

Il campo prova del Centro Ricerche Trisaia dell'Enea per la certificazione di strumentazione topografica

Piero DE FAZIO (*), Giovanni ABATE (**)

(*) ENEA (Gruppo FIM MAT METR) – C. R. TRISAIA s.s. 106 Jonica km. 419,500 Rotondella (MT)
tel. : 0835 974711- fax: 0835974350 e-mail: defazio@trisaia.enea.it

(**) Leica Geosystems S.p.A. via Talete, 41 Valenzano (BA)
tel.: 080 4674928 fax: 080 4674928 e-mail: giovanni.abate@lgs-geo.it

Riassunto

Sono presentati i primi risultati di una sperimentazione condotta sul campo prova istituito presso il Centro Ricerche Trisaia dell'ENEA dal personale del Centro Integrato di Metrologia del Dipartimento FIM (Tecnologie Fisiche e Nuovi Materiali).

Questa area *test*, peraltro in corso di ulteriore ampliamento e realizzata anche per la certificazione di strumentazione geodetica topografica tradizionale, sarà essenzialmente utilizzata al fine di testare la precisione dei ricevitori GPS, prestando particolare attenzione all'individuazione di procedure operative ripetibili, che possano così confluire nella proposta di norme dedicate, attualmente assenti.

Abstract

This paper shows the first results of experimentation conducted on the test area realized in ENEA Trisaia Research Center by the researchers of the Metrology Integrated Center of FIM Department. This test area, that will be soon improved, has been realized to test the GPS receiver precision with particular attention to finding repeatable operative procedures which can bring to dedicated standards

This test area has been also realized and will be improved for testing geodetic topographic instruments like theodolites, levels, EDM.

Introduzione

Da un punto di vista strettamente metrologico, una misura è “corretta” se può essere riferita ad un campione certificato da un Istituto Primario.

Nel caso della misure GPS, ovvero del calcolo di una *baseline* tra due ricevitori attraverso la misura della differenza di fase, ciò non è vero.

Pertanto, considerata la complessità del sistema GPS, con una molteplicità di grandezze coinvolte per cui non è possibile disporre di un unico campione primario di riferimento, sarebbe necessario sia verificare lo strumento attraverso procedure prefissate di calibrazione, sia operare in campo seguendo opportune linee guida relative alle modalità ed ai tempi di acquisizione.

In riferimento al secondo aspetto, il Gruppo di lavoro “Reti di inquadramento plano-altimetriche”, nell'ambito del comitato tecnico di coordinamento per l'Intesa Stato-Regioni - Enti Locali sui Sistemi Informativi Geografici, ha da tempo individuato le linee guida operative ed i parametri da rispettare per l'esecuzione di rilievi GPS plano-altimetrici finalizzati alla progettazione ed esecuzione di reti di inquadramento e raffittimento.

Mancano, invece, norme ufficiali che definiscano con chiarezza le operazioni necessarie per calibrare ed eventualmente certificare i ricevitori GPS ad uso geodetico.

Alcuni organismi e gruppi di ricerca internazionali si sono occupati esclusivamente dello sviluppo di procedure per la calibrazione delle antenne GPS, con particolare riguardo alla variazione del suo centro di fase (Schmitz et al 2002).

Diversa è la situazione normativa per quanto riguarda la strumentazione geodetica topografica, per la quale la norma DIN 18723 e la sua equivalente ISO 12857 stabiliscono le procedure in campo per la determinazione della precisione di livelli, teodoliti, distanziometri.

Partendo da tali premesse, i ricercatori del Centro Integrato di Metrologia (C.I.M.) di ENEA, operante all'interno del Centro Ricerche Trisaia, afferente al Dipartimento FIM (Tecnologie Fisiche e Nuovi Materiali), inserito nella rete nazionale dei centri SIT (Servizio Italiano di Taratura), hanno intrapreso un percorso finalizzato alla ricerca di norme e *standard* da seguire per la calibrazione di un GPS ad uso geodetico, inteso nella totalità di ricevitore, antenna, cavi, software di post-elaborazione dati, radio (in caso di rilievi in tempo reale), etc.

Questa complessità strutturale rende difficile un approccio al problema in senso strettamente metrologico, in quanto non si ha a che fare con un'unica grandezza da misurare riferibile ad un "campione nazionale".

In altri termini, non è possibile individuare un unico strumento di misura che, dopo idonea taratura presso l'Istituto Primario, consenta la riferibilità.

Il problema, così posto, sembrerebbe non ammettere soluzioni, ragion per cui è apparso sempre più necessario concentrare gli sforzi sulla validazione delle misure GPS attraverso un raffronto con misure convenzionali, eseguibili solo mediante un campo prova che renda omogenee e confrontabili tra loro le misure realizzate con strumenti e riferimenti diversi.

Il campo prova del C.R. Trisaia

L'area *test* è stata istituita presso il Centro Ricerche Trisaia dell'ENEA, ubicato in Basilicata non lontano dalla foce del fiume Sinni.

Il Centro Ricerche si estende su una superficie di circa 110 ha e si caratterizza, tra l'altro, per una limitata presenza di ostacoli, quali costruzioni e /o impianti, circostanza che lo rende particolarmente adatto a rilievi GPS, per la possibilità di disporre di "ampia visibilità" di cielo in numerose zone.

Il sito del Centro è praticamente pianeggiante ($\Delta Q_{\max} = 17$ m.) e la sua particolare morfologia non consente l'instaurarsi di fenomeni franosi di tipo traslativo dei materiali, condizione favorevole allo svolgimento di attività metrologiche/topografiche che presuppongono un "ambiente" che non influenzi la staticità e la posizione dei caposaldi.

Il campo prova è stato realizzato nello spazio prospiciente il C.I.M., in modo tale che gli ostacoli fossero disposti verso nord, ed è costituito al momento da 6 pilastri in c.a. (da P1 a P6 in figura 1) di dimensioni 0,40 x 0,40 x 1,60 m dotati di plinti di fondazione delle dimensioni 1,00 x 1,00 x 0,80 m, sulla cui sommità sono state fissate piastre di centramento forzato.

È attualmente allo studio un ulteriore allargamento del poligono di calibrazione con l'istituzione di un gruppo di 4 pilastri (in figura 1 da P7 a P10) disposti lungo la diagonale maggiore del Centro, tali da costituire, con due dei pilastri esistenti (P2 e P3), una base lunga circa 1,3 km, utilizzabile per la taratura dei distanziometri elettronici secondo quanto prescritto dalle norme.

Planimetricamente i 6 manufatti sono disposti secondo due quadrilateri pressoché concentrici; il primo, quello più esterno ha una forma molto allungata con una distanza *max* tra i pilastri P6 e P5 di circa 430 m, il secondo ha la sua diagonale maggiore coincidente con la diagonale minore del primo.

Inoltre le basi P1-P2 e P2-P3 sono state progettate e realizzate in modo che la loro lunghezza fosse compatibile con la portata di un interferometro laser HP 5529A in dotazione al laboratorio di lunghezza del C.I.M. ed impiegato in precedenti ricerche (Colucci, De Fazio, 2002).

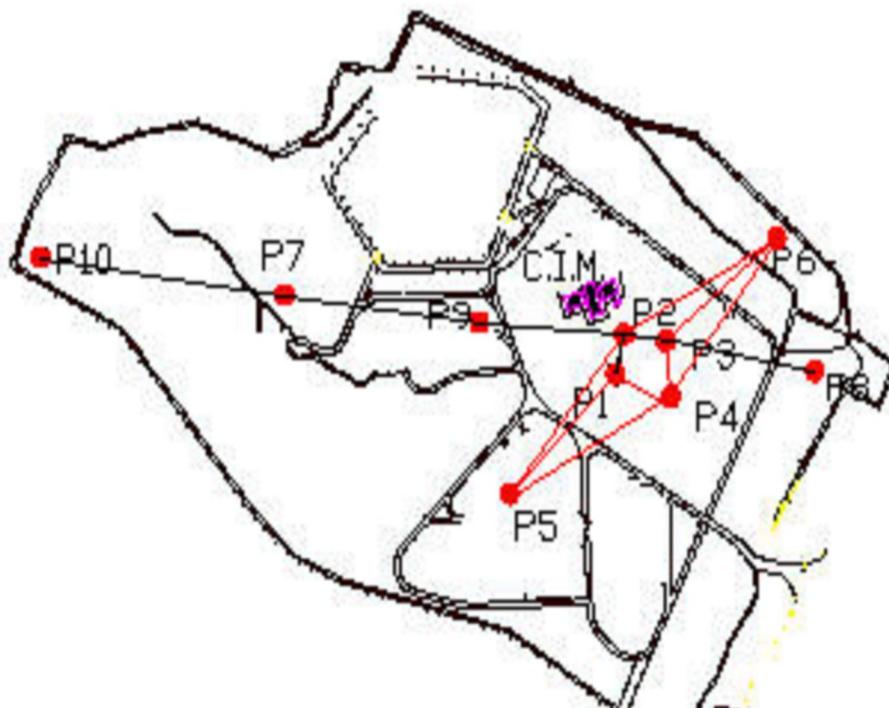


Figura 1- Planimetria del C.R. ENEA -Trisaia e dislocazione del C.I.M. e dei pilastri

Caratterizzazione del campo prova e cicli di misure

Il campo prova è stato realizzato nell'ottobre del 2006; fino al giugno 2007 sono stati condotti cicli mensili di misure con strumentazione topografica tradizionale di alta precisione per tarare il poligono di misura.

In totale sono stati eseguiti 8 cicli di misura; l'elaborazione dei dati ottenuti ha consentito di determinare le distanze tra i vari punti rappresentati dai pilastri, i cui valori sono riportati nella colonna n. 3 della successiva tabella n. 5

La stabilità dei pilastri sarà controllata periodicamente con un intervallo di tre mesi.

Alla fine di marzo 2007 sono iniziate le sperimentazioni con i GPS: il C.I.M. ha acquisito una coppia di ricevitori LEICA 1200 con i quali sono stati eseguiti vari test.

Tutte le operazioni sono state condotte prestando notevole attenzione, sia prima che durante ciascuna sessione di misura, al rispetto di condizioni che potrebbero essere inserite in una raccolta di linee guida e quindi considerate come riferimento operativo.

In particolare,

- i ricevitori sono stati settati con un intervallo di acquisizione di 5 sec;
- si è verificato il corretto orientamento delle antenne GPS durante il test;
- è stata effettuata con un calibro di precisione una accurata misura della altezza dell'antenna GPS rispetto al piano di riferimento rappresentato dalla piastra di centramento forzato sulla sommità di ciascun pilastro;
- l'acquisizione dei dati è avvenuta solo in presenza di una costellazione di almeno 5 satelliti visibili da ciascun ricevitore con un angolo di elevazione di almeno 10° sull'orizzonte ed un $GDOP \leq 5$;
- ogni pilastro è stato rioccupato in sessioni differenti, distanti tra loro almeno 60 minuti, quindi con una differente distribuzione della geometria satellitare.

Tutte le sessioni sono state condotte in modalità statica e per ciascuna di esse è stata redatta una scheda tecnica riportante tutte le caratteristiche ambientali, costruttive (numeri di serie, tipo di ricevitori ed antenna) e le modalità di rilievo.

I test eseguiti sono stati di tre tipi: *zero baseline*, misura di baseline *GPS* e raffronto con distanze misurate da *EDM*, confronto con le basi misurate con interferometro laser.



Figura 2 – Operazioni di misura $h_{antenna}$



Figura 3 – immagine di un pilastrino

Test numero 1 –Zero baseline

Il test è stato condotto collegando due differenti ricevitori ad un'unica antenna *GPS* tramite uno *splitter* in grado di “coprire” entrambe le frequenze, *L1* e *L2*.

Tra gli obiettivi, verificare l'attendibilità della misura strumentale e validare il software di processamento, nel caso specifico il *LGO 3.0* della *LEICA* acquisito dal *C.I.M.* assieme ai due ricevitori della serie 1200

| Sessione di misura e durata | Pilastrino | Distanza inclinata tra i ricevitori (mm) |
|-----------------------------|------------|--|
| 29 marzo 2007 – 60 min. | P1 | 0,1 |
| 29 marzo 2007 – 30 min | P1 | 0,0 |
| 29 marzo 2007 – 20 min | P1 | 0,1 |
| 30 marzo 2007 – 60 min | P1 | 0,2 |
| 30 marzo 2007 – 30 min | P1 | 0,1 |
| 30 marzo 2007 – 20 min | P1 | 0,0 |
| 4 aprile 2007 – 60 min. | P3 | 0,1 |
| 4 aprile 2007 – 30 min | P3 | 0,0 |
| 4 aprile 2007 – 20 min | P3 | 0,0 |

Tabella 4 – Risultati del test zero-baseline

La tabella pone in evidenza come i valori ricavati dalle *baseline* siano strettamente addensati attorno al valore teorico (0,0 mm), a conferma della bontà della strumentazione e del *software* di elaborazione; tale risultato era peraltro atteso avendo impiegato nel *test GPS* di nuova acquisizione e quindi non inficiati dalle conseguenze della normale pratica operativa (cadute di antenne, di ricevitori, urti, etc.).

Sarà cura dei ricercatori del *C.I.M.* di procedere ad ulteriori *test zero-baseline* utilizzando ricevitori ed antenne *GPS* precedentemente impiegati nelle normali pratiche di rilievo topografico e gravati quindi da un monte ore di lavoro considerevole.

Test numero 2 – raffronto con le misure *EDM*

Scopo di questa prova è verificare che il valore della *baseline GPS*, risultato della misura effettuata dalla coppia di ricevitori sulle singole distanze dei pilastrini e del successivo trattamento con il

software di post-elaborazione, sia compatibile con le stesse distanze misurate nella fase di calibrazione metrologica del campo con un distanziometro elettronico.

La tabella n. 5 mostra i risultati del test; ciascun valore presente nella colonna 3, *misura EDM*, è a sua volta la media di 6 misure.

| Coppia Pilastrini | Misura GPS (m) - A | Misura EDM (m) - B | Differenza A-B (mm) |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| P1-P2 | 39,938 | 39,937 | 1 |
| P2-P3 | 32,017 | 32,017 | 0 |
| P2-P6 | 151,985 | 151,984 | 1 |
| P1-P4 | 64,903 | 64,905 | -2 |
| P3-P4 | 76,062 | 76,061 | 1 |
| P5-P1 | 238,811 | 238,812 | -1 |
| P5-P2 | 278,125 | 278,123 | 2 |
| P5-P4 | 252,192 | 252,190 | 2 |
| P3-P6 | 123,552 | 123,554 | -2 |
| P4-P6 | 178,708 | 178,707 | 1 |

Tabella 5 – Confronto distanze tra pilastrini misurate con GPS ed EDM

Poiché le basi misurate con l'*EDM* sono assunte come riferimento per le *baseline GPS*, sarebbe opportuno che la strumentazione utilizzata per la loro determinazione fosse certificata e calibrata.

L'ampliamento del campo prova Trisaia con ulteriori pilastrini consentirà di allargare il *range* delle distanze massime su cui effettuare dei raffronti a valori massimi prossimi a 1,3 km.

Tale valore è molto al di sotto delle lunghezze delle *baseline* normalmente "coperte" da GPS e potrebbe sembrare non significativo operare in tali ambiti.

Tuttavia la verifica con il *GPS* della distanza nota tra i *marker* dei pilastrini rappresenta un buon *test* per certificare la correttezza dei processi di misura dei ricevitori e di processamento dei dati del *software*.

Test numero 3 – Raffronto con misure effettuate con un interferometro *laser*

Ulteriore conferma ai risultati ottenuti dal test precedente, almeno in riferimento alle due basi P1-P2 e P2-P3, affiora dalle prove svolte utilizzando un interferometro *laser* HP 5529°, del tipo "*Michelson*", in cui i raggi interferenti sono divisi in due rami distinti per gran parte del percorso e la differenza di cammino ottico può essere variata entro limiti sufficientemente ampi, senza che ciò comporti una diminuzione della risoluzione.

Le misure con l'interferometro *laser* sono state eseguite solo su due delle basi possibili, in quanto la portata max è di 40 m in situazioni ambientali di umidità e temperatura ottimali.

Per rispettare tali condizioni e riuscire a collimare in modo corretto le ottiche di riflessione disposte sui *marker* dei pilastrini, le misure sono state eseguite di notte con un costante controllo ambientale.

Anche in questo caso per ciascuna base sono state eseguite 8 misure, di cui poi è stata fatta una media il cui valore è riportato nella tabella n. 5

| Coppia Pilastrini | Misura GPS (m) A | Misura interferometro (m) B | Differenza A-B (mm) |
|--------------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| P1-P2 | 39,938 | 39,939 | -1 |
| P2-P3 | 32,017 | 32,016 | 1 |

Tabella 6 – Confronto distanze tra pilastrini misurate con GPS ed interferometro *laser*

L'interferometro *laser* è in grado di misurare ed apprezzare lunghezze significative di gran lunga più "spinte" (10^{-8} m con risoluzione di 0,01 μ m) rispetto a quanto è possibile fare con il *GPS*.

In questo caso, tuttavia, si è preferito approssimare i valori delle basi al mm.

Sviluppi futuri

L'esperienza descritta costituisce solo una minima parte delle attività svolgibili all'interno del campo prova Trisaia.

Accanto alla prosecuzione delle misure di “caratterizzazione topografica” dei pilastrini e all'ampliamento del poligono di prova, si prevede in tempi brevi la georeferenziazione dei caposaldi appoggiandosi ai vertici costituenti i “raffittimenti” della rete IGM95 eseguiti sia in Puglia che in Calabria.

Ciò consentirà di operare anche in termini di verifica di precisione di coordinate.

Grazie alla felice posizione geografica del Centro Ricerche Trisaia, utilizzando i dati della stazione ASI di Matera e delle stazioni fisse di riferimento di nuova istituzione in Puglia - in particolare quella di Ginosa (TA) e tra breve in Calabria - sarà possibile sperimentare procedure per verificare la precisione dei ricevitori GPS su distanze maggiori, dell'ordine di alcune decine di chilometri.

In tempi più lunghi è invece ipotizzabile la costruzione di una camera anecoica di opportune dimensioni, attrezzata in modo che al suo interno sia possibile verificare l'attendibilità delle misure RTK mediante i movimenti di un robot su punti noti predeterminati.

In ogni caso il campo prova Trisaia sarà presto pronto per le normali attività di certificazione della strumentazione topografica classica potendo soddisfare appieno la norma DIN 18723 e ISO 12857 in particolare per teodoliti e EDM.

Conclusioni

Il campo prova Trisaia, interamente realizzato sul territorio di un Ente pubblico di Ricerca, rappresenta un prototipo al servizio della Comunità Scientifica sul quale è possibile sperimentare e mettere a punto standard operativi di ausilio nelle operazioni di calibrazione di GPS, peraltro sempre più indispensabili anche alla luce dei recenti sviluppi di EGNOS e Galileo.

Sarebbe auspicabile che un ricevitore GPS fosse oggetto di operazioni di controllo e calibrazione dopo ogni intervento di *upgrade* sia della parte *hardware* che della parte *software*, incluso il sistema di *post-processing*.

Riferimenti bibliografici

Anzidei M., Esposito A. (2003), “Linee guida per la identificazione di siti idonei alla realizzazione di stazioni GPS permanenti e non permanenti”, *Rapporti tecnici INGV*, 18

Capra A., Caprioli M., De Fazio P. (1998), “Necessità di una normativa nazionale per la certificazione di strumentazione geodetico-topografica”, *Atti della II° Conferenza nazionale A.S.I.T.A.* I vol., 457-462

Colucci P., De Fazio P., (2002), “Una proposta di metodologia per la taratura e certificazione di strumentazione GPS” *Atti della VI Conferenza nazionale A.S.I.T.A.* I vol., 867-872

FIG Guide on Standardisation, (2006)

Gatti M. (2001), “Una procedura per valutare la qualità di un ricevitore GPS”, *Bollettino della SIFET* 3, 17-29

Görres B., Campbell J., Becker M., Siemes M. (2006), “Absolute calibration of GPS antennas: laboratory results and comparison with field and robot techniques”, *GPS Solutions*, 10: 136-145

ISO 12857, (2001), “Optics and Optical Instruments, Field Procedures for determining accuracy”

ISO / DIS 17123 (2001), “Optics and Optical Instruments, Field Procedures for testing geodetic and surveying instruments”

Schmitz M., Wübbena G., Boettcher G. (2002), “Test of phase center variations of various GPS antennas, and some results”, *GPS Solutions*, 6: 18-27

Yeh T K, Wang CS, Lee C W, Liou Y A (2006), “Construction and uncertainty evaluation of a calibration system for GPS receivers”, *Metrologia – Institute of Physics Publishing*, 451-460