

ANALISI E VALUTAZIONE DELLE “FIELD PROCEDURES” PER IL CONTROLLO DEI GNSS SYSTEMS IN RTK NELL’AMBITO DELLE NUOVE NORME ISO 17123-8

Lorenzo LEONE (*), Daniela LAUDANI FICHERA (*)

(*) Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – Facoltà Ingegneria Catania
Viale Andrea Doria, 6 – 95100 Catania, telefono 0957382218, fax 0957382247, e-mail: lleon@dica.unict.it,
daniela.laudani@tin.it

RIASSUNTO

Il presente studio si ricollega, nell’ambito delle procedure normalizzate di controllo, ad un precedente lavoro sui “Test di verifica previsti dalle norme ISO 17123” per le strumentazioni di rilievo topografico ed è mirato all’approfondimento e alla verifica delle procedure operative per il controllo del GNSS system in real time kinematic, sulla base delle recenti norme ISO 17123-8. Le finalità del lavoro derivano, oltre che da motivazione di studio e di ricerca, dall’esigenza, da parte di tecnici operatori del rilievo, di definire un approccio metodologico corretto per testare la precisione del sistema, nella complessità delle condizioni operative. In tal senso si è, proceduto ad un’analisi critica delle nuove norme ISO 17123-8, pubblicate il 29/08/2007 in forma definitiva, senza tuttavia aver avuto la possibilità di eseguire una valutazione critica dei vari test statistici sulla base di dati reali, per il breve tempo intercorso dalla pubblicazione della Norma.

ABSTRACT

The present study is connected, in the circle of the procedures normalized of control, to a precedent job on the "Test of verification foreseen by the norms ISO 17123" for the instrumentations of topographical relief and it is contemplated to a thorough examination and the verification of the executives procedures for the control of the GNSS system in real time kinematic, on the base of the recent norms ISO 17123-8. The finalities of the job derive, over that from motivation of study and search, from the demand, from operating technicians of the relief, to define an methodological correct approach to make a will the precision of the system in the complexity of the executives conditions. In such sense we have proceeded to a critical analysis of the new norms ISO 17123-8, published in 29/08/2007 in definitive form, without nevertheless that we have had the possibility to perform a critical evaluation of the various statistic tests on the base of real data, for the brief time intervened by the publication of the Norm.

INTRODUZIONE

Il presente lavoro si ricollega a precedenti studi sulla possibilità da parte degli operatori di eseguire in campagna verifiche sulla precisione conseguibile con la strumentazione utilizzata, in funzione di prefissati scopi.

Nell’ottica di disporre in tal senso di procedure normalizzate a carattere internazionale, da adottare anche nell’ambito dei sistemi di gestione della qualità (ISO 9001:2000), sono state prese come riferimento le norme ISO 17123 “Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments”. Tali norme, pubblicate in forma definitiva (International Standard) in tempi diversi, dopo le varie fasi di pubblicazione nelle forme “proposal” e “draft”, sono suddivise in otto parti, in base alle diverse strumentazioni considerate.

Sono state in tal senso già pubblicate le seguenti norme:

- ISO 17123-1:2002 “Field procedures for testing geodetic and instruments – Part 1: Theory”.
- ISO 17123-2:2001 “Field procedures for testing geodetic and instruments – Part 2: Levels”.
- ISO 17123-3:2001 “Field procedures for testing geodetic and instruments – Part 3: Theodolites”.
- ISO 17123-4:2001 “Field procedures for testing geodetic and instruments – Part 4: Electro-optical distance meters”.
- ISO 17123-5:2005 “Field procedures for testing geodetic and surveying instruments - Part 5: Electronic tacheometers”.
- ISO 17123-6:2003 “.Field procedures for testing geodetic and surveying instruments - Part 6: Rotating lasers”.
- ISO 17123-7:2005 “Field procedures for testing geodetic and surveying instruments - Part 7: Optical plumbing instruments”.
- ISO 17123-8:2007 “Field procedures for testing geodetic and instruments – Part 8: GNSS field measurement systems in real-time Kinematic (RTK)”.

In un precedente studio sono state analizzate e testate la parte terza (“Theodolites”) e la parte quarta (“Electro-optical distance meters”) della ISO 17123; ed è stato possibile intravedere, anche nell’ambito della stessa ricerca, la possibilità di realizzare specifici campi prova e softwares dedicati per facilitare l’approccio operativo da parte dei professionisti interessati, favorendo in tal modo indirettamente la diffusione delle stesse procedure di controllo.

Il presente lavoro, estende tale studio al sistema GNSS-RTK, prendendo spunto dalla pubblicazione in forma “International Standard”, avvenuta in data 29/08/2007, della ISO 17123-8 “Field procedures for testing geodetic and instruments – Part 8: GNSS field measurement systems in real-time Kinematic (RTK)”.

La disponibilità di tale norma, avvenuta solo da pochi giorni, non ha consentito di presentare nell’ambito del presente lavoro risultati ed analisi dei dati di test operativi, basati e strutturati sulle nuove indicazioni normative (la precedente pubblicazione era in forma “draft”), ma ha permesso, comunque, un’analisi critica del contenuto della stessa, sempre nell’ottica delle già indicate esigenze professionali.

La nuova normativa riveste in tal senso un’importanza elevata per la notevole diffusione del sistema GNSS-RTK, sia nell’utilizzazione base/rover, sia nella possibilità operativa di “appoggiarsi” a reti fisse/permanenti, sempre più diffuse.

Le reti di stazioni permanenti GNSS, progettate e realizzate al fine di fornire dati di correzione differenziale per il posizionamento centimetrico con l’impiego di singoli ricevitori, sono in costante sviluppo in tutto il mondo, essendo basate su sistemi di navigazione satellitari complementari ed interoperabili. In Italia, in mancanza di una pianificazione nazionale, le reti esistenti sono sorte in seguito ad iniziative di diversi soggetti come ad esempio le Università, le Regioni, le Province e diversi Istituti tra cui l’INGV, l’ASI, ecc. con talune problematiche di gestione e approccio.

Gli operatori che utilizzano strumentazioni di rilievo che supportano il sistema GNSS-RTK, avvertono sempre di più l’esigenza di verificare la correttezza dei dati utilizzati, attraverso una procedura normalizzata che consente di certificarne la qualità.

La necessità del rilevatore di poter operare correttamente con la strumentazione disponibile nasce, infatti, non solo da una esigenza etica professionale, ma anche da richieste di specifici capitoli, o da generali normative sulla qualità di prodotti e servizi, ormai alla base dell’attuale mondo produttivo internazionale.

I test indicati dalle suddette norme sono mirati in tal senso alla verifica dell’adeguatezza di una particolare strumentazione per un dato utilizzo e costituiscono un metodo statistico per la determinazione della deviazione standard sperimentale con cui eseguire test statistici di accettabilità delle misure stesse.

LA NORMA ISO 17123-8 PER LA VERIFICA DEI GNSS IN RTK

La norma ISO 17123-8 definisce le modalità operative per determinare e valutare la “precision” (repeatability) del GNSS (Global Navigation Satellite System) in real time kinematic (RTK) e di tutta l’attrezzatura a corredo, utilizzata in fase di rilevamento. Il posizionamento cinematico in real-time è, come noto, una procedura di misurazione relativa che utilizza un ricevitore di riferimento (base) e un ricevitore in movimento (rover); nel caso specifico di una rete RTK viene utilizzato il solo ricevitore “rover”.

Come già detto, i test indicati dalla suddetta norma mirano a verificare sul campo l’adeguatezza della strumentazione disponibile per uno specifico scopo.

In tal senso è necessario che prima dell’esecuzione delle prove l’operatore valuti la stessa adeguatezza attraverso le caratteristiche dichiarate dalle case costruttrici per tutti i componenti del sistema (equipaggiamento, ricevitore e antenna GNSS), o nel caso delle reti RTK con la verifica della “consistency of antenna models”.

In sede di prove dovranno essere rigorosamente rispettate tutte le indicazioni del manuale del produttore per le operazioni di posizionamento, come il minimo numero di satelliti sufficiente, il massimo valore PDOP ed il minimo tempo di osservazione.

I risultati delle misurazioni sono infatti, influenzati da parecchi fattori tra cui la configurazione dei satelliti, le condizioni ionosferiche e troposferiche, le condizioni di multipath, la precisione dell’attrezzatura e la qualità del software del rover e della base.

Per ogni set di prove l’operatore deve inizializzare il ricevitore, resettandolo prima di ogni misurazione, acquisendo i dati dopo che l’ambiguità è stata fissata.

La precisione di centratura, espressa in termini di deviazione standard, dovrà essere di 1 mm, sia sul piano x,y sia in altezza.

Sono proposte normalmente due diverse procedure, una semplificata ed una completa; sarà l’operatore a scegliere tra le due quella più appropriata a seconda del caso.

Il campo prova, da utilizzare per entrambe le procedure, deve prevedere un punto base e due punti rover. Questi ultimi punti dovranno essere localizzati all’interno o in prossimità dell’area oggetto di rilievo, ad una distanza compresa tra 2 e 20 metri, secondo lo schema riportato nella figura 1.

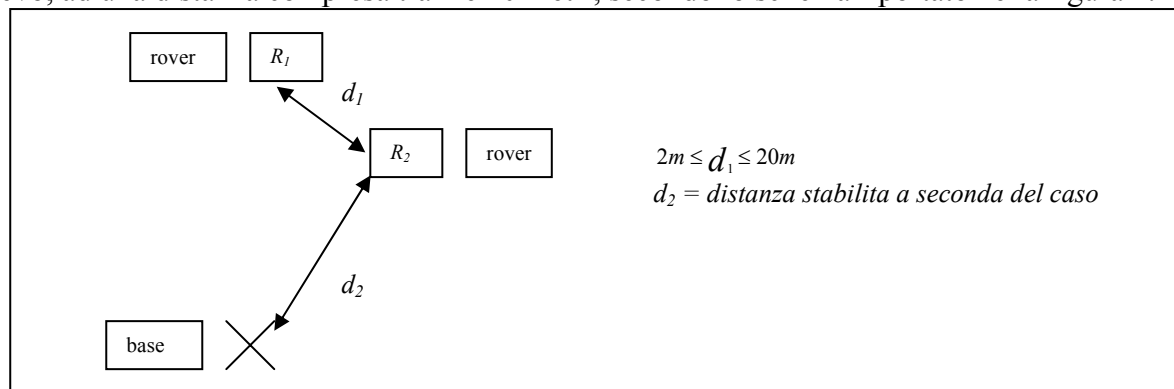


Figura 1: Schema del campo prova

La distanza orizzontale e il dislivello tra i due punti fissati per il posizionamento del rover vengono assunti come valori di riferimento per entrambe le procedure. Per tali valori viene indicato un errore nella relativa determinazione metrica non superiore a tre millimetri.

Distanza e dislivello, calcolati attraverso le coordinate misurate in ciascun set di misure, saranno quindi confrontati con tali valori di riferimento, al fine di determinarne i relativi scarti. I valori di riferimento non saranno comunque utilizzati nei test statistici.

Per la procedura di prova semplificata dovrà essere eseguita una sola serie di misurazioni, mentre per la procedura completa dovranno essere effettuate tre serie di misure. Ogni serie di misurazioni è composta da cinque set e ciascun set da misure eseguite dal rover stazionando nel punto R₁ e nel punto R₂. L’intervallo di tempo tra ciascun set di misure sarà di circa cinque minuti,

conseguentemente una serie di misure durerà complessivamente circa 25 minuti, ciò per tener conto della variazione di ciclo di una tipica influenza multipath, che è di circa 20 minuti.

Nella procedura completa ciascuna serie di misure sarà separata dalla precedente da un intervallo di circa 90 minuti, con le influenze dovute alle variazioni della configurazione dei satelliti e delle condizioni ionosferiche e troposferiche.

La procedura semplificata, comprendendo solo una serie di misurazioni in cui le singole misure vengono comparate direttamente con i valori di riferimento, consente di determinare di fatto solo gli eventuali errori grossolani, senza la possibilità di eseguire una valutazione statistica.

La procedura completa, invece, essendo composta da tre serie di misurazioni, consente anche la stima della deviazione standard e l'esecuzione di taluni test statistici, fornendo in tal modo un'indicazione migliore della precisione conseguibile, in quanto vengono presi in considerazione un numero maggiore di fattori che influenzano le misure.

Nella procedura semplificata le singole misurazioni sono comparate direttamente con i valori di riferimento al fine di evidenziare eventuali errori grossolani. Per ciascun set dell'unica serie di misure si calcola, quindi, dapprima la distanza orizzontale e il dislivello tra i due punti rover e, successivamente, la loro deviazione dai valori di riferimento, $e_{Di,j}$ e $e_{hi,j}$:

$$e_{Di,j} = D_{i,j} - D^* \quad i=1, \quad j=1, \dots, 5 \quad [1]$$

$$e_{hi,j} = h_{i,j} - h^* \quad [2]$$

Affinché si possa escludere la presenza di errori grossolani occorre che siano soddisfatte le seguenti condizioni:

$$|e_{Di,j}| \leq 2,5 \times \sqrt{2} \times s_{xy} \quad [3]$$

$$|e_{hi,j}| \leq 2,5 \times \sqrt{2} \times s_h \quad [4]$$

dove s_{xy} e s_h sono entrambi i valori della deviazione standard predeterminata attraverso la procedura completa o i valori specificatamente indicati dal costruttore.

Nella procedura completa le operazioni sono suddivise in due step; nel primo step, analogamente alla procedura semplificata, vengono ricercati eventuali errori grossolani tramite comparazione diretta delle singole misure con i valori di riferimento; nel secondo step vengono calcolati i valori statistici.

Con riferimento a quest'ultimo calcolo, vengono dapprima determinate le deviazioni standard sperimentali facendo riferimento alle singole misure delle coordinate x ed y, nonché di h:

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum r_x^2}{v_x}} \quad [5]$$

$$s_y = \sqrt{\frac{\sum r_y^2}{v_y}} \quad [6]$$

$$s_h = \sqrt{\frac{\sum r_h^2}{v_h}} \quad [7]$$

dove r_x , r_y ed r_h sono i residui dei valori misurati rispetto ai corrispondenti parametri stimati, e $v_x = v_y = v_h = (m \times n - 1) \times p = 28$ sono i gradi di libertà per x, y, h.

Successivamente vengono calcolate le "ISO standard deviations" $s_{ISO_GNSS\ RTK_xy}$ e $s_{ISO_GNSS\ RTK_h}$ in funzione di s_x , s_y ed s_h , come di seguito riportato:

$$s_{ISO_GNSS\ RTK_xy} = \sqrt{(s_x^2 + s_y^2)} \quad [8]$$

$$s_{ISO_GNSS\ RTK_h} = s_h \quad [9]$$

Ottenuti i valori delle "ISO standard deviations", è possibile quindi eseguire i seguenti test statistici, che, di fatto, costituiscono la verifica strumentale perseguita in termini di precisione e riproducibilità delle misure:

- Verificare se la deviazione standard sperimentale $S_{\text{ISO_GNSS RTK}_{xy}}$ è minore o uguale al valore indicato dal costruttore o ad un prefissato valore di σ_{xy} .
- Verificare se la deviazione standard sperimentale $S_{\text{ISO_GNSS RTK}_h}$ è minore o uguale al valore indicato dal costruttore o ad un prefissato valore σ_h .
- Verificare se due deviazioni standard sperimentali, $S_{\text{ISO_GNSS RTK}_{xy}}$ e $\tilde{S}_{\text{ISO_GNSS RTK}_{xy}}$ determinate considerando due differenti campioni di misurazioni, appartengono alla stessa popolazione, assumendo che entrambi i campioni hanno lo stesso numero di gradi di libertà.
- Verificare se due deviazioni standard sperimentali, $S_{\text{ISO_GNSS RTK}_h}$ e $\tilde{S}_{\text{ISO_GNSS RTK}_h}$ determinate da due differenti campioni di misurazioni, appartengono alla stessa popolazione, assumendo che entrambi i campioni hanno lo stesso numero di gradi di libertà.

Con riferimento alle deviazioni standard sperimentali, s e \tilde{s} , le stesse possono essere ottenute attraverso:

- due campioni di misurazioni effettuate con lo stesso strumento in differenti momenti;
- due campioni di misurazioni eseguite con strumenti diversi.

Quesito	Ipotesi positiva	Ipotesi di non accettabilità
a)	$S_{\text{ISO_GNSS RTK}_{xy}} \leq \sigma_{xy}$	$S_{\text{ISO_GNSS RTK}_{xy}} > \sigma_{xy}$
b)	$S_{\text{ISO_GNSS RTK}_h} \leq \sigma_h$	$S_{\text{ISO_GNSS RTK}_h} > \sigma_h$
c)	$\sigma_{xy} = \tilde{\sigma}_{xy}$	$\sigma_{xy} \neq \tilde{\sigma}_{xy}$
d)	$\sigma_h = \tilde{\sigma}_h$	$\sigma_h \neq \tilde{\sigma}_h$

Tabella 1 – test statistici

Per le singole verifiche sopra indicate, nella norma ISO 17123-8 vengono indicate le relative condizioni numeriche, già calcolate sulla base del numero predefinito di misure da eseguire nei singoli set, a cui si rinvia per l'eventuale approfondimento.

CONCLUSIONI

L'analisi del contenuto della norma ISO 17123-8:2007 "Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments - Part 8: GNSS field measurement systems in real time kinematic (RTK)", appena pubblicata nella forma "International Standard", evidenzia un approccio operativo sufficientemente semplice e quindi adeguato all'uso nella pratica professionale.

Entrambe le prove, semplificata e completa, sono programmate, infatti, per un tempo contenuto, con utilizzazione di un campo prova facilmente realizzabile nell'ambito dell'area di intervento.

La prova completa, opportunamente pianificata, non dovrebbe superare le cinque ore, tale quindi da impegnare mezza giornata lavorativa, che si raddoppia per il test di ripetibilità delle misure.

Il campo prova è di semplice esecuzione, dal momento che, di fatto, occorre materializzare sul terreno solo tre punti (base, rover R_1/R_2) e la distanza adottata come riferimento, quella tra R_1 ed R_2 (non superiore a 20,00 m), può essere facilmente misurata con la precisione richiesta.

La prova, quindi, da svolgersi nell'ambito o in prossimità comunque dell'area di intervento (per tener conto dei condizionamenti ambientali), potrebbe costituire un'operazione di normale routine, da eseguire in sede di sopralluogo preliminare per la programmazione della campagna di rilievo. Sarebbe opportuno, magari, alternare la prova completa, necessaria comunque per i lavori più impegnativi, a quella semplificata, da utilizzare per i lavori di maggiore semplicità, considerando sempre i limiti di precisione (centimetrica) del sistema GNSS-RTK e la relativa applicabilità, quindi, in ambito professionale.

I campi prova fissi da realizzare per le prove ISO 17123 su altre strumentazioni, così come proposto in studi precedenti e a cui si collega il presente lavoro, potrebbero invece essere utilizzati per test

statistici di ripetibilità e stabilità nell'appoggio a reti di stazioni permanenti, nella cui area di influenza ricade il campo prova fisso, con campagne di misure da eseguire secondo un programma temporale prestabilito.

Al fine di facilitare ulteriormente l'esecuzione delle verifiche di controllo e l'esecuzione dei test statistici sarebbe, altresì, utile predisporre opportune schematizzazioni operative ed elaborare procedure informatiche che consentano di effettuare con semplicità i test statistici, proposti nella procedura completa. Di tale aspetti ci si occuperà successivamente nel corso dello sviluppo della ricerca, che prevede anche una valutazione critica dei risultati dei test operativi già programmati.

La Norma ISO in oggetto, che si è resa disponibile, come già richiamato, solo da pochi giorni, affiancando le altre norme già pubblicate su altre strumentazioni, aumenta certamente la cultura della necessità dei controlli della strumentazione utilizzata e dell'adeguatezza della stessa allo scopo del rilievo, ancor oggi poco sviluppata in talune fasce tecnico-professionali.

La verifica del sistema GNSS-RTK, così come proposto dalla norma, consente, soprattutto agli operatori più abituati all'uso della strumentazione topografica tradizionale (acquisizione e valutazione di misure lineari, angolari, ecc.), di valutare meglio le precisioni conseguibili con tale sistema, nei limiti delle possibili influenze di errori, e di poter programmare quindi adeguatamente le relative campagne di rilievo.

La possibilità di disporre di una procedura normalizzata di controllo costituisce inoltre un riferimento importante anche nell'ambito dei sistemi di gestione della qualità (ISO 9001:2000), che impongono la verifica della strumentazione utilizzata.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ISO 17123-8:2007 "Optics and Optical Instruments. Field procedures for testing geodetic and instruments - Part 8: GNSS field measurement system in real time kinematic (RTK)."

Dardanelli G., Franco V., Lo Brutto M. (2007), "La rete sperimentale di stazioni permanenti GNSS della Sicilia Occidentale per il posizionamento in tempo reale", *Atti Convegno Nazionale SIFET "Dal rilevamento fotogrammetrico ai database topografici"*, 240-246.

De Agostino M., Manzino A., Roggero M. (2007), "Repertorio delle stazioni GNSS in Italia, controllo di qualità e monitoraggio dei dati", *Atti Convegno Nazionale SIFET "Dal rilevamento fotogrammetrico ai database topografici"*, 60-67.

Leone L., Laudani Fichera D. (2005), "I test di verifica previsti dalle norme ISO 17123 per le strumentazioni elettroniche di rilievo topografico", *Atti Convegno Nazionale SIFET "Integrazione tra le tecniche innovative del rilievo del territorio e dei beni culturali"*.

Leone L., Carlino S., Laudani Fichera D. (2002), "Progetto di campi di controllo permanenti per strumentazioni topografiche nell'area portuale di Catania", *Atti 6^a Conferenza Nazionale ASITA "Geomatica per l'ambiente, il territorio e il patrimonio culturale"*, 1403-1408.

ISO 17123-1:2002 "Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 1: Theory".