

Leica GS18 T

Il rover RTK GNSS più veloce al mondo



leica-geosystems.com



- when it has to be **right**

Leica
Geosystems

Dr. Xiaoguang Luo, Stefan Schaufler, Bernhard Richter,
Leica Geosystems AG, Svizzera

Sommario

Il rapido sviluppo della fusione dei sensori di misura inerziale (IMU) e GNSS, offre una grande opportunità per migliorare la produttività e l'esperienza d'uso del posizionamento RTK ad alta precisione. Nel tenere il passo con i progressi tecnologici, il nuovo rover RTK GNSS Leica GS18 T combina GNSS e IMU per regolare automaticamente l'inclinazione della palina, aumentando la produttività, ampliando l'applicabilità RTK e riducendo gli errori umani. Questo approccio di compensazione dell'inclinazione basato su IMU presenta i principali vantaggi di essere immune ai disturbi magnetici, non richiede calibrazioni sul sito ed è applicabile ad ampi angoli di inclinazione. Queste funzionalità consentono rilievi RTK ad alta precisione in ambienti più restrittivi con maggiore efficienza e flessibilità. Il presente documento descrive i background tecnici del GS18 T e dimostra i vantaggi dell'applicazione della compensazione dell'inclinazione basata su IMU in termini di produttività, precisione e affidabilità. Con il GS18 T, Leica Geosystems intraprende un nuovo passo avanti e stabilisce nuovi standard per il posizionamento GNSS di precisione attraverso tecniche di sensor fusion di facile utilizzo.

Introduzione

Nei rilievi RTK, il ricevitore GNSS non misura la posizione direttamente nel punto di riferimento, ma nel centro di fase dell'antenna. Per ottimizzare la ricezione dei segnali GNSS, il rover viene solitamente montato su una palina e la punta della stessa viene posizionata sul punto di interesse. Nei rilievi RTK convenzionali in cui la palina deve essere livellata manualmente con una bolla circolare, la posizione del centro di fase viene ridotta alla punta della palina considerando l'offset del centro di fase dell'antenna (PCO; Hofmann-Wellenhof et al., 2008, p. 148) e la lunghezza della palina stessa. Questo approccio presenta i seguenti svantaggi limitando le prestazioni RTK ad alta precisione:

- In termini di produttività, tenere verticale la palina richiede tempo, in particolare nel picchettamento, in cui deve essere ripetuto in modo iterativo.
- Per quanto riguarda la precisione, il posizionamento verticale della palina è influenzato da errori umani e imperfezioni strumentali, come per esempio una bolla mal regolata.
- Per quanto riguarda l'applicabilità, non è sempre possibile posizionare la palina verticalmente sul caposaldo, ad esempio quando si misurano gli angoli degli edifici.

Pertanto sarebbe auspicabile effettuare misure RTK precise del caposaldo senza mantenere verticale la palina.

VANTAGGI ESCLUSIVI

Per migliorare la produttività e l'esperienza d'uso del posizionamento RTK ad alta precisione, Leica GS18 T offre i seguenti vantaggi esclusivi:

- Non richiede calibrazioni sul sito
- È immune ai disturbi magnetici
- È applicabile ad ampi angoli di inclinazione
- Visualizzazione 3D con direzione assistita



Figura 1: rover RTK GNSS Leica GS18 T con controller da campo Leica CS20.

Il rapido sviluppo di sistemi di navigazione integrati GNSS, inerziali e multisensore (Jekeli, 2001; Titterton e Weston, 2004; Groves, 2013) offre un'ottima opportunità di compensazione dell'inclinazione RTK che regola automaticamente l'inclinazione della palina dalla verticale. Supponendo che la lunghezza della palina sia nota, l'errore di posizione dovuto all'inclinazione può essere compensato se l'assetto (o l'orientamento angolare) della palina è determinato con precisione. Mentre ad esempio la misurazione dell'angolo della palina dalla verticale può essere effettuato con precisione tramite gli accelerometri, la misurazione dell'orientamento della palina rispetto al nord geografico rappresenta un compito molto più impegnativo (Hong et al., 2005). I prodotti rover RTK GNSS convenzionali con compensazione dell'inclinazione utilizzano una bussola elettronica, che si basa sulle misurazioni del magnetometro e fornisce l'orientamento della palina rispetto al nord magnetico (Nichols e Talbot, 1996; Kurtovic e Pagan, 2009). Un simile approccio basato sul magnetometro presenta i seguenti inconvenienti:

- Sono necessarie calibrazioni sul sito, che richiedono molto tempo e riducono la produttività.
- È indispensabile un modello magnetico ad alta fedeltà e computazionalmente costoso. Altrimenti l'angolo di declinazione locale (l'angolo tra il nord geografico e il nord magnetico) potrebbe presentare errori fino a tre gradi, anche senza campi di disturbo locali (Dusha, 2017).
- Le misurazioni del magnetometro sono influenzate da disturbi magnetici causati da metalli ferrosi (ad esempio automobili, edifici con acciaio strutturale) e correnti elettriche (ad esempio linee elettriche, installazioni elettriche), che sono solitamente presenti negli ambienti di rilievo RTK.
- Il campo magnetico misurato sul magnetometro varia in modo significativo con l'angolo di inclinazione (Pedley, 2012), limitando la gamma di compensazione dell'inclinazione spesso a 15 gradi.

Per evitare i suddetti inconvenienti la soluzione di compensazione dell'inclinazione di Leica GS18 T utilizza misure IMU precise rilevate da sensori microelettronici di livello industriale (MEMS), particolarmente adatti per le applicazioni di rilievo. Traendo ispirazione da tecnologie che sono state applicate con successo per anni nell'aviazione e nella navigazione marina (Crassidis e Markley, 2003), un sistema di navigazione inerziale personalizzato (INS) è stato integrato in modo sofisticato con il GNSS per fornire il rover RTK GNSS più rapido e semplice da utilizzare del mondo.

Produttività ed esperienza d'uso

Il GS18 T è stato progettato per migliorare la produttività e l'esperienza d'uso del posizionamento RTK ad alta precisione. La figura 2 mostra i componenti fondamentali che consentono al GS18 T di essere il rover RTK GNSS più veloce del mondo. Grazie alla compensazione dell'inclinazione, non è necessario livellare la palina, il che aumenta la produttività di circa il 20% in media rispetto alle prassi di rilievo GNSS tradizionali. Inoltre, il GS18 T impiega accelerazioni ad alta velocità e le velocità angolari rilevate dall'IMU MEMS per determinare l'orientamento della palina in tempo reale. Poiché queste misurazioni IMU non sono influenzate dai campi magnetici, il GS18 T è immune ai disturbi magnetici e non richiede alcuna calibrazione sul sito dispendiosa di tempo. È immediatamente operativo ed è più veloce dei sistemi basati su magnetometro. Inoltre, la tecnica di compensazione dell'inclinazione basata su IMU in combinazione con la misurazione RTK istantanea consente la massima produttività, in particolare nei rilievi topografici e fornisce una precisione simile a quella delle misurazioni effettuate livellando manualmente la palina.

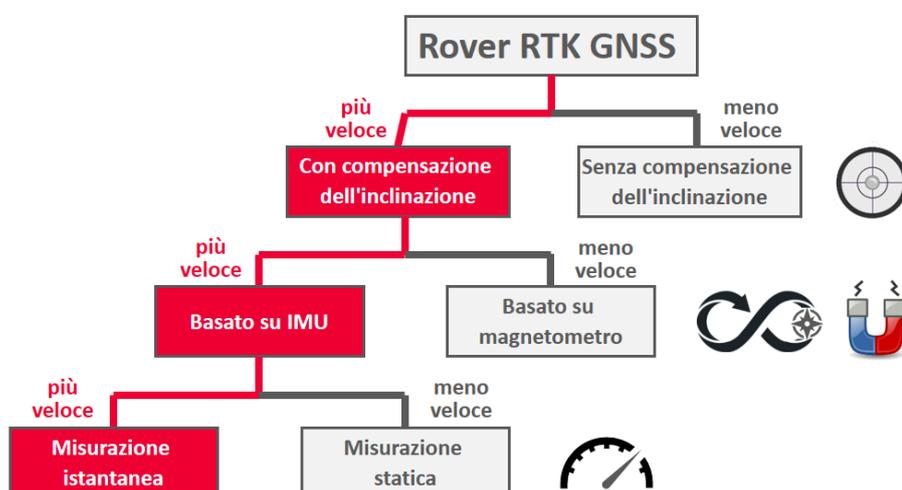


Figura 2: Leica GS18 T, il rover GNSS con compensazione dell'inclinazione basata su IMU più veloce.

In termini di esperienza d'uso, il GS18 T si concentra sull'estensione dell'applicabilità della tecnologia RTK ad alta precisione e sull'aumento della praticità per l'utente nei rilievi sul campo. Applicando la compensazione dell'inclinazione basata su IMU, i capisaldi precedentemente non accessibili con GNSS, quali angoli di edifici e punti ostruiti (figura 3), possono ora essere misurati direttamente con RTK, anche ad angoli di inclinazione di oltre 30 gradi.

Evitando il livellamento della palina, che richiede un grado elevato di concentrazione, l'utente può prestare maggiore attenzione agli eventi rilevanti per la sicurezza nell'ambiente di rilievo, quali il passaggio di veicoli e di macchine operatrici.



Inoltre, i dati sull'assetto vengono utilizzati per aiutare gli utenti ad orientarsi sul campo aggiornando automaticamente la visualizzazione 3D dell'ambiente circostante in base all'orientamento del sensore. Questo risulta particolarmente utile quando si esegue un picchettamento. I dati sull'assetto delle misurazioni effettuate con compensazione dell'inclinazione sono completamente tracciabili, offrendo garanzia di qualità agli utenti stessi e ai loro clienti. I miglioramenti della produttività e dell'esperienza d'uso ottenuti con il GS18 T si basano su una varietà di innovazioni, in particolare nelle tecniche di tracciamento del segnale GNSS e di sensor fusion.



Figura 3: utilizzo di Leica GS18 T per misurare angoli di edifici e punti ostruiti che in precedenza non erano misurabili con palina verticale nel rilievo RTK convenzionale.

Tracciamento del segnale GNSS ad alte prestazioni

Inconvenienti della compensazione dell'inclinazione RTK

Nel posizionamento RTK ad alta precisione con compensazione dell'inclinazione, il tracciamento robusto e ad alta sensibilità dei segnali GNSS in tutte le bande di frequenza è enormemente importante, soprattutto in caso di ampi angoli di inclinazione. Come appare illustrato nella figura 4, se la palina è inclinata lontano da un satellite di t gradi, l'angolo di elevazione del segnale GNSS in arrivo rispetto all'orizzonte dell'antenna diminuisce anch'esso di t , da α (palina verticale) a β (palina inclinata).

Per un dato angolo di elevazione di α , maggiore è l'inclinazione t , minore sarà l'angolo β . Questo indica che un segnale GNSS ricevuto ad un angolo di elevazione elevato nel rilievo RTK convenzionale con palina verticale, potrebbe diventare un segnale a bassa quota a seconda dell'angolo di inclinazione e della direzione di inclinazione. Inoltre, quando si eseguono misure RTK agli angoli degli edifici o vicino a recinzioni e muri, la ricezione

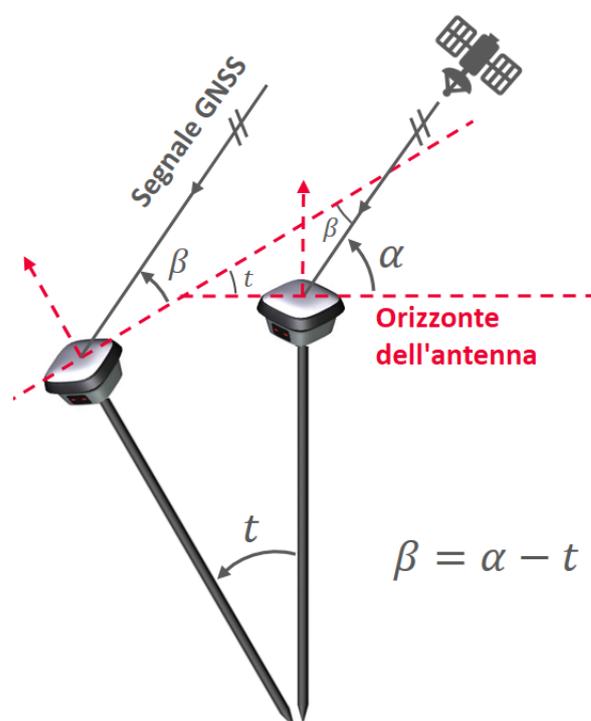


Figura 4: diminuzione dell'angolo di elevazione del segnale GNSS in entrata quando si inclina una palina lontano dal satellite (α : angolo di elevazione del satellite per la palina verticale, β : angolo di elevazione del satellite per la palina inclinata, t : angolo di inclinazione).

dei segnali di rumore aumenta a causa del multipath o delle interferenze nelle vicinanze. Per far fronte a questi inconvenienti, il GS18 T presenta tecnologie avanzate di tracciamento del segnale, fornendo il massimo numero di osservazioni per le soluzioni RTK con compensazione dell'inclinazione.

Tecnologie avanzate di tracciamento del segnale

L'elemento antenna e il motore di misurazione (ME) di un rover RTK GNSS svolgono un ruolo fondamentale nel tracciamento dei segnali di correzione di banda GNSS e L. L'antenna del GS18 T è un'antenna a microstriscia di alte prestazioni, che mantiene la struttura planare e a basso profilo per garantire dimensioni contenute. Qualsiasi antenna planare può inevitabilmente eccitare le onde di superficie che si propagano lungo l'interfaccia tra l'aria e il piano di massa metallico. Queste onde si diffrangono sul bordo del piano di massa, causando radiazioni verso lo spazio in tutte le direzioni. Per le applicazioni GNSS, tali radiazioni indesiderate aumentano la ricezione dei segnali di rumore a causa del multipath o delle interferenze nelle vicinanze.

La tecnologia di caricamento a schiera circolare di parassiti è stata sviluppata da Yang e Freestone (2017) per ottimizzare il modello di radiazione dell'antenna sopprimendo le onde di superficie dalla propagazione. Il concetto di questa tecnologia è illustrato nella figura 5. Come si può notare, i monopoli a forma di spirale periferici reattivi/resistivi sono disposti circolarmente intorno all'elemento principale dell'antenna per manipolare le onde superficiali sollevate. Dopo

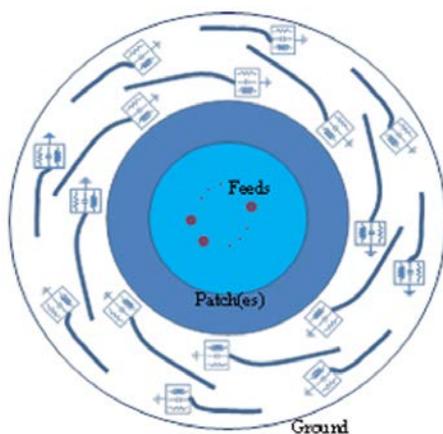


Figura 5: concetto di antenna con caricatori a schiera circolari di parassiti periferici a forma di spirale (Yang e Freestone, 2016).

aver interagito con i monopoli parassiti, le onde di superficie si trasformano in onde sparse e si irradiano nuovamente nello spazio libero. In questo modo, il modello di irradiazione dell'antenna viene rimodellato

per migliorare le capacità di localizzazione dell'angolo di bassa elevazione. La capacità di tracciare i satelliti a bassa elevazione mantenendo un alto guadagno per i satelliti ad alta quota è particolarmente importante per le applicazioni RTK in ambienti difficili come i canyon urbani e il fogliame fitto.

Inoltre, il miglioramento delle prestazioni di tracciamento a bassa quota è utile anche per ricevere i segnali di correzione della banda L dai satelliti geostazionari a latitudini elevate (Yang e Freestone, 2016).

Oltre alla tecnologia di caricamento a schiera circolare di parassiti, la tecnologia di alimentazione dell'antenna a banda ultra larga brevettata (Yang e Gilbertson, 2016) è stata utilizzata per ottenere una polarizzazione circolare superiore e modelli di radiazione simmetrica sull'intera larghezza di banda GNSS. Se prendiamo per esempio la frequenza L1, i valori PCO nord ed est della calibrazione del campo assoluto Geo ++ (Schmitz et al., 2002) dell'antenna GS18 T saranno rispettivamente -1 mm e -0,3 mm, esibendo stabilità al centro di fase sub-millimetrica. Inoltre, l'uso di più punti di alimentazione, in cui i segnali GNSS sono alimentati nell'antenna, conduce a un modello di radiazione uniforme e bassa polarizzazione incrociata (Caizzone et al., 2018). Secondo la teoria dell'antenna, la polarizzazione incrociata rappresenta una delle cause principali dell'intenso rumore multipath e della bassa efficienza della radiazione.

Oltre all'antenna a microstriscia ad alte prestazioni, il GS18 T include l'ultima generazione del motore di misurazione ME7. Possiede un'architettura a 555 canali ed è in grado di tracciare tutte le costellazioni satellitari attuali e future su più frequenze, inclusi GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS e NavIC. Al momento della redazione di questo documento, la costellazione di Galileo comprende 18 satelliti operativi, che già agevolano il posizionamento RTK multi-GNSS, come dimostrato in Luo et al. (2017). Un totale di 19 satelliti BeiDou-3 (18 MEO e 1 GEO) sarà lanciato entro la fine del 2018, portando la costellazione alla capacità operativa iniziale (Yang, 2017). Il sistema QZSS ha raggiunto una configurazione a quattro satelliti che fornisce visibilità continua di tre satelliti nell'area in cui è disponibile il servizio (Steigenberger et al., 2018). Nel caso della compensazione dell'inclinazione, l'uso di questi nuovi sistemi oltre a GPS e GLONASS favorisce il mantenimento di soluzioni RTK di alta precisione quando ci si sposta in prossimità di oggetti come angoli di edifici e muri di abitazioni. Oltre ai segnali satellitari di navigazione, l'unità ME7 rileva i segnali di correzione della banda L multicanale dai satelliti di espansione TerraStar,

consentendo il servizio SmartLink in tempo reale a livello centimetrico. La tecnica del precise point positioning (PPP) produce soluzioni GNSS ad alta precisione senza dati RTK. Grazie all'acquisizione più rapida del segnale, alla sensibilità di tracciamento più elevata e alla migliore reiezione del multipath, l'ME7 offre prestazioni di tracciamento del segnale superiori per la compensazione dell'inclinazione RTK.

Vantaggi del tracciamento del segnale avanzato

Per dimostrare i vantaggi del tracciamento del segnale avanzato a cielo aperto, le misurazioni del rapporto segnale-rumore (SNR; Luo, 2013, sez. 5.1) da parte di un GS18 T vengono confrontate con un'altra antenna intelligente GNSS di livello commerciale indicata come rover A. Analizzando 24 ore di dati a 1 Hz, la figura 6 mostra l'SNR medio per i segnali GPS con un angolo di elevazione di 5 gradi. Rispetto al rover A, il GS18 T mostra livelli SNR più alti nell'intero intervallo di elevazione, in cui sono visibili miglioramenti più significativi per le bande di frequenza inferiori L2 e L5 (figura 6: b, c). In media, l'SNR

medio aumenta rispettivamente di 2 dBHz (decibel Hertz), 4 dBHz e 8 dBHz per i segnali GPS L1, L2 e L5. In condizioni normali, maggiore è l'SNR, migliore è la qualità del segnale e minore è il rumore di osservazione.

Il GS18 T è particolarmente adatto per applicazioni RTK in cui il cielo è parzialmente visibile, ad esempio quando si opera in prossimità di file di alberi, sotto il fogliame o nei canyon urbani. Per mostrare i vantaggi del tracciamento avanzato del segnale in ambienti difficili, la figura 7 confronta il numero di slittamenti di ciclo tra il GS18 T e il rover A sotto la fitta chioma di un albero. In tale ambiente, i segnali GNSS risultano bloccati, attenuati e riflessi, causando a un gran numero di slittamenti. Come si può notare, nell'arco di un periodo di quattro ore, il GS18 T produce un numero inferiore di slittamenti rispetto al rover A, in particolare per gli angoli di elevazione 75°-80° (del 50%), 55°-60° (del 64%) e 30°-35° (del 43%). Questo dimostra i vantaggi del GS18 T nel tracciamento del segnale robusto e ad alta sensibilità su un'ampia copertura di elevazione, fornendo il numero massimo di osservazioni GNSS continue per una soluzione di posizionamento avanzata.

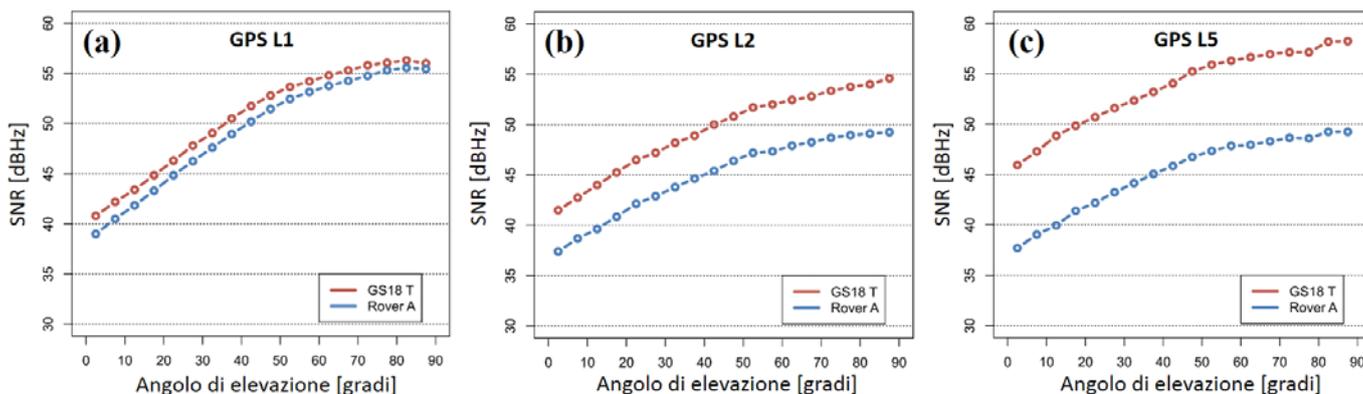


Figura 6: confronto delle misurazioni del rapporto segnale-rumore GPS (SNR) tra il GS18 T e il rover A a cielo aperto (24 ore di dati a 1 Hz, limite di quota: 0 gradi).

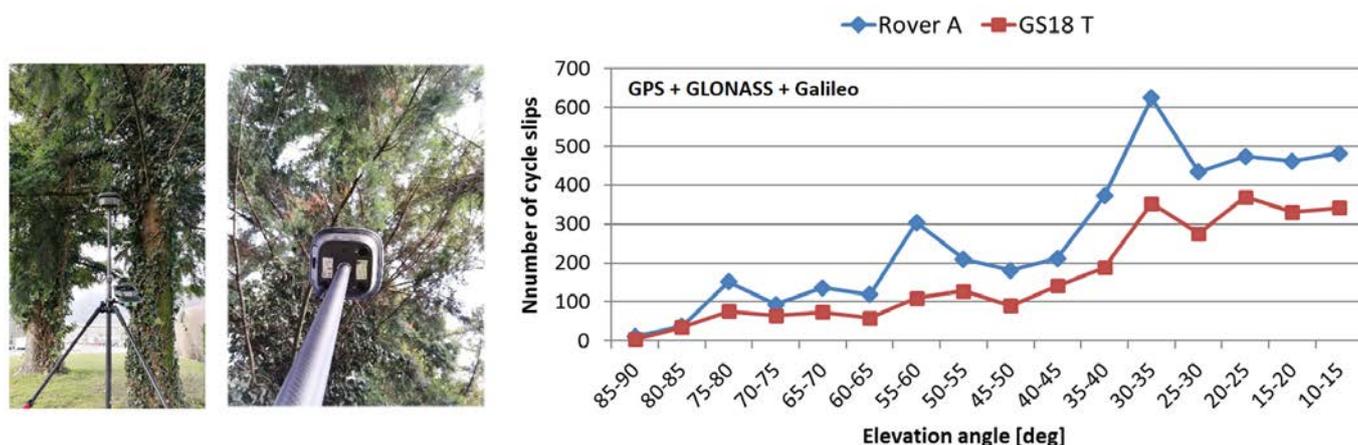
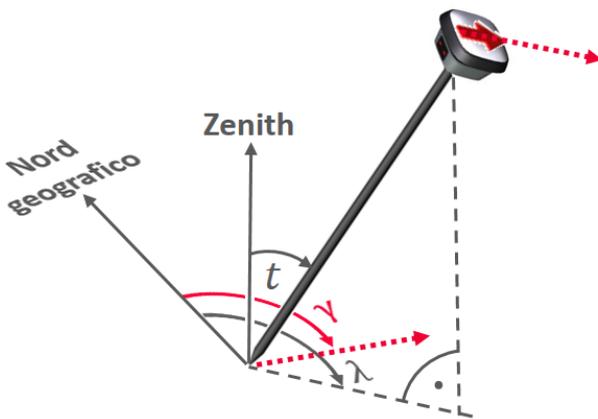


Figura 7: confronto del numero di slittamenti tra il GS18 T e il Rover A sotto la fitta chioma di un albero (quattro ore di dati a 1 Hz, limite di quota: 10 gradi).

RTK con compensazione dell'inclinazione basata su IMU

Interpretazione dell'orientamento della palina

Supponendo che la lunghezza della palina sia nota, l'errore di posizione dovuto alla sua inclinazione può essere compensato determinando con precisione l'orientamento della stessa (Luo et al., 2018). La figura 8 mostra l'interpretazione dell'orientamento della palina nel GS18 T, che consiste in inclinazione, direzione di inclinazione e direzione del sensore. L'inclinazione t rappresenta l'angolo tra lo zenit locale e la palina. La direzione di inclinazione λ descrive l'orientamento angolare della proiezione ortogonale della palina su un piano orizzontale rispetto al nord geografico. La direzione γ mostra la direzione verso cui punta il sensore ed è espressa anche rispetto al nord geografico. Si noti che se la palina è verticale, la direzione γ è ancora ben definita, mentre la direzione di inclinazione λ è inesistente perché la proiezione ortogonale della palina su un piano orizzontale corrisponde a un singolo punto in questo caso. Oltre agli stessi componenti di orientamento, il software da campo Leica Captivate fornisce anche le relative stime di qualità, unitamente all'incertezza generale della determinazione dell'orientamento 3D.



Current GS position		
Position	Baseline	Speed
Tilt		
Overall tilt quality	0°44'02"	
Tilt	13°19'55"	t
Tilt quality	0°07'21"	
Direction of tilt	258°25'24"	λ
Direction of tilt quality	0°50'57"	
GS heading	37°51'45"	γ
GS heading quality	0°31'12"	
OK		Page

Figura 8: interpretazione dell'orientamento della palina in Leica GS18 T utilizzando l'inclinazione t , la direzione di inclinazione λ e la direzione del sensore γ .

Integrazione GNSS/INS

Traendo vantaggio dalle caratteristiche complementari delle due sorgenti di navigazione, i sistemi di navigazione integrati GNSS/INS che sono esistiti da tempo nel settore aerospaziale sono ora disponibili nelle applicazioni di rilievo (Scherzinger, 2009; Dusha, 2017). La figura 9 illustra schematicamente l'integrazione GNSS/INS di Leica GS18 T. L'IMU MEMS si avvale di un accelerometro e di un giroscopio a tre assi. Ogni IMU viene calibrata individualmente di fabbrica da Leica Geosystems sull'intero intervallo di temperature operative. Le precise misure di accelerazione e velocità angolare dell'IMU sono fornite all'INS, unitamente alle stime di posizione e velocità di tasso elevato del GNSS. L'algoritmo INS ruota matematicamente e integra le misurazioni IMU per

determinare l'orientamento della palina e la misura di qualità associata. Inoltre, la fusione del sensore di GNSS e IMU consente una stima in tempo reale dei bias di accelerometro e giroscopio per ridurre al minimo la deriva dipendente dal tempo nella soluzione di orientamento. Basato sulla posizione GNSS, sull'orientamento INS e sulla lunghezza della palina, il software da campo Leica Captivate calcola la posizione della punta della palina con la compensazione dell'inclinazione e la qualità della coordinata (CQ), comprese le incertezze sia del GNSS che dell'INS. Inoltre, le informazioni sulla direzione vengono utilizzate per aggiornare automaticamente la visualizzazione 3D dell'ambiente circostante per consentire all'utente di orientarsi facilmente nell'ambiente di rilievo.

L'inizializzazione del GS18 T avviene automaticamente e non richiede alcuna procedura di calibrazione sul campo. I meccanismi interni di controllo della qualità consentono l'avvio/arresto automatico della compensazione dell'inclinazione se l'incertezza dell'orientamento 3D stimata (cfr. "Qualità dell'inclinazione totale" nella figura 8) è inferiore/superiore a 2 gradi. In condizioni normali con movimenti sufficienti, l'incertezza dell'orientamento a 2 gradi può essere inizialmente raggiunta in pochi

secondi tramite movimenti a livello del misuratore. I controlli di coerenza tra GNSS e INS vengono eseguiti costantemente per consentire un sistema robusto in grado di far fronte a dinamiche estreme della palina, come ad esempio forti oscillazioni. Poiché nessuna misurazione del magnetometro è coinvolta nel calcolo delle posizioni con compensazione dell'inclinazione, il GS18 T è immune ai disturbi magnetici.

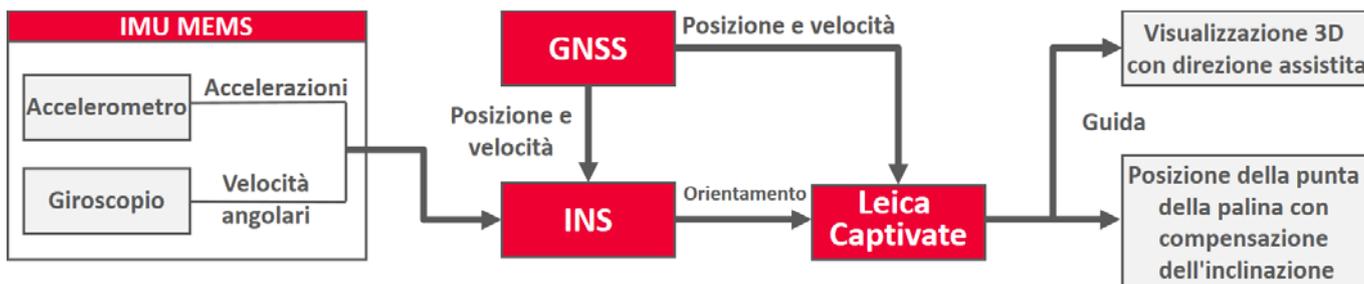


Figura 9: illustrazione schematica e semplificata dell'integrazione GNSS/INS implementata in Leica GS18 T.

Aspetti relativi alla precisione

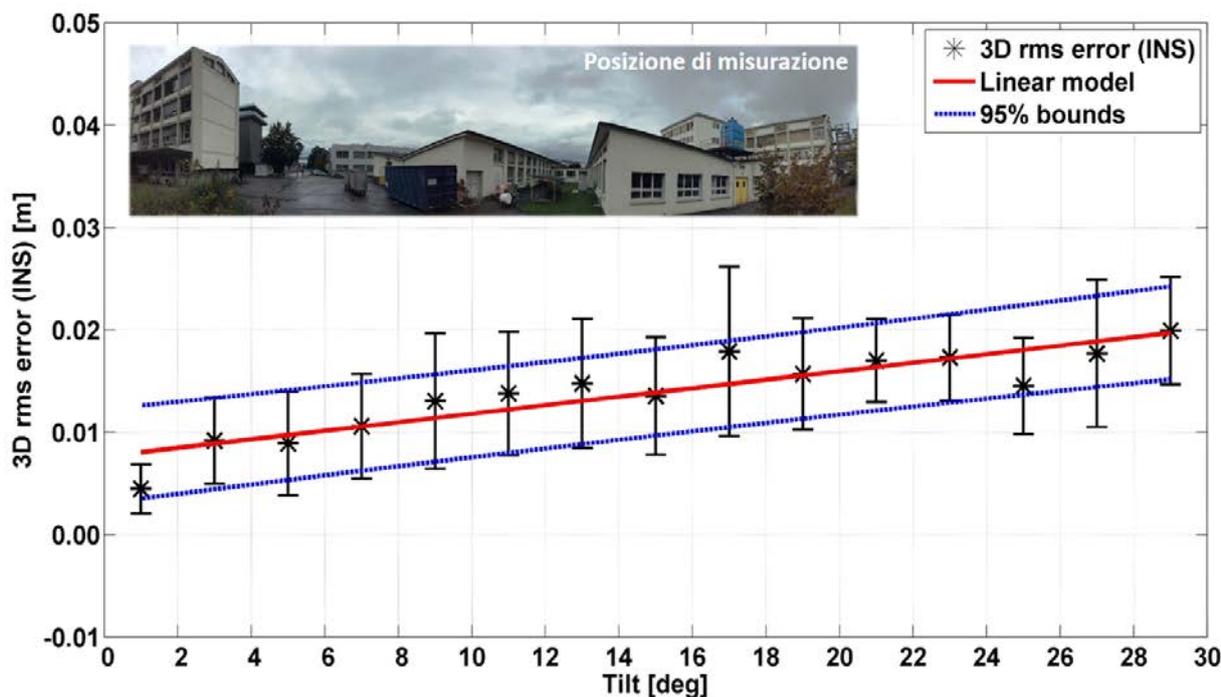


Figura 10: errore quadratico medio della radice (rms) 3D della posizione della punta della palina causato dall'errore di orientamento INS utilizzando un sistema di misurazione basato su laser come riferimento (lunghezza della palina: 1,800 m, larghezza del contenitore dell'inclinazione: 2 gradi).

Supponendo che la palina sia un corpo rigido, l'errore nella posizione con compensazione dell'inclinazione della punta della palina è principalmente attribuito all'errore di posizione GNSS e di orientamento INS. Utilizzando un sistema di misurazione basato su laser come riferimento, è possibile analizzare i contributi delle singole fonti di

errore del GS18 T rispetto all'errore di posizione della punta della palina. In base a serie di dati rappresentativi comprendenti varie dinamiche della palina quali statica, cinematica e stop-and-go, la figura 10 mostra l'errore quadratico medio (rms) della radice della posizione della punta della palina, che è puramente causato

dall'errore di posizione INS su una lunghezza della palina di 1,800 m. Per l'angolo di inclinazione viene utilizzata una larghezza del contenitore di 2 gradi, in cui le barre verticali mostrano la dispersione dei campioni di errore 3D nei contenitori. Utilizzando un modello di regressione lineare, l'errore di posizione rms 3D dovuto all'errore di orientamento aumenta da 8 mm a 2 cm mentre l'inclinazione aumenta da 1 a 30 gradi.

Trascurando le correlazioni tra l'errore di posizione GNSS e l'errore di orientamento INS, la relazione tra l'errore di posizione della punta della palina e i singoli componenti dell'errore GNSS/INS può essere espressa in base alla legge di propagazione dell'errore come

$$\sigma_{PT} = \sqrt{\sigma_{GNSS}^2 + \sigma_{INS}^2}, \quad (1)$$

in cui σ_{PT} indica l'errore di posizione della punta della palina, σ_{GNSS} rappresenta l'errore di posizione GNSS e σ_{INS} si riferisce all'errore di posizione indotto dall'errore di orientamento INS rispetto alla lunghezza della palina. All'aumentare dell'angolo di inclinazione, σ_{GNSS} diventa

maggiore a causa del degrado nel tracciamento del segnale (figura 4). Inoltre, σ_{INS} aumenta, come viene illustrato nella figura 10. Pertanto l'errore di posizione della punta della palina, σ_{PT} , aumenta all'incremento dell'inclinazione.

La tabella 1 fornisce i componenti di errore GNSS e INS di GS18 T derivanti da due test di precisione indipendenti. Si può notare che l'inclinazione è determinata con precisione con un errore medio di 0,2 gradi. L'errore di orientamento 3D complessivo è inferiore a 1,5 gradi e il suo contributo all'errore di posizione della punta della palina, σ_{INS} , è inferiore a 2 cm su una lunghezza della palina di 1,800 m. Inoltre, l'errore di posizione della punta della palina viene calcolato mediante l'equazione (1) è estremamente coerente con il valore di riferimento a livello di millimetro, confermando le correlazioni trascurabili tra i componenti di errore GNSS e INS. Si noti che l'algoritmo di compensazione dell'inclinazione attuale del GS18 T non tiene conto degli effetti di flessione della palina, che degradano la precisione di posizionamento in modo più significativo all'aumentare della lunghezza della stessa. Pertanto per ottenere la precisione specificata è consigliabile l'uso di una palina stabile in fibra di carbonio della lunghezza di 2 metri.

	Numero di posizioni	Errore di inclinazione [gradi]	Errore di orientamento 3D [gradi]	σ_{GNSS} [m]	σ_{INS} [m]	σ_{PT} [m]	σ_{PT} (Eq. (1)) [m]
Test 1	18986	0,15	1,014	0,018	0,011	0,022	0,021
Test 2	20499	0,21	1,498	0,024	0,017	0,026	0,029

Tabella 1: errori di posizione e orientamento del Leica GS18 T utilizzando come riferimento un sistema di misurazione basato su laser (lunghezza della palina: 1,800 m, cfr. figura 10 per la posizione di misurazione).

Analisi delle prestazioni

MISURAZIONE STATICA VS MISURAZIONE ISTANTANEA

Nella misurazione RTK statica, un caposaldo viene solitamente occupato per un breve arco temporale, ad esempio 5 s, durante i quali vengono raccolte più posizioni per fornire una soluzione media ponderata. Nel rilievo RTK convenzionale, in cui è necessario il livellamento della palina, questo approccio ha il vantaggio di ridurre l'errore umano che si verifica quando si tenta di centrare la bolla. Nel caso della compensazione dell'inclinazione, non è necessario livellare la palina, e pertanto questo vantaggio non sussiste più. Inoltre, un'occupazione statica in così poco tempo non beneficia della decorrelazione della geometria del satellite, delle condizioni atmosferiche e degli effetti multipath. Secondo Hofmann-Wellenhof et al. (2008, p. 158), un'altezza dell'antenna di 2 m comporta un periodo approssimativo di 16 minuti per l'errore multipath. Per eseguire le misurazioni RTK il più velocemente possibile, in particolare nei rilievi topografici, è più adatto il metodo

istantaneo, ossia quello in cui la coordinata per il tag temporale della misurazione viene interpolata tra le posizioni delle due epoche vicine per filtrare gli effetti del leggero movimento.

La tabella 2 confronta gli errori rms delle misure statiche e istantanee di un punto noto con compensazione dell'inclinazione utilizzando il GS18 T a cielo aperto. Sono stati considerati tempi di occupazione diversi che vengono solitamente impiegati nelle pratiche di rilievo RTK GNSS ovvero 5, 15 e 30 s. In tutti e tre i test, gli errori rms derivanti dalle misurazioni statiche e istantanee sono comparabili. Il tempo aggiuntivo dedicato all'occupazione statica non conduce a una precisione di posizionamento maggiore, indicando a sua volta una produttività superiore del metodo istantaneo. Prendendo come esempio il test 3 riportato nella tabella 2, la figura 11 confronta gli errori di posizione 2D (orizzontale), mostrando prestazioni di precisione simili tra le misurazioni statiche e istantanee di 30 s.

	Test 1: occupazione statica di 5 s			Test 2: occupazione statica di 15 s			Test 3: occupazione statica di 30 s		
	3D	2D	1D	3D	2D	1D	3D	2D	1D
Statiche	0,013	0,011	0,005	0,014	0,013	0,007	0,014	0,013	0,005
Istantanee	0,010	0,009	0,005	0,014	0,012	0,008	0,014	0,012	0,006

Tabella 2: confronto degli errori rms [m] derivanti da misurazioni statiche e istantanee con compensazione dell'inclinazione utilizzando Leica GS18 T (lunghezza della palina: 1,800 m, cielo aperto, 100 misurazioni per ciascun test).

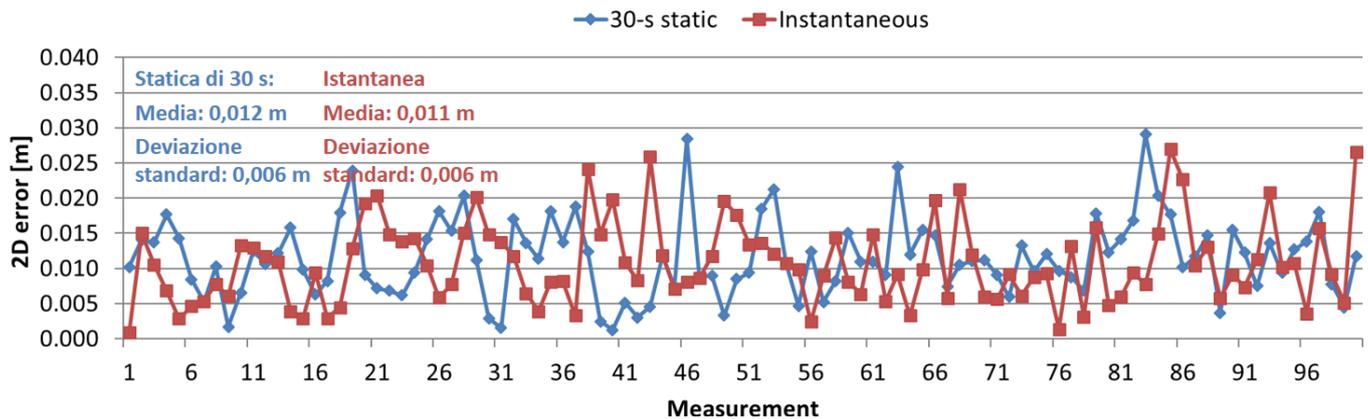


Figura 11: confronto degli errori di posizione 2D derivanti da misurazioni statiche e istantanee con compensazione dell'inclinazione di 30 s utilizzando Leica GS18 T (lunghezza della palina: 1,800 m, cielo aperto; cfr. test 3 nella tabella 2).

RTK CONVENZIONALE VS RTK CON COMPENSAZIONE DELL'INCLINAZIONE

Per dimostrare i vantaggi dell'utilizzo della compensazione dell'inclinazione, il GS18 T è stata messo a confronto con il Rover A a cielo aperto e con condizioni di intenso multipath. Nel test a cielo aperto (figura 12), due punti noti P1 e P2 separati da 8 m sono stati misurati alternativamente in modalità istantanea per 10 minuti. Utilizzando il Rover A, la palina deve essere livellata con precisione prima di effettuare una misurazione istantanea, operazione che invece, grazie alla compensazione dell'inclinazione, non è necessaria per il GS18 T. Il numero di punti misurati entro 10 minuti rappresenta un semplice indicatore di produttività. La tabella 3 riassume i risultati del test a cielo aperto in termini di produttività e precisione. Evitando di livellare la palina, il GS18 T riduce significativamente il tempo necessario per una misurazione, e pertanto aumenta il numero di punti misurati del 33 per cento da 57 a 76 in un arco temporale di 10 minuti. Nel caso della compensazione dell'inclinazione, nonostante l'errore aggiuntivo derivante dalla determinazione dell'orientamento, l'errore rms 3D risulta superiore di soli 3 mm rispetto al rover A e corrisponde a 2,4 cm, che rappresenta un valore accettabile per la maggior parte dei rilievi topografici.

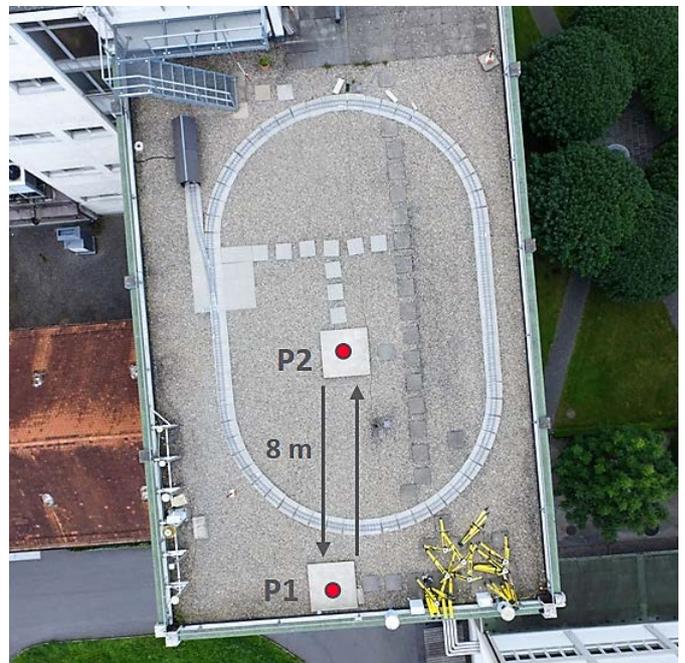


Figura 12: analisi comparativa delle prestazioni RTK a cielo aperto misurando alternativamente due punti nella modalità istantanea per 10 minuti (rover A vs GS18 T, lunghezza della palina: 1,800 m).

Nel test effettuato in condizioni di intenso multipath (fig. 13a), è stato scelto un punto noto che si trovava molto vicino a un edificio ed è stato possibile misurarlo con il rover A posizionando la palina verticalmente. Inoltre, è stato scelto un edificio con facciate in metallo per mostrare l'immunità del GS18 T ai disturbi magnetici. Sono state effettuate complessivamente 200 misurazioni istantanee in diverse geometrie satellitari e la tabella 4 riassume i risultati relativi a disponibilità, precisione e affidabilità. Utilizzando il GS18 T con compensazione dell'inclinazione, la disponibilità di soluzioni RTK fisse aumenta del 15% rispetto al posizionamento RTK convenzionale utilizzato dal rover A. La precisione di posizionamento è significativamente maggiore, in media del 50%. L'affidabilità restituisce la percentuale che l'errore di posizione è tre volte inferiore alla CQ, che risulta leggermente migliorata fino al 6% per i componenti orizzontali. Tali miglioramenti con il GS18 T sono attribuibili a 1) tracciamento del segnale GNSS robusto e ad alta sensibilità in ambienti difficili, 2) maggiore distanza dell'antenna rispetto all'edificio grazie all'inclinazione della palina (figura 13b), che



Figura 13: test di posizionamento RTK in un ambiente con multipath intenso (lunghezza della palina: 1,800 m) (a) Indicatore di rilievo vicino a un edificio con facciate metalliche, (b) Misura RTK di compensazione dell'inclinazione con Leica GS18 T.

comporta effetti inferiori del multipath e 3) integrazione GNSS/INS avanzata che consente una compensazione precisa dell'inclinazione. Si noti che un ambiente con un multipath così intenso è considerato un caso estremo ed è molto al di là delle condizioni standard rilevanti per le specifiche di precisione e affidabilità. Inoltre, i punti con una vicinanza da un edificio inferiore a 10 cm non possono essere misurati con il rover A, poiché in questo caso non è possibile livellare la palina nel punto di riferimento.

	Orientamento della palina	Numero di punti	3D [m]	2D [m]	1D [m]
Rover A	Verticale	57	0,021	0,014	0,016
GS18 T	Inclinato	76	0,024	0,021	0,012

Tabella 3: confronto tra il numero di punti misurati in un arco temporale di 10 minuti e gli errori rms risultanti tra GS18 T e rover A (cielo aperto, lunghezza della palina: 1,800 m, misura istantanea).

	Orientamento della palina	RTK fisso/ totale	Disponibilità [%]	precisione (rms) [m]			Affidabilità [%]		
				3D	2D	1D	3D	2D	1D
Rover A	Verticale	141/200	70,5	0,101	0,084	0,057	96,5	92,9	95,7
GS18 T	Inclinato	171/200	85,5	0,051	0,039	0,032	99,4	98,8	99,4

Tabella 4: confronto tra disponibilità, precisione e affidabilità delle posizioni RTK fisse tra GS18 T e rover A in un ambiente con intenso multipath (lunghezza della palina: 1,800 m, misura istantanea).

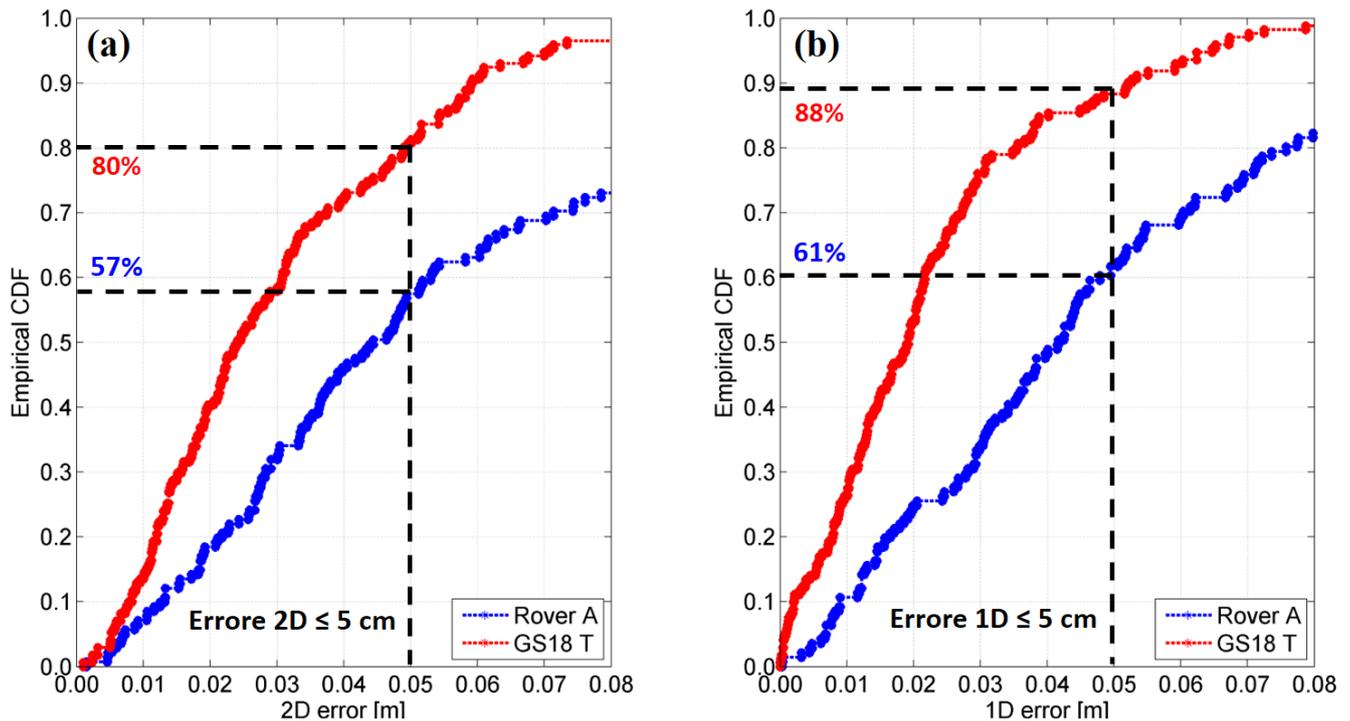


Figura 14: confronto delle distribuzioni degli errori tra GS18 T e rover A in un forte ambiente con multipath intenso (lunghezza della palina: 1,800 m, misurazione istantanea) (a) errore 2D CDF, (b) errore 1D CDF.

In termini di precisione, la figura 14 mostra le funzioni di distribuzione cumulativa empirica (CDF) degli errori 2D e 1D delle posizioni RTK fisse, in cui le dimensioni del campione corrispondono a 141 per il rover A e a 171 per il GS18 T (tabella 4). Rispetto all'RTK convenzionale che utilizza il rover A, la probabilità che l'errore 2D (1D) sia compreso tra 5 cm aumenta del 23% (27%) quando si applica la compensazione dell'inclinazione RTK con il GS18 T. Inoltre, i miglioramenti dell'altezza sembrano essere più significativi rispetto ai componenti orizzontali.

APPROCCIO BASATO SU MAGNETOMETRO VS APPROCCIO BASATO SU IMU

Oltre alla mancanza di necessità di calibrazioni sul sito, uno dei principali vantaggi della compensazione dell'inclinazione basata su IMU rispetto all'approccio basato sul magnetometro è rappresentato dall'immunità ai disturbi del campo magnetico. I disturbi magnetici locali possono essere causati da automobili, linee elettriche ed edifici con acciaio strutturale, che di solito si trovano negli ambienti di rilievo RTK. Per dimostrare la robustezza del GS18 T nei confronti dei disturbi magnetici, sono state eseguite misurazioni statiche di un punto noto nell'arco temporale di 1 s su un parcheggio. È stata utilizzata

anche un'altra antenna intelligente GNSS survey grade, indicata come rover B, che consente una compensazione dell'inclinazione basata su magnetometro fino a 15 gradi.

La figura 15 illustra gli errori 2D e CQ di 100 misurazioni RTK statiche con il GS18 T e il rover B. Confrontando gli errori 2D nella figura 15a, il GS18 T offre maggiore precisione e coerenza rispetto al rover B. Inoltre, le stime 2D CQ concordano con gli errori 2D, che riflettono realisticamente la precisione del posizionamento. Per quanto riguarda i risultati del rover B riportati nella figura 15b, i valori 2D CQ sono significativamente maggiori degli errori 2D se vengono rilevati disturbi magnetici, indicando soluzioni con compensazione dell'inclinazione inaffidabili. In questo caso, l'utente deve ripetere la misurazione o passare alla modalità RTK convenzionale, il che riduce la produttività. In determinate circostanze, ad esempio quando si misurano punti ad angoli di inclinazione di ampiezza maggiore, l'utente non viene informato da un sistema basato su magnetometro che la precisione visualizzata non può essere raggiunta. Osservando gli errori rms riassunti nella tabella 5, la precisione 2D di GS18 T è maggiore di circa 2 cm di quella del rover B, mentre la precisione 1D risulta simile.

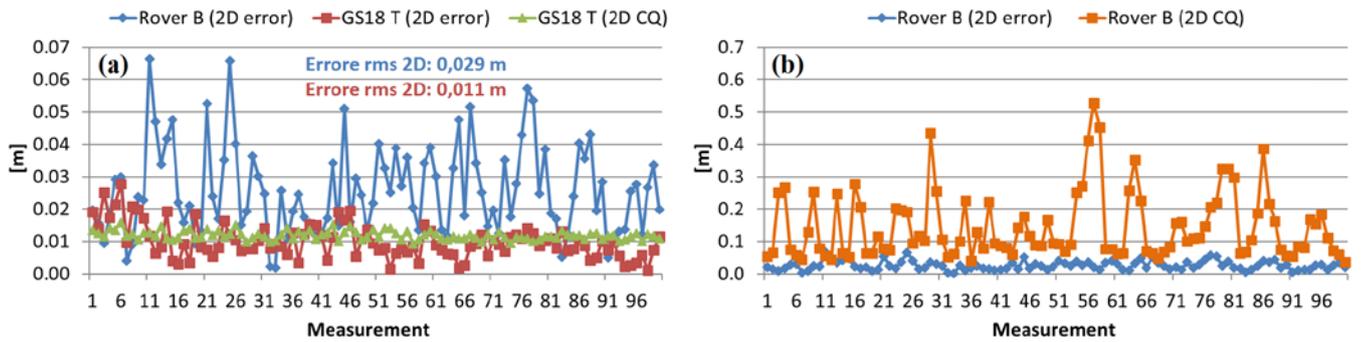


Figura 15: confronto degli errori di posizione 2D e CQ tra GS18 T e Rover B in presenza di disturbi magnetici (parcheggio, lunghezza della palina: 1,800 m, misurazione statica di 1 s).

	Compensazione dell'inclinazione	Numero di misurazioni	3D [m]	2D [m]	1D [m]
Rover B	Basata su magnetometro	100	0,039	0,029	0,026
GS18 T	Basata su IMU	100	0,025	0,011	0,023

Tabella 5: confronto degli errori rms tra GS18 T e Rover B in presenza di disturbi magnetici (parcheggio, lunghezza della palina: 1,800 m, misurazione statica di 1 s).

PRESTAZIONI CON AMPI ANGOLI DI INCLINAZIONE

Applicando la compensazione dell'inclinazione basata su IMU del GS18 T, finché viene tracciato un numero sufficiente di satelliti GNSS per poter fornire soluzioni RTK di alta precisione, non sussiste alcun limite all'angolo di inclinazione massimo. Pertanto, il GS18 T è applicabile alle misurazioni di punti nascosti, ad esempio angoli nascosti o punti parzialmente ostruiti da auto parcheggiate. La figura 16a mostra un esempio, in cui il marcatore geodetico è ostruito da un'auto e la palina deve essere notevolmente inclinata per poter misurare il punto. Nella figura 16b vengono illustrati gli errori 3D e

CQ di 100 misurazioni istantanee, unitamente ad angoli di inclinazione compresi tra i 36 e i 56 gradi. L'errore rms 3D è 1,6 cm e per l'87% delle misurazioni, l'errore 3D è inferiore al 3D CQ, il che implica un'elevata affidabilità anche quando la palina risulta estremamente inclinata. Gli errori rms 2D e 1D corrispondono rispettivamente a 1,3 cm e a 9 mm. Le elevate prestazioni del GS18 T in caso di utilizzo con palina inclinata sono dovute a: 1) miglioramento delle capacità di localizzazione dell'angolo inferiore di elevazione, 2) uso di misure IMU precise invece del magnetometro e 3) solidi meccanismi di controllo della qualità nell'integrazione GNSS/INS.

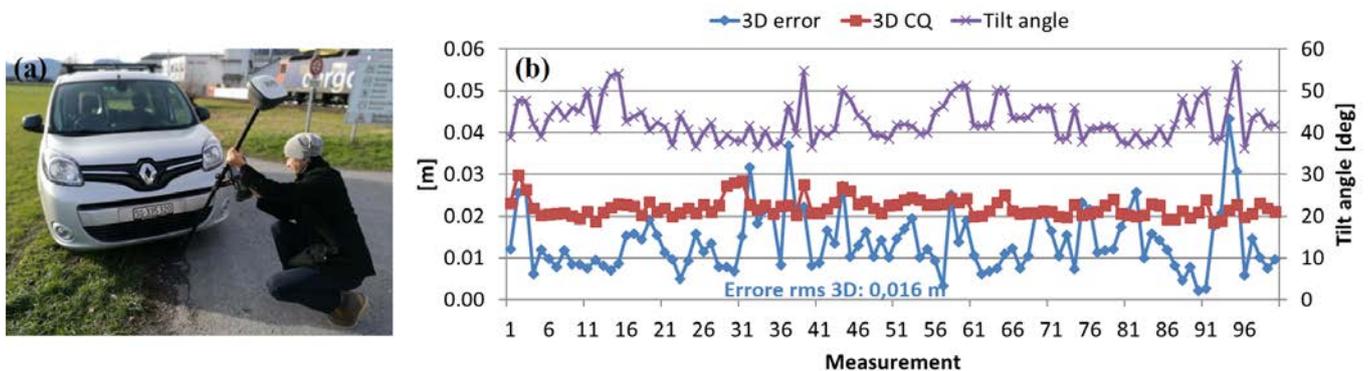


Figura 16: errori di posizione 3D e CQ derivanti da misurazioni istantanee con angoli di inclinazione di grandi dimensioni compresi tra i 36 e i 56 gradi (Leica GS18 T, lunghezza della palina: 1,800 m, cielo aperto).

Visualizzazione 3D con direzione assistita

Oltre all'inclinazione e alla direzione di inclinazione, la stima dell'orientamento INS include anche la direzione del sensore (figura 8). Queste informazioni vengono utilizzate per supportare l'utente sul campo aggiornando automaticamente la visualizzazione 3D dell'ambiente circostante in base all'orientamento del sensore. Prendendo come esempio i rilievi RTK per il picchettamento, se la direzione del sensore cambia, la visualizzazione della palina e le relative istruzioni si aggiorneranno di conseguenza nel software di campo Leica Captivate. La figura 17 illustra come le informazioni sulla direzione risultino utili quando si picchettano punti con il GS18 T nella vista di navigazione. Se la distanza del punto di picchettamento è superiore a 0,5 m, la vista mostrerà l'ambiente circostante nella direzione dell'orientamento e seguirà il sensore da sopra e da dietro (figura 17a). La visualizzazione 3D e le istruzioni della palina si aggiorneranno automaticamente in base alla posizione corrente e alla direzione del sensore, che in questo esempio varia da ovest a sud, e da quest'ultimo a est (figura 17b-d). Incorporando la direzione del sensore nella visualizzazione 3D, l'utente può orientarsi facilmente nell'ambiente di rilievo e spostarsi rapidamente verso i capisaldi, migliorando l'esperienza d'uso e la produttività.

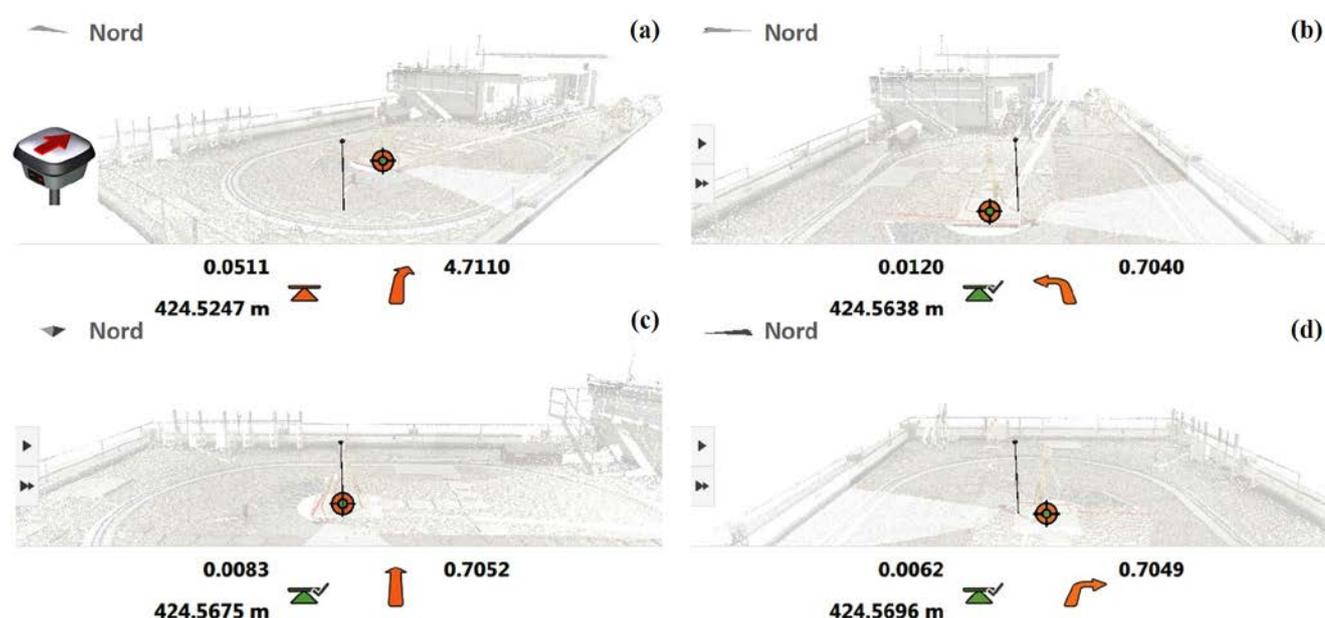


Figura 17: esempio di visualizzazione 3D con direzione assistita quando si picchettano punti con Leica GS18 T (cielo aperto, lunghezza della palina: 1,800 m)

(a) Vista di navigazione, (b) Vista verso ovest, (c) Vista verso sud, (d) Vista verso est.

Tracciabilità delle misure con compensazione dell'inclinazione

Utilizzando il GS18 T per effettuare misurazioni RTK con compensazione dell'inclinazione, l'orientamento della palina e la relativa l'incertezza vengono memorizzati nel record del punto, consentendo la totale tracciabilità e una reportistica completa della qualità. I dati sull'orientamento possono essere esportati direttamente da Leica Captivate utilizzando un foglio di stile. Quando si importano i lavori effettuati sul campo con il GS18 T nel software per ufficio Leica Infinity 2.4 (Hanson, 2017, p. 5), i punti misurati con la compensazione dell'inclinazione mostrano le componenti dell'orientamento inclusi l'inclinazione, l'inclinazione massima, la direzione di inclinazione

e quella del sensore (figura 18). Nelle misurazioni statiche, per "inclinazione" s'intende l'inclinazione dell'ultima misura prima della memorizzazione del punto, mentre per "inclinazione massima" s'intende l'inclinazione massima raggiunta durante l'occupazione. Nelle misurazioni istantanee, l'inclinazione e i valori di inclinazione massimi sono identici. All'interno di Infinity, nel quale viene utilizzato l'ultimo orientamento misurato per ricalcolare la posizione della punta della palina, si può modificare la lunghezza di quest'ultima in caso di input errato dal campo. In questo modo, le coordinate corrette sono ancora ottenibili con la piena tracciabilità dei componenti incidendo sulla qualità delle soluzioni RTK con compensazione dell'inclinazione.

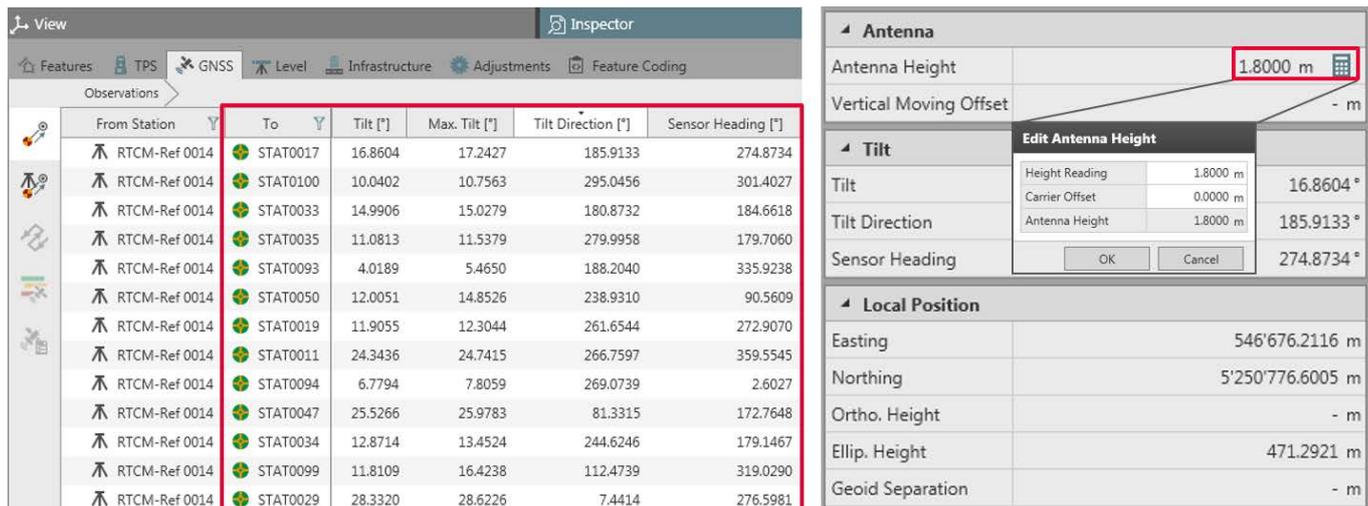


Figura 18: presentazione dei dati di orientamento del Leica GS18 T nel software per ufficio Leica Infinity 2.4 con la possibilità di modificare la lunghezza della palina.

Conclusioni

Il presente documento ha descritto il nuovo rover intelligente Leica GS18 T, che utilizza un approccio di compensazione dell'inclinazione basato su IMU per migliorare la produttività e l'esperienza d'uso nel posizionamento RTK ad alta precisione. Rispetto ai sistemi di compensazione dell'inclinazione basati su magnetometro, il GS18 T offre i notevoli vantaggi di non richiedere calibrazioni sul sito, di essere immune ai disturbi magnetici e applicabile anche ad ampi angoli di inclinazione. I risultati dei test rappresentativi e degli studi comparativi hanno dimostrato che l'utilizzo della compensazione dell'inclinazione del GS18 T aumenta significativamente la produttività e migliora le prestazioni di posizionamento RTK in ambienti difficili. Questi vantaggi si ottengono applicando tecnologie innovative al tracciamento dei segnali satellitari e all'integrazione GNSS/INS. Le principali caratteristiche e vantaggi del GS18 T sono riassunti di seguito:

- Utilizzando la compensazione dell'inclinazione, la misurazione istantanea fornisce un livello di precisione simile alla misurazione RTK statica nonché un notevole risparmio di tempo.
- Rispetto alla misurazione RTK convenzionale con palina verticale, la misurazione RTK con compensazione dell'inclinazione aumenta in modo significativo

la produttività fino al 33 per cento e migliora notevolmente le prestazioni di posizionamento in caso di edifici vicini in termini di disponibilità e precisione.

- In un parcheggio con disturbi magnetici, la compensazione dell'inclinazione basata su IMU produce posizioni più precise e una CQ più realistica rispetto all'approccio basato su magnetometro.
- La misurazione RTK con compensazione dell'inclinazione basata su IMU è applicabile ad angoli di inclinazione di oltre 30 gradi, per i quali è possibile ottenere una precisione di posizionamento 3D di 2 cm.
- Incorporando la direzione del sensore nella visualizzazione 3D dell'ambiente circostante, l'utente può orientarsi facilmente nell'ambiente di rilievo, migliorando la produttività e l'esperienza d'uso.
- I dati sull'orientamento delle misure RTK con compensazione dell'inclinazione sono completamente tracciabili, offrendo garanzia di qualità agli utenti stessi e ai loro clienti.

Con Leica GS18 T, il rover GNSS più veloce del mondo, Leica Geosystems stabilisce nuovi standard per il posizionamento preciso attraverso tecniche di sensor fusion di facile utilizzo.

Riferimenti bibliografici

Caizzone, S., Ciciu, M.-S., Elmarissi, W., Enneking, C., Felux, M., Yinusa, K.-A. (2018) Antenna pattern uniformity – Effects on pseudorange tracking error. *GPS World*, 29(2):18–32.

Crassidis, J. L., Markley, F. L. (2003) Unscented filtering for spacecraft attitude estimation. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 26(4):536–542.

Dusha, D. (2017) Surveying system and method. US Patent US9541392B2.

Groves, P. D. (2013) Principles of GNSS, Inertial, and Multi-Sensor Integrated Navigation Systems (II ed.). Artech House, Boston London, 800 pp.

Hanson, K. (2017) Leica Geosystems Release Notes – Leica Infinity 2.4. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland, November 30, 2017, 12 p.

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Waskle, E. (2008) GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo & more. Springer-Verlag, Wien, 516 p.

Hong, S., Lee, M. H., Chun, H.-H., Kwon, S.-H., Speyer, J. L. (2005) Observability of error states in GPS/INS integration. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 54(2):731–743.

Jekeli, C. (2001) Inertial Navigation Systems with Geodetic Applications. Walter de Gruyter, Berlin New York, 352 p.

Kurtovic, Z., Pagan, R. (2009) A multi mode active surveying pole. European Patent EP2040029A1.

Luo, X. (2013) GPS Stochastic Modelling – Signal Quality Measures and ARMA Processes. Springer Theses, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 331 p.

Luo, X., Chen, J., Richter, B. (2017) How Galileo benefits high-precision RTK – What to expect with the current constellation. *GPS World*, 28(8):22–28.

Luo, X., Schaufler, S., Carrera, M., Celebi, I. (2018) High-precision RTK positioning with calibration-free tilt compensation. In: Proceedings of FIG Congress 2018, Istanbul, Turkey, May 6–11, 2018, 17 p.

Nichols, M. E., Talbot, N. C. (1996) Pole-tilt sensor for surveyor range pole. US Patent US5512905A.

Pedley, M. (2012) eCompass: Build and calibrate a tilt-compensating electronic compass. *Circuit Cellar*, 265:1–6.

Scherzinger, B. M. (2009) AINS enhanced survey instrument, US Patent US2009024325A1.

Schmitz, M., Wübbena, G., Boettcher, G. (2002) Tests of phase center variations of various GPS antennas, and some results. *GPS Solutions*, 6(1–2):18–27.

Steigenberger, P., Thielert, S., Hauschild, A., Montenbruck, O., Langley, R. B. (2018) Constellation completed: QZS-3 and QZS-4 join the Quasi-Zenith Satellite System. *GPS World*, 29(2):43–48.

Titterton, D., Weston, J. L. (2004) Strapdown Inertial Navigation Technology (II ed.). IEE Radar, Sonar, Navigation, and Avionics Series, No. 17, Institution of Engineering and Technology, Stevenage Herts, 558 p.

Yang, C. (2017) Directions 2018: BeiDou builds, diversifies, expands. *GPS World*, 28(12):16–27.

Yang, N., Freestone, J. (2016) High-performance GNSS antennas with phase-reversal quadrature feeding network and parasitic circular array. In: Proceedings of ION GNSS+ 2016, Portland, OR, September 12–16, 2016, p. 364–372.

Yang, N., Freestone, J. (2017) Patch antenna with peripheral parasitic monopole circular arrays. US Patent US20170047665A1.

Yang, N., Gilbertson, C. (2016) Wide and low-loss quadrature phase quad-feeding network for high-performance GNSS antenna. US Patent US9343796B2.

Biografie

Xiaoguang Luo si è laureato in geodesia e geoinformatica nel 2012 presso l'Istituto di tecnologia di Karlsruhe in Germania. Nel settembre del 2013 è stato assunto da Leica Geosystems in qualità di tecnico specializzato per le applicazioni GNSS del gruppo di gestione dei prodotti correlati.

Stefan Schaufler si è laureato in ingegneria geodetica e geomatica nel 2016 presso l'Università tecnica di Vienna in Austria. Dal settembre del 2017 lavora in qualità di tecnico specializzato per i prodotti GNSS nel gruppo di gestione di Leica Geosystems dei prodotti correlati.

Bernhard Richter si è laureato in geodesia presso l'Università tecnica di Vienna nel 1999 e nel 2005 ha conseguito un master in business administration presso l'Università del Gloucestershire. Dal 2000 lavora per Leica Geosystems in Svizzera. Dal 2006 è direttore commerciale del settore GNSS e guida il gruppo di gestione dei prodotti correlati.

Leica Geosystems – when it has to be right

Rivoluzionando il mondo della misurazione e del rilievo da quasi 200 anni, Leica Geosystems è l'azienda leader nel settore delle tecnologie di misurazione e software. Crea soluzioni complete per i professionisti di tutto il globo. Nota per lo sviluppo di soluzioni e prodotti innovativi, i professionisti di una serie diversificata di settori come la topografia e l'ingegneria, l'edilizia e le costruzioni pesanti, la sicurezza e la protezione, l'energia e l'impiantistica si affidano a Leica Geosystems per tutte le proprie esigenze topografiche. Leica Geosystems offre prodotti di qualità eccellente e definisce il futuro del settore attraverso strumenti precisi, software sofisticato e assistenza affidabile.

Leica Geosystems fa parte di Hexagon (Nasdaq Stoccolma: HEXA B; hexagon.com), leader mondiale nella fornitura di soluzioni informatiche che incrementano la produttività e la qualità attraverso paesaggi geospaziali e industriali.



Copyright Leica Geosystems AG, 9435 Heerbrugg, Svizzera. Tutti i diritti sono riservati. Stampato in Svizzera – 2018. Leica Geosystems AG fa parte del gruppo Hexagon AB. 887334 it – 12.18