

Attualità nel posizionamento e nella navigazione satellitari: GPS, GLONASS, WAAS EGNOS, WAAS FAA, GALILEO

GPS SENZA SA

All'inizio del nuovo millennio la Casa Bianca ha deciso di anticipare di sei anni l'eliminazione degli errori strategici che impedivano la precisione metrica elettronicamente possibile nel metodo GPS (Global Positioning System). Questi errori, effetto della SA (Selected Availability, cioè "disponibilità selezionata" del GPS di precisione a particolari periodi di tempo ed in particolari aree), erano indotti mediante dati errati sulla posizione dei satelliti. Per compensarli era necessario impiegare il metodo differenziale, nato per ridurre gli errori dovuti alla difficoltà di determinare la velocità di propagazione dei segnali dai satelliti all'utente a terra. Tale metodo consiste nel determinare istantaneamente la differenza fra la posizione nota di un punto fisso e quella calcolata con le misure GPS. Esso richiede dunque che l'utente abbia a disposizione anche i dati di una stazione di riferimento, trasmessi via radio o disponibili per l'elaborazione differita.

L'eliminazione della SA, avvenuta a partire dal 2 maggio 2000, ha reso non indispensabile il metodo differenziale per una ampia fascia di utenza, per la quale errori di 10 metri in planimetria e di 20 metri in altimetria sono tollerabili. Come detto, tali errori sono di natura fisica e riguardano, oltre la già ricordata velocità di propagazione, anche i

parametri kepleriani delle orbite dei satelliti. Per i primi, il sistema GPS prevede il modo di eliminarli o almeno ridurli, ma solo per gli utenti militari, tramite l'emissione dei segnali su due portanti di frequenza diversa, L1 ed L2 in gergo, rispettivamente a 1500 e 1200 MHz: grazie al fenomeno della dispersione (velocità di propagazione, funzione nota della frequenza) di queste onde radio nella parte alta dell'atmosfera (ionosfera), la combinazione delle conseguenti due contemporanee misurazioni consente la determinazione della posizione "ionofree", cioè compensata dagli errori dovuti alla non conoscenza della densità di ioni in atmosfera. Purtroppo i segnali sulla frequenza di 1200 MHz sono criptati e quindi non utilizzabili dall'utenza civile.

Allo scopo di accertare la precisione ottenibile dopo la decisione

della Casa Bianca, i Laboratori di Geomatica e di Topografia hanno effettuato misurazioni iniziate il 2 maggio stesso, sia della posizione di un vertice sul tetto del Dipartimento di Ingegneria Civile, sia di un altro sul tetto del Centro Marconi, presso l'Area di Ricerca. Alcuni risultati sono riportati nelle tabelle seguenti.

Esaminando le tabelle si vede che l'errore massimo di posizionamento è contenuto entro 20 metri, nel caso peggiore della quota. La precisione, intesa come s.q.m. è invece di 6 metri nel caso peggiore, sempre della quota.

La nuova situazione rende meno importante, dal punto di vista della precisione ottenibile da un unico strumento senza metodo differenziale, l'impiego dei segnali dei satelliti del sistema russo GLONASS (Global Navigation Satellite System), che essendo privi di errori tipo SA, consente di ottenere comunque una precisione di 10 metri (Manzoni, 1996). Tuttavia l'impiego dei satelliti GLONASS rimane sempre utile dato che più è elevato il numero di satelliti, più

	Nord (UTM WGS 84) (m)	Est (UTM WGS 84) (m)	quota elliss. (WGS 84) (m)
Coord. Punto	5057002.301	406107.398	163.908
Valore medio	5057001.835	406107.451	163.275
Valore medio-Coord. Punto	- 0.466 m	0.053 m	- 0.633 m
Sqm	1.754	2.443	5.728
Valore max	5057012.632	4061170795	197.749
Valore min	5056996.806	406101.083	140.589
Δ max - min	15.826 m	16.412 m	57.160 m

TAB. 1: Stazione al Dipartimento di Ingegneria Civile: 2 maggio 2000
Parametri statistici su 15 ore di dati GPS Pseudorange senza SA (frequenza 1 s), ricevitore Novatel Millennium, antenna chock-ring.

	Sqm N (m)	ΔE media - E*	sqm E (m)	ΔN media - N*	sqm H (m)	ΔH media - H*
1	0.772	-1.214	0.96	-1.321	3.526	-0.309
2	0.978	-1.416	1.332	-1.540	1.682	-1.879
3	3.425	-2.255	0.767	0.448	10.742	7.844
4	1.611	-1.570	1.022	0.468	1.883	8.258
5	1.324	6.871	2.224	1.562	4.200	-3.802
6	1.033	3.234	0.72	0.626	1.837	-3.409
7	1.081	-0.146	0.971	-2.776	1.501	-3.225
8	0.894	0.447	0.787	-2.434	1.922	1.163
9	1.100	-0.101	1.307	-1.083	4.139	-0.782
10	1.249	0.569	0.962	0.039	5.800	-6.130
11	1.027	-0.867	0.455	0.866	1.077	1.573
12	0.864	-0.453	0.342	0.748	1.338	1.351
13	0.95	-0.121	0.612	-0.284	1.721	-0.110
14	1.139	0.332	0.599	-1.159	1.247	-0.841

TAB. 2: Stazione al Dipartimento di Ingegneria Civile: 2 maggio 2000
Parametri statistici sugli stessi dati suddivisi in intervalli orari.

	Nord (UTM WGS 84) (m)	Est (UTM WGS 84) (m)	quota elliss. (WGS 84) (m)
Coord. Punto	5057002.301	406107.398	163.908
Valore medio	5057010.796	406103.577	162.131
Valore medio-Coord. Punto	8.495	-3.821	-1.777
Sqm	2.155	0.766	3.317
Valore max	5057014.239	406105.865	171.868
Valore min	5057001.030	406101.495	155.588
Δ max - min	13.208	4.370	16.281

TAB. 3: Stazione al Dipartimento di Ingegneria Civile: 22 maggio 2000
Parametri statistici su 4853 posizioni GPS Pseudorange senza SA registrati ad intervalli di 5 s
ricevitore Trimble 4000SSE, antenna ground plane.

aumenta la possibilità di ottenere la posizione di punti immersi nell'edificato urbano o nelle montagne.

WAAS (Wide Area Augmentation System) Differential GPS

In modo particolare in aeronautica, un sistema di navigazione primario, come i sistemi satellitari e specialmente il GPS hanno l'ambizione di essere (ora sono accettati se

accompagnati da un altro sistema di navigazione, per esempio una radiobussola), deve poter riconoscere i propri errori e avvertire l'utente in tempo reale (ritardi minori di 2 secondi) (Schaenzer, 1995).

I satelliti GPS o GLONASS sono controllati dai rispettivi proprietari, ma in caso di cattivo funzionamento possono passare minuti prima che ciò venga rilevato e che la strumentazione dell'utente riesca a tenerne conto. Pertanto gli enti aeronautici americani ed europei hanno progettato

sistemi ausiliari che invece avvertano l'utente in tempo reale o quasi (Powell et al., 1994). Questi sistemi consistono in satelliti geostazionari di telecomunicazioni che fanno da ponte radio per messaggi di allerta generati da stazioni di riferimento presenti in aree continentali che conoscono le proprie coordinate e quindi sono in grado, oltre che di generare i dati per il GPS differenziale, di individuare il satellite o i satelliti che non funzionano e di mandare l'allarme. Inoltre essi emettono un segnale per la misura della distanza e dei dati di posizione, in modo da aggiungersi come ulteriore satellite di posizionamento. Queste stazioni sono equipaggiate con orologi atomici il cui tempo è confrontato con quello ricavato dai segnali GPS, in maniera che immediatamente venga individuato un satellite con l'orologio guasto. Il parametro che quantifica lo stato di allerta e che viene calcolato dalle stazioni di riferimento è l'INTEGRITA' (Integrity), che è la probabilità con cui i dati forniti all'utente risultano falsi. Per l'atterraggio in categoria terza, III, l'integrità del sistema automatico adottato, per esempio ILS (Instrumental Landing System), deve essere inferiore a uno su un miliardo (1 falso ogni 100.000 anni di volo continuato) (Heteyi, 1994). Grazie ai dati trasmessi attraverso il satellite geostazionario, incluse le correzioni per il GPS Differenziale ed alla misura di distanza GPS-like (cioè di tipo GPS), che lo strumento dell'utente può fare anche con il satellite stesso, detto strumento è in grado di calcolare l'Integrity del calcolo della sua posizione. Allo scopo di produrre dati per il GPS differenziale il più possibile precisi, il metodo WAAS applica alle differenze fra la posizione istantanea della stazio-

	Nord (UTM WGS 84) (m)	Est (UTM WGS 84) (m)	quota elliss. (WGS 84) (m)
Valore medio	5056711.966	408676.074	427.374
Sqm	1.192	2.544	6.061
Valore max	5056714.379	408681.261	437.249
Valore min	5056709.993	408672.675	417.289
Δ max - min	4.386	8.586	19.960

TAB. 4: Stazione al Centro Marconi: 24 maggio 2000
Parametri statistici su 181 posizioni GPS Pseudorange senza SA registrate ad intervalli di 30 s;
HDOP = 0.8 ÷ 2.4 ricevitore Novatel Millennium, antenna chock-ring.

ne di riferimento e quella nota a priori, ulteriori correzioni tra le quali quelle derivanti da modelli della velocità di propagazione nell'atmosfera, in modo tale che lo strumento GPS dell'utente sia in grado di personalizzare le correzioni in base alla sua posizione (determinata, dopo la cessazione della SA, con approssimazione di 10 o 20 metri, come abbiamo visto). In questo modo possono essere utilizzati dati per il GPS differenziale originati a migliaia di chilometri di distanza, come serve per le navigazioni oceaniche, ma anche per quelle intracontinentali, con precisione di alcuni metri: in queste è ben vero che le stazioni di riferimento si stanno densificando e arriveranno a interdistanze di qualche decina di

chilometri, ma evidenti questioni di responsabilità del dato, impongono la leadership di una o poco più stazioni per continente.

Localmente poi, se è necessaria una precisione di poche decine di centimetri o migliore, come accade per gli atterraggi in Categoria III, cioè a visibilità nulla, interviene un sistema GPS Differenziale LAAS (Local Area Augmentation System), che adopera ulteriori ausili di radionavigazione, in particolare i cosiddetti PSEUDOLITE (che sono emettitori fissi a terra di segnali GPS-like): essi consentono al velivolo (ma potrebbe essere un veicolo o un rilevatore terrestre in una valle stretta) di utilizzare le apparecchiature GPS per localizzarsi rispetto ai vertici dove sono situati gli PSEUDOLITE.

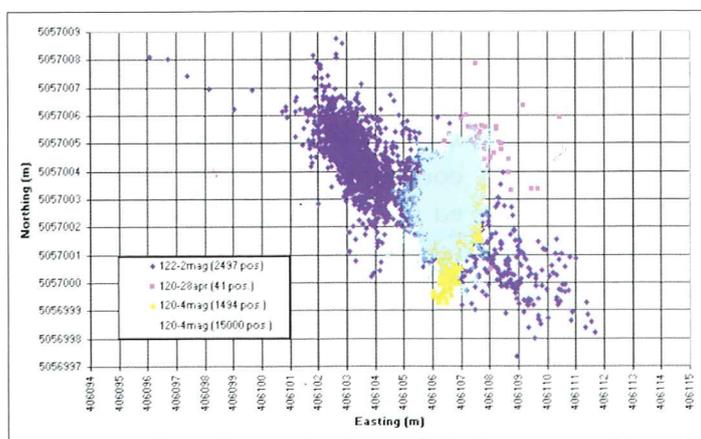


FIG. 1: Stazione al Dipartimento di Ingegneria Civile - Posizioni calcolate in sessioni differenti applicando correzioni WAAS-EGNOS (PRN 120: INMARSAT AOR-E) e WAAS-FAA (PRN 122: INMARSAT AOR-W).

di segnale: quello emesso dal satellite Inmarsat 2 posto sopra l'Atlantico occidentale (AOR-W), che ha il nome GPS-like Sv 122 (azimut 254° ed elevazione 7° rispetto all'Università di Trieste), e quello emesso da Inmarsat 1, posto sopra l'Atlantico orientale (AOR-E), che ha il nome GPS-like Sv 120 (azimut 218° ed elevazione 30° rispetto all'Università di Trieste).

Il segnale WAAS del primo appartiene alla FAA (Federal Aviation Authority) (<http://gps.faa.gov/>); il segnale WAAS del secondo appartiene al progetto europeo EGNOS (European Geostationary Overlay Service) (Oszczak, 1997).

I primi risultati degli esperimenti iniziati il 24 aprile 2000 (data di attivazione di un test delle trasmissioni EGNOS, finito il 5 maggio) sono esposti nelle tabelle 1-5.

I ricevitori NOVATEL consentono di calcolare la posizione impiegando o non impiegando i modelli di velocità di propagazione, cosicché i grafici mostrano coordinate ottenute con i due metodi differenziali.

I sistemi WAAS sono ancora in fase sperimentale; in particolare EGNOS è soggetto a continui cambiamenti di programmazione e, come pure indicato in testa al messaggio diffuso dal satellite, non è ancora utilizzabile per un posizionamento accurato e affidabile. Con tale precauzione si può dire che le sperimentazioni fatte indicano una precisione pari a quella ottenuta con il solo GPS senza SA.

Si fa notare inoltre che anche la ricezione del Sv 122 (in vista solo per l'antenna sul Dipartimento di Ingegneria Civile) ha mostrato discontinuità, forse attribuibile ad attenuazioni atmosferiche del segnale a causa della bassa elevazione sull'orizzonte.

	Nord (UTM WGS 84) (m)	Est (UTM WGS 84) (m)	quota elliss. (WGS 84) (m)
Valore medio	5056712.053	408676.756	429.188
Sqm	1.835	0.680	1.895
Valore max	5056715.238	408679.429	439.229
Valore min	5056708.637	408674.519	420.199
Δ max - min	6.601	4.910	19.030

TAB. 5: Stazione al Centro Marconi: 25 maggio 2000
Parametri statistici su 724 posizioni GPS Pseudorange senza SA registrate ad intervalli di 30 s;
HDOP = 1.1 ÷ 2.1 ricevitore Novatel Millennium, antenna chock-ring.

CONCLUSIONI

I sistemi di posizionamento satellitare sono ormai così diffusi che rappresentano un fatto strategico in campo civile. L'Unione Europea ha deciso alla fine del 1999 di avviare la progettazione esecutiva del sistema GALILEO. Il 2 maggio 2000, gli Stati Uniti hanno risposto togliendo ai dati emessi dai satelliti GPS l'errore strategico, noto con la sigla SA, che limitava a 150-200 metri l'affidabilità dei posizionamenti, alla quale si faceva fronte con la tecnica differenziale, che però rimane essenziale per la compensazione degli errori fisici e geometrici cioè quelli della velocità di propagazione atmosferica e quelli dei parametri delle orbite kepleriane, e ancor di più essenziale per il metodo interferenziale, impiegato per le precisioni cartografiche e di monitoraggio dei movimenti del suolo.

Pertanto i metodi GPS cartografici, inclusi quelli catastali, non hanno risentito miglioramenti dalla eliminazione della SA.

Satelliti geostazionari per telecomunicazioni

sperimentano la trasmissione di dati aggiuntivi per migliorare la precisione e l'affidabilità del sistema. Reti terrestri di radiocomunicazioni si offrono per il medesimo scopo.

A queste attività si aggiungono quelle della trasmissione del dato di posizione ad un centro di controllo, come accade nella gestione delle flotte effettuate via telefoni cellulari.

Pertanto il panorama dei mezzi di posizionamento satellitare è amplissimo e pieno di entusiasmati prospettive, che coinvolgeranno attività industriali ed economiche di vasta portata con un ruolo importante nella società dell'informazione.

RAFFAELA CEFALO, **GIORGIO MANZONI**,
ROBERTO PAGURUT*, TATIANA SLUGA

Laboratorio di Geomatica e Dipartimento
di Ingegneria Civile, Università di Trieste
* Centro Radioelettrico G. Marconi,
Area Science Park, Trieste

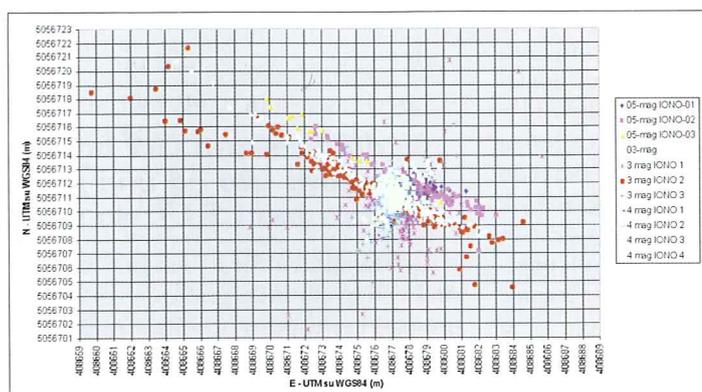


FIG. 2: Stazione al Centro Marconi - Posizioni calcolate in sessioni differenti applicando correzioni WAAS-EGNOS (PRN 120: INMARSAT AOR-E), con e senza modello ionosferico WAAS.

BIBLIOGRAFIA

Hetyei J. - The multimode Landing Receiver (MMR), a reality - Int. Symp. On Precision Approach and Automatic Landing-The German Institute of Navigation, 21-24 February 1995, pp. 43,58

Oszczak S. - Egnos Project for Integration of GPS with Glonass System - Proceedings Int. Symp on DGPS in Engineering and Cadastral Measurements, Education and Practice, Ljubljana, August 25-27 1997, Reports on Geodesy, 6 (29), 1997, Politechnika Warszawska, Warsaw

Schaenzer G. - Satellite Navigation for Precision Approach Technological and Political Benefits - Int. Symp. On Precision Approach and Automatic Landing - The German Institute of Navigation, 21-24 February 1995, pp. 25, 30

Powell D., Walter T., C. Kee, Chao Y.C., Tsai Y.I., Evans J., Abbott E., Barrows A.K., Enge P., Parkinson B.- Real Time Flight Demonstration of Wide Area Differential GPS - Int. Symp. On Precision Approach and Automatic Landing - The German Institute of Navigation, 21-24 February 1995, pp. 213,221