS mostra una precisione di posizionamento variabile sia nello spazio, a causa della parziale ostruzione dei segnali satellitari ad opera dei capannoni, sia nel tempo, a causa della mutevole geometria della costellazione satellitare.

Con il sistema "dead reckoning" la distribuzione dell'errore di posizionamento lungo la pista è risultata simile a quella riscontrata con il sistema DGPS: l'errore di posizionamento risulta inferiore a 0,4 m in ogni giornata e in ogni replica. Ciò è in parte giustificato dal fatto che i punti "dead reckoning" sono stati determinati sulla base delle coordinate del primo punto DGPS (posizione di partenza della trattrice).

Tuttavia, il sistema "dead reckoning" risulta caratterizzato da un errore di posizionamento quasi sempre inferiore a quello del sistema DGPS, tranne che durante la terza replica di ogni giornata, lungo il tratto nord della pista, dove l'errore di posizionamento del sistema DGPS risulta sempre inferiore a 0,5 m (fig. 3).

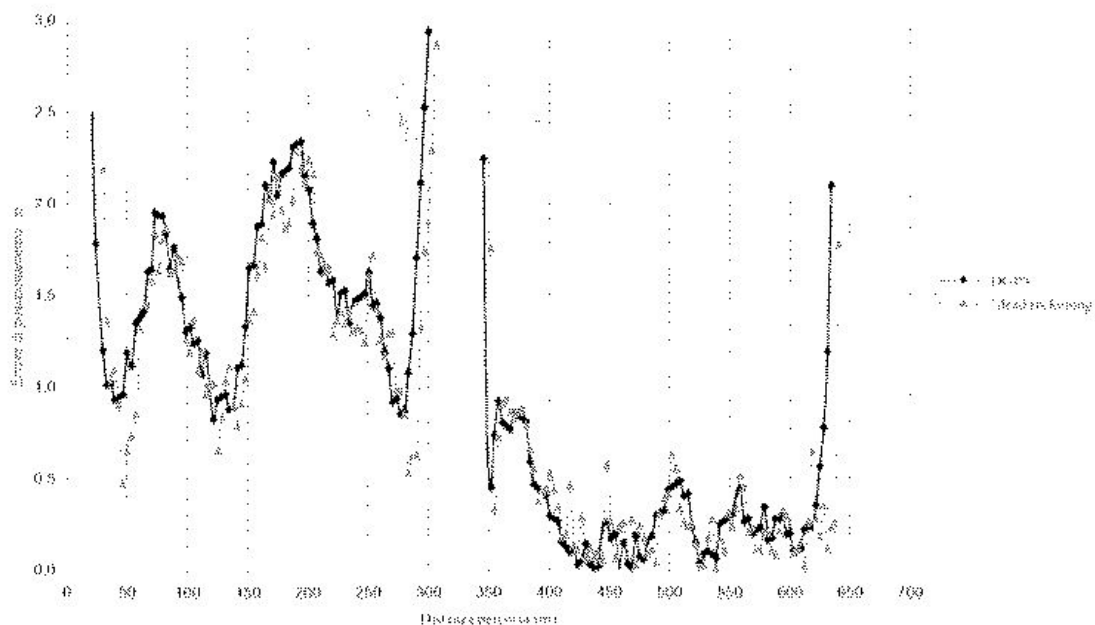


Fig. 3. Terza giornata - Replica 3 - Distanza dei punti DGPS e "dead reckoning" dai tratti rettilinei del percorso di riferimento.

Nella tabella 2 sono riportati i valori massimi dell'errore medio di posizionamento (distanza media dei punti registrati dai tratti rettilinei del percorso di riferimento) dei sistemi DGPS e "dead reckoning", insieme ai corrispondenti valori di deviazione standard, ottenuti nella seconda giornata. Mediamente nelle tre repliche di tale giornata, l'errore di posizionamento del sistema DGPS è risultato pari a $\pm 1,33$ m, mentre quello del sistema "dead reckoning" è risultato pari a $\pm 1,25$ m e, quindi, inferiore a quello DGPS.

Tab. 2. Seconda giornata - Errore di posizionamento (m) dei sistemi DGPS, "dead reckoning" e combinato DGPS/"dead reckoning" nei tratti rettilinei della pista OCSE.

Replica	Sistema DGPS	Sistema "dead reckoning"	Sistema combinato			
	Media	Std	Media	Std	Media	Std
1	1.44	0.45	1.33	0.50	1.27	0.46
2	1.63	0.53	1.56	0.54	1.48	0.53
3	0.93	0.72	0.87	0.68	0.78	0.65
Media	1.33		1.25		1.18	

Tab. 3. Seconda giornata - Numero e percentuali di punti DGPS e "dead reckoning" registrati nei tratti rettilinei della pista con errore di posizionamento più basso di un sistema rispetto all'altro.

Replica	Sistema DGPS	Sistema dead reckoning		
	N.	%	N.	%
1	59	36	106	64
2	62	37	106	63
3	76	45	94	55
Totale	197	39	306	61

3. Conclusioni

Sia il ricevitore GPS portatile a basso costo, sia i sistemi di posizionamento DGPS e "dead reckoning" sono stati esaminati in condizioni che ne simulavano l'applicazione in un appezzamento colturale a file in cui ogni macchina percorre traiettorie prestabilite.

I risultati mostrano che:

- il ricevitore GPS portatile a basso costo, se installato su una macchina insieme ad un'antenna supplementare (posta sul tetto della cabina di guida), è in grado di fornire una precisione dell'ordine di ± 12 m, per cui è utile unicamente in una torbiera per dire su quale campo si trova la macchina. Infatti, nessuna coltura arborea o erbacea presenta una struttura dei campi con file distanziate ben 15 m, come in torbiera;
- i sistemi DGPS e "dead reckoning", utilizzati singolarmente, hanno fornito una precisione di posizionamento mediamente inferiore a $\pm 1,5$ m nei tratti rettilinei della pista e inferiore a ± 4 m nei tratti curvilinei della stessa;
- il sistema DGPS è in grado di determinare la posizione della macchina sin dal primo punto del percorso. Tuttavia, i segnali di correzione differenziale trasmessi sulla banda FM possono risultare indeboliti, in quanto ostruiti da ostacoli naturali e/o artificiali, e,

- in generale, il livello di precisione conseguibile dal sistema DGPS diminuisce all'aumentare della distanza tra la Stazione Base e la Stazione Mobile;
- d) il sistema "dead reckoning" necessita comunque di un altro sistema di posizionamento, per determinare le coordinate del punto di partenza della macchina;
 - e) un sistema combinato DGPS/"dead reckoning" può essere utile per garantire il posizionamento anche nei momenti in cui i segnali satellitari e/o i segnali di correzione differenziale sono ostruiti da ostacoli vari. In questi casi, l'errore di posizionamento risulterà inferiore a quello fornito dal solo sistema DGPS, a condizione di utilizzare dati "dead reckoning" soltanto per periodi limitati, in maniera che l'errore cumulativo tipico di questo sistema non abbia il tempo di diventare significativo. Un sistema di questo tipo è applicabile in "post-processing", specie nei percorsi rettilinei delle seguenti fasi del ciclo dell'agricoltura di precisione: mappatura di resa colturale, flora infestante e caratteristiche pedologiche, che richiedano una precisione inferiore a ± 3 m (Stafford e Ambler, 1994).

In termini economici, per ottenere i risultati sopra esposti sono attualmente necessarie: circa 500.000 Lit. per un ricevitore portatile con antenna supplementare, circa 30.000.000 Lit. per un sistema DGPS, circa 5.000.000 Lit. per un sistema "dead reckoning" (bussola + radar).

Riferimenti bibliografici

- Gioco, M., 1993. Il radar Doppler nelle applicazioni agricole. V Convegno Nazionale A.I.G.R.
- Gioco, M. e P. Pezzato, 1991. Rilevamento della velocità di veicoli agricoli basato sull'effetto Doppler. Rapporto interno 91.3, Istituto per la Meccanizzazione Agricola del CNR di Torino.
- Schueller, J.K., 1997. Technology for precision agriculture. In: Stafford, J.V., Precision Agriculture '97, Volume I, Spatial Variability in Soil and Crop. BIOS Scientific Publishers, Regno Unito, 33-44.
- Stafford, J.V. e B. Ambler, 1994. In-field location using GPS for spatially variable field operations. *Computer and Electronics in Agriculture* 11, 23-36.
- Stafford, J.V. e H.C. Bolam, 1996. Improving the reliability of position resolution using GPS for precision agriculture. In: *AgEng '96, International Conference on Agricultural Engineering*, Madrid, Spagna, Volume 2, Management and Ergonomics, European Society of Agricultural Engineers, 985-986.
- Stafford, J.V., B. Ambler, R.M. Lark e J. Catt, 1996. Mapping and interpreting the yield variation in cereal crops. *Computers and Electronics in Agriculture* 14, 101-119.