Machine control con correzioni differenziali da reti di stazioni permanenti GNSS

Raffaella Brigante (*), Guido Fastellini (*), Fabio Radicioni (*), Aurelio Stoppini (*), Giuliano Molinelli (**), Giacomo Trovati (***)

(*) DICA – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Perugia, Via G. Duranti 93, 06125 Perugia, tel. 075 5853765, fax 075 5853756, e-mail topos@unipg.it
(**) Geotop S.r.l., Via Brecce Bianche 152, 60131 Ancona
(***) Impresa Fratelli Trovati S.n.c., Str. Pievaiola 211/c, 06071 Perugia

Riassunto

Il *machine control* è un sistema di guida automatica di mezzi da cantiere basato sull'impiego di metodologie GNSS in tempo reale, che consente di aumentare la produttività diminuendo i tempi di esecuzione e annullando quasi completamente i costi del tracciamento. Il sistema si basa sul posizionamento GNSS in tempo reale con correzione RTCM di codice e fase. Allo stato attuale dell'arte la correzione viene inviata da una stazione base nel cantiere (RTK).
L'organizzazione attuale del machine control presenta alcuni inconvenienti, legati principalmente alla necessità di una stazione base locale e alle limitazioni operative dei radio modem. Le innovazioni proposte nel presente lavoro si basano sulla applicazione di una rete permanente GNSS (NRTK) per eliminare i predetti inconvenienti, aumentare l'affidabilità e ridurre i costi.
La ricerca è partita dalla progettazione di modifiche a un sistema di machine control allo stato dell'arte, con implementazione di nuovi componenti opportunamente scelti. Il sistema è stato messo a punto attraverso una serie di test, nel corso dei quali sono stati evidenziati e risolti alcuni problemi tecnologici che ne riducevano le prestazioni, verificando nel contempo l'accuratezza raggiunta. La ricerca ha portato alla realizzazione di un sistema prototipo, in grado di operare con correzioni di rete, che l'Impresa Trovati sta utilizzando attualmente come processo produttivo standard.

Abstract

The machine control is a system of automated guide of building vehicles based on real-time GNSS. It increases the productivity by reducing the execution times and almost eliminating any tracking operation. The system is based on a real-time GNSS positioning with code-phase RTCM correction. At the state of the art the correction is generated by a base station in the building site (RTK).
The current organization of the machine control presents some drawbacks, mainly for the necessity of a local base station and the operational limitations of the radio modems. The innovations here proposed are based on the application of a permanent GNSS network (NRTK) to eliminate such inconvenients, increasing affordability and reducing costs.
The research has started from the study of modifications to a state-of-the-art system, implementing it with some new appropriately chosen components. The system has been set up through a series of tests, putting into evidence and fixing some technical problems reducing the performance. The research has led to the realization of a prototypal system, capable to operate with network corrections, currently used by the Trovati Company as a standard production process.

Introduzione: il *machine control*

Lo sviluppo scientifico e tecnologico nel settore del rilevamento produce da anni un crescente incremento delle prestazioni, sia in termini di accuratezze che di riduzione dei costi. Una delle principali innovazioni è rappresentata dalla integrazione di più sensori di tipo diverso, con notevoli

benefici dalla loro interazione e sinergia. Questa evoluzione ha portato a una trasformazione dei processi produttivi in molti settori, incluso quello in oggetto: le costruzioni stradali e edili.
Una delle principali innovazioni riguarda le operazioni di movimento terra, assistite da ricevitori GNSS integrati da sensori di inclinazione e assetto, tecniche raggruppate sotto la denominazione *machine control*, che consentono di eliminare completamente o quasi le operazioni di tracciamento in cantiere, lasciando l'esecuzione del lavoro al solo operatore del mezzo, che ne controlla l'esito in tempo reale sullo schermo di un computer di bordo, nel quale sono stati preventivamente caricati gli esecutivi CAD di progetto. La maggior parte delle ditte produttrici di sistemi di posizionamento distribuiscono oggi anche sistemi di machine control, che includono uno o più ricevitori GNSS.
Nelle macchine di tipo *dozer* (fig. 1) l'antenna GNSS è installata sulla pala frontale, con un sistema di montaggio che smorza le vibrazioni. L'inclinazione trasversale della pala viene determinata da un sensore di inclinazione (o una seconda antenna GNSS in altri sistemi). Negli escavatori (fig. 2) è necessario installare due antenne nel corpo macchina, che ruota intorno a un asse verticale. La posizione della benna di scavo rispetto al corpo è ricavata per mezzo di un sistema di tilt sensors di tipo MEMS (da uno a tre assi, con frequenza di campionamento fino a 100 Hz nei sistemi più avanzati) montati sul corpo e sui bracci articolati della macchina.

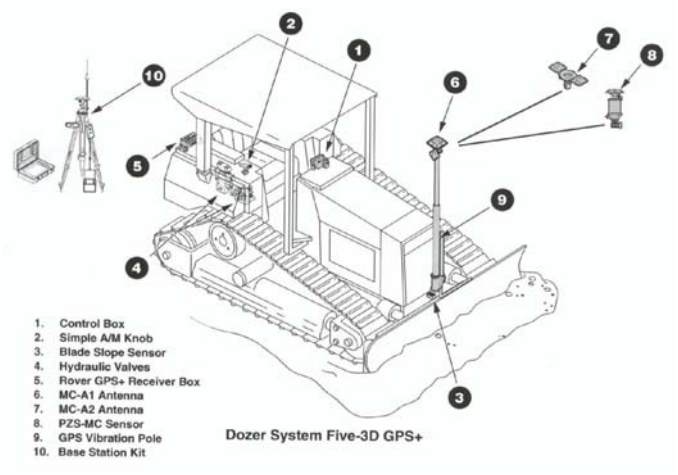


Figura 1 – Esempio di sistema di machine control installato su dozer (cortesia Topcon)

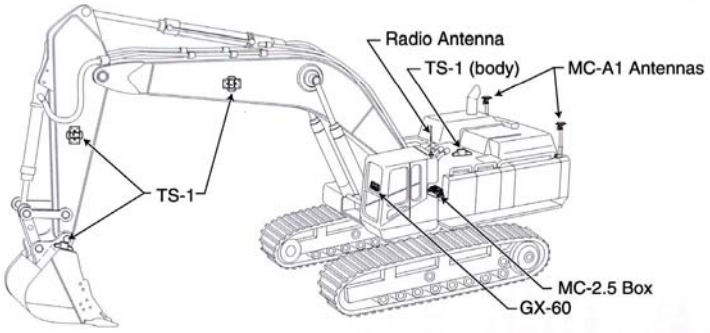


Figura 2 – Esempio di sistema di machine control installato su escavatore (cortesia Topcon)

Il posizionamento viene effettuato con la tecnica RTK, installando una stazione fissa nel cantiere, e permette di raggiungere accuratezze di posizionamento in tempo reale dell'ordine dei 5 cm,

sufficienti per gli scavi. Lavorazioni successive come la posa di pavimentazioni richiedono accuratezze maggiori, che vengono raggiunte integrando il sistema con livelli laser o a ultrasuoni.

Problemi e innovazioni proposte

Il machine control in Italia non si è ancora diffuso su vasta scala, ma considerando i vantaggi che comporta in termini economici e di qualità rispetto al modo di operare tradizionale, c'è da attendersi un notevole e rapido incremento del suo utilizzo nel prossimo futuro. Allo stato dell'arte, la tecnica presenta ancora alcuni inconvenienti che ne limitano in parte le prestazioni:

- necessità di una stazione base in ogni cantiere, con conseguenti costi di acquisto, installazione, posizionamento, sorveglianza;
- costo delle operazioni topografiche preliminari per il posizionamento della stazione e la sua georeferenziazione nel datum del progetto, con determinazione delle coordinate di un insieme di picchetti all'interno del cantiere;
- comunicazione tra stazione base e rover nei mezzi, con le limitazioni di portata connesse all'impiego dei radio modem; per grandi cantieri va spesso previsto uno o più ripetitori;
- problemi di affidabilità e integrità del posizionamento ottenuto con una sola stazione base, privo quindi di ridondanza, con conseguente necessità di frequenti controlli su picchetti noti.

Per ovviare ad alcuni dei predetti inconvenienti, si è sviluppata una ricerca allo scopo di valutare l'applicabilità al machine control della tecnica NRTK, con correzioni ricevute da una rete GNSS permanente. La ricerca è stata resa possibile dalla collaborazione delle Ditte Geotop S.r.l. di Ancona (distributrice dei sistemi Topcon) e Fratelli Trovati S.n.c. di Perugia (che ha messo a disposizione le macchine movimento terra per i test), nonché da uno specifico finanziamento ricevuto dalla Regione Umbria su questo progetto di innovazione tecnologica.

Realizzazione di un sistema sperimentale e primi test con correzioni di rete

Per la sperimentazione è stata utilizzata la rete GNSS dinamica GPSUMBRIA della Regione Umbria e dell'Università degli Studi di Perugia. La rete opera con il software di tempo reale GNSMART della Geo++ ® e utilizza per la distribuzione delle correzioni un caster Ntrip. Il formato standard è RTCM 2.3 e le correzioni vengono erogate in modalità VRS o FKP, nel datum ETRF89.

L'utilizzo delle correzioni di rete in un sistema di machine control può essere prospettato in due diverse modalità: *diretta* (correzioni ricevute direttamente da ogni mezzo mediante connessione diretta alla rete, mediante modem GSM e Ntrip) o *indiretta* (correzioni ricevute da un modem GSM fisso e poi ridistribuite ai mezzi operanti nel cantiere).

Il primo approccio, apparentemente più immediato e per ciò preferibile, presenta in realtà alcune controindicazioni: costo delle connessioni telefoniche e dell'hardware da installare in ogni mezzo per ricevere le correzioni via Internet, possibili difficoltà di ricezione in tutta l'area del cantiere. Si è pertanto utilizzata per ora solo la modalità indiretta.

Allo scopo, nel sistema è stato implementato un nuovo accessorio hardware, in grado di acquisire e ridistribuire le correzioni. Il componente chiave è costituito dallo SmallTRIP +GPS, realizzato dalla Ditta danese Smalltouch (www.smalltouch.com). Si tratta di un dispositivo che include un ricevitore GPS di solo codice (mediante il quale viene calcolata una posizione approssimata) e un modem GSM che trasmette un messaggio NMEA alla rete permanente e riceve da essa le correzioni di codice e fase calcolate per la posizione in cui si trova. Le correzioni vengono poi ridistribuite su tutta l'area del cantiere da un radio modem e raggiungono i mezzi senza alcuna modifica all'hardware standard già presente su di essi. Lo SmallTRIP (fig. 3a) viene posizionato mediante un treppiede (o pilastrino, palo, ...) in un punto del cantiere in cui la copertura GSM sia buona e da cui sia possibile inviare le correzioni via radio raggiungendo efficacemente tutti i mezzi. La configurazione dello SmallTRIP è effettuabile agevolmente dall'esterno inviando ad esso un opportuno codice con un messaggio SMS.

I primi test sono stati effettuati su un'area campione presso la sede della Ditta Trovati. E' stato realizzato il progetto di un tratto stradale lungo circa 100 metri, comprendente un rettifilo e una

curva. Il progetto, redatto in coordinate ETRF89, è stato caricato nel computer di bordo di un dozer (CAT D6M, fig. 3b) equipaggiato con un sistema di machine control Topcon 3DMC.

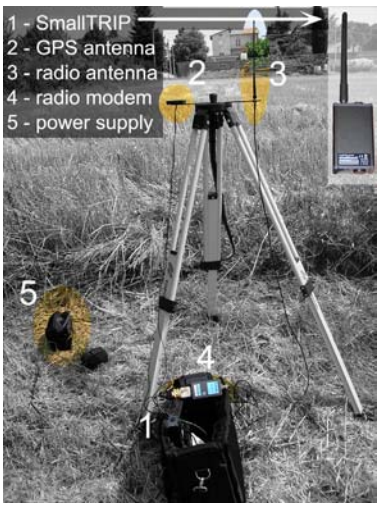


Figura 3a – Dispositivo SmallTRIP con radio modem

Figura 3b – Escavatore utilizzato per i test

Il movimento terra (fig. 4) è stato eseguito affidandosi completamente al sistema, senza alcun picchettamento, e successivamente verificato su punti determinati mediante un rilievo indipendente.

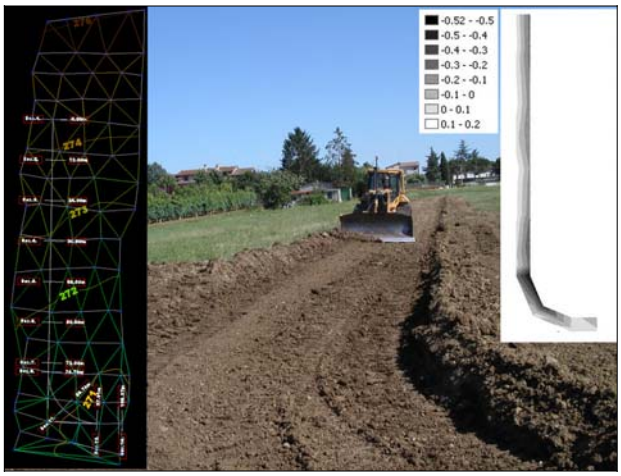


Figura 4 – Progetto ed esecuzione del primo test

Durante l'esecuzione di questo primo test si sono evidenziati alcuni problemi di ordine tecnologico che ne hanno penalizzato in parte i risultati: scarsa copertura GSM (superato cambiando l'ubicazione dello SmallTRIP e l'operatore telefonico), interferenze radio (superato cambiando frequenza dei radio modem) ma soprattutto una discontinuità nel flusso di dati dovuta alla larghezza di banda del radio modem, che non consentiva di superare i 9600 bps. Considerando che (Barbarella et al., 2006) il bit rate richiesto dalle correzioni VRS è di circa 600 bps/satellite, ed i satelliti disponibili (GPS + GLONASS) erano più di 14, si spiega come la capacità del modem fosse insufficiente.

Messa a punto del sistema e test di validazione

Per superare il problema del "collo di bottiglia" rappresentato dal radio modem a 9600 bps, nei test successivi si è adottato per l'invio delle correzioni il più compatto formato CMR (Trimble Co, 2005). Il bit rate CMR può essere stimato con la seguente formula:

$$Bytes/s = 6 + N \cdot [8 + (Freq - 1) \cdot 7] \qquad [1]$$

dove N è il numero di satelliti, *Freq* il numero di frequenze (1 = singola, 2 = doppia). Nel caso in oggetto si ottiene un valore di 216 bytes/s, ovvero 216 · 8 = 1728 bps, ampiamente compatibile con l'hardware utilizzato. Un'altra possibile soluzione è rappresentata dall'adozione del formato RTCM 3.0, che utilizzando i messaggi 1003-1004 per GPS e 1011-1012 per GLONASS è in grado di ridurre notevolmente il flusso di dati, ma non è ancora implementato in GPSUMBRIA.

Un secondo test è stato quindi effettuato utilizzando il formato CMR. L'area appartiene in questo caso a un cantiere reale, per la realizzazione di una rotonda stradale presso Perugia (figg. 5a - 5b).

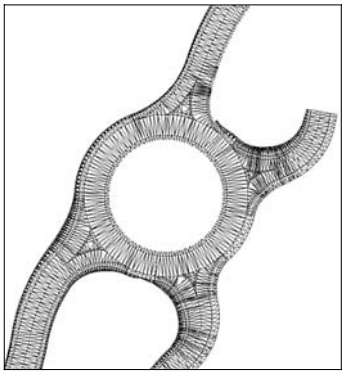
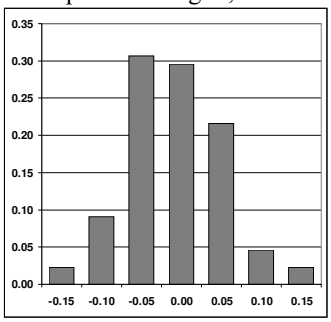


Figura 5a – Area del secondo test

Figura 5b – Misure di controllo per il secondo test

Sono state utilizzate tre diverse macchine operatrici: il dozer della prova precedente, un escavatore (CAT 320CS) equipaggiato con il sistema Topcon a 2 antenne 3DXi (fig. 2), e una livellatrice trainata nella quale viene montato lo stesso sistema installato nel dozer.

La verifica è consistita in un confronto tra progetto e rilievo delle lavorazioni eseguite, ed ha mostrato un'ottima corrispondenza, in linea con le accuratezze attese (inferiori ai 5 cm), come da istogramma degli scarti riportato in fig. 6, con valori caratteristici (m) indicati nella tabella a fianco.



Media	-0.006
Mediana	-0.012
Max	0.140
Min	-0.142
RMS	0.059

Figura 6 – Secondo test: istogramma degli scarti tra progetto ed esecuzione (metri - freq. relative)

Un ulteriore serie di prove, semplice ma efficace, è stata effettuata per verificare la correttezza della "catena cinematica" che va dalla coppia di antenne alla benna passando per i bracci dell'escavatore dotati di tilt sensors. La posizione di alcuni punti di controllo determinati in cantiere nel rilievo

preliminare è stata "ribattuta" con il dente centrale della benna (Fig. 7), trovando anche in questo caso scarti inferiori ai 5 cm, che confermano la buona calibrazione del sistema.

Figura 7 – Il "test della benna"

Conclusioni

Le attività eseguite hanno portato alla realizzazione di un sistema-prototipo in grado di operare con correzioni ricevute dalla rete dinamica senza necessità di una stazione base locale, che l'Impresa Trovati sta utilizzando attualmente come processo produttivo standard nei suoi cantieri situati nella regione Umbria.

Oltre al superamento della maggior parte degli inconvenienti che ricorrono con il modo di operare precedente, la nuova modalità in NRTK consente di ottenere posizionamenti direttamente nel datum geodetico ETRF89-WGS84, coerente con la cartografia numerica moderna, senza transitare per un sistema "pseudo-WGS84" come accadeva utilizzando la stazione base locale

Bibliografia

Lenz, E., 2004. Ntrip: Application and Benefit in Modern Surveying Systems, Proc. of FIG Working Week, Athens, Greece, May 22-27, 2004.
www.fig.net/pub/athens/papers/ts03/ts03_2_lenz.pdf;

Barbarella, M., Bedin, A., Gandolfi, S., 2006. The transmission of GNSS data in the DISTART Network for real time kinematic positioning. 8th Bilateral Geodetic Meeting Poland-Italy, Wrocław (Poland), 22-24 June 2006;

Trimble Terrasat Gmbh, 2005. Support of Network Formats by Trimble GPSNET Network RTK solution (White Paper). www.trimble.com;

GPS Receiver Interface Language (GRIL), Topcon Positioning Systems, Inc., 2003;

Fastellini, G., Radicioni, F., Stoppini, A., 2007. Test di accuratezza e ripetibilità di posizionamenti NRTK su sessioni di lunga durata. Atti della XI Conferenza Nazionale ASITA, Torino, Novembre 2007;

Fastellini, G., Radicioni, F., Stoppini, A., 2009. Network corrections for machine control. GPS World, July 2009.