

## **IL CONTROLLO DEI GNSS SYSTEMS IN REAL TIME KINEMATIC CON LE NUOVE NORME ISO 17123-8:2007**

Lorenzo LEONE (\*), Daniela LAUDANI FICHERA (\*\*)  
Marco LEONE (\*\*\*), Giuseppe PULVIRENTI (\*\*\*\*)

(\*) Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale – Facoltà Ingegneria Catania  
Viale Andrea Doria, 6 – 95100 Catania, telefono 0957382218, fax 0957382247, email: lleone@dica.unict.it  
(\*\*) Dottoranda Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale – Facoltà Ingegneria Catania  
Viale Andrea Doria, 6 – 95100 Catania, telefono 3394986058, email: dlaudani@dica.unict.it  
(\*\*\*) Ingegnere libero professionista – Product Specialist CAD GIS  
Piazza L. Ariosto, 29 – 95100 Catania, telefono 3485561399, email: ing.leone@gmail.com  
(\*\*\*\*) Cultore di materia – Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale – Facoltà Ingegneria Catania  
Viale Andrea Doria, 6 – 95100 Catania, telefono 0957382218, 0957382247, email: ing.gpulv@tin.it

### ***Sommario***

Nel presente lavoro, sulla base di una serie di prove sperimentali, è stata eseguita un'analisi critica dei risultati e delle procedure operative per il controllo dei GNSS systems in RTK indicate dalle recenti norme ISO 17123-8, al fine di testarne l'applicabilità nell'ambito delle problematiche di controllo della strumentazione disponibile. Il tema di grande attualità, principalmente nei sistemi di gestione della qualità che richiedono la verifica programmata della strumentazione da utilizzare, consente di definire un approccio metodologico corretto per testare la precisione del sistema nella complessità delle condizioni operative. Al fine di verificare la possibilità di applicazione pratica delle procedure indicate dalle suddette norme, sono state eseguite delle prove sperimentali secondo le due procedure "simplified e full". Dall'esperienza diretta eseguita si è di fatto evidenziato la reale applicabilità delle stesse sia a livello operativo che di elaborazione dei test di verifica. Non essendo, inoltre, necessario disporre di uno specifico campo prova le procedure indicate risultano adeguate all'uso nella pratica professionale.

### ***Abstract***

In the present job, on the base of a series of experimental tests, a critical analysis of the results and the operational procedures has been performed for the control of the GNSSs systems in RTK pointed out by the recent norms ISO 17123-8, with the purpose to make a will its applicability within the problem list of control of the available instrumentation. The theme, of great actuality, mainly in the systems of management of the quality that ask for the verification programmed of the instrumentation by to use, it allows to define an approach methodological correct to make a will the precision of the system in the complexity of the operational conditions. With the purpose to verify the possibility of practical application of the procedures pointed by the aforesaid norms, you are been performed some experimental tests according to the two procedures "simplified and full". From the direct experience performed him it is of a done underlined the real applicability of the same is to operational level that of elaboration of the tests of verification. Not being, besides, necessary to have a specific "training job" the suitable procedures they result suitable to the use in the professional practice.

### ***Le norme ISO 17123-8 e le problematiche di controllo della strumentazione disponibile***

L'oggetto del presente lavoro è un'analisi critica delle procedure operative previste dalle norme ISO 17123-8 per il controllo dei GNSS Systems in RTK e dei relativi risultati conseguibili sulla base di una campagna di prove sperimentali. L'obiettivo è di testarne l'applicabilità nell'ambito delle problematiche di controllo della strumentazione disponibile nell'uso professionale e di ricerca. Il

tema si dimostra di grande attualità, principalmente nell'applicazione a livello aziendale di Sistemi di Gestione delle Qualità (SGQ), laddove si richiede una verifica test programmata della strumentazione posseduta da utilizzare, così da garantire definiti standard operativi in termini di precisione conseguibile e di affidabilità dei risultati ottenuti. Pertanto, la definizione di un approccio metodologico corretto per verificare la suddetta precisione del sistema rispetto a quella dichiarata, pur nella complessità delle differenti condizioni operative, costituisce di fatto l'aspetto più interessante del riferimento alle Norme ISO 1723. In tal senso, come già espresso in precedenti lavori, si auspica che la necessaria certificazione indicata nei Sistemi di Gestione della Qualità, possa di fatto riferirsi a procedure codificate a livello internazionale, come quelle indicate dalle norme ISO in oggetto, in modo tale da costituire la base comune per il controllo periodico del normale funzionamento della strumentazione. Nel caso in esame la Norma ISO 17123-8, pubblicata in forma definitiva in data 29/08/2007, appartiene alla famiglia delle Norme ISO 17123 che si occupano dei test di verifica previsti per le strumentazioni di rilievo. Altri lavori degli scriventi hanno avuto già per oggetto l'analisi dell'applicabilità delle procedure indicate dalle Norme ISO 17123-3:2001 ed ISO 17123-4:2001 per i teodoliti ed i distanziometri elettro ottici. Le conclusioni di tali studi hanno evidenziato che, per la tipologia delle grandezze da stimare, le procedure indicate sono risultate poco praticabili, se non facendo ricorso alla realizzazione di un "campo prova", opportunamente predisposto, ma di difficile attuazione e gestione. Invece le Norme ISO 17123-8 per il controllo dei sistemi GNSS in RTK, genericamente commentate e riscontrate in un precedente lavoro presentato in occasione di ASITA 2007, risultano sicuramente più praticabili, essendo necessaria una sola base da materializzare come riferimento per le prove sperimentali. D'altra parte la procedura proposta mira, nella consapevolezza della complessa influenza delle condizioni ambientali, di trasmissione dati e di ricezione satellitare, a indurre come prassi operativa di testare la strumentazione disponibile direttamente nell'area oggetto di rilievo. Non si rende quindi necessario un campo prova strutturato, ma è sufficiente per la creazione della base di riferimento l'uso della normale strumentazione topografica (misura di distanza e dislivello tra punti con precisione millimetrica).

### ***Le prove sperimentali***

Le prove sperimentali, da eseguire, come già espresso, possibilmente nell'area oggetto di futuro rilievo, senza ricorrere ad un vero e proprio campo prova, sono state programmate all'interno della Cittadella Universitaria di Catania ed all'esterno con diversi posizionamenti nell'ambito della stessa provincia. La scelta del sito della Cittadella Universitaria è stata ovviamente dettata dalle condizioni di accessibilità e dalla possibilità di utilizzare come stazione master la stazione permanente CT01-RTCM05 del nodo di Catania della rete di stazioni permanenti VRS Sicilia gestita dalla CGT di Palermo. In tale sito sono stati eseguiti tutti i test di verifica previsti dalle norme ISO 17123-8 per il sistema GNSS RTK, nella configurazione tradizionale che prevede la coppia di strumenti nelle funzioni di master/rover e dei quali si riportano i risultati conseguiti nel presente lavoro. Per l'estensione dei test ai rilievi RTK con appoggio ad una rete di stazioni permanenti, sono ancora in corso le misure programmate in diverse aree della provincia di Catania, scelti in funzione della configurazione della rete VRS Sicilia, utilizzata come riferimento. La strumentazione utilizzata nelle prove eseguite, in dotazione del Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università di Catania, è costituita da:

- Stazione Totale Trimble S6; Lettura di angoli risoluzione standard 1" – Misurazione della distanza precisione modo prisma standard  $\pm(3\text{mm} + 2\text{ppm})$
- Ricevitore GPS Trimble 5800; rilevamento GPS Cinematico in tempo reale: orizzontale  $\pm(10\text{mm} + 1\text{ppm})$  RMS, verticale  $\pm(20\text{mm} + 1\text{ppm})$  RMS
- Stazione GPS Permanente CT01-RTCM05 (lat. 37°31'33.58100" - Long. 15°04'28.489002 - H. 190.970m), ubicata nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Catania ed appartenente alla rete VRS Sicilia CGT/Assogeo ed avente le seguenti caratteristiche: Ricevitore GPS geodetico a doppia frequenza NetRS con Antenna modello Zephyr

La necessaria base di controllo indicata dalla norma ISO in oggetto di lunghezza compresa tra 2 e 20,000 m., da misurare con “precisione millimetrica”, è stata materializzata in un’area a parcheggio della città universitaria, facilmente accessibile e libera da ostacoli. Per maggiore approfondimento nella valutazione dei risultati, invece di una sola base di riferimento, si è preferito operare su tre punti prefissati, in modo da disporre comunque di due tratti di lunghezze vicine ai valori limiti indicate dalla



Figura 01: Strumentazione per l’esecuzione delle misure di riferimento

norma in direzione pressoché ortogonale. Eseguite le misure con l’uso della Stazione Totale stazionando sui tre punti, e dopo il classico rigoroso trattamento dei dati, sono state determinate con la precisione richiesta le distanze e i dislivelli da assumere come riferimento. Determinate le basi di riferimento, si è proceduto all’esecuzione dei test nelle due modalità previste “semplificata e “completa”. In particolare si è partiti da quella semplificata utilizzando la strumentazione GPS disponibile con la normale attrezzatura a corredo prevista per il rilevamento in RTK così da operare conformemente alla indicazioni tecniche fornite dalle case costruttrici per il raggiungimento delle precisioni dichiarate e quindi attese.

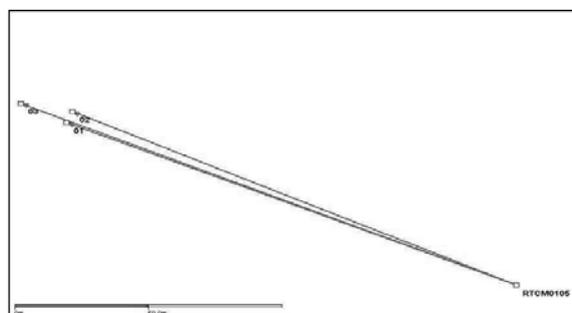


Figura 02: Tracciamento vettori rilievo GPS in esecuzione RTK

Base rif.	Distanza m	Dislivello m
1-2	5.391	0.054
2-3	19.471	0.265
1-3	19.209	0.319

Limitatamente alla procedura semplificata, è stato eseguito il test anche utilizzando l’appoggio alla rete VRS Sicilia, gestita dalla CGT di Palermo. La strumentazione utilizzata infatti di tipo integrato, consente di potere operare sia in modalità RTK classica, sia di poter gestire dati RTCM attraverso un collegamento GSM o Lan e quindi di poter ricevere in tempo reale le correzioni da una stazione master virtuale ubicata in prossimità della stessa. Nella modalità semplificata, come indicato dalle stesse norme, è stata eseguita una sola serie di misure costituita da 5 set di misure intervallati ognuno di 5 minuti per complessivi 25 minuti in modo tale da tenere conto della “variazione di ciclo di una tipica influenza multipath che è di quasi 20 minuti”.La conseguente verifica sulla base dei dati ottenuti risulta abbastanza immediata in quanto valutati gli scarti delle grandezze dai valori di riferimento basta riscontrare il rispetto delle seguenti disuguaglianze :



Figura 03: Strumentazione utilizzata per l’esecuzione delle prove

$$|e_{Di,j}| \leq 2,5 \times \sqrt{2} \times s_{xy} \quad [1]$$

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

dove  $s_{xy}$  ed  $s_h$  sono i valori della deviazione standard predeterminata attraverso la procedura completa o in base ai valori indicati dal costruttore.

Nel caso in esame, nonostante i valori di deviazione standard siano stati successivamente determinati con lo sviluppo della procedura completa, si sono adottati come riferimento iniziale, quelli dedotti dalle specifiche tecniche indicate dal costruttore. In tal senso i valori di  $s_{xy}$  ed  $s_h$ , calcolati a partire dalle precisioni di posizionamento orizzontale e verticale delle specifiche tecniche in modalità RTK, sono stati determinati in:  $s_{xy} = +/-15\text{mm}$  ed  $s_h = +/-28\text{mm}$ .

Nella tabella che segue sono riportati quindi, nel caso della procedura semplificata, i valori di riferimento del range entro cui dovranno ricadere gli scarti sulle misure in orizzontale e verticale.

Limiti Rel. n°[1] e [2]	$s_{xy}(\text{mm})$	$s_h(\text{mm})$
	+/- 53	+/- 99

Fig. 04: Tabella dei limiti per ciascun scarto

Di seguito si riportano i risultati ottenuti dall'elaborazione della procedura semplificata in modalità RTK classica e VRS. In entrambi i casi gli scarti rispetto ai valori di riferimento sono risultati ampiamente contenuti entro i limiti determinati. Ciò ha di fatto escluso la presenza di eventuali errori grossolani, senza la possibilità di eseguire valutazioni di tipo statistico.

#### PROCEDURA SEMPLIFICATA MODALITA' RTK

D* rif.	Base	Set j = 1		Set j = 2		Set j = 3		Set j = 4		Set j = 5		Limiti
		Dj	ε Dij									
5,391	1-2	5,384	-7	5,368	-23	5,387	-4	5,385	-6	5,388	-3	+/-53mm
19,209	1-3	19,187	-22	19,196	-13	19,210	1	19,193	-16	19,197	-12	+/-53mm
19,471	2-3	19,464	-7	19,448	-23	19,476	5	19,468	-3	19,464	-7	+/-53mm
Δh* rif.	Base	Δh* j	ε hij	Limiti								
0,054	Disl1-2	0,028	-26	0,044	-10	0,084	30	0,082	28	0,059	5	+/-99mm
0,319	Disl1-3	0,290	-29	0,304	-15	0,331	12	0,336	17	0,315	-4	+/-99mm
0,265	Disl2-3	0,262	-3	0,258	-7	0,248	-17	0,254	-11	0,256	-9	+/-99mm

#### PROCEDURA SEMPLIFICATA MODALITA' RTK-VRS

D* rif.	Base	Set j = 1		Set j = 2		Set j = 3		Set j = 4		Set j = 5		Limiti
		Dj	ε Dij									
5,391	Dist1-2	5,389	-2	5,378	-13	5,378	-13	5,36	-31	5,391	0	+/-53mm
19,209	Dist1-3	19,189	-20	19,202	-7	19,196	-13	19,194	-15	19,194	-15	+/-53mm
19,471	Dist2-3	19,449	-22	19,457	-14	19,446	-25	19,472	1	19,472	1	+/-53mm
Δh* rif.	Base	Δh* j	ε hij	Limiti								
0,054	Disl1-2	0,024	-30	0,054	0	0,062	8	0,038	-16	0,035	-19	+/-99mm
0,319	Disl1-3	0,302	-17	0,312	-7	0,344	25	0,305	-14	0,327	8	+/-99mm
0,265	Disl2-3	0,253	-12	0,259	-6	0,282	17	0,290	25	0,289	24	+/-99mm

Nella procedura completa il rilievo GPS è stato eseguito solo in modalità RTK classica ed in particolare sono state effettuate 3 serie di misure intervallate da un periodo di 90 minuti così da tenere presente le influenze dovute alle variazioni della configurazione dei satelliti e delle condizioni ionosferiche e troposferiche

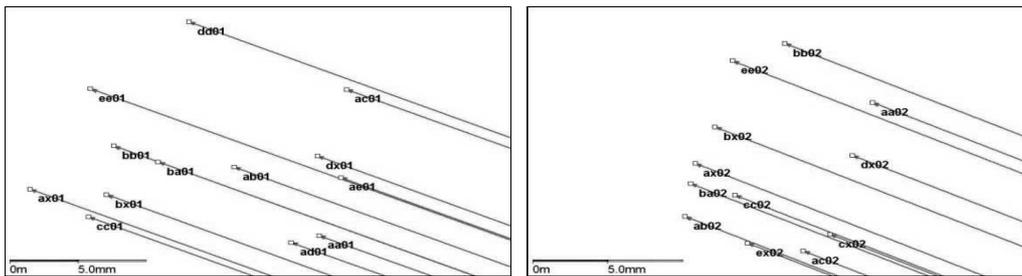


Fig 06: Semina dei punti 1) e 2) derivati dalla procedura completa in esecuzione RTK

Con riferimento a quest'ultima procedura, i dati ottenuti sono stati sviluppati, secondo le indicazioni fornite dalla stessa norma ISO, in modo tale da determinare le deviazioni standard sperimentali, secondo le relazioni:

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum r_x^2}{v_x}} \quad s_y = \sqrt{\frac{\sum r_y^2}{v_y}} \quad s_h = \sqrt{\frac{\sum r_h^2}{v_h}} \quad [3]$$

dove  $r_x$ ,  $r_y$  ed  $r_h$  sono gli scarti che intercorrono tra le coordinate N,E,H dei singoli punti di controllo ed i corrispettivi valori medi determinati sulla base delle 15 misure effettuate, mentre:

$$v_x = v_y = v_h = (m \times n - 1) \times p = 28 \text{ sono i gradi di libert\`a del sistema (} m=3; n=5; p=2)$$

### PROCEDURA COMPLETA MODALITA' RTK

1°serie

D* rif.	Base	Set j = 1		Set j = 2		Set j = 3		Set j = 4		Set j = 5		Limiti
		Dj	ε Dij									
5,391	Dist1-2	5,397	6	5,380	-11	5,371	-20	5,376	-15	5,371	-20	+/-40mm
19,209	Dist1-3	19,204	-5	19,192	-17	19,206	-3	19,205	-4	19,199	-10	+/-40mm
19,471	Dist2-3	19,468	-3	19,459	-12	19,473	2	19,453	-18	19,467	-4	+/-37mm
Δh* rif.	Base	Δh* j	ε hij	Limiti								
0,054	Disl1-2	0,054	0	0,051	-3	0,060	6	0,045	-9	0,056	2	+/-33mm
0,319	Disl1-3	0,318	-1	0,325	6	0,319	0	0,316	-3	0,319	0	+/-34mm
0,265	Disl2-3	0,264	-1	0,274	9	0,258	-7	0,271	6	0,263	-2	+/-26mm

2°serie

D* rif.	Base	Set j = 1		Set j = 2		Set j = 3		Set j = 4		Set j = 5		Limiti
		Dj	ε Dij									
5,391	Dist1-2	5,385	-6	5,398	7	5,391	0	5,384	-7	5,391	0	+/-40mm
19,209	Dist1-3	19,202	-7	19,194	-15	19,202	-7	19,203	-6	19,195	-14	+/-40mm
19,471	Dist2-3	19,467	-4	19,468	-3	19,475	4	19,461	-10	19,469	-2	+/-37mm
Δh* rif.	Base	Δh* j	ε hij	Limiti								
0,054	Disl1-2	0,065	11	0,069	15	0,042	-12	0,069	15	0,078	24	+/-33mm
0,319	Disl1-3	0,326	7	0,330	11	0,312	-7	0,340	21	0,352	33	+/-34mm
0,265	Disl2-3	0,261	-4	0,261	-4	0,269	4	0,271	6	0,276	11	+/-26mm

3°serie

D* rif.	Base	Set j = 1		Set j = 2		Set j = 3		Set j = 4		Set j = 5		Limiti
		Dj	ε Dij									
5,391	Dist1-2	5,392	1	5,394	3	5,384	-7	5,386	-5	5,363	-28	+/-40mm
19,209	Dist1-3	19,193	-16	19,205	-4	19,202	-7	19,208	-1	19,184	-25	+/-40mm
19,471	Dist2-3	19,464	-7	19,475	4	19,479	8	19,475	4	19,476	5	+/-37mm
Δh* rif.	Base	Δh* j	ε hij	Limiti								
0,054	Disl1-2	0,054	0	0,029	-25	0,058	4	0,042	-12	0,056	2	+/-33mm
0,319	Disl1-3	0,308	-11	0,317	-2	0,333	14	0,303	-16	0,307	-12	+/-34mm
0,265	Disl2-3	0,255	-10	0,288	23	0,275	10	0,261	-4	0,251	-14	+/-26mm

Successivamente sono state 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 riportato ed indicate in fig. 05:

$$S_{ISO\_GNSS\ RTK\_xy} = \sqrt{(s_x^2 + s_y^2)} \quad [4]$$

$$S_{ISO\_GNSS\ RTK\_h} = s_h \quad [5]$$

Base di rif.	$S_{ISO\_GNSS\ RTK\_xy}$	Limiti Rel.n.1	$S_{ISO\_GNSS\ RTK\_h}$	Limiti Rel.n2
1 - 2	11.19	+/- 40mm	9.30	+/- 33mm
2 - 3	10.39	+/- 37mm	7.37	+/- 26mm
1 - 3	11.37	+/- 40mm	9.59	+/- 34mm

Fig.05: Tabella delle deviazioni standard sperimentali

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:

- *Quesito A)* Verificare se la deviazione standard sperimentale  $S_{ISO\_GNSS\ RTK\_xy}$  è minore o uguale al valore indicato dal costruttore o ad un prefissato valore di  $\sigma_{xy}$ .
- *Quesito B)* Verificare se la deviazione standard sperimentale  $S_{ISO\_GNSS\ RTK\_h}$  è minore o uguale al valore indicato dal costruttore o ad un prefissato valore  $\sigma_h$ .

L'analisi e lo sviluppo dei valori ricavati nello svolgimento della procedura completa sono riassunti nella tabella in precedenza riportata. Anche in questo caso notiamo come le differenze che intercorrono con le basi di riferimento rientrano nelle tolleranze stabilite. La verifica dei test statistici A) e B) è riportata nella tabella seguente considerando quale valori assoluti della deviazione standard quelli indicati dal costruttore. ( $\sigma_{xy}=15\text{mm}$ ,  $\sigma_h = 28\text{mm}$ )

Basi di Rif.	1 - 2	1 - 3	2 - 3
Quesito A	$11.19 \leq 15$	$11.37 \leq 15$	$10.39 \leq 15$
Quesito B	$9.30 \leq 28$	$9.59 \leq 28$	$7.37 \leq 28$
Esito	Positivo	Positivo	Positivo

La procedura completa nella modalità sopra indicata, è stata successivamente ripetuta in un differente periodo, per rispondere ai quesiti di tipo C) e D) della norma. I valori delle misure non vengono riportati per brevità, ma anche per questi test, i risultati sono da considerarsi positivi.

### Conclusioni

L'applicazione diretta delle procedure operative previste dalla norma ISO 17123-8:2007, ha messo in risalto una metodologia operativa sufficientemente semplice e quindi adeguata all'uso nella pratica professionale. L'esecuzione di tali prove può quindi essere utilizzata per le verifiche programmate della strumentazione disponibile in modo tale da certificarne, ai fini di una corretta applicazione di un Sistema di Qualità, la rispondenza agli standard di precisione indicati dal costruttore. Ai fini professionali le metodologie trattate possono essere utili al tecnico per testare la reale precisione della propria strumentazione conseguibile nell'area oggetto di rilievo. La procedura semplificata, occupando un tempo di esecuzione notevolmente ridotto (circa 30 minuti), si presta

meglio ad una più semplice ed agevole operazione di generale verifica strumentale. L'esecuzione, invece, della prova completa, risulta più impegnativa ma se, opportunamente pianificata, non dovrebbe superare le cinque ore per i test statistici A) e B), alle quali si aggiunge la tempistica legata alla determinazione della base di riferimento. Prova da ripetere in un periodo successivo, per i test statistici C) e D). A livello di valutazione dei risultati conseguiti nelle prove eseguite, risulta confermata l'ottimo posizionamento ottenuto sia planimetrico ed altimetrico ampiamente entro i limiti di precisione attesi indicati dalla case costruttrici.

### ***Bibliografia***

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*

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*.

Leone L., Laudani Fichera D. (2007), "Analisi e valutazione delle "Field Procedures" per il controllo dei GNSS Systems in RTK nell'ambito delle nuove norme ISO17123-8", *Atti 11 Conferenza Nazionale ASITA*

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*

